



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Die Quantifizierung mentaler Beanspruchungs- und emotionaler Belastungsreaktionen im Kontext der Mensch-Computer Interaktion unter Anwendung des Drei-Ebenen-Messkonzepts“

verfasst von / submitted by

Severin Maurer BA

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2015 / Vienna, 2015

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 298

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Psychologie

Betreut von / Supervisor:

Ao. Univ.-Prof. Dr. Michael Trimmel

DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mir die Möglichkeit gegeben haben, zu studieren und mir dabei unentwegt mental und emotional zur Seite gestanden haben.

Außerdem möchte ich meiner Verlobten Ulrike danken, die mir vor allem in den schwierigen Phasen des Studiums beigestanden und insbesondere während der Zeit des Schreibens der Diplomarbeit stets Motivation und Kraft gegeben hat.

Besonderer Dank gebührt meinem Diplomarbeitsbetreuer Ao. Univ.-Prof. Dr. Michael Trimmel für die Bereitstellung des Forschungsthemas, für die permanente fachliche und motivationale Unterstützung sowie geduldige Betreuung der Diplomarbeit.

Darüber hinaus möchte ich auch Gabriela Langer für ihre wertvolle Unterstützung während dieser Zeit danken.

Ein Dankeschön gilt auch meinen Kollegen Hannah und Michael für die gute Zusammenarbeit bei der Datenerhebung.

Nicht zuletzt möchte ich auch meiner lieben Freundin Daisy und ihrer ganzen Familie danken, die während dieser Zeit immer für mich da war und mir ihre besondere Fürsorge geschenkt hat.

VORWORT

Die vorliegende Arbeit basiert auf einem Laborexperiment, an dem, neben dem Autor, zwei weitere Studienkollegen beteiligt waren. Die Daten wurden zwar gemeinsam erhoben, jedoch verwendete jeder Kollege für seine Diplomarbeit einen anderen Teil des gesamten Datenmaterials. Somit wurden die einzelnen Diplomarbeiten unabhängig voneinander verfasst und unterscheiden sich hinsichtlich der Forschungsfragen und -hypothesen, der Variablen und der statistischen Verfahren zur Analyse voneinander.

Wegen der besseren Lesbarkeit wird in der vorliegenden Diplomarbeit auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Begriffsformen verzichtet und dem generischen Maskulinum der Vorzug gegeben. Gemeint und angesprochen sind aber immer beide Geschlechter.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	9
1.1 Problem - und Zielstellung	9
1.2 Stand des Wissens	11
1.2.1 Theoretische Grundlagen	11
1.2.1.1 Das Integrative Motivation-Emotion-Kognition-Modell (IMEK-Modell) von Trimmel (2015) als Rahmenmodell menschlicher Fehler.....	11
1.2.1.2 Das Modell der Informationsverarbeitung von Fitts und Posner (1967)	12
1.2.1.3 Erweiterung des Modells durch Sanders (1998)	12
1.2.1.3.1 Reaktionswahl	13
1.2.1.3.1.1 Das Gestaltgesetz Nähe	14
1.2.1.3.1.2 Das Prinzip des natürlichen Mappings	14
1.2.1.3.1.3 Reiz-Reaktions-Kompatibilität.....	14
1.2.1.3.2 Reaktionsausführung – Das Fitts'sche Gesetz	15
1.2.2 Das Belastungs-Beanspruchungskonzept der Ergonomie.....	15
1.2.2.1 Das „Drei-Ebenen-Messkonzept“	16
1.2.2.2 Emotionale Belastung	16
1.2.2.2.1 Definition	16
1.2.2.2.2 Messmethodik	16
1.2.2.2.2.1 Subjektive Angaben	16
1.2.2.2.2.2 Physiologie: Elektrodermale Aktivität als Indikator emotionaler Belastung.....	17
1.2.2.3 Mentale Beanspruchung	18
1.2.2.3.1 Definition	18
1.2.2.3.2 Messmethodik	19
1.2.2.3.2.1 Objektive Verhaltensindikatoren.....	19
1.2.2.3.2.2 Subjektive Angaben	19
1.2.2.3.2.3 Physiologie: Das Spontan-Elektroenzephalogramm (Spontan-EEG) als Indikator mentaler Beanspruchung.....	19
1.2.2.3.2.3.1 Delta	21
1.2.2.3.2.3.2 Theta.....	21
1.2.2.3.2.3.3 Alpha	23
1.2.2.3.2.3.4 Beta.....	24
1.2.2.3.2.3.5 Gamma	25

1.2.3 Forschungshypothese und Forschungsfrage.....	25
1.2.3.1 Zur Forschungshypothese	25
1.2.3.1.1 Befunde zum Gestaltgesetz der Nähe und zum Fitts'schen Gesetz	25
1.2.3.1.2 Befunde zum Prinzip des natürlichen Mappings.....	25
1.2.3.1.3 Befunde zur Reiz-Reaktions-Kompatibilität	26
1.2.3.1.4 Forschungshypothese	26
1.2.3.2 Forschungsfrage	26
2. METHODE	27
2.1 Untersuchungsteilnehmer	27
2.1.1 Ermittlung des Stichprobenumfangs	27
2.1.2 Rekrutierung.....	27
2.1.3 Beschreibung der Stichprobe	28
2.1.4 Stichprobenzuteilung und Fallzahlen für die statistische Analyse.....	28
2.2 Untersuchungsvariablen und –pläne	30
2.2.1 Untersuchungsvariablen	30
2.2.1.1 Unabhängige Variablen.....	30
2.2.1.1.1 Subtest Liste	30
2.2.1.1.2 Subtest Herd	31
2.2.1.1.3 Subtest Kreuz	31
2.2.1.2 Abhängige Variablen.....	31
2.2.2 Untersuchungspläne	32
2.2.2.1 Subtest Liste	32
2.2.2.1.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten	32
2.2.2.1.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten	32
2.2.2.1.3 Abhängige Variable: Subjektive Angaben.....	32
2.2.2.1.4 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität.....	33
2.2.2.1.5 Abhängige Variable: Spontan-EEG	33
2.2.2.2 Subtest Herd	33
2.2.2.2.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten	33
2.2.2.2.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten	33
2.2.2.2.3 Abhängige Variable: Subjektive Angaben.....	33
2.2.2.2.4 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität.....	33
2.2.2.2.5 Abhängige Variable: Spontan-EEG	34

2.2.2.3 Subtest Kreuz	34
2.2.2.3.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten	34
2.2.2.3.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten	34
2.2.2.3.3 Abhängige Variable: Subjektive Angaben	34
2.2.2.3.4 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität	35
2.2.2.3.4.1 Lernblöcke	35
2.2.2.3.4.2 Testblöcke	35
2.2.2.3.5 Abhängige Variable: Spontan-EEG	35
2.2.2.3.4.1 Lernblöcke	35
2.2.2.3.4.2 Testblöcke	35
2.3 Untersuchungsbedingungen und -materialien	36
2.3.1 Das Computerprogramm „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012)	36
2.3.1.1 Subtest Liste	37
2.3.1.1.1 Beschreibung	37
2.3.1.2 Subtest Herd	38
2.3.1.2.1 Beschreibung	38
2.3.1.3 Subtest Kreuz	40
2.3.1.2.1 Beschreibung	40
2.3.1.4 Kennwertbildung beim Computerprogramm Kognitiver Ergonomietest	42
2.3.2 Fragebögen	43
2.3.2.1 NASA-Task Load Index (NASA-TLX)	43
2.3.2.2 The Computer Aversion, Attitudes, and Familiarity Index (CAAFI)	44
2.3.2.3 The Computer-Email-Web (CEW) Fluency Scale	44
2.3.2.4 Detail and Flexibility Questionnaire (DFLEX)	44
2.3.3 Geräte	44
2.3.3.1 Geräte zur Bedienung des Computerprogramms	44
2.3.3.2 Spontan-EEG und elektrodermale Aktivität	44
2.2.4 Statistische Hypothesen	46
2.2.4.1 Subtest Liste	46
2.2.4.2 Subtest Herd	46
2.2.4.3 Subtest Kreuz	47
2.2.4.3.1 Hypothese 1	47
2.2.4.3.2 Hypothese 2	48

2.2.4.3.3 Hypothese 3	48
2.5 Untersuchungsdurchführung	49
2.6 Datenaufbereitung der physiologischen Aufzeichnungen.....	50
2.6.1 Elektrodermale Aktivität	50
2.6.2 Spontan-EEG.....	51
3. ERGEBNISSE.....	52
3.1 Stichprobe.....	52
3.2 Subtest Liste	53
3.2.1 Verhaltensindikatoren	53
3.2.1.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten	53
3.2.1.1.1 Fallzahl	53
3.2.1.1.2 Deskriptivstatistik.....	53
3.2.1.1.3 Statistische Hypothesenprüfung.....	54
3.2.1.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten	54
3.2.1.2.1 Fallzahl	54
3.2.1.2.2 Deskriptivstatistik.....	55
3.2.1.2.3 Statistische Hypothesenprüfung.....	55
3.2.2 Selbstbeobachtung.....	56
3.2.2.1 Abhängige Variable: Subjektive Angaben.....	56
3.2.2.1.1 Fallzahl	56
3.2.2.1.2 Deskriptivstatistik.....	56
3.2.2.1.3 Statistische Hypothesenprüfung.....	57
3.2.3 Physiologie	59
3.2.3.1 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität.....	59
3.2.3.1.1 Fallzahl	59
3.2.3.1.2 Deskriptivstatistik.....	59
3.2.3.1.3 Statistische Hypothesenprüfung.....	60
3.2.3.2 Abhängige Variable: Spontan-EEG	60
3.2.3.2.1 Fallzahl	60
3.2.3.2.2 Deskriptivstatistik.....	60
3.2.3.2.3 Statistische Hypothesenprüfung.....	62
3.2.4 Zusammenhänge zwischen subjektivem Erleben und der Physiologie.....	66
3.2.4.1 Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten	66

3.2.4.2 Korrelationen: Elektrodermale Aktivität und Skalenpunkte des NASA-TLX.	67
3.2.4.3 Korrelationen: Spontan-EEG und Skalenpunkte des NASA-TLX	68
3.3 Subtest Herd	69
3.3.1 Verhaltensindikatoren	69
3.3.1.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten	69
3.3.1.1.1 Fallzahl	69
3.3.1.1.2 Deskriptivstatistik.....	69
3.3.1.1.3 Statistische Hypothesenprüfung	70
3.3.1.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten	71
3.3.1.2.1	71
3.3.1.2.2 Deskriptivstatistik.....	71
3.3.1.2.3 Statistische Hypothesenprüfung	72
3.3.2 Selbstbeobachtung	73
3.3.2.1 Abhängige Variable: Subjektive Angaben	73
3.3.2.1.1 Fallzahl	73
3.3.2.1.2 Deskriptivstatistik.....	73
3.3.2.1.3 Statistische Hypothesenprüfung	75
3.3.3 Physiologie	77
3.3.3.1 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität.....	77
3.3.3.1.1 Fallzahl	77
3.3.3.1.2 Deskriptivstatistik.....	78
3.3.3.1.3 Statistische Hypothesenprüfung	79
3.3.3.2 Abhängige Variable: Spontan-EEG	79
3.3.3.2.1 Fallzahl	79
3.3.3.2.2 Deskriptivstatistik.....	79
3.3.3.2.3 Statistische Hypothesenprüfung	82
3.3.4 Zusammenhänge zwischen subjektivem Erleben und der Physiologie.....	86
3.3.4.1 Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten	87
3.3.4.2 Korrelationen: Elektrodermale Aktivität und Skalenpunkte des NASA-TLX.	89
3.3.4.3 Korrelationen: Spontan-EEG und Skalenpunkte des NASA-TLX	89
3.4 Subtest Kreuz	90
3.4.1 Vorbemerkung.....	90
3.4.2 Verhaltensindikatoren	90

3.4.2.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten	90
3.4.2.1.1 Fallzahl	90
3.4.2.1.2 Deskriptivstatistik.....	90
3.4.2.1.3 Statistische Hypothesenprüfung	91
3.4.2.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten	94
3.4.2.2.1 Fallzahl	94
3.4.2.2.2 Deskriptivstatistik.....	94
3.4.2.2.3 Statistische Hypothesenprüfung	95
3.4.3 Selbstbeobachtung.....	98
3.4.3.1 Abhängige Variable: Subjektive Angaben	98
3.4.3.1.1 Fallzahl	98
3.4.3.1.2 Deskriptivstatistik.....	98
3.4.3.1.3 Statistische Hypothesenprüfung	100
3.4.4 Physiologie	105
3.4.4.1 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität.....	105
3.4.4.1.1 Fallzahl	105
3.4.4.1.2 Deskriptivstatistik.....	105
3.4.4.1.2.1 Lernblöcke.....	105
3.4.4.1.2.2 Testblöcke	107
3.4.4.1.3 Statistische Hypothesenprüfung	108
3.4.4.1.3.1 Lernblock	108
3.4.4.1.3.2 Testblöcke	109
3.4.4.2 Abhängige Variable: Spontan-EEG	111
3.4.4.2.1 Fallzahl	111
3.4.4.2.2 Deskriptivstatistik.....	111
3.4.4.2.2.1 Lernblöcke.....	111
3.4.4.2.2.2 Testblöcke	116
3.4.4.2.3 Statistische Hypothesenprüfung	124
3.4.4.2.3.1 Lernblöcke.....	124
3.4.4.2.3.2 Testblöcke	127
3.4.5 Zusammenhänge zwischen subjektivem Erleben und der Physiologie.....	129
3.4.5.1 Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten	129
3.4.5.2 Korrelationen: Elektrodermale Aktivität und Skalenpunkte des NASA-TLX	131

3.4.5.2.1 Lernblöcke	131
3.4.5.2.2 Testblöcke	131
3.4.5.3 Korrelationen: Spontan-EEG und Skalenpunkte des NASA-TLX	132
3.4.5.3.1 Lernblöcke	132
3.4.5.3.2 Testblöcke	132
4. DISKUSSION	134
4.1 Interpretation	134
4.1.1 Subtest Liste	134
4.1.2 Subtest Herd	136
4.1.3 Subtest Kreuz	139
4.1.4 Zusammenfassende Diskussion	144
4.2 Kritik	146
4.3 Ausblick	147
ABSTRACT	149
Abstract in Deutsch	149
Abstract in Englisch	150
LITERATURVERZEICHNIS	151
ANHANG	167
1 Testmaterialien	167
1.1 PC-Programm: Aufbau	167
1.2 PC-Programm: Anleitungen (Instruktionen)	167
1.2.1 Subtest Liste	167
1.2.2 Subtest Herd	168
1.2.3 Subtest Kreuz	168
1.2.3.1 Anleitung 1	168
1.2.3.2 Anleitung 2	169
1.2.3.3 Anleitung 3	169
1.3 Fragebogen: Soziodemographische Daten	170
2 Deskriptivstatistiken zur Stichprobe	172
3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten	175
3.1 Subtest Liste	175
3.2 Subtest Herd	175
3.3 Subtest Kreuz	177

4. Spearman-Korrelationen der Differenzwerte	182
4.1 Elektrodermale Aktivität und NASA-TLX	182
4.2 Spontan-EEG und NASA-TLX.....	183
4.2.1 Subtest Liste	183
4.2.1 Subtest Herd	184
4.2.1 Subtest Kreuz	187
4.2.1.1 Lernblöcke.....	187
4.2.1.1 Testblöcke	190
EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG.....	196
LEBENS LAUF	197

1. EINLEITUNG

1.1 Problem - und Zielstellung

Aufgrund der weiten Verbreitung der elektronischen Datenverarbeitung kommt der Gestaltung des User-Interface eine nicht zu unterschätzende Bedeutung auf die Belastung und das Wohlbefinden breiter Bevölkerungskreise zu (Besnard & Cacitti, 2005; Saadé & Otrakji, 2007; Satzinger & Olfman, 1998; Shneiderman, 1998). Die Praxis zeigt, dass viele Software-Updates mit Änderungen des Mensch-Computer Interface einhergehen (Dahm, 2006, S. 234-235). Psychische Belastungen bei der Mensch-Computer Interaktion entstehen einerseits durch diese veränderten Oberflächen der Bedienung des Programms (es werden oft Umlernprozesse benötigt, um mit dem Programm weiter arbeiten zu können) und/oder andererseits durch die Nichtbeachtung grundlegender kognitiver Prinzipien der Ergonomie. Ein wichtiges Ziel der Forschung im Feld der Mensch-Computer Interaktion besteht darin, die Gestaltung von grafischen Benutzeroberflächen zu optimieren (Dahm, 2006, Kap. 11). Eine treffende Beschreibung der Anforderungen, die an Benutzer von Computersoftware gestellt werden, sowie der Ziele bezüglich der Anforderungsoptimierung im Bereich der Mensch-Computer Interaktion, geben Proctor und Vu (2009):

Human-computer-interaction (HCI) is fundamentally an information processing task. In interacting with a computer the human has specific goals and subgoals in mind. ... The sequence of interactions to accomplish the goals may be long and complex, and several alternative sequences, differing in efficiency, may be used to achieve these goals. During the interaction, the user is required to identify displayed information, select responses based on the displayed information, and execute those responses. The user must search the displayed information and attend to the appropriate aspects of it. She or he must also recall the commands and resulting consequences of those commands for different programs, remember information specific to the task that is being performed, and make decisions and solve problems during the process. For the interaction between the computer and user to be efficient, the interface must be designed in accordance with the user's information processing capabilities. (S. 36)

Dies hat zur Herausarbeitung von Kriterien geführt, die das Ziel haben, dem Benutzer die Informationen optimal zugänglich zu machen und die bei der Darstellung von Informationen berücksichtigt werden sollen (Chalmers, 2003; Saadé & Otrakji, 2007; Shneiderman, 1998). In Teil 12 der Norm EN ISO 9241 werden Klarheit, Unterscheidbarkeit, Kompaktheit, Konsistenz, Erkennbarkeit, Lesbarkeit und Verständlichkeit als Kriterien bestimmt

(zitiert nach Dahm, 2006, S. 218). Die Nichtbeachtung genannter Kriterien kann dabei zu einem erheblichen Mehraufwand an psychischer Belastung seitens des Anwenders eines solchen Programmes führen.

Eines dieser Kriterien wird im Zusammenhang mit der vorliegenden Studie besonders relevant sein, nämlich das Kriterium der Konsistenz, das bedeutet, „dass innerhalb einer Anwendung Begriffe, Icons, Gestaltung, Logik und Funktionsbezeichnungen gleich bleiben“ (Dahm, 2006, S. 234). In diesem Zusammenhang spielt insbesondere der Begriff der Erwartungskonformität eine wichtige Rolle, der ausdrückt, dass in Bezug auf das Kriterium der Konsistenz auch die Vorkenntnisse des Benutzers, also die Erwartungen und Erfahrungen mit ähnlicher Software und/oder Arbeitsgebiet, berücksichtigt werden müssen (Dahm, 2006, S. 234). Dabei besteht aber das Problem, dass im Zuge von Neugestaltungen und Umstrukturierungen bestehender Programme (entweder durch Einführung einer komplett neuen Programmversion oder durch einzelne Updates) gerade diese Erwartungskonformität den Umstieg und somit die Akzeptanz für das neue Design wesentlich erschwert, sich also somit unter Umständen innovative Vorschläge zur Verbesserung von Benutzeroberflächen der Programmentwickler mit der Gewöhnung und Erfahrung der Anwender mit der bisherigen Version eines Programmes gegenseitig behindern (Dahm, 2006, S. 234-235). Dieses Problem wird auch Prinzip der leidvollen Aneignung genannt und verweist auf den Umstand, dass viele Anwender dabei einen mühevollen Umlernprozess durchlaufen müssen, um weiterhin mit der nunmehr neu gestalteten Software optimal arbeiten zu können (Dahm, 2006, S. 235).

Die vorliegende experimentelle Arbeit hat sich daher zum Ziel gesetzt, mentale Beanspruchungs- und emotionale Belastungszustände, die bei der Bearbeitung verschiedener Computeraufgaben auftreten können, zu quantifizieren. Dabei sollen diese Aufgaben stets so konzipiert werden, dass sie sowohl im Sinne der angesprochenen Kriterien gestaltet werden, als auch bewusst diese Kriterien außer Acht lassen, um Unterschiede im Ausmaß der mentalen Beanspruchung und emotionalen Belastung festzustellen. Im Sinne des „Drei-Ebenen-Messkonzepts“, das erstmals von Peter Lang für die psychophysiologische Forschung gefordert wurde (Lutzenberger, Elbert, Rockstroh & Birbaumer, 1985, S. 70), interessieren in dieser Untersuchung neben den objektiven Verhaltensindikatoren, wie Reaktionszeit und Trefferraten, und den subjektiven Angaben seitens der Versuchspersonen, auch peripher- und zentralnervöse physiologische Indikatoren, von denen angenommen wird, dass sie im Zusammenhang mit mentalen Beanspruchungs- und emotionalen Belastungszuständen stehen (Trimmel, 1990, S. 82). Die relevanten theoretischen Konzeptionen bilden dabei das Integrative Motivation-Emotion-Kognition-Modell von

Trimmel (2015, S. 28), das Modell der Informationsverarbeitung von Fitts und Posner (Fitts & Posner, 1967, zitiert nach Welsh, Weeks, Chua & Goodman, 2009) sowie das Belastungs-Beanspruchungskonzept der Ergonomie (Rohmert, 1984, zitiert nach Manzey, 1998), welches zwischen mentalen Beanspruchungs- und emotionalen Belastungsreaktionen unterscheidet.

1.2 Stand des Wissens

1.2.1 Theoretische Grundlagen

1.2.1.1 Das Integrative Motivation-Emotion-Kognition-Modell (IMEK-Modell) von Trimmel (2015) als Rahmenmodell menschlicher Fehler

Abbildung 1 zeigt das auf Wickens (1998) basierende IMEK-Modell von Trimmel (2010, 2015, S. 28), in dem neben einem mit motivationalen und emotionalen Prozessen verbundenem Aufmerksamkeitssystem, drei Stufen der Informationsverarbeitung unterschieden und mit den Begriffen der perzeptuellen Enkodierung, zentralen Verarbeitung und Reaktion bezeichnet werden. Den drei Stufen der Informationsverarbeitung sowie der Aufmerksamkeit werden jeweils Fehlermöglichkeiten zugeschrieben (Trimmel, 2013).

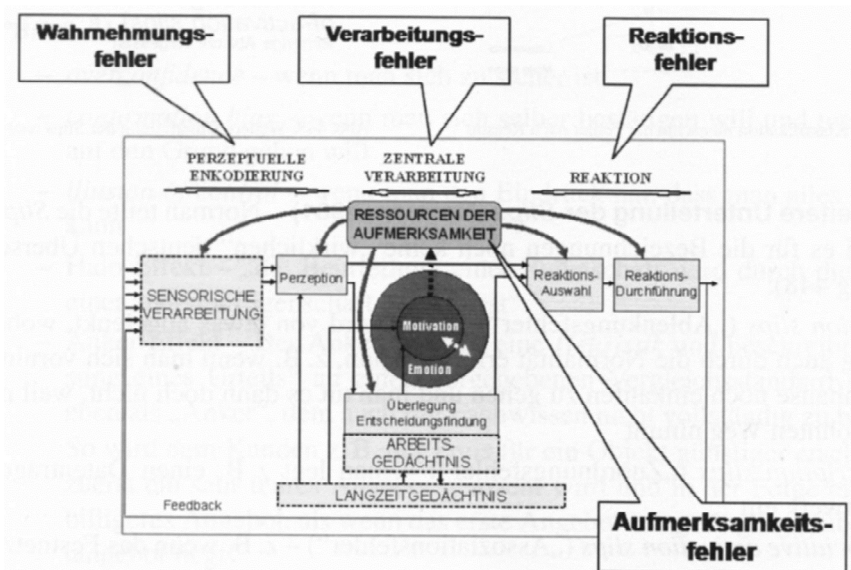


Abbildung 1. Das Integrative Motivation-Emotion-Kognition-Modell (IMEK-Modell) von Trimmel (2015) mit den Fehlermöglichkeiten (aus Trimmel, 2013, S. 164)

Wie aus Abbildung 1 zu sehen ist, kann es auf jeder einzelnen Verarbeitungsstufe zu Fehlern kommen. Im Zusammenhang mit der vorliegenden Studie interessieren insbesondere die Reaktionsauswahl und Reaktionsdurchführung mit den damit in Verbindung stehenden möglichen Reaktionsfehlern. Hier wirken verschiedene kognitive Prinzipien, wie die

Gestaltgesetze (Koffka, 1935), das Fitts'sche Gesetz (Fitts, 1954) oder die Reiz-Reaktions-Kompatibilität (Fitts & Deininger, 1954, zitiert nach Welsh et al., 2009; Fitts & Seeger, 1953; Proctor & Vu, 2006, zitiert nach Proctor & Vu, 2010; Proctor & Vu, 2010), die Gegenstand der vorliegenden Untersuchung sind und von denen angenommen wird, dass sie eine besondere Rolle für die „gute“ Gestaltung von grafischen Benutzeroberflächen darstellen. Auf dieser Stufe ist unter anderem das Modell der Informationsverarbeitung von Fitts und Posner (1967, zitiert nach Welsh et al., 2009) einzuordnen, das im Bereich der Mensch-Computer Interaktion breite Anwendung gefunden hat. Dieses Modell wurde von Sanders (1998) erweitert. In diesem Modell wird eine Zuordnung der angesprochenen kognitiven Prinzipien auf die Stufen der Reaktionswahl und das Reaktionsverhalten vorgenommen. Deshalb soll dieses Modell und seine Erweiterung genauer dargestellt werden.

1.2.1.2 Das Modell der Informationsverarbeitung von Fitts und Posner (1967)

In weiterer Folge wird also auf ein im Feld der Mensch-Computer-Interaktion angewandtes generelles Modell der Informationsverarbeitung von Fitts und Posner (1967, zitiert nach Welsh et al., 2009) zurückgegriffen, welches sich zur Beschreibung der Informationsverarbeitung in Wahl-Reaktions-Aufgaben sehr gut eignet und im Wesentlichen drei grundlegende Verarbeitungsstufen postuliert, die ganz allgemein als Reizidentifikation, Reaktionswahl und Reaktionsprogrammierung bezeichnet werden (Welsh et al., S. 4; Proctor & Vu, 2009). Die Reizidentifikation ist mit Prozessen der Wahrnehmung von Reizen verknüpft, während sich die Reaktionswahl auf Übersetzungsprozesse zwischen Input (Reiz) und Output (Reaktion) und die Wahl einer Reaktion bezieht. In der letzten Stufe, der Reaktionsprogrammierung, geht es um die Organisation der gewählten Reaktion auf den Reiz. Die Stufen der Reizidentifikation und Reaktionsprogrammierung werden dabei als Funktionen von Reiz- und Reaktionseigenschaften aufgefasst. Die Reaktionswahl dagegen wird von Vorgängen bestimmt, die sich auf die Prozesse zwischen Reizaufnahme und Reaktion beziehen (Welsh et al., 2009; Proctor & Vu, 2009).

1.2.1.3 Erweiterung des Modells durch Sanders (1998)

Sanders (1998) vollzieht eine weitere Ausdifferenzierung der Stufen der Reizidentifikation und der Reaktionsausführung, die auch bei Proctor und Vu (2009) genau beschrieben wird. Die Reizidentifikation (*Perceptual Encoding*) besteht demnach aus den Substufen der Vorverarbeitung (*Preprocessing*), der Merkmalsextraktion (*Feature Extraction*) sowie der

eigentlichen Identifikation (*Identification*). Die Reaktionsausführung wird weiter untergliedert in motorische Programmierung (*Motor Programming*) und motorische Anpassung (*Motor Adjustment*). Abbildung 2 gibt einen Überblick über die Erweiterung des Modells mit den verschiedenen Verarbeitungsstufen.

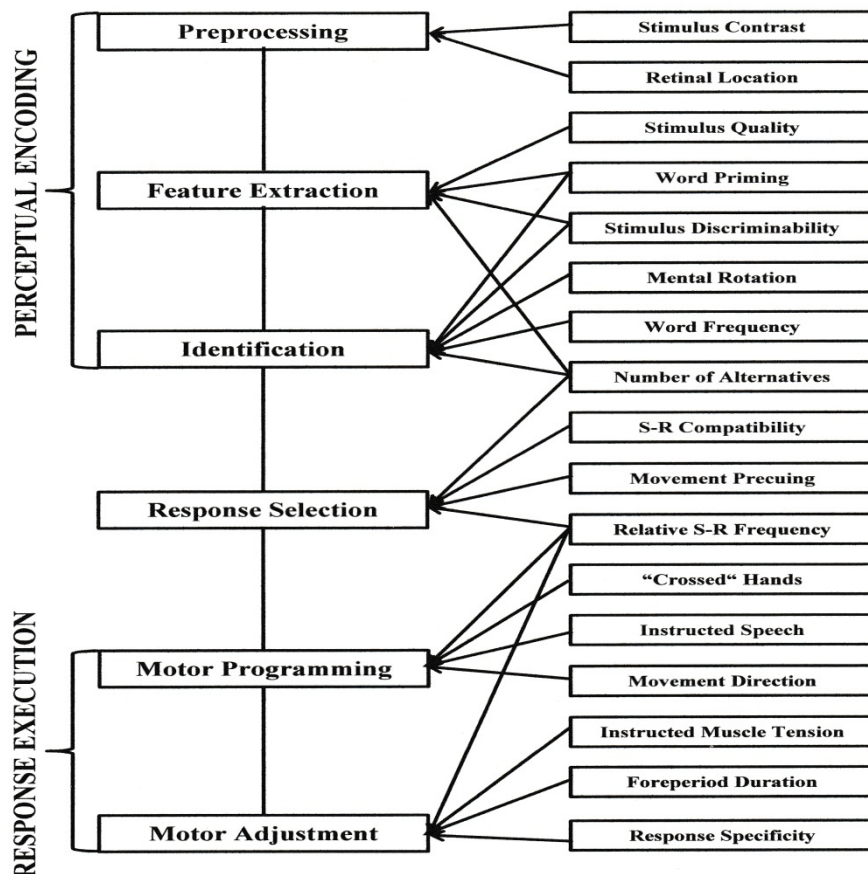


Abbildung 2. Die drei Informationsverarbeitungsstufen „Perceptual Encoding“, „Response Selection“ und „Response Execution“ und diese Stufen beeinflussende Variablen (darunter auch die angesprochenen kognitive Prinzipien) auf Basis der Taxonomie von Sanders (1998) (aus Proctor & Vu 2009, S. 25, erweitert durch Maurer, 2015).

Wie im Kapitel „2. Methode“ zu zeigen sein wird, erfordern die Computeraufgaben, welche die Versuchspersonen bearbeiten müssen, Informationsverarbeitungsprozesse, die den Verarbeitungsstufen Reaktionsauswahl (in Abbildung 2 *Response Selection*) und Reaktionsausführung (in Abbildung 2 *Response Execution*) zugeordnet werden können. Aus diesem Grund wird in weiterer Folge genauer auf diese beiden Verarbeitungsstufen eingegangen.

1.2.1.3.1 Reaktionswahl

Gemäß Welsh et al. (2009) stehen auf der Verarbeitungsstufe der Reaktionswahl sogenannte „Translationsprozesse“ zwischen dem Input (dem Reiz) und dem Output (der Reaktion) im

Vordergrund, die beschrieben werden als „the seat of the human ‚interface‘ between perception and action. Moreover, the effectiveness of translation processes at this interface is influenced to a large extent by the relation between perceptual inputs (e.g., stimuli) and motor outputs (e.g., responses)” (S. 5). Anschließend werden diejenigen kognitiven Prinzipien, die auf dieser Verarbeitungsstufe wirksam sind und die in dieser Studie interessieren, näher beschrieben.

1.2.1.3.1.1 Das Gestaltgesetz Nähe

Das Gestaltgesetz Nähe ist eines der fünf Gestaltgesetze, die als Nähe, Gleichheit, Kontinuität, Geschlossenheit und Verbundenheit bezeichnet werden (Koffka, 1935; Trimmel, 2013). Es besagt, dass näher beieinander Liegendes eher als eine Einheit, also als zusammengehörig, gesehen wird (Trimmel, 2013, S. 45). Sollen also bestimmte Interaktionselemente einer grafischen Benutzeroberfläche als zusammengehörig gesehen werden, dann dürfen die Abstände zwischen ihnen nicht zu groß sein und umgekehrt dürfen Interaktionselemente, die nicht zusammengehören, nicht zu nah beieinander stehen, um nicht miteinander in Verbindung gebracht werden zu können (Dahm, 2006, S. 244).

1.2.1.3.1.2 Das Prinzip des natürlichen Mappings

Donald Norman hat sich mit diesem zentralen Begriff eingehend befasst (Norman, 1989). Im Kern bezeichnet der Begriff die Beziehung zwischen zwei Dingen. Demnach beschreibt Mapping „die Abbildung der Funktion des Interaktionselements auf die damit gesteuerte Funktion“ (Dahm, 2006, S. 103). Beispielsweise ist für Norman ein Gerät dann leicht zu benutzen, wenn die Bedienungsvorrichtungen und Anzeigenfelder natürliche Mappings nutzen (Norman, 1989, S. 37). Ein Beispiel für ein natürliches Mapping ist nach Norman das Lenken eines Autos. Wenn man das Lenkrad nach rechts dreht, fährt auch das Auto nach rechts (Norman, 1989, S. 35). Natürliches Mapping liegt also dann vor, wenn die Interaktionselemente in Form und Anordnung die gesteuerten Objekte direkt abbilden (Dahm, 2006, S. 103). Ist das nicht der Fall, kann es zu Problemen für den Anwender kommen.

1.2.1.3.1.3 Reiz-Reaktions-Kompatibilität

Im Bereich der Mensch-Computer Interaktion sind vor allem die zahlreichen Publikationen zum Thema der Reiz-Reaktions-Kompatibilität bedeutsam (Müsseler, Aschersleben & Prinz, 1996; Proctor & Vu, 2006, zitiert nach Proctor & Vu, 2010; Welford, 1980, zitiert nach Müsseler, Aschersleben & Prinz, 1996). Beginnend mit den Untersuchungen von Fitts und Seeger (1953) sowie Fitts und Deininger (1954, zitiert nach Proctor & Vu, 2010, S. 630)

konnte gezeigt werden, dass Fehler bei der Reaktionswahl sowie Reaktionszeiten davon abhängen, ob Reize und Reaktionen in einer räumlich kompatiblen Anordnung aufeinander abgestimmt sind oder nicht:

Wenn die Reizinformation geeignet ist, räumliche Eigenschaften der geforderten Reaktion direkt zu spezifizieren, tritt ein deutlicher Leistungsvorteil ein, und umgekehrt ist eine deutliche Leistungseinbuße zu beobachten, wenn sie räumliche Eigenschaften aufweist, die geeignet sind, irgendeine andere als die jeweils geforderte Reaktion zu spezifizieren (Müsseler et al., 1996, S. 325-326).

In der vorliegenden Studie wird dieses Phänomen insofern genutzt, als das bei einem Teil der Computeraufgaben kompatible Lern- mit inkompatiblen Umlernprozessen in ihren Auswirkungen auf das menschliche Informationsverarbeitungssystem untersucht werden.

1.2.1.3.2 Reaktionsausführung – Das Fitts'sche Gesetz

Auf der Verarbeitungsstufe der Reaktionsausführung ist vor allem das sogenannte Fitts'sche Gesetz relevant, welches besagt, dass in Abhängigkeit von Zielgröße g und dem Abstand d zwischen zwei Zielgrößen die Dauer der Bewegung zwischen den Zielgrößen gemäß der Gesetzmäßigkeit $t = a + b \times \log_2(2d/g)$ abhängig ist (Fitts, 1954; Müsseler et al., 1996, S. 345; Trimmel, 2013). Obwohl in der Zwischenzeit die allgemeine Gültigkeit dieser Gesetzmäßigkeit in Frage gestellt wird (Welsh et al., 2009, S. 4-5) stellt es doch nach wie vor ein wichtiges Prinzip im Bereich der Mensch-Computer Interaktion dar (Proctor & Vu, 2010, S. 631-632).

1.2.2 Das Belastungs-Beanspruchungskonzept der Ergonomie

Die vorliegende Arbeit orientiert sich an dem Belastungs-Beanspruchungskonzept der Ergonomie, welches zwischen von außen auf den Menschen einwirkenden Belastungen und aufgabeninhärenten Beanspruchungen unterscheidet und annimmt, dass erstere zu emotionalen Stress- und Belastungsreaktionen führen, während letztere mentale Beanspruchungen auslösen sollen (Oesterreich, 2001; Rohmert, 1984, zitiert nach Manzey, 1998, S. 800). In der psychophysiologischen Forschungsliteratur ist ebenfalls die Unterscheidung zwischen den Konzepten Stress und Beanspruchung zu finden (Gaillard & Kramer, 2000). Darüber hinaus folgt die internationale Standardisierung nach ISO 10075 zur mentalen Beanspruchung im Grunde dieser Differenzierung (ISO 10075, 2000, zitiert nach Young, Brookhuis, Wickens & Hancock, 2015, S. 2). Obwohl diese Grenzziehung zwischen Stress und mentaler Beanspruchung in der Literatur oftmals anzutreffen ist, muss darauf hingewiesen werden, dass manche Autoren von einer strengen

Unterscheidung zwischen Stress und kognitiver Beanspruchung absehen, und dagegen die Ähnlichkeit dieser Konzepte hervorheben (Szalma & Hancock, 2009, S. 96). An dieser Stelle sei als Ergänzung ebenfalls angemerkt, dass alternativ zur Konzeption der mentalen Beanspruchung im bildungspsychologischen Bereich die „Cognitive Load Theory“ entwickelt wurde, die in ganz ähnlicher Weise von verschiedenen Beanspruchungen auf das menschliche Informationsverarbeitungssystem (intrinsisch, extrinsisch und passend) ausgeht und vorwiegend im Kontext der Optimierung von Lernstrategien angewandt wird (Antonenko, Paas, Grabner & van Gog, 2010; Paas, van Gog & Sweller, 2010; Sweller, 2010; van Gog, Paas & Sweller, 2010).

1.2.2.1 Das „Drei-Ebenen-Messkonzept“

Die Forderung, dass in psychophysiologischen Experimenten die Verhaltensebene, die physiologische Ebene, sowie die verbal-subjektive Ebene repräsentiert sein sollen, wird von verschiedenen, in diesem Bereich wirkenden Autoren aufgegriffen (etwa Lutzenberger et al., 1985, S. 70; Trimmel, 1990, S. 82). Auch Manzey bemerkt dazu, dass die Frage nach Art und Stärke mentaler Beanspruchungsreaktionen zentral für eine Mehrebenenanalyse ist, bei der neben objektiven Verhaltensindikatoren auch subjektive Maße und psychophysiologische Variablen erfasst werden sollen (1998, S. 801). Dieses Ansatzes bedienen sich beispielsweise auch Brookhuis und deWaard (Brookhuis & de Waard, 2001).

1.2.2.2 Emotionale Belastung

1.2.2.2.1 Definition

Im Sinne des Belastungs-Beanspruchungskonzeptes werden unter emotionalen Belastungen Reaktionen verstanden, die durch „ausführungsspezifische Belastungsfaktoren wie Zeitdruck, Lärm, Hitze, Gefahren, soziale Konflikte ausgelöst werden und mit aversiven Gefühlen der Angst und Hilflosigkeit verbunden sind“ (Manzey, 1998, S. 800; Wieland-Eckelmann, 1992).

1.2.2.2.2 Messmethodik

Die wesentlichen Operationalisierungsmöglichkeiten für emotionale Belastungsreaktionen stellen subjektive Belastungseinschätzungen sowie Kennwerte der elektrodermalen Aktivität dar.

1.2.2.2.2.1 Subjektive Angaben

Eine Möglichkeit besteht darin, dass subjektive Befinden über Fragebögen zu ermitteln (zum Beispiel Szameitat, Rummel, Szameitat & Sterr, 2009). Auch Messinstrumente wie der NASA-Task Load Index (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988), die in erster Linie mentale

Beanspruchungszustände zu erfassen suchen, beinhalten zumindest eine oder auch mehrere Fragen, zumeist zur erlebten Frustration (wie bei Selvidge, Chaparro & Bender, 2002).

1.2.2.2.2 Physiologie: Elektrodermale Aktivität als Indikator emotionaler Belastung

Während Zusammenhänge zwischen der elektrodermalen Aktivität und mentalen Beanspruchungszuständen weniger gut belegt sind und hauptsächlich über phasische Parameter gesucht und erforscht werden, konnten tonische Maße der elektrodermalen Aktivität als psychophysiologische Erregungs- und Aktivierungsmaße bestimmt werden (Manzey, 1998, S. 846).

Dabei wurde festgestellt, dass die Anzahl spontaner phasischer Hautleitwertserhöhungen in einer bestimmten Zeiteinheit - ein tonisches Maß (Gramann & Schandry, 2009, S. 71) - ein valider Indikator von emotionalen Belastungsreaktionen ist und eine spezifische Sensitivität bei Computertätigkeiten aufweist (Boucsein, 2000, 2012; Boucsein & Backs, 2000). Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass in letzter Zeit die Indikatorfunktion des Hautleitfähigkeitsniveaus für mentale Beanspruchungszustände untersucht und festgestellt wurde (Miyake et al., 2009; Reimer & Mehler, 2011).

Boucsein (2000, 2012) hält aufgrund zahlreicher Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Parametern der elektrodermalen Aktivität und emotionaler Belastung im Kontext der Mensch-Computer-Interaktion zusammenfassend fest, dass sich phasische und tonische Maße der elektrodermalen Aktivität auf verschiedene Beanspruchungs- und Belastungszustände beziehen. Während einiges dafür spricht, phasische Parameter wie die Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion mit zentralen Informationsprozessen in Verbindung zu bringen, ist die Anzahl der Spontanfluktuationen als tonisches Maß ein valider Indikator von emotionalen Belastungsreaktionen, wie Boucsein und Backs (2000) auch gemäß Abbildung 3 (S. 18) in einer Auflistung der zahlreichen Untersuchungen zur elektrodermalen Aktivität im Kontext der Mensch-Computer Interaktion bis zum Jahr 2000 gezeigt haben. Üblicherweise wurden dabei Stressreaktionen im Zusammenhang mit Response-Zeiten von Computeranwendungen und –systemen untersucht und unter anderem über eine gesteigerte elektrodermale Aktivität operationalisiert.

Auch neuere Untersuchungen beschäftigen sich vorzugsweise mit Auswirkungen von Responsezeiten in Bezug auf emotionale Belastungsreaktionen. So zeigten sich in der Studie von Trimmel, Meixner-Pendleton und Haring (2003) gesteigerte tonische Maße (Hautleitfähigkeitsniveau, Anzahl der Spontanfluktuationen) der elektrodermalen Aktivität als Ausdruck von Stressreaktionen in Abhängigkeit von der Dauer der Responsezeit. Auch für

phasische Parameter wie der Amplitude der Hautleitfähigkeitsreaktion konnte erneut nachgewiesen werden, dass es bei verzögerten Responsezeiten zu einem Anstieg der Hautleitfähigkeitsreaktion kommt (Kohrs, Hrabal, Angenstein & Brechmann, 2014).

TABLE 1.4
Demonstrated Sensitivity of the Electrodermal System

<i>Measure</i>	<i>Sensitivity</i>	<i>Study</i>	<i>Type</i>
SCR amplitude (during 5-second intervals) ↑	Short-term workload during approach in simulated flight	Lindholm and Cheatham (1983)	S
SRL ↓	Before and after tower jump of parachutists	Sharma et al. (1994)	F
NS.SCR frequency ↑	Emotional strain during prolonged interruptions of patent examiners	Boucsein and Thum (1997)	F
NS.SCR frequency ↑	Emotional load by prolonged SRTs and time pressure	Schaefer et al. (1986)	L
NS.SCR frequency ↑	Emotional load by prolonged SRTs and time pressure	Kuhmann et al. (1987)	L
NS.SCR frequency ↑	Perceived difficulty of road curvature during car driving	Richter et al. (1998)	F
SCR amplitude ↑	Increased emotional load during car driving	Heino et al. (1990)	F
SCR amplitude ↑	Probability of an aversive event	Backs and Grings (1985)	L
SCR amplitude ↑	User-hostile task structure in HCI	Muter et al. (1993)	L
Integrated SCR amplitude ↑	Developing emotional strain	Kuhmann (1989)	L
NS.SRR frequency ↓	Decreasing emotional load under long system response times in HCI when time pressure is absent	Kuhmann et al. (1990)	L
NS.SCR frequency ↓	After prolonged simulated night shift work and prolonged work under noise; also as aftereffect of night shift work	Boucsein and Ottmann (1996)	S

Note. HCI = human-computer interaction; SCR = skin conductance response; SRL = skin resistance level; SRR = skin resistance response; SRT = system response time; NS.SCR = nonspecific skin conductance response.

Abbildung 3. Zusammenfassende Betrachtung der Untersuchungen zur elektrodermalen Aktivität und emotionalen Belastungsreaktionen (aus Boucsein & Backs, 2000, S. 16).

1.2.2.3 Mentale Beanspruchung

1.2.2.3.1 Definition

Obwohl sich die Forschung seit mehreren Jahrzehnten mit dem Begriff der „mentalen Beanspruchung“ (engl. mental workload) beschäftigt hat und zahlreiche Untersuchungen zu diesem Thema publiziert worden sind, ist aus der bisherigen Fachliteratur bislang keine einheitliche Definition dieses Begriffes zu erkennen (Cain, 2007; Young et al., 2015). Daher orientiert sich die vorliegende Studie an der im Sinne des Belastungs-Beanspruchungskonzeptes vorgenommenen Begriffsbestimmung, wonach unter mentalen Beanspruchungen „derjenige Anteil an der Gesamtbeanspruchung ... bezeichnet [wird], der von den aufgabenspezifischen Anforderungen an das menschliche Informationsverarbeitungssystem („informatrische Belastungen“, Schmidtke, 1993, S. 143) und damit von der Aufgabenschwierigkeit bzw. -komplexität determiniert wird“

(Manzey, 1998, S. 800). Ein weiteres Argument für diese Definition besteht darin, dass sich auch die diesbezügliche internationale Normierung an der Differenzierung zwischen emotionaler Belastung und mentaler Beanspruchung orientiert (Young et al., 2015, S. 2).

1.2.2.3.2 Messmethodik

Wie bereits in Abschnitt „1.2.2.1 Das ‚Drei-Ebenen-Messkonzept‘“ ausgeführt wurde, sollten mentale Beanspruchungszustände durch objektive Verhaltensindikatoren, subjektive Angaben sowie physiologische Parameter quantifiziert werden (Brookhuis & de Waard, 2001; Lutzenberger et al., 1985; Manzey, 1998; Trimmel, 1990).

1.2.2.3.2.1 Objektive Verhaltensindikatoren

Auf der Verhaltensebene werden in der Forschung üblicherweise Reaktionszeitmessungen und Fehlerzahlen beziehungsweise Trefferraten verwendet (Cain, 2007; Young et al., 2015). Als Beispiel wird in der Literatur oftmals das aus aufmerksamkeitstheoretischen Modellvorstellungen entwickelte Dual-Task-Paradigma angeführt, bei der zwei Aufgaben gleichzeitig bearbeitet werden müssen, und der Grad an mentaler Beanspruchung über die Leistung im zweiten Task operationalisiert wird (Cain, 2007, S. 13-16; Young et al. 2015, S. 4). Aber auch ohne Zweitaufgabe werden in der Forschung zur Erfassung der Auswirkungen mentaler Beanspruchung Reaktionszeiten und Trefferraten verwendet. Dabei kommt es regelmäßig zu einem Anstieg der Reaktionszeiten und zu einer Verringerung der Trefferraten (beispielsweise Murata, 2005; Pesonen, Hämäläinen & Krause, 2007).

1.2.2.3.2.2 Subjektive Angaben

Verschiedene Fragebögen wurden entwickelt, um den Grad an mentaler Beanspruchung zu erfassen (Cain, 2007, S. 7-13; Young et al., 2015, S.4). Mentale Beanspruchung führt dabei zu höheren Skalenpunkten (stellvertretend Berka et al., 2007, Murata, 2005).

1.2.2.3.2.3 Physiologie: Das Spontan-Elektroenzephalogramm (Spontan-EEG) als Indikator mentaler Beanspruchung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der EEG-Spontanaktivität im Gegensatz zur Analyse bestimmter Komponenten ereigniskorrelierter Potentiale. Darunter versteht man Spannungsveränderungen unterschiedlicher Frequenz und Amplitude, die sich von der Schädeldecke des lebenden Organismus abgreifen lassen und sowohl tonische als auch phasische Komponenten der zentralnervösen Aktivität widerspiegeln (Manzey, 1998, S. 817). Dabei wird üblicherweise mittels der Fast Fourier Transformation die absolute und relative Power in den EEG-Frequenzbändern ausgewertet (Pivik et al., 1993). Üblicherweise wird die

Aktivität im Spontan-EEG in die Frequenzbänder Delta, Theta, Alpha, Beta und Gamma unterteilt (Sauseng & Klimesch, 2008). In Abbildung 4 ist die Frequenzbandeinteilung, wie sie bei Gramann und Schandry (2009, S. 138-139) dargestellt wird, wiedergegeben.

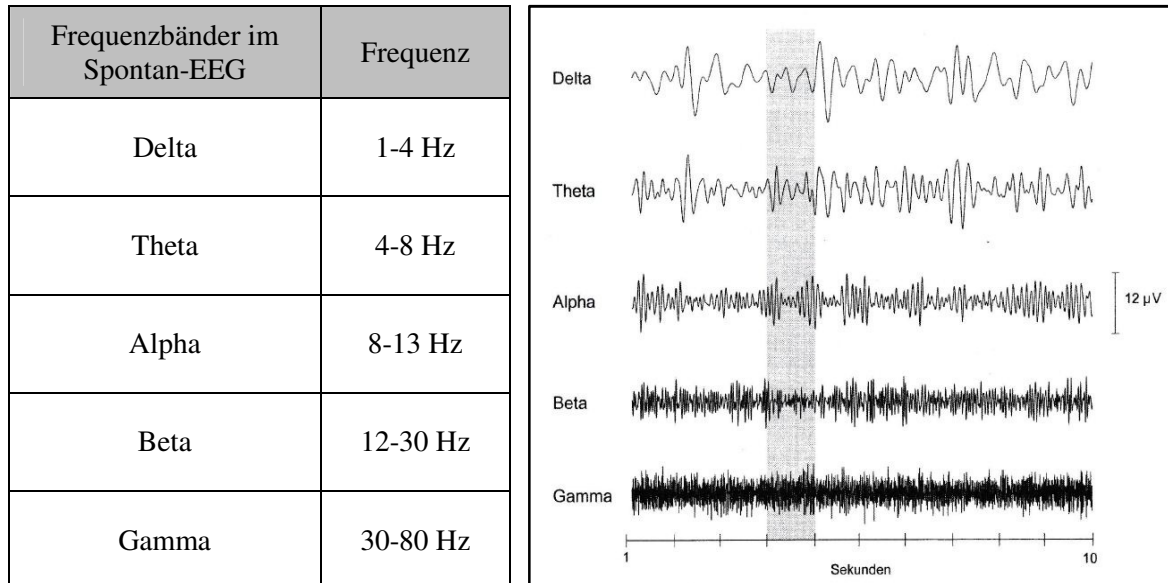


Abbildung 4. Eine Einteilung der Frequenzbänder im Spontan-EEG (links; auf Basis von Gramann & Schandry, 2009, S. 138-139) sowie Beispiele für verschiedene Frequenzbänder des Spontan-EEG (rechts; aus Gramann & Schandry, 2009, S. 139).

In den letzten Jahren haben Forschungsarbeiten zum Zusammenhang von EEG-Aktivität und mentaler Beanspruchung zugenommen (Borghini, Astolfi, Vecchiato, Mattia & Babiloni, 2014; Brouwer et al., 2012; Hogervorst, Brouwer & van Erp, 2014; Mach, Hunter & Grewal, 2010; Sauseng & Klimesch, 2008). In Bezug auf einzelne Frequenzbänder des EEG konnte gezeigt werden, dass insbesondere die frontale Theta-Aktivität bei mental beanspruchenden Aufgaben zunimmt (Klimesch, 1996, 1999; Klimesch, Doppelmayr, Schimke & Ripper, 1997; Wascher et al., 2014). Neuere Arbeiten diskutieren auch, inwieweit andere, insbesondere die Delta-Aktivität, ebenfalls oder sogar verbessert die mentale Belastung abbildet (Knyazev, 2012). Obwohl sich für Manzey ein deutlich inkonsistentes Bild zum Zusammenhang zwischen der Aktivität im Alpha-Band und der mentalen Beanspruchung ergibt (Manzey, 1998, S. 819), so zeigt sich in der überwiegenden Zahl der Studien doch, dass mit zunehmender mentaler Beanspruchung die Aktivität im Alpha-Band abnimmt (etwa Fairclough & Venables, 2006; Sauseng et al., 2006). Eine Zunahme der Aktivität im Beta-Band während mentaler Beanspruchung konnte ebenfalls beobachtet werden (Boucsein & Backs, 2000, S. 8; Pesonen et al., 2007). In letzter Zeit werden darüber hinaus auch die Untersuchungen in Bezug auf das Gamma-Band intensiviert und es wird erforscht,

inwieweit Aktivitäten in diesem Band mit kognitiven Prozessen zusammenhängen (Başar, 2013; Herrmann, Fründ & Lenz, 2010; Herrmann, Munk & Engel, 2004; Jensen, Kaiser & Lachaux, 2007; Rieder, Rahm, Williams & Kaiser, 2011; Roux & Uhlhaas, 2014; Ward, 2003). Im Folgenden wird die bisherige Forschungsliteratur zum Spontan-EEG für jedes Frequenzband im Überblick besprochen.

1.2.2.3.2.3.1 DELTA

Wenngleich in jüngster Zeit verstärkt versucht wurde, Zusammenhänge zwischen kognitiven Prozessen und der Aktivität im Delta-Band zu erforschen (Knyazev, 2012; Lakatos, Karmos, Mehta, Ulbert & Schroeder, 2008; Schroeder & Lakatos, 2008; Will & Berg, 2007) widmete sich die bisherige Forschung kaum dem Zusammenhang zwischen mentaler Beanspruchung und dem Delta-Band (Harmony et al., 1996). Obwohl in der Studie von Harmony (1996) bei mental beanspruchenden Aufgaben ein Anstieg der Aktivität im Delta-Band beobachtet werden konnte und sich somit eine bestimmte Wirkungsbeziehung zwischen mentaler Beanspruchung und dem Delta-Band abzuzeichnen schien, können aufgrund des nur spärlich vorhandenen Forschungsstandes in weiterer Folge nur ungerichtete Hypothesen zu diesem Frequenzband formuliert werden.

1.2.2.3.2.3.2 THETA

Wie Tab. 1 (S. 22) zeigt, ist die Zunahme der Aktivität im Theta-Band bei mental beanspruchenden Aufgaben durch zahlreiche Labor-, Simulations- und Feldstudien sehr gut belegt worden. Der Forschungsstand lässt daher prinzipiell die Formulierung von gerichteten Hypothesen zu.

Tabelle 1. Modifizierte Darstellung der Studien zur Theta-Aktivität und mentaler Beanspruchung auf Basis der tabellarischen Auflistungen von Boucsein und Backs (2000), Ribback (2002) und Borghini et al. (2014).

SPONTAN EEG: THETA-AKTIVITÄT	
Sensitivität / Beanspruchungsart	Studie
Verschiedene mentale Beanspruchungen im Labor	Schacter, 1977 ↑ Yamaguchi, 1981 ↑
Diverse Aufgabenanforderungen	Smith, Gevins, Brown, Karnik & Du, 2001 ↑ Dussault, Jouanin, Philippe & Guezenec, 2005 ↑ Borghini, Isabella, Vecchiato, Toppi, Astolfi, Caltagirone & Babiloni, 2011 ↑ Postma, Schellekens, Hanson & Hoogeboom, 2005 ↑ Berka, Levendowski, Lumicao, Yau, Davis, Zivkovic, Olmstead, Tremoulet & Craven, 2007 ↑ Klimesch, Doppelmayr, Schimke & Ripper, 1997 ↑ Fairclough, Venables & Tattersall, 2005 ↑
Kopfrechenaufgaben	Pigeau, Hoffmann, Purcell & Moffitt, 1988 ↑
Konzeptlernaufgaben	Lang, Lang, Diekmann & Kornhuber, 1987 ↑ Mecklinger & Bösel, 1989 ↑
Visuelle Überwachungsaufgaben	Gundel & Wilson, 1992 ↑
Flugsimulator	Brookings, Wilson & Swain, 1996 ↑ Caldwell & Caldwell, 2000 ↑
Vigilanzaufgaben	Pennekamp, Bösel, Mecklinger & Ott, 1994 ↑
Visuelle Diskriminationsaufgaben	Walter, Rhodes & Adey, 1967 ↑
Trackingaufgaben (visumotorische Anforderungen)	Lang, Lang, Diekmann & Kornhuber, 1987 ↑
Fahrsimulator	Laukka, Järvillehto, Alexandrov & Lindqvist, 1995 ↑
Signalentdeckungsaufgaben, visuell-figurale Maßstabaufgaben und Trackingaufgaben	Fournier, Wilson & Swain, 1999 ↑
Gedächtnissuchaufgaben	Gundel & Wilson, 1992 ↑
Arbeitsgedächtnis (visuell und räumlich)	Gevins, Smith, Leong, McEvoy, Whitfield, Du & Rush, 1998 ↑ Rugg & Dickens, 1982 ↑ Wilson, Swain & Ullsperger, 1999 ↑
Episodisches Gedächtnis	Klimesch, Schimke & Schwaiger, 1994 ↑
Enkodierung und Abruf von Wörtern	Klimesch, Doppelmayr, Schimke & Ripper, 1997 ↑
Abruf von Wörtern	Burgess & Gruzelier, 2000 ↑
Arbeitsgedächtnis (räumlich)	Gevins & Smith, 2000 ↑
Reale Flüge	Hankins & Wilson, 1998 ↑ Wilson, 2001 ↑
Nachtfahrten von LKW-Fahrern	Kecklund & Akerstedt, 1993 ↑
Ermüdung beim Autofahren	Lal & Craig, 2001 ↑
Hohe mentale Anforderungen in der Mensch-Computer-Interaktion	Yamamoto, Matsuoka & Ishikawa, 1989 ↑
Gedächtnisaufgaben in der Mensch-Computer-Interaktion	Yamada, 1998 ↑

Anmerkungen: Die Pfeile beziehen sich darauf, ob die Werte in der jeweiligen Studie bezüglich des betreffenden Frequenzbandes anstiegen (↑) oder abstiegen (↓).

1.2.2.3.2.3.3 ALPHA

Gemäß Tab. 2 wurde in der überwiegenden Zahl der Publikationen zum Zusammenhang zwischen dem Alpha-Band und mentalen Beanspruchungszuständen eine deutliche Wirkungsbeziehung festgestellt, nach der es jeweils zu einer Abnahme der Aktivität in diesem Band gekommen ist. Der Forschungsstand lässt daher auch hier prinzipiell die Formulierung von gerichteten Hypothesen zu. Allerdings existieren in der Literatur auch gegenläufige Ansichten, die trotz der zahlreichen übereinstimmenden Ergebnisse von einer inkonsistenten Befundlage zu diesem Thema ausgehen (Manzey, 1998) und daher beispielsweise versuchen, über eine differenziertere Einteilung in ein unteres (8-10 Hz) und oberes Alpha-Band (10-12 Hz) der eigens behaupteten Inkonsistenz Rechnung zu tragen (etwa Ribback, 2002).

Tabelle 2. Modifizierte Darstellung der Studien zur Alpha-Aktivität und mentaler Beanspruchung auf Basis der tabellarischen Auflistungen von Boucsein und Bacs (2000), Ribback (2002) und Borghini et al. (2014).

SPONTAN EEG: ALPHA-AKTIVITÄT	
Sensitivität / Beanspruchungsart	Studie
Beanspruchung bei echtem Flug	Sterman & Mann, 1995 ↓
Flugsimulator, Zusammenhang mit Aufgabenschwierigkeit	Brookings, Wilson & Swain, 1996 ↓
	Natani & Gomer, 1981 ↓
	Sterman, Schummer, Dushenko & Smith, 1988 ↓
Während taktischer Verteidigungsübung nach Schlafentzug	Haslam, 1982 ↑
Schläfrigkeit von Piloten während aufeinanderfolgender Nachtflüge	Gundel, Drescher, Maaß, Samel & Vejvdova, 1995 ↓
Schläfrigkeit von Lokführern bei Nacht	Torsvall & Åkerstedt, 1983, 1987 ↑
Diverse Aufgabenanforderungen	Slobounov, Fukada, Simon, Rearick & Ray, 2000 ↓
	Fairclough, Venables & Tattersall, 2005 ↓
	Fairclough & Venables, 2006 ↓
	Sauseng, Klimesch, Freunberger, Pecherstorfer, Hanslmayr & Doppelmayr, 2006 ↓
	Fournier, Wilson & Swain, 1999 ↓
	Gevins, Smith, Leong, McEvoy, Whitfield, Du & Rush, 1998 ↓
	Ryu & Myung, 2005 ↓
	Smith, Gevins, Brown, Karnik & Du, 2001 ↓
	Davidson, Chapman, Chapman & Henriques, 1990 ↓
	Earle & Pikus, 1982 ↓
Mentale Beanspruchungen im Labor	Gale, 1987 ↓
	Gevins & Schaffer, 1980 ↓
	Mecklinger & Bösel, 1989 ↓
	Pigeau, Hoffmann, Purcell & Moffitt, 1988 ↓
	Rebert, Low & Larson, 1984 ↓
	Sirevaag, Kramer, De Jong & Mecklinger, 1988 ↓
Visuell-räumliche Aufgabe	Dujardin, Bourriez & Guieu, 1995 ↓
Arbeitsgedächtnis, Wörter	Burgess & Gruzelier, 2000 ↓

Anmerkungen: Die Pfeile beziehen sich darauf, ob die Werte in der jeweiligen Studie bezüglich des betreffenden Frequenzbandes anstiegen (↑) oder abstiegen (↓).

1.2.2.3.2.3.4 BETA

Zum Zusammenhang zwischen mentaler Beanspruchung und der Aktivität im EEG-Frequenzband Beta (13-30 Hz) sind bislang nur wenige Studien erschienen. Ribback (2002) fasst die wenigen Studien tabellarisch in Abbildung 5 zusammen.

Parameter	Kennwert	Beanspruchungsart	Reaktionsrichtung (Anstieg / Abstieg)
Beta-Frequenz des Spontan-EEG	Beta 1-Band	Flugsimulator	Brookings, Wilson & Swain, 1996 ↑
	Beta 2	visuelle Orientierungsaufgabe	Barcelo, Gale & Hall, 1995 ↑
	Beta 2	Arbeitsgedächtnis, Behalten von Buchstaben	Wilson & Swain, 1999 ↑
	Beta 1-Band	visuelle Konzeptlernaufgaben	Mecklinger & Bösel, 1989 ↓
		Arbeitsgedächtnis (räumlich und visuell)	Gevens, Smith, Leong, McEvoy, Whitfield, Du & Rush, 1998 ↔
		Piloten (Langzeitflüge)	Wright & McGown, 2001 ↑

Tab. 5: Beta-Frequenz. Ergebnisse verschiedener Studien zur mentalen Beanspruchung

Abbildung 5. Tabellarische Zusammenfassung der Studien zwischen dem Beta-Band und mentaler Beanspruchung (aus Ribback, 2002, S. 56).

Dabei betonte Ribback die Widersprüchlichkeit der Ergebnisse und ließ die Richtung der Wirkungsbeziehung (Anstieg oder Absinken der Aktivität im Beta-Band) offen (2002, S. 55). Dagegen kommt es nach Boucsein und Backs (2000, S. 8) bei mental beanspruchenden Aufgaben zu einem Anstieg der Beta-Aktivität, wobei von diesen Autoren keine Differenzierung in ein unteres und oberes Beta-Band vorgenommen wird. Es muss allerdings darauf hingewiesen werden, dass die Unterteilung des Beta-Bandes in diesen Studien nicht einheitlich getroffen wurde, sodass es zu einer Bandbreite der Frequenzen für Beta 1 von 12.3 - 17.5 Hz und für Beta 2 von 16 - 24.9 Hz kam (Ribback, 2002). Bei näherer Betrachtung dieser einander entgegengesetzten Behauptungen ließ sich aus der Tabelle jedenfalls feststellen, dass die von Ribback (2002) angezweifelte Konsistenz der Ergebnisse für das Beta 2-Band, nicht jedoch für das Beta 1-Band durchaus gegeben war. In einer neueren Studie von Pesonen et al. (2007) konnte ebenfalls gezeigt werden, dass bei mental beanspruchenden Aufgaben vorwiegend für das untere Beta-Band (10-18 Hz) ereignisbezogene Desynchronisationen auftraten, während es im oberen Beta-Band (14-23 Hz) zu ereignisbezogenen Synchronisationen kam. Diese Unterteilung bedeutet für die Formulierung von Hypothesen, dass für das Beta 1-Band ungerichtete Hypothesen und für das Beta 2-Band gerichtete Hypothesen aufgestellt werden können. Die vorliegende Arbeit baut auch auf einer Unterteilung des Beta-Bandes in Beta 1 und Beta 2 auf.

1.2.2.3.2.3.5 GAMMA

Bezüglich des Gamma-Bandes konnte die bisherige Forschung Zusammenhänge mit verschiedensten kognitiven Prozessen feststellen (Hermann et al., 2010; Rieder et al., 2011). Insbesondere wurde dabei die Rolle dieses EEG-Frequenzbandes im Zusammenhang mit Prozessen des Kurz- und Langzeitgedächtnisses erforscht (etwa Jensen, Kaiser & Lachaux, 2007). Mittlerweile konnte auch gezeigt werden, dass in der Regel bei hoher Beanspruchung des Arbeitsgedächtnisses als Ausdruck mentaler Beanspruchung die Aktivität im Gamma-Band zunimmt (Howard et al., 2003; Meltzer et al., 2008). Darüber hinaus wurden in Studien Zusammenhänge zwischen dem Gamma-Band und den Gestaltgesetzen festgestellt (Müller, Gruber & Keil, 2000; Schadow et al., 2009). In jüngster Zeit wurde die Einteilung des Gamma-Bandes in ein Gamma 1-Band und Gamma 2-Band diskutiert und vorgeschlagen (Crone, Korzeniewska & Franaszczuk, 2011). Dieser Diskussion wird durch eine Unterteilung des Gamma-Bandes in Gamma 1 und Gamma 2 in dieser Arbeit Rechnung getragen. Der Forschungsstand lässt daher grundsätzlich die Formulierung von gerichteten Hypothesen zum Gamma 1-Band zu, da es diesbezüglich schon etliche Forschungsbefunde gibt. Hingegen müssen Hypothesen zum Gamma 2-Band aufgrund des spärlichen Forschungsstandes zweiseitig bestimmt werden.

1.2.3 Forschungshypothese und Forschungsfrage

1.2.3.1 Zur Forschungshypothese

Die der Forschungshypothese zugrunde liegenden Befunde aus der Forschungsliteratur werden zunächst in knapper Form nochmals zusammengefasst:

1.2.3.1.1 Befunde zum Gestaltgesetz der Nähe und zum Fitts'schen Gesetz

Die kognitiven Prinzipien des Gestaltgesetzes der Nähe sowie des Fitts'schen Gesetzes sind durch zahlreiche Publikationen belegt worden (Koffka, 1935; Fitts, 1954; MacKenzie, 1992; Müsseler et al., 1996; Proctor & Vu, 2009, 2015; Trimmel, 2013).

1.2.3.1.2 Befunde zum Prinzip des natürlichen Mappings

Das Prinzip des natürlichen Mappings wurde zusammenfassend bereits in mehreren Publikationen (nicht nur) für eine optimale Gestaltung von User-Interfaces angeführt (Dahm, 2006; Norman, 1989; Shneiderman, 1998).

1.2.3.1.3 Befunde zur Reiz-Reaktions-Kompatibilität

Aufgrund der enormen Befundlage zur Reiz-Reaktions-Kompatibilität (Proctor & Vu, 2006, zitiert nach Proctor & Vu, 2009, Proctor & Vu, 2015; Welford 1980, zitiert nach Müsseler et al., 1996;) lassen sich mehrere Forschungshypothesen aufstellen. Zum einen wird angenommen, dass jedweder Umlernprozess zu erhöhten mentalen Beanspruchungs- und emotionalen Belastungsreaktionen führt. Begründet wird diese Annahme mit dem Befund, dass trotz des Lernens neuer Reiz-Reaktionszuordnungen vorhergehend gelernte „alte“ Reiz-Reaktionszuordnungen erhalten bleiben (Shiu & Chan, 2006). Zum anderen sollten das Erlernen einer analogen, kompatiblen Reiz-Reaktions-Zuordnung mit den geringsten, und das Erlernen einer analogen inkompatiblen Reiz-Reaktionszuordnung mit den höchsten Beanspruchungs- und Belastungsreaktionen einhergehen als das Erlernen und Umlernen von anderen Reiz-Reaktionszuordnungen, da es sich im Falle einer analogen kompatiblen Reiz-Reaktionszuordnung um ein natürliches Mapping im Sinne von Norman (1989) handelt. Das Umlernen einer solchen Reiz-Reaktionszuordnung sollte demnach am Schwierigsten sein.

1.2.3.1.4 Forschungshypothese

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wird folgende Forschungshypothese formuliert:

Wenn Computeraufgaben mit einer grafischen Benutzeroberfläche im Sinne der verschiedenen kognitiven Prinzipien (Gestaltgesetz der Nähe, Fitts'sches Gesetz, Prinzip des natürlichen Mappings, Reiz-Reaktions-Kompatibilität) gestaltet sind, dann sind während der Aufgabenbearbeitung die mentale Beanspruchung und die emotionale Belastung geringer als bei Bearbeitung derselben Computeraufgaben, die nicht im Sinne dieser kognitiven Prinzipien gestaltet sind.

1.2.3.2 Forschungsfrage

Zusätzlich zu diesen Hypothesen interessiert, in welchem Ausmaß die verschiedenen physiologischen Parameter mit den subjektiven Angaben zur mentalen Beanspruchung und emotionalen Belastung korrelieren.

2. METHODE

2.1 Untersuchungsteilnehmer

2.1.1 Ermittlung des Stichprobenumfangs

Für diese experimentelle Studie war insgesamt eine Stichprobengröße von $n = 100$ Probanden geplant. Schätzungen für den optimalen Stichprobenumfang wurden mittels des Programmes G*Power 3 durchgeführt (Faul, Erdfelder, Lang & Buchner, 2007). Unter Annahme eines Signifikanzniveaus von $\alpha = .05$, einer Teststärke von $1 - \beta = .08$ sowie eines mittelgroßen Effektbereiches ($\eta^2 = .12 - .14$) (Bortz & Döring, 2006, S. 606; Field, 2009, S. 58) konnten damit Stichprobenumfänge von $n = 97$ bis $n = 103$ ermittelt werden. Aufgrund dieser Berechnungen wurde die Stichprobengröße mit $n = 100$ Personen bestimmt.

2.1.2 Rekrutierung

Die Anwerbung der Teilnehmer für die experimentelle Studie erfolgte direkt an den verschiedenen Standorten der Universität Wien (Universität Wien Hauptgebäude, Neues Institutsgebäude, Hörsäle und Institute am Campus, Altes AKH). Daher handelte es sich um eine anfallende Stichprobe (Trimmel, 2009, S. 54). Gesucht und ausgewählt wurden dabei vor allem Studenten der Informatik, da aufgrund der thematischen Verankerung der Untersuchung im Bereich der Mensch-Computer-Interaktion von einem vermehrten Eigeninteresse an der Studie auszugehen war. Zusätzlich wurden Personen aus dem Bekanntenkreis des Versuchsleiters angesprochen. Alle Probanden, welche nach Tab. 3 die Ein- und Ausschlusskriterien der geplanten Erhebung erfüllten, wurden eingeladen daran teilzunehmen.

Tabelle 3. Ein- und Ausschlusskriterien für die Auswahl der Teilnehmer an der Studie.

EINSCHLUSSKRITERIEN	AUSSCHLUSSKRITERIEN
1. Frauen und Männer mit einem Mindestalter von 18 Jahren 2. Probanden, die ihr Einverständnis zur Teilnahme an der Studie gegeben haben	1. Personen, die körperlich erkrankt sind und/oder medikamentös behandelt werden (mit Ausnahme der Antibabypille) 2. Personen mit einem implantierten Herzschrittmacher oder Defibrillator 3. Personen mit chronischen oder akuten Herz-Kreislauferkrankungen im Sinne der ICD 4. Personen mit dauerhafter Medikation bei chronischer oder akuter Herz-Kreislauferkrankungen im Sinne der ICD 5. Personen mit starker Sehbehinderung 6. Personen ohne Korrektur der Fehlsichtigkeit 7. Personen mit partiell-funktionaler Sehbehinderung (z.B. Farbenblindheit) 8. Unmündige Personen

2.1.3 Beschreibung der Stichprobe

Insgesamt nahmen 104 Personen an der Studie teil. Davon mussten allerdings 2 Personen von der statistischen Analyse ausgeschlossen werden, da diese die Testung abbrachen. Das durchschnittliche Alter der Stichprobe insgesamt betrug 26.39 (*SD* 6.88) Jahre, wobei die 57 männlichen Teilnehmer im Durchschnitt 27.04 (*SD* 8.02) und die 46 weiblichen Teilnehmer 25.59 (*SD* 5.09) Jahre alt waren. Eine Person machte keine Angaben zum Alter. 73.2% (*N* = 71) der Teilnehmer sprachen Deutsch als Muttersprache, 26.8% (*N* = 26) gaben eine andere Sprache als Muttersprache an. Insgesamt gaben 74.5% (*N* = 76) der Versuchspersonen an, über sehr gute deutsche Sprachkenntnisse zu verfügen. Weitere 18.6% (*N* = 19) verfügten nach eigenen Angaben über gute Deutschkenntnisse. 75% (*N* = 78) aller Teilnehmer hatten als höchste abgeschlossene Ausbildung einen Reifeprüfungsabschluss. Weitere 18.3% (*N* = 19) wiesen einen Hochschulabschluss auf. 72.3% der Versuchspersonen bestanden aus Studenten der Informatik, 20.2 % aus Studenten der Psychologie und weitere 7.4% aus Studenten anderer Studienfächer. Davon studierten 70.6% (*N* = 48) männliche und 29.4% (*N* = 20) weibliche Personen Informatik. Dagegen waren nur 21% (*N* = 4) der Psychologiestudenten männlich und 78.9% (*N* = 15) weiblich. Insgesamt gaben 57.3% (*N* = 59) an, eine Sehbehinderung zu haben. Von den 90.48%, die eine Angabe darüber machten, ob sie eine Sehhilfe trügen, belief sich der Anteil der bejahenden Teilnehmer auf 64.4% (*N* = 56). 41% der Teilnehmer gaben körperliche Beschwerden an, wovon 92.7% (*N* = 38) Kopf- und Rückenschmerzen sowie trockene Augen ausmachten. Mehrfachangaben waren dabei möglich. Gefragt wurde auch nach der Schlafqualität letzter Nacht und der Munterkeit. 54.8% (*N* = 57) der Teilnehmer schliefen demnach entweder gut oder sehr gut. Die Schlafqualität weiterer 29.8% (*N* = 31) war zumindest mittelmäßig. 69.2% (*N* = 72) aller Probanden fühlten sich einigermaßen oder ziemlich munter beziehungsweise ausgeruht. 48.1% (*N* = 50) der Teilnehmer hatten vor der Testung gar keinen oder wenig, 28.8% (*N* = 30) mittelmäßigen Stress. 70.2% (*N* = 73) gaben an, momentan keinen oder wenig Stress zu haben. 24% (*N* = 25) hatten mittelmäßig Stress. Die Deskriptivstatistiken sind in tabellarischer Form dem Anhang „2. Deskriptivstatistiken zur Stichprobe“ beigelegt (S. 172-174).

2.1.4 Stichprobenzuteilung und Fallzahlen für die statistische Analyse

Wie aus Tab. 4 (S. 29) zu sehen ist, konnten die Probanden gleichmäßig auf die Programmversionen 1-8 des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012) aufgeteilt werden, welches in dem Experiment zum Einsatz kam.

Auch war der Anteil männlicher und weiblicher Versuchspersonen pro Programmversion gleichverteilt.

Tabelle 4. Aufteilung der Stichprobe auf die Programmversionen des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012).

PROGRAMMVERSIONEN – STICHPROBENAUFTEILUNG				
VERSION	STATISTIK	GESCHLECHT ¹		GESAMT ²
		MÄNNLICH	WEIBLICH	
1	ANZAHL	6	5	11
	PROZENT (%) innerhalb VERSION	54.5	45.5	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	10.3	10.9	21.2
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	5.8	4.8	10.6
2	ANZAHL	6	4	10
	PROZENT (%) innerhalb VERSION	60	40	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	10.3	8.7	19
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	5.8	3.8	9.6
3	ANZAHL	8	8	16
	PROZENT (%) innerhalb VERSION	50	50	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	13.8	17.4	31.2
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	7.7	7.7	15.4
4	ANZAHL	9	7	16
	PROZENT (%) innerhalb VERSION	56.3	43.8	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	15.5	15.2	30.7
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	8.7	6.7	15.4
5	ANZAHL	8	6	14
	PROZENT (%) innerhalb VERSION	57.1	42.9	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	13.8	13	26.8
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	7.7	5.8	13.5
6	ANZAHL	8	7	15
	PROZENT (%) innerhalb VERSION	53.3	46.7	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	13.8	15.2	29
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	7.7	6.7	14.4
7	ANZAHL	7	4	11
	PROZENT (%) innerhalb VERSION	63.6	36.4	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	12.1	8.7	20.8
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	6.7	3.8	10.6
8	ANZAHL	6	5	11
	PROZENT (%) innerhalb VERSION	54.5	45.5	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	10.3	10.9	21.2
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	5.8	4.8	10.6
GESAMT	ANZAHL	58	46	104
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	55.8	44.2	100

Anmerkungen: ¹Die Gleichverteilung des Geschlechterverhältnisses auf die Programmversionen war gegeben, $\chi^2(7) = 0.626$, $p > .05$, Cramer's $V = .078$. Dasselbe Ergebnis erhält man auch nach dem exakten Test von Fisher, $\Psi = .885$, $p > .05$ (weil die Programmversionen 2 und 7 weniger als fünf weibliche Versuchspersonen enthielten). ²Die Gleichverteilung der Versuchspersonen auf die Programmversionen war gegeben, $\chi^2(7) = 3.385$, $p > .05$.

In Anhang „1.1 PC-Programm: Aufbau“ ist eine tabellarische Zusammenfassung der einzelnen Programmversionen des Computerprogramms aufgelistet (S. 167). Die Beschreibung des Computerprogramms mitsamt den einzelnen Subtests erfolgt in Abschnitt „2.3.1“ des Unterkapitels „2.3 Untersuchungsbedingungen und -materialien“.

Für jede einzelne abhängige Variable wurden pro Subtest über Boxplots die so ermittelten Extremwerte von der Analyse ausgeschlossen. Daher waren die Fallzahlen der einzelnen Analysen nicht immer identisch. Tab. 5 gibt einen Überblick über die Fallzahlen für jeden Subtest pro abhängiger Variable.

Tabelle 5. Fallzahlen für die statistische Analyse pro Subtest und abhängiger Variable.

STATISTISCHE ANALYSE - FALLZAHLEN			
<i>Abhängige Variable</i>	SUBTEST LISTE	SUBTEST HERD	SUBTEST KREUZ
Reaktionszeiten	79	102	102
Prozentuelle Trefferraten	79	102	102
NASA-Task Load Index	102	92	102
Elektrodermale Aktivität	99	95	Lernblöcke: 98 Testblöcke: 97
Spontan-EEG	87	89	Lernblöcke: 89 Testblöcke: 89

2.2 Untersuchungsvariablen und -pläne

2.2.1 Untersuchungsvariablen

In diesem Abschnitt werden die interessierenden un- und abhängigen Variablen mit einem Hinweis auf die Operationalisierung definiert. In Unterkapitel „2.3 Untersuchungsbedingungen, -materialien“ werden dann die einzelnen unabhängigen Variablen genau beschrieben.

2.2.1.1 Unabhängige Variablen

2.2.1.1.1 Subtest Liste

Die unabhängige Variable wird mit **Abstand** bezeichnet, bezieht sich auf die Distanz zwischen den Interaktionselementen und liegt in zweifacher Abstufung vor (ENG vs. WEIT). Operationalisiert wird diese Variable über den Subtest **Liste** des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012). Eine weitere unabhängige Variable,

Lokalisation, bezieht sich auf die Ableitpositionen des EEG-Signals und liegt in zwei Stufen vor (FRONTAL ZENTRAL vs. PARIETAL ZENTRAL).

2.2.1.1.2 Subtest Herd

Die unabhängige Variable wird mit **Anordnung** bezeichnet, bezieht sich auf die Anordnung von Interaktionselementen und liegt in dreifacher Abstufung vor (NATÜRLICHES MAPPING vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Operationalisiert wird diese Variable über den Subtest **Herd** des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012). Eine weitere unabhängige Variable, **Lokalisation**, bezieht sich auf die Ableitpositionen des EEG-Signals und liegt in zwei Stufen vor (FRONTAL ZENTRAL vs. PARIETAL ZENTRAL).

2.2.1.1.3 Subtest Kreuz

Hier gibt es mehrere unabhängige Variablen. Die erste unabhängige Variable wird mit **Repräsentation** bezeichnet, bezieht sich auf die Repräsentationsform und liegt in dreifacher Abstufung vor (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL). Eine zweite unabhängige Variable, welche nicht bezüglich aller abhängigen Variablen vorliegt, wird mit **Lernblock** angegeben und ist zweifach gestuft (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Es handelt sich dabei um den ersten Lernblock. Die dritte unabhängige Variable, **Testblock** genannt, bezieht sich auf die Testblöcke der Lern- und Umlernphasen und liegt in zwei Stufen vor (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Operationalisiert werden diese drei Variablen über den Subtest **Kreuz** des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012). Eine weitere unabhängige Variable, **Lokalisation**, bezieht sich auf die Ableitpositionen des EEG-Signals und liegt in zwei Stufen vor (FRONTAL ZENTRAL vs. PARIETAL ZENTRAL). Schließlich gibt es noch die unabhängige Variable **Zeit**, welche sich auf die Dauer der Testphasen bezieht und in zwei Stufen vorliegt (1.MINUTE vs. 2.MINUTE).

2.2.1.2 Abhängige Variablen

Für alle drei Subtests werden abhängige Variablen im Sinne des „Drei-Ebenen-Messkonzepts“ ausgewählt (Lutzenberger et al., 1985, S. 70; Trimmel, 1990, S. 82). Als objektive Verhaltensindikatoren werden die *Reaktionszeiten* sowie die *prozentuellen Trefferraten* bestimmt, welche über das Computerprogramm „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012) registriert werden. Die Ebene der Selbstbeobachtung erfolgt anhand *subjektiver Ratings* durch die Probanden selbst und wird über die sechs Skalen des

NASA-Task Load Index (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) operationalisiert. Hinsichtlich der Physiologie werden elektrodermale Aktivität und Spontan-EEG erhoben. Als abhängige Variable wurde in Bezug auf die elektrodermale Aktivität die *Anzahl der Spontanfluktuationen* gewählt. Das Signal des Spontan-EEG wurde in die Frequenzbänder *Delta*, *Theta*, *Alpha*, *Beta 1*, *Beta 2*, *Gamma 1* und *Gamma 2* aufgeteilt und mittels der Spektralanalyse aufgrund der Fast Fourier Transformation für jedes EEG-Frequenzband pro Zeiteinheit (jeweils eine Minute) die absolute Power (in μV^2) ermittelt.

2.2.2 Untersuchungspläne

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine experimentelle Untersuchung mit Messwiederholung, bei der die verschiedenen Subtests denselben Probanden in einer ausbalancierten Reihenfolge vorgegeben werden, um Positions-, Lern- und Ermüdungseffekte zu vermeiden (Bortz & Döring, 2006; Field, 2009; Trimmel, 2009). In weiterer Folge werden nun pro Subtest und abhängiger Variable die geplanten Designs vorgestellt.

2.2.2.1 Subtest Liste

2.2.2.1.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten

Es handelt sich um ein einfaktorielles univariates Design mit Messwiederholung mit einer zweifach gestuften unabhängigen Variable **Abstand** (ENG vs WEIT). Daher ist das geplante statistische Verfahren der T-Test für abhängige Stichproben.

2.2.2.1.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten

Es handelt sich um ein einfaktorielles univariates Design mit Messwiederholung mit einer zweifach gestuften unabhängigen Variable **Abstand** (ENG vs WEIT). Daher ist das geplante statistische Verfahren der T-Test für abhängige Stichproben.

2.2.2.1.3 Abhängige Variable: Subjektive Angaben

Es handelt sich um ein einfaktorielles zweifach-multivariates Design mit Messwiederholung (Statsoft, 2015) mit einer zweifach gestuften unabhängigen Variable **Abstand** (ENG vs. WEIT). Die sechs Skalen des NASA-TLX sind die abhängigen Variablen. Daher ist das geplante statistische Verfahren eine einfaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.1.4 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität

Es handelt sich um ein einfaktorielles univariates Design mit Messwiederholung mit einer zweifach gestuften unabhängigen Variable **Abstand** (ENG vs WEIT). Daher ist das geplante statistische Verfahren der T-Test für abhängige Stichproben.

2.2.2.1.5 Abhängige Variable: Spontan-EEG

Es handelt sich um ein zweifaktorielles zweifach-multivariates Design mit Messwiederholung (Statsoft, 2015) mit den zweifach gestuften unabhängigen Variablen **Lokalisation** (FRONTAL ZENTRAL vs. PARIETAL ZENTRAL) **Abstand** (ENG vs. WEIT). Die sieben Frequenzbänder des Spontan-EEG sind die abhängigen Variablen. Daher ist das geplante statistische Verfahren eine einfaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.2 Subtest Herd

2.2.2.2.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten

Es handelt sich um ein einfaktorielles univariates Design mit Messwiederholung mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Anordnung** (NATÜRLICHES MAPPING vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Daher ist das geplante statistische Verfahren eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.2.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten

Es handelt sich um ein einfaktorielles univariates Design mit Messwiederholung mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Anordnung** (NATÜRLICHES MAPPING vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Daher ist das geplante statistische Verfahren eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.2.3 Abhängige Variable: Subjektive Angaben

Es handelt sich um ein einfaktorielles zweifach-multivariates Design mit Messwiederholung (Statsoft, 2015) mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Anordnung** (NATÜRLICHES MAPPING vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Die sechs Skalen des NASA-TLX sind die abhängigen Variablen. Daher ist das geplante statistische Verfahren eine einfaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.2.4 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität

Es handelt sich um ein einfaktorielles univariates Design mit Messwiederholung mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Anordnung** (NATÜRLICHES MAPPING

vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Daher ist das geplante statistische Verfahren eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.2.5 Abhängige Variable: Spontan-EEG

Es handelt sich um ein zweifaktorielles zweifach-multivariates Design mit Messwiederholung (Statsoft, 2015) mit einer zweifach gestuften unabhängigen Variablen **Lokalisation** (FRONTAL ZENTRAL vs. PARIETAL ZENTRAL) und einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Anordnung** (NATÜRLICHES MAPPING vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Die sieben Frequenzbänder des Spontan-EEG sind die abhängigen Variablen. Daher ist das geplante statistische Verfahren eine 2 (**Lokalisation**) $\times$ 3 (**Anordnung**) zweifaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.3 Subtest Kreuz

2.2.2.3.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten

Es handelt sich um ein zweifaktorielles univariates Design mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und einer zweifach gestuften unabhängigen Variable **Testblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Daher ist das geplante statistische Verfahren eine 3 (**Repräsentation**) $\times$ 2 (**Testblock**) zweifaktorielle univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.3.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten

Es handelt sich um ein zweifaktorielles univariates Design mit Messwiederholung mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und einer zweifach gestuften unabhängigen Variable **Testblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Daher ist das geplante statistische Verfahren eine 3 (**Repräsentation**) $\times$ 2 (**Testblock**) zweifaktorielle univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.3.3 Abhängige Variable: Subjektive Angaben

Es handelt sich um ein zweifaktorielles zweifach-multivariates Design (Statsoft, 2015) mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und einer zweifach gestuften unabhängigen Variable **Testblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Die sechs Skalen des NASA-TLX sind die abhängigen Variablen. Daher ist das geplante statistische Verfahren eine

3 (**Repräsentation**) × 2 (**Testblock**) zweifaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.3.4 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität

2.2.2.3.4.1 Lernblöcke

Es handelt sich um ein zweifaktorielles univariates Design mit Messwiederholung mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und einer zweifach gestuften unabhängigen Variable **Lernblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Daher ist das geplante statistische Verfahren eine 3 (**Repräsentation**) × 2 (**Lernblock**) zweifaktorielle univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.3.4.2 Testblöcke

Es handelt sich um ein dreifaktorielles univariates Design mit Messwiederholung mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und den zweifach gestuften unabhängigen Variablen **Testblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE) und **Zeit** (1.MINUTE vs. 2.MINUTE). Daher ist das geplante statistische Verfahren eine 3 (**Repräsentation**) × 2 (**Testblock**) × 2 (**Zeit**) dreifaktorielle univariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.3.5 Abhängige Variable: Spontan-EEG

2.2.2.3.4.1 Lernblöcke

Es handelt sich um ein dreifaktorielles zweifach-multivariates Design (Statsoft, 2015) mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und den zweifach gestuften unabhängigen Variablen **Lokalisation** (FRONTAL ZENTRAL vs. PARIETAL ZENTRAL) und **Lernblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Die sechs Skalen des NASA-TLX sind die abhängigen Variablen. Die sieben Frequenzbänder des Spontan-EEG sind die abhängigen Variablen. Daher ist das geplante statistische Verfahren eine 2 (**Lokalisation**) × 3 (**Repräsentation**) × 2 (**Lernblock**) zweifaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.2.2.3.4.2 Testblöcke

Es handelt sich um ein vierfaktorielles zweifach-multivariates Design (Statsoft, 2015) mit Messwiederholung mit einer dreifach gestuften unabhängigen Variable **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und den zweifach gestuften unabhängigen Variablen

Lokalisation (FRONTAL ZENTRAL vs. PARIETAL ZENTRAL) und **Testblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE) und **Zeit** (1. MINUTE vs. 2. MINUTE). Die sieben Frequenzbänder des Spontan-EEG sind die abhängigen Variablen. Daher ist das geplante statistische Verfahren eine 2 (**Lokalisation**) $\times$ 3 (**Repräsentation**) $\times$ 2 (**Testblock**) $\times$ 2 (**Zeit**) zweifaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung.

2.3 Untersuchungsbedingungen und -materialien

2.3.1 Das Computerprogramm „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012)

Das Computerprogramm „Kognitiver Ergonomietest“ von Trimmel und Koller (2012) beinhaltet speziell konstruierte Subtests zur Verdeutlichung grundlegender kognitiver Prinzipien, die im Bereich der Mensch-Computer Interaktion von eminenter Bedeutung sind. Grundsätzlich besteht dieses Programm aus drei kleineren Aufgaben zur Einübung, gefolgt von mehreren Subtests. Die drei Aufgaben zu Beginn dienen der ersten Einübung. Die erste Aufgabe erfordert, zehnmal so schnell wie möglich auf den in der Mitte des Bildschirms befindlichen Button zu klicken. In der zweiten und dritten Aufgabe erscheinen zwei Buttons auf dem Bildschirm. Die Anweisung dazu lautet, dass man so schnell wie möglich abwechselnd auf den einen und anderen Button klicken soll. Der Unterschied in den beiden Aufgaben besteht in der unterschiedlichen Größe dieser Buttons. In der zweiten Aufgabe haben die Buttons eine große Fläche, in der dritten Aufgabe eine kleine Fläche. In Abbildung 6 sind diese Aufgaben dargestellt.

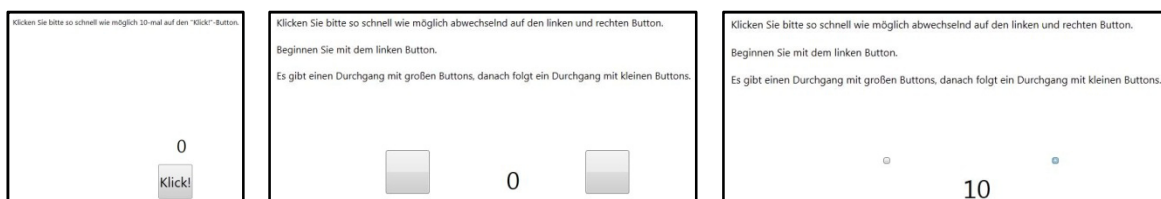


Abbildung 6. Die drei Aufgaben zu Beginn des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (aus Trimmel & Koller, 2012).

Im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit wurden die Subtests *Liste*, *Herd* und *Kreuz* eingesetzt. An dieser Stelle erfolgt die genaue Beschreibung der drei Subtests.

2.3.1.1 Subtest *Liste*

2.3.1.1.1 Beschreibung

Den theoretischen Hintergrund zum Subtest *Liste* bilden die Ausführungen in Kapitel „1.2. Theoretische Grundlagen“ zum gestaltpsychologischen Gesetz der Nähe als auch zum Fitts’schen Gesetz. Dieser Subtest besteht aus zwei Bedingungen, die jeweils 60 Sekunden dauern. Pro Bedingung gibt es 12 Durchgänge mit einer Darbietungsdauer von jeweils 5 Sekunden. Die Aufgabe besteht jeweils darin, so schnell wie möglich zunächst aus einer Liste von Zahlen auf der linken Seite des Bildschirms die Zahl 12 durch Mausklick auszuwählen und anschließend den dazugehörigen, weil auf der gleichen Höhe liegenden „Ok“-Button aus einer Liste von „Ok“-Buttons durch Mausklick anzuwählen. Der Unterschied zwischen den beiden Bedingungen besteht in dem unterschiedlich großen Abstand zwischen der Zahlen- und Buttonliste. Um darüber hinaus gleichartige Voraussetzungen für jeden einzelnen Durchgang zu schaffen, wird der Mauszeiger pro individuellem Durchgang wieder in die Mitte des Bildschirms gesetzt. Die beiden Bedingungen wurden in ausbalancierter Reihenfolge vorgegeben, um Positionseffekte zu vermeiden. Abbildung 7 veranschaulicht den Subtest mit den beiden Bedingungen ENG und WEIT. In Abbildung 8 (S. 38) ist der beispielhafte Aufbau und zeitliche Ablauf des Subtests *Liste* dargestellt.

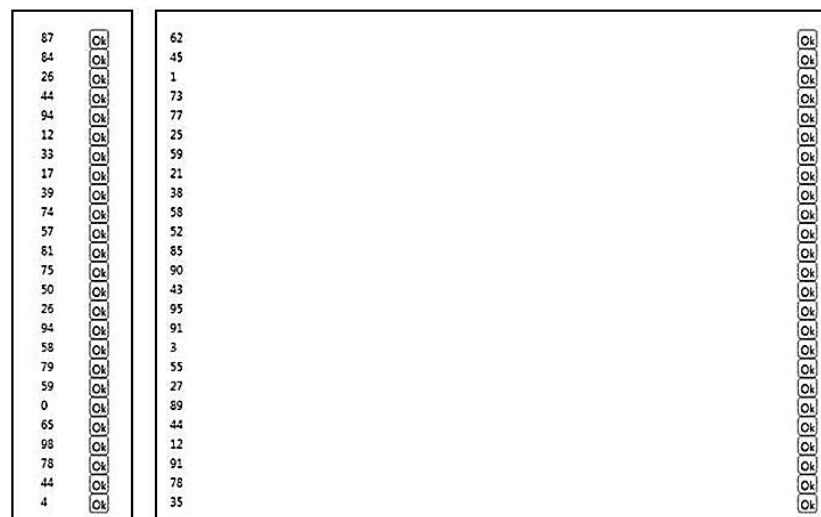


Abbildung 7. Die zwei Bedingungen des Subtests *Liste* des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (aus Trimmel & Koller, 2012). In der Bedingung ENG ist der Abstand zwischen den Interaktionselementen klein (linke Seite), in der Bedingung WEIT groß (auf der rechten Seite).

AUFBAU ¹ UND ZEITLICHER ABLAUF DES SUBTEST LISTE									
Abschnitt	Anleitung	WB	ENGER ABSTAND	WB	NASA-TLX	WB	WEITER ABSTAND	WB	NASA-TLX
Dauer in Sekunden		5	60	5		5	60	5	

Anmerkungen: ¹Hier ist nur eine der möglichen Anordnungen der Bedingungen ENGER ABSTAND und WEITER ABSTAND dargestellt. Die Bedingungen wurden in ausbalancierter Reihenfolge vorgegeben (siehe Anhang „1.1 PC-Programm: Aufbau“). Anleitung = siehe Anhang „1.2 PC-Programm: Anleitungen (Instruktionen)“. Hier gibt es keine fixe Zeitvorgabe, da man auf einen „Weiter“-Button klicken muss. WB = Weißer Bildschirm. NASA-TLX = Auch hier gibt es keine fixe zeitliche Vorgabe, da man auf einen „Weiter“-Button klicken muss.

Abbildung 8. Aufbau und Darstellung des zeitlichen Ablaufs des Subtests *Liste*.

2.3.1.2 Subtest *Herd*

2.3.1.2.1 Beschreibung

Den theoretischen Hintergrund zum Subtest *Herd* bilden die Ausführungen in Kapitel „1.2. Theoretische Grundlagen“ zum Prinzip des natürlichen Mapping. Dieser Subtest besteht aus drei Bedingungen, die jeweils 60 Sekunden dauern. Pro Bedingung gibt es 12 Durchgänge mit einer Darbietungsdauer von jeweils 5 Sekunden. Die Aufgabe besteht darin, die gelb gefärbte (also eingeschaltete) Herdplatte so schnell wie möglich durch den dazugehörigen Button schwarz zu färben (also auszuschalten). Jeder der vier Buttons ist mit einer der vier Herdplatten verknüpft. Die Unterschiede zwischen den Bedingungen bestehen in der unterschiedlichen Anordnung der Buttons. In einer Bedingung sind die Buttons gemäß dem Prinzip des natürlichen Mappings so angeordnet, dass diese die Herdplatten in ihrer Anordnung direkt abbilden. In den weiteren zwei Bedingungen sind die Buttons linear (also in einer Reihe liegend) angeordnet. Der Unterschied zwischen diesen zwei Bedingungen besteht darin, dass der Abstand zwischen den linear angeordneten Buttons variiert wird. Einmal sind die Abstände zwischen den Buttons weit, einmal liegen sie eng beieinander. Weiter gilt auch, dass die vier Buttons innerhalb jeder Bedingung zufällig oberhalb oder unterhalb sowie links oder rechts von den Herdplatten erscheinen können. Um darüber hinaus gleichartige Voraussetzungen für jeden einzelnen Durchgang zu schaffen, wird der Mauszeiger pro Durchgang wieder in die Mitte des Bildschirms gesetzt. Diese drei Bedingungen wurden in der vorliegenden experimentellen Studie in ausbalancierter Reihenfolge vorgegeben, um Positionseffekte zu vermeiden. In Abbildung 9 (S. 39) ist der

Subtest **Herd** mit den drei Bedingungen dargestellt. Abbildung 10 zeigt den beispielhaften Aufbau und den zeitlichen Ablauf des Subtests **Herd**.

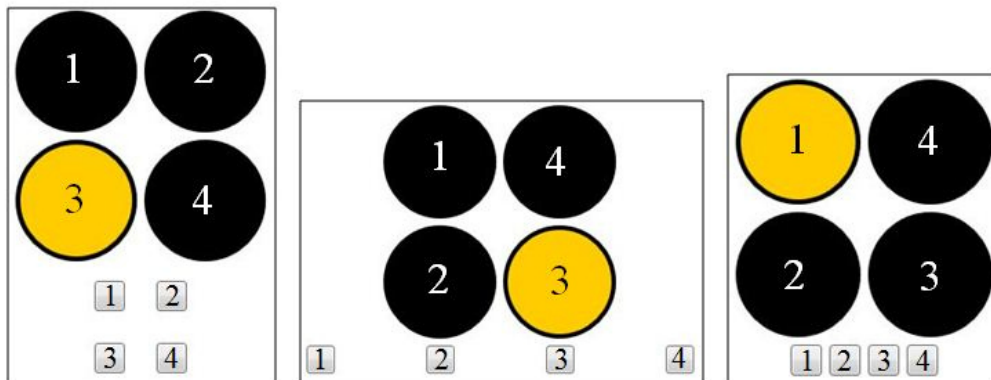


Abbildung 9. Die drei Bedingungen des Subtests **Herd** des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (aus Trimmel & Koller, 2012). In einer Bedingung (NATÜRLICHES MAPPING) bilden die Buttons in ihrer Anordnung die Herdplatten direkt ab (linke Seite), in einer weiteren Bedingung (LINEAR WEIT) sind die Buttons in einer Reihe mit weiten Abständen voneinander angeordnet (Mitte), und schließlich gibt es eine Bedingung (LINEAR ENG), in der die Buttons in einer Reihe mit engen Abständen voneinander angeordnet sind (rechte Seite). Die Nummerierung bezieht sich auf die Zugehörigkeit der Buttons zu den Herdplatten.

AUFBAU¹ UND ZEITLICHER ABLAUF DES SUBTEST HERD

Abschnitt	Anleitung	WB	NATÜRLICHES MAPPING	WB	NASA-TLX	WB	LINEAR WEIT	WB	NASA-TLX	WB	LINEAR ENG	WB	NASA-TLX
Dauer in Sekunden		5	60	5		5	60	5		5	60	5	

Anmerkungen: ¹Hier ist nur eine der möglichen Anordnungen der Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG dargestellt. Die Bedingungen wurden in ausbalancierter Reihenfolge vorgegeben (siehe Anhang „1.1 PC-Programm: Aufbau“). Anleitung = siehe Anhang „1.2 PC-Programm: Anleitungen (Instruktionen)“. Hier gibt es keine fixe Zeitvorgabe, da man auf einen „Weiter“-Button klicken muss. WB = Weißer Bildschirm. NASA-TLX = Auch hier gibt es keine fixe zeitliche Vorgabe, da man auf einen „Weiter“-Button klicken muss.

Abbildung 10. Aufbau und Darstellung des zeitlichen Ablaufs des Subtests **Herd**.

2.3.1.3 Subtest *Kreuz*

2.3.1.2.1 Beschreibung

Den theoretischen Hintergrund zum Subtest **Kreuz** bilden die Ausführungen in Kapitel „1.2. Theoretische Grundlagen“ zum Reiz-Reaktions-Paradigma. Dieser Subtest besteht insgesamt aus drei Lernphasen und drei Umlernphasen, wobei jeweils eine Lern- und Umlernphase zusammengehören. In den Abbildungen 11 und 12 (beide auf S. 41) sind Informationen zum Aufbau, zum zeitlichen Ablauf des Subtests **Kreuz** sowie die drei Lern- und Umlernphasen dargestellt. Zu Beginn jeder der sechs Phasen wird eine Instruktion gezeigt. Auf dem Bildschirm ist dabei jeweils ein Kreuz mit einem weißen Quadrat in der Mitte zu sehen. Dann erscheint im Quadrat der entsprechende Reiz in der für die Bedingung charakteristischen Repräsentationsform, wobei es insgesamt drei Repräsentationsformen (analog, digital und verbal) gibt. Bei analoger Repräsentation haben die vier Reize dieselbe Form wie die vier Enden des Kreuzes. In der Lern- und Umlernphase bei digitaler Repräsentation werden in der Mitte des Quadrates vier Uhrzeiten in digitaler Form als Reize präsentiert. Bei verbaler Repräsentation scheinen die vier Wörter „Rad“, „Hut“, „Zug“ und „Zeh“ als Reize auf. Gleichzeitig mit der Präsentation des jeweiligen Reizes wird auch im Quadrat angezeigt, auf welches der vier möglichen schwarzen Felder an den vier Enden des Kreuzes die Versuchspersonen den Mauszeiger führen müssen. Auf diese Weise wird entsprechend den vier Enden des Kreuzes insgesamt viermal pro Instruktion eine Reiz-Reaktionszuordnung vorgeführt. Insgesamt dauert die Instruktion jeweils 20 Sekunden. In jeder Lern- und Umlernphase muss unmittelbar anschließend an die jeweilige Instruktion ein Lernblock erfolgreich absolviert werden, bevor automatisch in den zur jeweiligen Phase dazugehörigen Testblock gewechselt werden kann. Die Dauer des Lernens der jeweils vorgeführten Reiz-Reaktionszuordnungen ist dabei für jede Testperson individuell, je nachdem, wie schnell sie diese lernt. Je nachdem muss oder müssen also ein Lernblock oder mehrere Lernblöcke absolviert werden. Ein Lernblock besteht aus zwei Lerndurchläufen mit einer Dauer von jeweils 20 Sekunden, entsprechend den vier Enden des Kreuzes. Im günstigsten Fall beträgt die Gesamtdauer also 40 Sekunden, da zumindest zwei Lerndurchläufe mit jeweils 20 Sekunden zu absolvieren sind. Pro Lerndurchlauf müssen nacheinander alle vier möglichen Reiz-Reaktions-Zuordnungen fehlerfrei durchlaufen werden, wobei für jede der vier Zuordnungen maximal 5 Sekunden Zeit zur Verfügung stehen. Nach erfolgreichem Erlernen der jeweiligen Reiz-Reaktionszuordnung wechselt das Computerprogramm automatisch in den

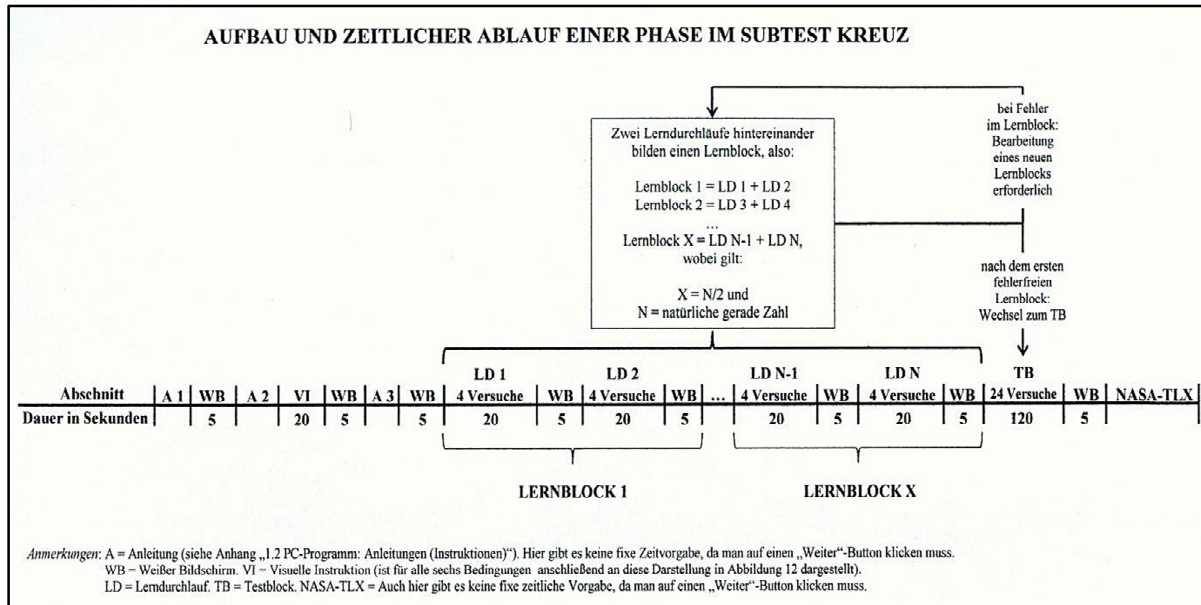


Abbildung 11. Darstellung des Aufbaus und zeitlichen Ablaufs einer einzelnen Phase im Subtest **Kreuz**.

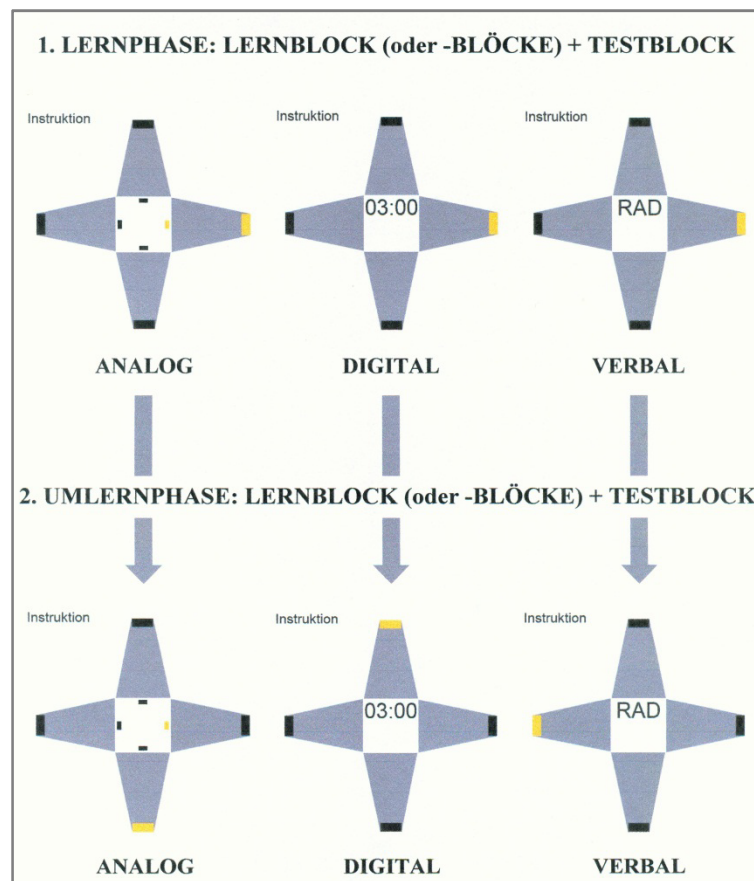


Abbildung 12. Die Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (aus Trimmel & Koller, 2012). In der oberen Reihe sind von links nach rechts die drei Lernphasen und in der unteren Reihe die drei Umlernphasen dargestellt. Auf der linken Seite ist die Lern- und Umlernphase bei analoger, in der Mitte die Lern- und Umlernphase bei digitaler und auf der rechten Seite die Lern- und Umlernphase bei verbaler Repräsentationsform dargestellt.

Testblock. Hier gibt es eine feste zeitliche Begrenzung. Jede der sechs Testblöcke beinhaltet 24 Versuche mit einer Darbietungsdauer von jeweils 5 Sekunden. Daher beträgt die gesamte Bearbeitungszeit pro Testblock 120 Sekunden. Auf diese erste Lernphase mit Instruktion, Lernblock (oder –blöcken) und Testblock folgt die sogenannte Umlernphase, bei welcher wieder die Vorgänge der Instruktion, des Lernblocks (oder –blöcke) und des Testblocks durchlaufen werden. Hier müssen die zuvor gelernten vier Reiz-Reaktionszuordnungen umgelernt werden. Im Falle der analogen und digitalen Repräsentationsform handelt es sich beim Umlernen um das Erlernen von inkompatiblen Reiz-Reaktions-Zuordnungen. Dies gilt aber nicht für die verbale Repräsentation, da hier schon in der Lernphase eine willkürliche Reiz-Reaktions-Zuordnung gelernt werden muss. Gleichwohl handelt es sich aber auch hier um einen Umlernprozess. Zuerst werden immer die Lernphase und danach die Umlernphase vorgegeben. So ergeben sich entsprechend den drei Repräsentationsformen drei zusammengehörende Lern- und Umlernphasen. Um darüber hinaus gleichartige Voraussetzungen für jeden einzelnen Durchgang in den sechs Lern- und Testphasen zu schaffen, wird der Mauszeiger pro Durchgang wieder in die Mitte des Bildschirms gesetzt. Diese Blöcke wurden in der vorliegenden experimentellen Studie in ausbalancierter Reihenfolge vorgegeben, um Positioneffekte zu vermeiden. Die Instruktionen zu den einzelnen Subtests befinden sich in Anhang „1.2 PC-Programm: Anleitungen (Instruktionen)“ (S. 167-169). Für die statistische Analyse interessieren der jeweilige erste Lern- und die Testblöcke der Lern- und Umlernphasen.

2.3.1.4 Kennwertbildung beim Computerprogramm Kognitiver Ergonomietest

Das Computerprogramm speichert für jede Testperson die Reaktionszeiten, die prozentuellen Trefferraten als auch die Skalenpunkte des NASA-Task Load Index (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) ab. Die Reaktionszeiten wird ab der Präsentation der einzelnen Aufgaben gemessen und ist mit einer Darbietungsdauer von maximal fünf Sekunden pro einzelndem Item beschränkt. In den Subtests **Liste** und **Herd** können im Hinblick auf die Trefferraten maximal 12 Aufgaben richtig bearbeitet werden, in der Testphase des Subtests **Kreuz** hingegen maximal 24 Aufgaben. Für die Reaktionszeiten und die prozentuellen Trefferraten berechnet das Programm dann auch die Mittelwerte, die für statistische Analysen verwendet werden können. Die Skalenpunkte des NASA-Task Load Index (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) werden ohne weitere Zwischenberechnung für die statistische Analyse übernommen.

2.3.2 Fragebögen

Der NASA-Task Load Index (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) ist in das Computerprogramm „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012) integriert und wird in jedem Subtest nach jeder einzelnen Bedingung vorgegeben. Alle anderen Fragebögen wurden in dieser Studie vor Bearbeitung des Computerprogramms als Papier-Bleistift-Fragebögen vorgegeben.

2.3.2.1 NASA-Task Load Index (NASA-TLX)

Der NASA-TLX ist ein multidimensional angelegter Fragebogen, der verschiedene subjektive Schätzungen von Beanspruchungs- und Belastungszuständen während oder unmittelbar nach der Bearbeitung einer Aufgabe erfasst (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988). Abbildung 13 zeigt die Definitionen der Skalen (Hart, 2006, S.908) sowie die Vorgabe des Fragebogens im Computerprogramm „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012).

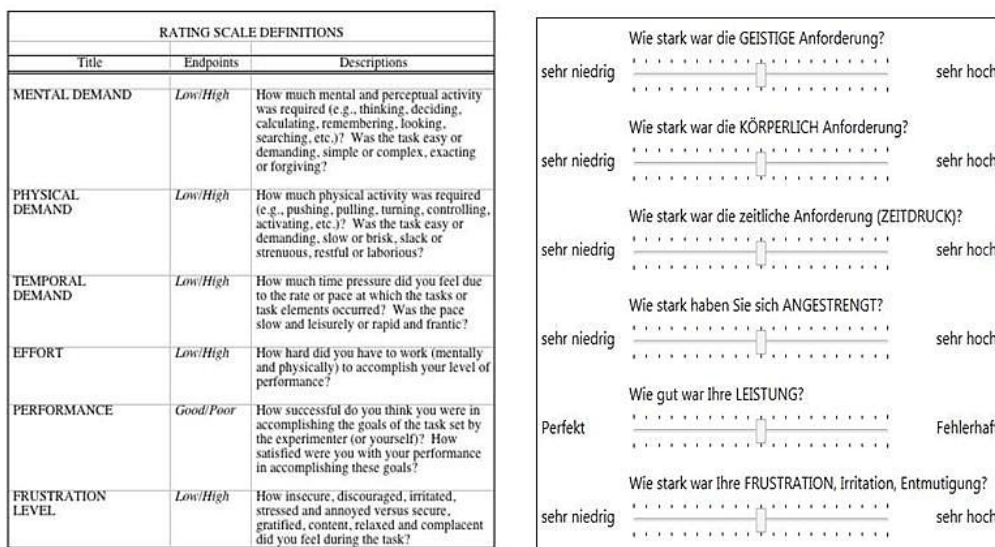


Abbildung 13. Die Definition der sechs Skalen des NASA-TLX (links) (aus Hart, 2006, S. 908) und die Implementierung der sechs Skalen des NASA-Task Load Index im Computerprogramm „Kognitiver Ergonomietest“ (aus Trimmel & Koller, 2012) (rechts).

Insgesamt besteht der NASA-Task Load Index aus sechs Skalen, wobei die zwei Skalen *Geistige Anforderung* und *Zeitdruck* Aufgabenanforderungen, die drei Skalen *Körperliche Anforderung*, *Anstrengung* und *Fehlleistung* subjektive Einschätzungen der eigenen Anstrengung und Leistung sowie die Skala *Frustration* die psychischen Auswirkungen der Aufgabenanforderungen und Leistung auf die Probanden abbilden (Hart & Staveland, 1988).

Im Computerprogramm sind die jeweiligen Skalen als Analogskalen realisiert, wobei Werte zwischen 1 und 21 gewählt werden können.

2.3.2.2 The Computer Aversion, Attitudes, and Familiarity Index (CAAFI)

Der CAAFI ist ein Fragebogen zur Erfassung von Einstellungen zu Computern und zur Computertätigkeit (Schulenberg & Melton, 2008). Er besteht aus 30 Items in Form von sieben-stufigen Likert-Skalen, die von -3 (völlig falsch) bis +3 (völlig richtig) reichen. Aus diesen Items können die drei Skalen Vertrautheit mit Computern, Einstellungen zu Computern und Aversion gegenüber Computern berechnet werden.

2.3.2.3 The Computer-Email-Web (CEW) Fluency Scale

Die CEW Fluency Scale ist ein Fragebogen zur Erfassung unterschiedlicher Themen zum Thema Computer- und Internetnutzung sowie Computerwissen (Bunz, 2004). Die Items werden teils in offenem Antwortformat und teils in Stufenform vorgegeben.

2.3.2.4 Detail and Flexibility Questionnaire (DFLEX)

Der DFLEX ist ein Fragebogen zur Erfassung der kognitiven Merkmale kognitiver Rigidität (mangelnder Flexibilität) und Aufmerksamkeit auf Details und besteht aus 24 Items, die jeweils auf einer sechsstufigen Likert-Skala zu beantworten sind (Roberts, Barthel, Lopez, Tchanturia & Treasure, 2011). Die Antwortmöglichkeiten reichen dabei von „Starke Ablehnung“ bis „Starke Zustimmung“.

2.3.3 Geräte

2.3.3.1 Geräte zur Bedienung des Computerprogramms

Für die Bearbeitung des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012) standen zwei institutseigene Notebooks der Marke Acer (TravelMate 1640 und TravelMate 620) zur Verfügung. Das Computerprogramm wurde über eine kabelgebundene Computermaus der Marke Labtec bedient.

2.3.3.2 Spontan-EEG und elektrodermale Aktivität

Die Aufzeichnung des Spontan-EEGs und der elektrodermalen Aktivität erfolgte mittels des portablen EEG-Gerätes NeXus-4 der Firma Mind Media B. V. Dabei handelt es sich um eine 4-Kanal physiologisches Monitoring- und Biofeedback-Plattform, die eine Datenerfassung von bis zu 1024 Abtastungen pro Sekunde anbietet (Mind Media, n.d.). Dabei werden mit den Kanälen 1 und 2 das Spontan-EEG und mit Kanal 4 die Hautleitfähigkeit abgeleitet. Die aktiv

ableitende Elektrode von Kanal 1 wurde gemäß dem 10-20-System der Elektrodenplatzierung (Pivik et al., 1993) frontal zentral (FZ) platziert und die Referenzelektrode an das rechte Ohrläppchen geklebt (A2). Die aktiv ableitende Elektrode von Kanal 2 wurde parietal zentral (PZ) platziert und die Referenzelektrode an das linke Ohrläppchen geklebt (A1). In Abbildung 14 ist das 10-20-System der Elektrodenplatzierung mit der in dieser Studie vorgenommenen Elektrodenplatzierung dargestellt.

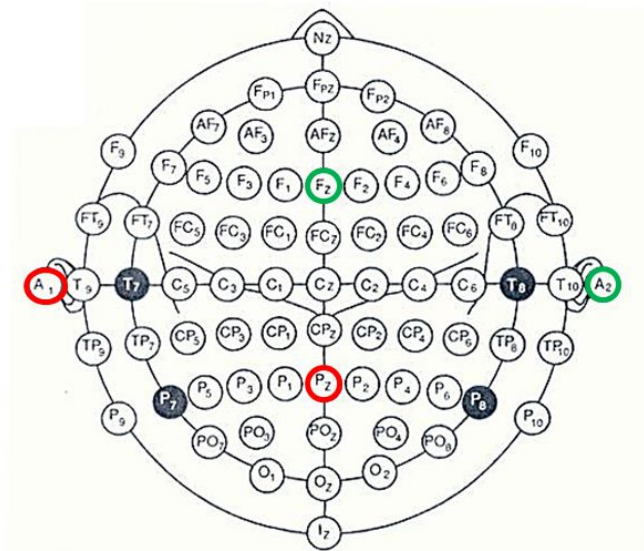


Abbildung 14. Das 10-20-System der Elektrodenplatzierung (aus Pivik et al., 1993, S. 549) mit Markierung der in der Studie vorgenommenen Platzierung der Elektroden der EEG-Kanäle 1 (grün) und 2 (rot).

Die Referenzelektroden wurden jeweils auf die Ohrläppchen der Probanden geklebt, um die Vermeidung von Artefakten aufgrund von Einstreuungen zu maximieren. Eine Elektrode musste zur Erdung am Oberkörper appliziert werden. Für die Applizierung dieser fünf Elektroden wurde eine Elektrodenpaste verwendet. Für die elektrodermale Aktivität wurden zwei Elektroden des Kanals 4 an Mittel- und Ringfinger der nichtdominanten Hand ohne Elektrodenpaste mit Klettverschluss angelegt. Die Übertragung der physiologischen Signale erfolgte mittels der zum EEG-Gerät NeXus-4 zugehörigen Software BioTrace über eine Bluetooth-Verbindung. Die Abtastraten betrugen für die EEG-Kanäle 1 und 2 jeweils 256 und für den Kanal 4 zur Erfassung der elektrodermalen Aktivität 32 Messungen pro Sekunde.

2.2.4 Statistische Hypothesen

Im Folgenden werden die zu den eingesetzten Subtests des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012) formulierten statistischen Hypothesen angegeben.

2.2.4.1 Subtest Liste

H1: Wenn der Subtest **Liste** des Computerprogramms *Kognitiver Ergonomietest* bearbeitet wird, dann zeigen sich während der Bearbeitung des das gestaltpsychologische Prinzip der Nähe und das Fitts'sche Gesetz berücksichtigenden Aufgabenteiles kürzere Reaktionszeiten und höhere Trefferraten, geringere Punkte in den Skalen des NASA-TLX, eine geringere Anzahl an Spontanfluktuationen und Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG gegenüber der Bearbeitung des diese Prinzipien außer Acht lassenden Aufgabenteiles.

H0: Wenn der Subtest **Liste** des Computerprogramms *Kognitiver Ergonomietest* bearbeitet wird, dann zeigen sich während der Bearbeitung des das gestaltpsychologische Prinzip der Nähe und das Fitts'sche Gesetz berücksichtigenden Aufgabenteiles gleich hohe oder längere Reaktionszeiten und gleich hohe oder geringere Trefferraten, gleich hohe oder höhere Punkte in den Skalen des NASA-TLX, eine gleich hohe oder höhere Anzahl an Spontanfluktuationen und keine Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG gegenüber der Bearbeitung des diese Prinzipien außer Acht lassenden Aufgabenteiles.

Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG bedeuten dabei, dass die absolute Power in den Frequenzbändern Theta, Beta 2 sowie Gamma 1 geringer, im Alpha-Band höher sowie in den Frequenzbändern Delta, Beta 1 und Gamma 2 unterschiedlich ist.

2.2.4.2 Subtest Herd

H1: Wenn der Subtest **Herd** des Computerprogramms *Kognitiver Ergonomietest* bearbeitet wird, dann zeigen sich während der Bearbeitung des das Prinzip des natürlichen Mappings berücksichtigenden Aufgabenteiles kürzere Reaktionszeiten und höhere Trefferraten, geringere Punkte in den Skalen des NASA-TLX, eine geringere Anzahl an Spontanfluktuationen und Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG gegenüber der Bearbeitung des diese Prinzipien außer Acht lassenden Aufgabenteiles.

H0: Wenn der Subtest **Herd** des Computerprogramms *Kognitiver Ergonomietest* bearbeitet wird, dann zeigen sich während der Bearbeitung des das Prinzip des natürlichen Mappings berücksichtigenden Aufgabenteiles gleich hohe oder längere Reaktionszeiten und gleich hohe oder geringere Trefferraten, gleich hohe oder höhere Punkte in den Skalen des NASA-TLX, eine gleich hohe oder höhere Anzahl an Spontanfluktuationen und keine Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG gegenüber der Bearbeitung des diese Prinzipien außer Acht lassenden Aufgabenteiles.

Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG bedeuten dabei, dass die absolute Power in den Frequenzbändern Theta, Beta 2 sowie Gamma 1 geringer, im Alpha-Band höher sowie in den Frequenzbändern Delta, Beta 1 und Gamma 2 unterschiedlich ist.

Darüber hinaus wird angenommen, dass sich auch bezüglich der das kognitive Prinzip des natürlichen Mappings nicht berücksichtigenden Aufgabenteile Unterschiede zwischen den Reaktionszeiten und Trefferraten, den Punkten in den Skalen des NASA-TLX, der Anzahl der Spontanfluktuationen und der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG zeigen.

2.2.4.3 Subtest Kreuz

2.2.4.3.1 Hypothese 1

H1: Wenn der Subtest **Kreuz** des Computerprogramms *Kognitiver Ergonomietest* bearbeitet wird, der im Sinne des Stimulus-Response-Paradigmas das Erlernen und nachmalige Umlernen von Reiz-Reaktions-Zuordnungen erfordert, dann zeigen sich beim Erlernen kürzere Reaktionszeiten und höhere Trefferraten, geringere Punkte in den Skalen des NASA-TLX, eine geringere Anzahl an Spontanfluktuationen und Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG als beim Umlernen.

H0: Wenn der Subtest **Kreuz** des Computerprogramms *Kognitiver Ergonomietest* bearbeitet wird, der im Sinne des Stimulus-Response-Paradigmas das Erlernen und nachmalige Umlernen von Reiz-Reaktions-Zuordnungen erfordert, dann zeigen sich beim Erlernen gleich hohe oder längere Reaktionszeiten und gleich hohe oder geringere Trefferraten, gleich hohe oder höhere Punkte in den Skalen des NASA-TLX, eine gleich hohe oder höhere Anzahl an

Spontanfluktuationen und keine Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG als beim Umlernen.

2.2.4.3.2 Hypothese 2

H1: Wenn der Subtest **Kreuz** des Computerprogramms *Kognitiver Ergonomietest* bearbeitet wird, der im Sinne des Stimulus-Response-Paradigmas das Erlernen und nachmalige Umlernen von Reiz-Reaktions-Zuordnungen erfordert, dann zeigen sich beim Erlernen einer analogen kompatiblen Reiz-Reaktions-Zuordnung kürzere Reaktionszeiten und höhere Trefferraten, geringere Punkte in den Skalen des NASA-TLX, eine geringere Anzahl an Spontanfluktuationen und Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG als beim Erlernen einer digitalen oder verbalen Reiz-Reaktions-Zuordnung.

H0: Wenn der Subtest **Kreuz** des Computerprogramms *Kognitiver Ergonomietest* bearbeitet wird, der im Sinne des Stimulus-Response-Paradigmas das Erlernen und nachmalige Umlernen von Reiz-Reaktions-Zuordnungen erfordert, dann zeigen sich beim Erlernen einer analogen kompatiblen Reiz-Reaktions-Zuordnung gleich hohe oder längere Reaktionszeiten und gleich hohe oder geringere Trefferraten, gleich hohe oder höhere Punkte in den Skalen des NASA-TLX, eine gleich hohe oder höhere Anzahl an Spontanfluktuationen und keine Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG als beim Erlernen einer digitalen oder verbalen Reiz-Reaktions-Zuordnung.

Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG bedeuten dabei, dass die absolute Power in den Frequenzbändern Theta, Beta 2 sowie Gamma 1 geringer, im Alpha-Band höher sowie in den Frequenzbändern Delta, Beta 1 und Gamma 2 unterschiedlich ist.

2.2.4.3.3 Hypothese 3

H1: Wenn der Subtest **Kreuz** des Computerprogramms *Kognitiver Ergonomietest* bearbeitet wird, der im Sinne des Stimulus-Response-Paradigmas das Erlernen und nachmalige Umlernen von Reiz-Reaktions-Zuordnungen erfordert, dann zeigen sich beim Umlernen einer analogen kompatiblen Reiz-Reaktions-Zuordnung längere Reaktionszeiten und geringere Trefferraten, höhere Punkte in den Skalen des NASA-TLX, eine höhere Anzahl an Spontanfluktuationen und Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG als beim Umlernen einer digitalen oder verbalen Reiz-Reaktions-Zuordnung.

H0: Wenn der Subtest **Kreuz** des Computerprogramms *Kognitiver Ergonomietest* bearbeitet wird, der im Sinne des Stimulus-Response-Paradigmas das Erlernen und nachmalige Umlernen von Reiz-Reaktions-Zuordnungen erfordert, dann zeigen sich beim Umlernen einer analogen kompatiblen Reiz-Reaktions-Zuordnung gleich hohe oder geringere Reaktionszeiten und gleich hohe oder höhere Trefferraten, gleich hohe oder geringere Punkte in den Skalen des NASA-TLX, eine gleich hohe oder geringere Anzahl an Spontanfluktuationen und keine Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG als beim Umlernen einer digitalen oder verbalen Reiz-Reaktions-Zuordnung.

Unterschiede der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG bedeuten dabei, dass die absolute Power in den Frequenzbändern Theta, Beta 2 sowie Gamma 1 höher, im Alpha-Band geringer sowie in den Frequenzbändern Delta, Beta 1 und Gamma 2 unterschiedlich ist.

2.5 Untersuchungsdurchführung

Im Zuge des Erstkontaktes des jeweiligen Probanden mit dem Diplomanden, bei dem auch die Ein- und Ausschlusskriterien Berücksichtigung fanden, wurde ein Termin für die Durchführung der Studie vereinbart. Die Erhebungen fanden je nach Möglichkeit der Teilnehmer sowohl vormittags als auch nachmittags statt, nicht jedoch an den Wochenenden. Am jeweiligen Tag der Erhebung wurden die Testpersonen begrüßt und ihnen für ihre Teilnahme an der Studie gedankt. Anschließend erfolgten vor Beginn der eigentlichen Untersuchungsdurchführung standardisierte einleitende Worte seitens des Versuchsleiters (=Diplomand) mit mündlichen und schriftlichen allgemeinen Informationen zur Studie. Dabei wurde über grundlegende Ziele der Studie und über allgemeine Fragen zum Testablauf informiert. Den Probanden wurde beispielsweise ein Ablageplatz für ihre Utensilien angeboten und die Testdauer mit 70 bis 80 Minuten angegeben. Es wurde auch erklärt, dass die Testung unter dem Einsatz physiologischer Messmethoden stattfinden würde und deshalb eine Applikation von Elektroden vonnöten sei. Noch vor der Testung sollte nach Möglichkeit die Toilette aufgesucht werden, da dies während des Experiments aufgrund der Verkabelung nur schwer möglich sei und den Testablauf empfindlich stören würde. Ein Abbrechen der Teilnahme an der Testung wäre jederzeit möglich. Nach diesen allgemeinen Informationen zum Testablauf konnten die Teilnehmer frei wählen, an welchem von zwei mit Notebooks ausgestatteten Tischen sie Platz nehmen wollten. Anschließend daran erfolgten durch den Versuchsleiter die Anbringung des EEG-Gerätes mit der Applikation der Elektroden und die

Konfiguration desselben. Zusätzlich dazu wurden für die Diplomarbeit eines anderen Studienkollegen portable EKG-Recorder (TOM AR 12) der Firma TOM Medical Entwicklungs GmbH zur Erhebung des Elektrokardiogramms (EKG) sowie des Hautpotentials angelegt. Nach erfolgreicher Prüfung der Ableitungsqualität von EEG und EKG wurden die Testpersonen zunächst aufgefordert, die Papier-Bleistift-Fragebögen zu den soziodemographischen Daten (siehe Anhang „1.3 Fragebogen: Soziodemographische Daten“, S. 170-171), den CAAFI (Schulenberg & Melton, 2008), den DFLEX (Roberts et al., 2011) sowie die CEW Fluency Scale (Bunz, 2004) auszufüllen. Diese lagen mitsamt einem Kugelschreiber bereits vorbereitet auf dem jeweiligen Tisch. Nach dem Ausfüllen der Fragebögen wurden die Versuchspersonen gebeten, ihre individuell bevorzugte Cursorgeschwindigkeit der Computermaus in der Systemsteuerung des Betriebssystems einzustellen. Danach öffnete der Versuchsleiter das Computerprogramm „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012) vom Desktop des jeweiligen Notebooks. In einem ersten Schritt wurde der Versuchspersonencode eingetragen. Mit der Information, dass alle weiteren Instruktionen auf dem Bildschirm erscheinen würden, begannen dann die Versuchspersonen das Computerprogramm zu bearbeiten. Bei sämtlichen Erhebungen wurde auch ein Untersuchungsprotokoll geführt, in dem sämtliche geplanten und ungeplanten Vorkommnisse aufgezeichnet wurden (Trimmel, 2009, S. 121). Für etwaige Fragen oder bei eventuell auftretenden Problemen während der Bearbeitung des Computerprogramms stand durchgehend der Versuchsleiter zur Verfügung. Außerdem wurden die Probanden am Ende zur Studie und zum Ablauf nachbefragt und auf Wunsch eine Rückmeldung per E-Mail über die Ergebnisse vereinbart.

2.6 Datenaufbereitung der physiologischen Aufzeichnungen

2.6.1 Elektrodermale Aktivität

Die in der Software Biotrace gespeicherten Aufzeichnungen der elektrodermalen Aktivität wurden in ein institutseigenes Analysetool exportiert und dort wiederum für Microsoft Excel 2007 in ein geeignetes Dateiformat umgewandelt. Bei dieser Umwandlung wurde auch die Anzahl der Spontanfluktuationen ausgelesen. Im Zuge der Umwandlung wurde die ursprüngliche Abtastrate von 32 Messungen pro Sekunde auf eine Abtastrate von vier Messungen pro Sekunde reduziert (entspricht der Mittelwertbildung über je acht Messungen pro Sekunde) und für die Bestimmung der Anzahl der Spontanfluktuationen pro Minute ein in der Literatur übliches Amplitudenkriterium von 0.05 μ Siemens gewählt (Boucsein, 2012, S. 156-157).

2.6.2 Spontan-EEG

Die in der Software Biotrace gespeicherten Aufzeichnungen des Spontan-EEG wurden aus dem Programm in das Analyseprogramm BESA (Brain Electrical Source Analysis in der Version 5.1.8, Firma BESA GmbH) exportiert. Die Signale wurden in einem ersten Schritt mittels Hochpassfilter (0.53 Hz) sowie einem Filter zur Beseitigung des Netzbrummens (um 50 Hz) bereinigt. Ebenso wurde eine Artefaktbereinigung mit einem Amplitudenkriterium von 500 μV eingesetzt. Danach wurde pro Aufzeichnung die absolute Power in den EEG-Frequenzbändern für jede Bedingung mit einer Zeiteinheit von jeweils einer Minute mittels der Fast Fourier Transformation exportiert und über Microsoft Excel 2007 in die beiden Statistiksoftwarepakete PASW 18 und STATISTICA 6.0 importiert. Tab. 6 gibt die dabei getroffene Festlegung der Frequenzbänder wieder.

Tabelle 6. Einteilung der Frequenzbänder des Spontan-EEG für die vorliegende Studie.

	Frequenzbereich (Hz)	
DELTA	0.5	4.0
THETA	4.1	8.0
ALPHA	8.1	12.0
BETA 1	12.1	15.0
BETA 2	15.1	30.0
GAMMA 1	30.1	70.0
GAMMA 2	84.0	125.0

3. ERGEBNISSE

3.1 Stichprobe

Gemäß Tab. 7 gab es hinsichtlich des Alters und der dominanten Hand keine signifikanten Geschlechtsunterschiede. Bezüglich des CAAFI (Schulenberg & Melton, 2008) gab es nur bezüglich der Skala *Einstellungen zu Computern* keine signifikanten Unterschiede. Hingegen waren die Punkte der Skalen *Vertrautheit mit Computern* ($Mdn_{\text{männlich}} = 17$, $SD_{\text{männlich}} = 7.68$; $Mdn_{\text{weiblich}} = 5.5$, $SD_{\text{weiblich}} = 13.99$) und *Computeraversion* ($Mdn_{\text{männlich}} = 21$, $SD_{\text{männlich}} = 5.10$; $Mdn_{\text{weiblich}} = 18$, $SD_{\text{weiblich}} = 6.89$) für die männlichen und weiblichen Teilnehmer signifikant unterschiedlich. Hinsichtlich des DFLEX (Roberts et al., 2011) unterschieden sich die Punkte der Skala *Aufmerksamkeit auf Details* für männliche ($Mdn = 36.79$, $SD = 7.59$) und weibliche Probanden ($Mdn = 32.76$, $SD = 8.77$), nicht jedoch für die Skala *Kognitive Rigidität*.

Tabelle 7. Teststatistiken zu Geschlechtsunterschieden der Stichprobe.

Teststatistiken zur Stichprobe						
		N _{Ges} ¹	N _m ²	N _w ³	Teststatistik	df p
Hand ⁴	Rechtshänder	58	52	41	$\chi^2 = 0.007$	1 .931
	Linkshänder	46	6	5		
		Mdn ¹² _{Ges}	Mdn _m	Mdn _w		
Alter ⁵		25	25	23.5	$U = 1152$	.290
Geschwindigkeit Mausklicke ⁶		177.111	169.278	185.667	$U = 1053$	.066
Geschwindigkeit Mausklicke alternierend ⁷	Zielfläche groß	675.222	619.222	742.389	$U = 719$	.000
Geschwindigkeit Mausklicke alternierend ⁸	Zielfläche klein	1125.611	1087.944	1215.420	$U = 1116$	.154
CAAFI ⁹	Vertrautheit mit Computern	13	17	5.5	$U = 679$	.000
	Einstellungen zu Computern	22	22	22	$U = 1282.5$	.736
	Computeraversion	20	21	18	$U = 864$	.002
CEW Fluency Scale ¹⁰	Computerwissen	104	105	101	$U = 469.5$	.000
		$\bar{X}^{13}$ _{Ges}	$\bar{X}$ _m	$\bar{X}$ _w		
DFLEX ¹¹	Kognitive Rigidität	36.279	36.241	36.326	$T = -0.054$	102 .957
	Aufmerksamkeit auf Details	35.010	36.793	32.761	$T = 2.511$	102 .014

Anmerkungen: ¹Ges = Gesamt. ²m = männlich. ³w = weiblich. ^{4, 6-9, 11}N_{Gesamt} = 104. N_{männlich} = 58. N_{weiblich} = 46. ⁵N_{Gesamt} = 103. N_{männlich} = 57. N_{weiblich} = 46. ¹⁰N_{Gesamt} = 100. N_{männlich} = 56. N_{weiblich} = 44. ¹²Mdn = Median. ¹³ $\bar{X}$ = Mittelwert.

Die zu Beginn des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012) zur Einübung vorgesehenen Aufgaben führten in einem Fall (alternierende Mausklicke bei großen Zielflächen) zu einem signifikanten Unterschied zwischen männlichen ($Mdn = 619.22$, $SD = 138.33$) und weiblichen Probanden ($Mdn = 742.39$, $SD = 171.07$). Auch hinsichtlich des Computerwissens der CEW Fluency Scale (Bunz, 2004) gab es einen signifikanten Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Probanden.

3.2 Subtest Liste

3.2.1 Verhaltensindikatoren

3.2.1.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten

3.2.1.1.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der Reaktionszeiten wurden die Daten von 79 Probanden ausgewertet.

3.2.1.1.2 Deskriptivstatistik

Tab. 8 gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

*Tabelle 8. Deskriptive Statistiken zu den Reaktionszeiten (in Millisekunden) für die Bedingungen ENG und WEIT des Subtests **Liste** (N = 79).*

	<i>M</i>	<i>MDN</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>SCHIEFE</i>	<i>KURTOSIS</i>
ENG	709.766	689.700	123.937	13.944	438.200	1024.750	0.471	-0.231
WEIT	1378.869	1319.167	333.666	37.540	859.667	2643.000	1.823	4.420

Abbildung 15 (S. 54) zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Reaktionszeiten für die Bedingungen des Subtests **Liste**.

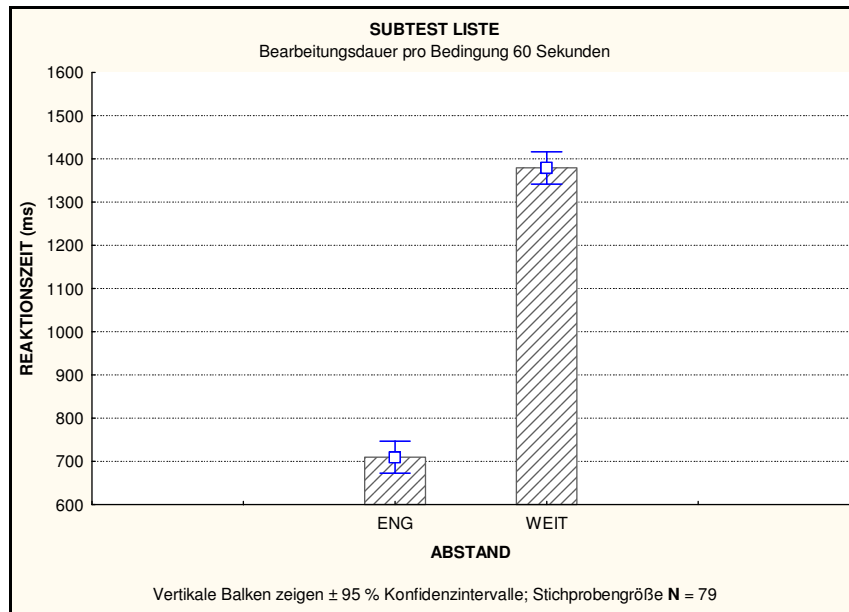


Abbildung 15. Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten Reaktionszeiten der Bedingungen ENG und WEIT des Subtests *Liste* mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 79$).

3.2.1.1.3 Statistische Hypothesenprüfung

Zum Vergleich der Bedingungen ENG und WEIT und damit zur Überprüfung der gerichteten Hypothese zum Subtest *Liste* bezüglich der abhängigen Variable *Reaktionszeiten* war als statistisches Verfahren der T-Test für abhängige Stichproben geplant. Die Differenzwerte waren sowohl nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test, $D(79) = 0.169$, $p < .05$, als auch nach dem Shapiro-Wilk-Test, $W(79) = 0.854$, $p < .05$, nicht normalverteilt. Daher wurde zum Vergleich der Mittelwerte der beiden Bedingungen als nichtparametrisches Äquivalent zum T-Test für gepaarte Stichproben der Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben berechnet. Die Reaktionszeiten waren signifikant länger in der Bedingung WEIT ($Mdn = 1319.167$) als in der Bedingung ENG ($Mdn = 689.700$), $z = 7.717$, $p < .001$, $r = .614$. Aufgrund dieses Ergebnisses konnte die gerichtete Hypothese zum Subtest *Liste* hinsichtlich der abhängigen Variable *Reaktionszeiten* bestätigt werden.

3.2.1.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten

3.2.1.2.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der prozentuellen Trefferraten wurden die Daten von 79 Probanden ausgewertet.

3.2.1.2.2 Deskriptivstatistik

Tab. 9 gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

*Tabelle 9. Deskriptive Statistiken zu den prozentuellen Trefferraten für die Bedingungen ENG und WEIT des Subtests **Liste** (N = 79).*

	<i>M</i>	<i>MDN</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>SCHIEFE</i>	<i>KURTOSIS</i>
ENG	0.712	0.750	0.189	0.021	0.167	1	-0.631	0.296
WEIT	0.524	0.500	0.219	0.025	0.083	1	-0.221	-0.511

Abbildung 16 zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten prozentuellen Trefferraten für die Bedingungen des Subtests **Liste**.

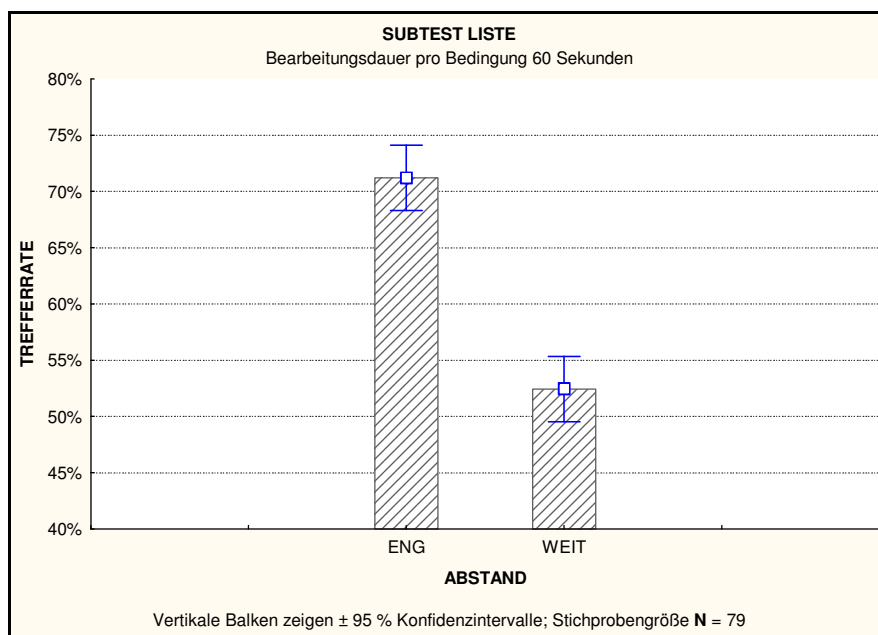


Abbildung 16. Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten prozentuellen Trefferraten der Bedingungen ENG und WEIT des Subtests **Liste** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße N = 79).

3.2.1.2.3 Statistische Hypothesenprüfung

Zum Vergleich der Bedingungen ENG und WEIT und damit zur Überprüfung der gerichteten Hypothese zum Subtest **Liste** bezüglich der abhängigen Variable *Prozentuelle Trefferraten*

war als statistisches Verfahren der T-Test für abhängige Stichproben geplant. Die Differenzwerte waren zwar nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test, $D(79) = 0.120$, $p < .05$, nicht normalverteilt, nicht aber nach dem Shapiro-Wilk-Test, $W(79) = 0.973$, $p > .05$. Ausgehend von diesen widersprüchlichen Ergebnissen der Normalverteilungstests konnte mit einiger Berechtigung der T-Test für gepaarte Stichproben berechnet werden. Die prozentuellen Trefferraten waren signifikant höher in der Bedingung ENG ($M = .712$, $SE = .021$) als in der Bedingung WEIT ($M = .524$, $SE = .025$), $t(78) = 6.446$, $p < .001$, $r = .590$. Aufgrund dieses Ergebnisses konnte die gerichtete Hypothese zum Subtest **Liste** hinsichtlich der abhängigen Variable *Prozentuelle Trefferraten* bestätigt werden.

3.2.2 Selbstbeobachtung

3.2.2.1 Abhängige Variable: Subjektive Angaben

3.2.2.1.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der Skalenpunkte des NASA-TLX wurden die Daten von 97 Probanden ausgewertet.

3.2.2.1.2 Deskriptivstatistik

Tab. 10 gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

*Tabelle 10. Deskriptive Statistiken zu den Skalenpunkten des NASA-TLX für die zwei Bedingungen ENG und WEIT des Subtests **Liste** (N = 97).*

SKALA	BEDINGUNG	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
Geistige Anforderung	ENG	12.371	13	4.179	0.424	3	20	-0.438	-0.566
	WEIT	14.278	15	4.135	0.420	3	21	-0.465	-0.487
Körperliche Anforderung	ENG	9.175	9	4.675	0.475	1	20	0.067	-0.939
	WEIT	11.103	11	5.189	0.527	1	21	0.089	-0.830
Zeitdruck	ENG	13.454	14	3.892	0.395	4	21	-0.401	-0.357
	WEIT	15.485	16	3.594	0.365	6	21	-0.495	-0.198
Anstrengung	ENG	13.454	14	4.311	0.438	2	21	-0.397	-0.705
	WEIT	14.546	15	3.997	0.406	4	21	-0.498	-0.132
Fehlleistung	ENG	11.959	12	4.863	0.494	2	21	-0.016	-0.986
	WEIT	13.557	14	5.025	0.510	2	21	-0.355	-0.785
Frustration	ENG	10.423	11	5.230	0.531	1	21	-0.025	-0.960
	WEIT	12.454	13	5.472	0.556	1	21	-0.271	-0.972

Abbildung 17 zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Skalenpunkte für alle sechs Skalen des NASA-TLX für die Bedingungen des Subtests *Liste*.

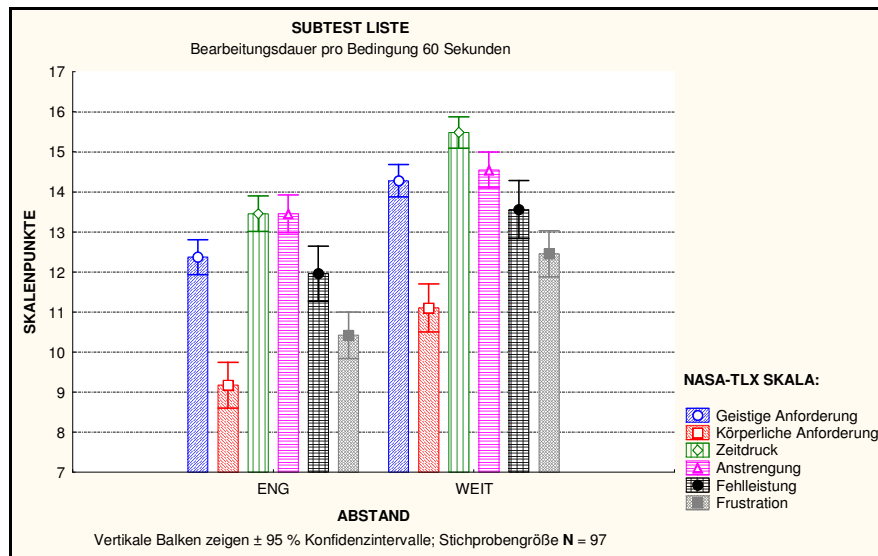


Abbildung 17. Diagramm zur multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten Skalenpunkte des NASA-TLX der Bedingungen ENG und WEIT des Subtests *Liste* mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 97$).

3.2.2.1.3 Statistische Hypothesenprüfung

Da für die statistische Analyse die sechs Skalen des NASA-TLX jeweils als abhängige Variable definiert wurden und es sich somit um ein sogenanntes zweifach-multivariates Design handelte (Statsoft, 2015), war das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten Hypothese zum Subtest *Liste* bezüglich der abhängigen Variable *Subjektive Angaben* eine einfaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem Messwiederholungsfaktor **Abstand** (ENG vs. WEIT). Bis auf drei Ausnahmen waren die Skalenpunkte der sechs Skalen des NASA-TLX für die beiden Bedingungen des Subtests *Liste* nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht normalverteilt. Nach den Shapiro-Wilk-Tests waren die Skalenpunkte aller Skalen nicht normalverteilt. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität

abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Alle folgenden Effekte der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden unter Verwendung der Pillai's Spur bei $p < .05$ als signifikant berichtet, da diese Teststatistik sehr robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilungsannahme ist (Bray & Maxwell, 1985, zitiert nach Field, 2009, S. 605). Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt des **Abstands** auf die Skalenpunkte, $V = 0.400$, $F(6, 91) = 10.125$, $p < .001$, $\eta^2 = .400$. Mit Blick auf die Hypothesenprüfung interessierte neben diesem Ergebnis die für jede Skala daran anschließend berechnete univariate Varianzanalyse. Die Sphärizitätsannahme für den Haupteffekt **Abstand** war gegeben, da dieser nur in zwei Stufen vorlag. In Tab. 11 liegen die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für jede Skala vor.

*Tabelle 11. Ergebnisse der der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung nachfolgenden univariaten Tests zu den Skalenpunkten des NASA-TLX des Subtests **Liste** für den Haupteffekt **Abstand** ($N = 97$).*

Univariate Tests zum Haupteffekt Abstand des Subtests Liste							
SKALA	SS	MS	df	F	η^2	r^1	p
Geistige Anforderung	176.418	176.418	1	40.220***	.295	.543 ²	.000
Fehler	421.082	4.386	96				
Körperliche Anforderung	180.253	180.253	1	27.197***	.221	.470 ²	.000
Fehler	636.247	6.628	96				
Zeitdruck	200.046	200.046	1	36.618***	.276	.525 ²	.000
Fehler	524.454	5.463	96				
Anstrengung	57.918	57.918	1	17.873***	.157	.396 ²	.000
Fehler	311.082	3.240	96				
Fehlleistung	123.840	123.840	1	15.113***	.136	.369 ²	.000
Fehler	786.660	8.194	96				
Frustration	200.046	200.046	1	21.763***	.185	.430 ²	.000
Fehler	882.454	9.192	96				

Anmerkungen: * $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$. ¹Effektstärken der Kontraste. ²Diese Kontraste waren zumindest bei $p < .05$ signifikant.

Demnach unterschieden sich die Bedingungen ENG und WEIT hinsichtlich der Skalenpunkte in jeder der sechs Skalen voneinander. Anschließend daran wurden für jede Skala Kontraste berechnet, welche für alle Skalen signifikante Unterschiede zwischen den Bedingungen aufdeckten. Die entsprechenden Effektstärken sind ebenfalls in Tab. 11 (S. 58) angegeben. Große Effekte ($r > .50$) waren demnach für die Skalen *Geistige Anforderung* und *Zeitdruck* zu verzeichnen. Bezüglich der übrigen vier Skalen handelte es sich um mittlere Effektstärken ($r > .30$). In Zusammenschau mit den deskriptiven Statistiken aus Tab. 10 (S. 56) zeigte sich also, dass die Skalenpunkte und damit die subjektiven Belastungseinschätzungen in der Bedingung ENG durchgehend geringer waren als in der Bedingung WEIT. Nach den Ergebnissen der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung und den Ergebnissen der nachfolgenden univariaten Varianzanalysen konnte die gerichtete Hypothese zum Subtest *Liste* hinsichtlich der abhängigen Variable *Subjektive Angaben* bestätigt werden.

3.2.3 Physiologie

3.2.3.1 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität

3.2.3.1.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der Anzahl der Spontanfluktuationen wurden die Daten von 99 Probanden ausgewertet.

3.2.3.1.2 Deskriptivstatistik

Tab. 12 gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

*Tabelle 12. Deskriptive Statistiken zu der Anzahl der Spontanfluktuationen für die zwei Bedingungen des Subtests **Liste** (N = 99).*

	<i>M</i>	<i>MDN</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>SCHIEFE</i>	<i>KURTOSIS</i>
ENG	8.020	8	4.148	0.417	0	18	0.219	-0.265
WEIT	9.051	9	4.317	0.434	0	24	0.224	0.678

Abbildung 18 (S. 60) zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Anzahl der Spontanfluktuationen für die Bedingungen des Subtests *Liste*.

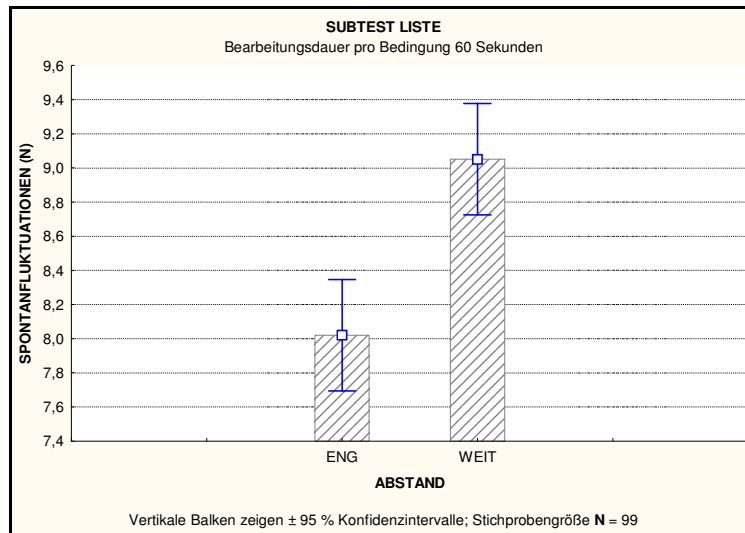


Abbildung 18. Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten Anzahl der Spontanfluktuationen der Bedingungen ENG und WEIT des Subtests *Liste* mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 99$).

3.2.3.1.3 Statistische Hypothesenprüfung

Zum Vergleich der Bedingungen ENG und WEIT und damit zur Überprüfung der gerichteten Hypothese zum Subtest *Liste* bezüglich der abhängigen Variable *Elektrodermale Aktivität* war als statistisches Verfahren der T-Test für abhängige Stichproben geplant. Die Differenzwerte waren sowohl nach dem Kolmogorov-Smirnov-Test, $D(79) = 0.129$, $p < .05$, als auch nach dem Shapiro-Wilk-Test, $W(79) = 0.967$, $p < .05$, nicht normalverteilt. Daher wurde zum Vergleich der Mittelwerte der beiden Bedingungen als nichtparametrisches Äquivalent zum T-Test für abhängige Stichproben der Wilcoxon-Test für gepaarte Stichproben berechnet. Die Anzahl der Spontanfluktuationen war signifikant höher in der Bedingung WEIT ($Mdn = 9$) als in der Bedingung ENG ($Mdn = 8$), $z = 2.788$, $p < .01$, $r = .198$. Aufgrund dieses Ergebnisses konnte die gerichtete Hypothese zum Subtest *Liste* hinsichtlich der abhängigen Variable *Elektrodermale Aktivität* bestätigt werden.

3.2.3.2 Abhängige Variable: Spontan-EEG

3.2.3.2.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG wurden die Daten von 87 Probanden ausgewertet.

3.2.3.2.2 Deskriptivstatistik

Die Tab. 13 und 14 (beide auf S. 61) geben einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung,

*Tabelle 13. Deskriptive Statistiken zu der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG bei frontozentraler Ableitung für die Bedingungen des Subtests **Liste** (N = 87).*

EEG-Band	BEDINGUNG	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
DELTA	ENG	20.434	17.6	12.071	1.294	5.1	73.5	1.940	5.192
	WEIT	18.906	17.0	8.520	0.913	6.6	46.3	0.928	0.771
THETA	ENG	24.277	23.4	9.818	1.053	8.5	61.9	1.122	2.282
	WEIT	23.860	23.9	8.986	0.963	9.7	56.3	0.851	1.465
ALPHA	ENG	11.760	11.4	5.044	0.541	4.6	33.6	1.815	5.276
	WEIT	12.299	11.3	4.809	0.516	5.1	28.9	1.162	1.536
BETA 1	ENG	4.936	4.6	1.945	0.209	1.8	11.7	1.126	1.319
	WEIT	5.402	4.9	2.147	0.230	1.7	14.2	1.221	2.412
BETA 2	ENG	15.213	13.1	7.842	0.841	7.0	57.2	2.669	10.361
	WEIT	16.507	13.2	7.647	0.820	6.6	40.5	1.126	0.743
GAMMA 1	ENG	17.902	14.0	12.890	1.382	4.3	82.9	2.390	7.769
	WEIT	19.293	15.0	11.770	1.262	4.7	52.7	1.089	0.532
GAMMA 2	ENG	8.001	5.9	5.957	0.639	2.1	35.0	2.383	6.406
	WEIT	8.431	6.4	5.848	0.627	2.4	35.6	2.014	5.472

*Tabelle 14. Deskriptive Statistiken zu der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG bei parietozentraler Ableitung für die Bedingungen des Subtests **Liste** (N = 87).*

EEG-Band	BEDINGUNG	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
DELTA	ENG	11.393	10.4	4.297	0.461	4.7	26.5	1.114	1.417
	WEIT	12.452	11.5	4.485	0.481	5.3	29.3	1.337	2.522
THETA	ENG	14.733	14.5	4.395	0.471	7.7	27.3	0.467	-0.287
	WEIT	15.856	15.6	4.471	0.479	7.8	31.2	0.515	0.485
ALPHA	ENG	12.136	10.7	5.857	0.628	4.0	34.6	1.445	2.310
	WEIT	12.724	11.5	5.711	0.612	4.9	32.4	1.220	1.453
BETA 1	ENG	6.464	5.8	2.954	0.317	2.0	18.1	1.208	2.140
	WEIT	6.543	6.1	2.818	0.302	2.0	16.3	0.899	0.713
BETA 2	ENG	17.484	15.3	9.293	0.996	6.1	58.6	1.884	4.717
	WEIT	18.185	16.7	8.920	0.956	6.0	49.6	1.186	1.596
GAMMA 1	ENG	24.438	20.3	17.435	1.869	4.8	105.4	2.309	6.683
	WEIT	25.647	22.0	16.251	1.742	5.0	91.4	1.585	3.317
GAMMA 2	ENG	10.010	7.6	8.956	0.960	2.1	59.5	3.625	15.796
	WEIT	10.094	8.8	7.800	0.836	2.5	52.0	3.152	13.242

Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

Abbildung 19 zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten absoluten Power in den EEG-Frequenzbändern für die Bedingungen ENG und WEIT des Subtests *Liste* bei frontozentraler und parietozentraler Lokalisation.

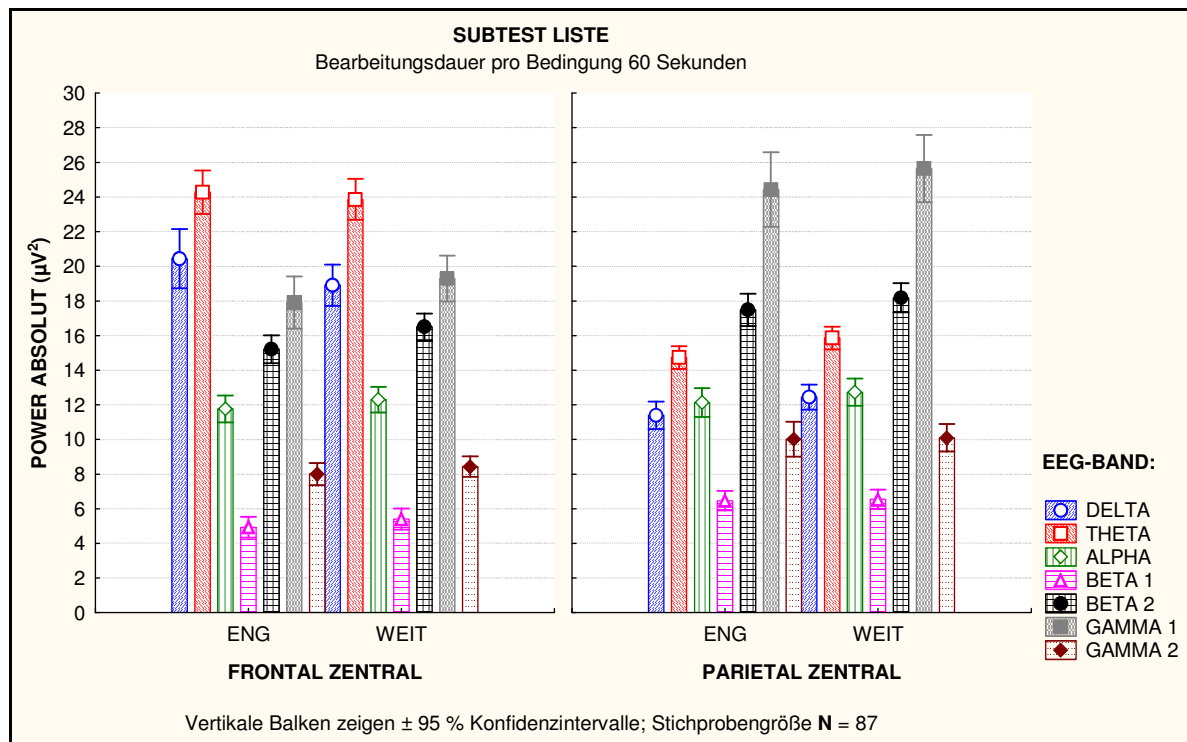


Abbildung 19. Interaktionsdiagramm zur multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten absoluten Power des Spontan-EEG für die Bedingungen des Subtests *Liste* mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 87$).

3.2.3.2.3 Statistische Hypothesenprüfung

Da für die inferenzstatistische Analyse die sieben EEG-Frequenzbänder jeweils als abhängige Variablen definiert wurden und es sich somit um ein sogenanntes zweifach-multivariates Design handelte (Statsoft, 2015), war das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten Hypothese zum Subtest *Liste* bezüglich der abhängigen Variable *Spontan-EEG* eine 2×2 zweifaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den zwei Messwiederholungsfaktoren **Lokalisation** (FZ vs. PZ) und **Abstand** (ENG vs. WEIT). Bis auf zwei Ausnahmen war die absolute Power in den EEG-

Frequenzbändern nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht normalverteilt. Nach den Shapiro-Wilk-Tests war bis auf eine Ausnahme die absolute Power in allen EEG-Frequenzbändern nicht normalverteilt. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Alle folgenden Effekte der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden unter Verwendung der Pillai's Spur bei $p < .05$ als signifikant berichtet da diese Teststatistik sehr robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilungsannahme ist (Bray & Maxwell, 1985, zitiert nach Field, 2009, S. 605). Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt der **Lokalisation** auf die absolute Power in den EEG-Frequenzbändern, $V = 0.774$, $F(7, 80) = 39.097$, $p < .001$, $\eta^2 = .774$. Hingegen war der Haupteffekt des **Abstands** auf die absolute Power in den EEG-Frequenzbändern nicht signifikant, $V = 0.117$, $F(7, 80) = 1.521$, $p > .05$, $\eta^2 = .117$. Der Interaktionseffekt **Lokalisation** $\times$ **Abstand** wiederum war signifikant, $V = 0.211$, $F(7, 80) = 3.049$, $p < .01$, $\eta^2 = .211$. Es war also in Abhängigkeit von der Lokalisation die absolute Power für die einzelnen EEG-Frequenzbänder je nach Abstand der Interaktionselemente voneinander unterschiedlich. In Bezug auf den Haupteffekt **Lokalisation** zeigten die nachfolgenden univariaten Varianzanalysen für die EEG-Frequenzbänder Delta, Theta, Beta 1 und Gamma 1 signifikante Ergebnisse. Mit Blick auf die Hypothesenprüfung interessierte der Haupteffekt **Abstand**, der allerdings nicht signifikant ausfiel. Dagegen war der Interaktionseffekt **Lokalisation** $\times$ **Abstand** signifikant. Aufgrund der nicht gegebenen Signifikanz zum Haupteffekt **Abstand** konnte die gerichtete Hypothese nicht global in Bezug auf beide Ableitpositionen (frontal zentral und parietal zentral) bestätigt werden. Abbildung 20 (S. 64) zeigt, dass es sich hierbei um eine disordinale Interaktion handelte, da in beiden Interaktionsdiagrammen die Grafen zum Teil an- und absteigend verliefen (Bortz & Döring, 2006, S. 534). Für jedes einzelne EEG-Frequenzband mussten also aufgrund des signifikanten Interaktionseffekts differenzierte Angaben gemacht werden. Um dieser Wechselwirkung nachzuforschen, wurden weitere univariate Varianzanalysen für jedes

EEG-Frequenzband berechnet. Die Sphärizitätsannahmen für beide Haupteffekte als auch für den Interaktionseffekt waren gegeben, da alle Effekte nur in zwei Stufen vorlagen. In Tab. 15 (S. 65) liegen die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen zum Interaktionseffekt **Lokalisation** $\times$ **Abstand** für jedes EEG-Frequenzband vor. Signifikant war diese Interaktion für die EEG-Frequenzbänder Delta, Theta und Beta 1. Eine genauere Betrachtung des Interaktionseffekts in Abbildung 19 (S. 62) ließ erkennen, dass bei frontozentraler Lokalisation in der Bedingung ENG die absolute Power in den EEG-Frequenzbändern Delta ($M = 20.43$; $SD = 12.07$) und Theta ($M = 24.28$; $SD = 9.82$) höher war als in der Bedingung WEIT (Delta: $M = 18.91$; $SD = 8.52$; Theta: $M = 23.86$; $SD = 8.99$). Hingegen war bei parietozentraler Lokalisation die absolute Power für Delta und Theta in der Bedingung WEIT höher (Delta: $M = 12.45$; $SD = 4.49$; Theta: $M = 15.86$; $SD = 4.47$) als in der Bedingung ENG (Delta: $M = 11.39$; $SD = 4.30$; Theta: $M = 14.73$; $SD = 4.40$). Für das EEG-Frequenzband Beta 1 kam es sowohl frontal von der Bedingung ENG ($M = 4.94$; $SD = 1.95$) auf die Bedingung WEIT ($M = 5.40$; $SD = 2.15$) als auch parietal von der Bedingung ENG ($M = 6.46$; $SD = 2.95$) auf die Bedingung WEIT ($M = 6.54$; $SD = 2.82$) zu einem Anstieg der absoluten Power.

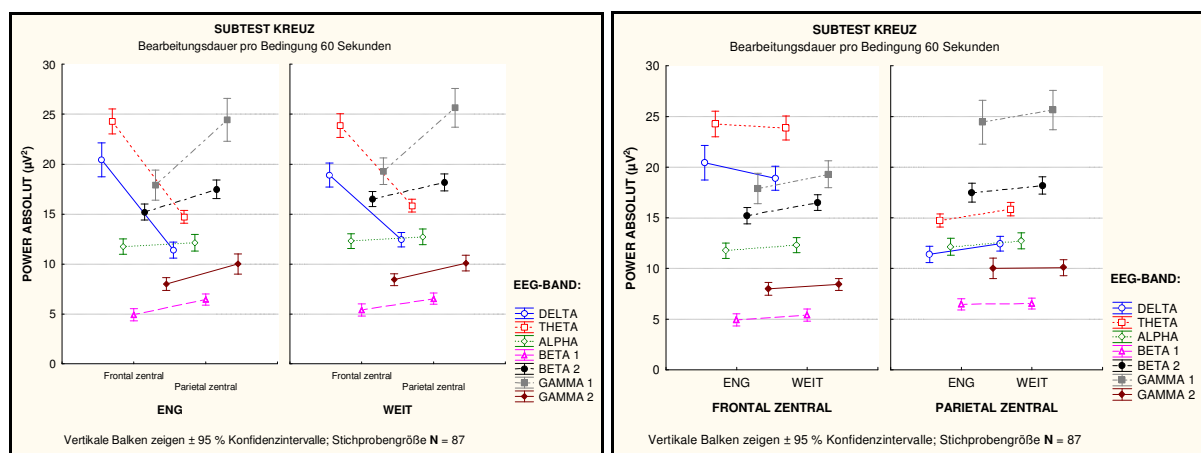


Abbildung 20. Interaktionsdiagramme für die Messwiederholungsfaktoren **Lokalisation** (links) und **Abstand** (rechts) der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten absoluten Power des Spontan-EEG zu den Bedingungen des Subtests *Liste* mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 87$).

Tabelle 15. Ergebnisse der der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung nachfolgenden univariaten Tests zur absoluten EEG-Power des Subtests *Liste* für den Interaktionseffekt *Lokalisation* × *Abstand* ($N = 87$).

Univariate Tests zum Interaktionseffekt <i>Lokalisation</i> × <i>Abstand</i> des Subtests <i>Liste</i>							
EEG-BAND	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>df</i>	<i>F</i>	η^2	r^1	<i>p</i>
Delta	145.603	145.603	1	6.648*	.072	.268 ²	.012
Fehler	1883.664	21.903	86				
Theta	51.598	51.598	1	9.136**	.096	.310 ²	.003
Fehler	485.707	5.648	86				
Alpha	0.053	0.053	1	0.038	.000	.021	.846
Fehler	121.139	1.409	86				
Beta 1	3.283	3.283	1	5.877*	.064	.253 ²	.017
Fehler	48.037	0.559	86				
Beta 2	7.651	7.651	1	1.632	.019	.136	.205
Fehler	403.254	4.689	86				
Gamma 1	0.717	0.717	1	0.040	.000	.021	.842
Fehler	1535.853	17.859	86				
Gamma 2	2.603	2.603	1	0.678	.008	.088	.412
Fehler	330.079	3.838	86				

Anmerkungen: * $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$. ¹Effektstärken der Kontraste. ²Diese Kontraste waren zumindest bei $p < .05$ signifikant.

Nicht signifikant war der Interaktionseffekt hingegen für die EEG-Frequenzbänder Alpha, Beta 2, Gamma 1 und Gamma 2. Nach den Ergebnissen der multivariaten Varianzanalyse als auch der nachfolgenden univariaten Varianzanalysen konnten für die EEG-Frequenzbänder Delta, Theta und Beta 1 die Hypothesen teilweise bestätigt werden. Die ungerichtete Hypothese zu den EEG-Frequenzbändern Delta und Beta 1 konnten bestätigt werden. Für das Theta-Band hingegen konnte nur bei parietaler Lokalisation die gerichtete Hypothese bestätigt werden, nicht jedoch für das frontale Theta-Band. Die zu den EEG-Frequenzbändern Alpha, Beta 2, Gamma 1 und Gamma 2 formulierte gerichtete Hypothese musste hingegen aufgrund der vorliegenden Resultate zurückgewiesen werden. Aufgrund dieser Ergebnisse konnte die gerichtete Hypothese zum Subtest *Liste* hinsichtlich der abhängigen Variable *Spontan-EEG* nur teilweise bestätigt werden.

3.2.4 Zusammenhänge zwischen subjektivem Erleben und der Physiologie

Aufgrund der Tatsache, dass die Variablen gemäß den Normalverteilungstests mehrheitlich signifikant nicht normalverteilt waren, wurden für die Zusammenhangsanalysen jeweils Spearman-Korrelationen berechnet. Dabei wurden die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen sowie der absoluten Power pro EEG-Frequenzband und Lokalisation zwischen den Bedingungen ENG und WEIT des Subtests *Liste* jeweils mit den Differenzwerten der Punkte pro Skala des NASA-TLX (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) zwischen den Bedingungen ENG und WEIT korreliert, um zu analysieren, ob die dabei beobachteten Veränderungen der Messwerte der physiologischen Parameter und der subjektiven Angaben über die Bedingungen miteinander in kongruenter oder inkongruenter Beziehung standen. Signifikant positive Korrelationen bedeuteten dabei, dass je positiver beziehungsweise negativer die Differenzwerte der Skalenpunkte einer bestimmten Skala waren, desto positiver beziehungsweise negativer waren auch die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen beziehungsweise der absoluten Power in dem betreffenden EEG-Frequenzband. Signifikant negative Korrelationen bedeuteten dabei, dass je positiver beziehungsweise negativer die Differenzwerte der Skalenpunkte einer bestimmten Skala waren, desto negativer beziehungsweise positiver waren auch die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen beziehungsweise der absoluten Power in dem betreffenden EEG-Frequenzband.

3.2.4.1 Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten

In den Tab. 16 und 17 (S. 67) werden die Differenzwerte zu den Skalen des NASA-TLX sowie zu den physiologischen Parametern (EDA und Spontan-EEG) angegeben.

Tabelle 16. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX im Subtest Liste.

NASA-TLX SKALENPUNKTE – DIFFERENZWERTE		
NASA-TLX SKALA	M	SD
Geistige Anforderung	-1.907	2.962
Körperliche Anforderung	-1.928	3.641
Zeitdruck	-2.031	3.305
Anstrengung	-1.093	2.546
Fehlleistung	-1.598	4.048
Frustration	-2.031	4.288

Anmerkungen: Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung ENG minus Skalenpunkte der Bedingung WEIT. N = 97.

Tabelle 17. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten von EDA und Spontan-EEG im Subtest *Liste*.

ELEKTRODERMALE AKTIVITÄT - DIFFERENZWERTE			
		<i>M</i>	<i>SD</i>
Anzahl Spontanfluktuationen		-1.030	3.272
SPONTAN-EEG - DIFFERENZWERTE			
<i>EEG-Frequenzband</i>	<i>Lokalisation</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Delta	Frontal zentral	1.529	9.113
	Parietal zentral	-1.059	4.685
Theta	Frontal zentral	0.417	4.700
	Parietal zentral	-1.123	2.804
Alpha	Frontal zentral	-0.539	2.703
	Parietal zentral	-0.589	3.254
Beta 1	Frontal zentral	-0.467	1.468
	Parietal zentral	-0.078	1.475
Beta 2	Frontal zentral	-1.294	6.209
	Parietal zentral	-0.701	5.109
Gamma 1	Frontal zentral	-1.391	10.248
	Parietal zentral	-1.209	10.171
Gamma 2	Frontal zentral	-0.430	5.115
	Parietal zentral	-0.084	4.605

Anmerkungen: Die Differenzwerte wurden pro Frequenzband folgendermaßen berechnet: Absolute Power der Bedingung ENG minus Absolute Power der Bedingung WEIT. N = 99 (EDA). N = 87 (EEG).

Da sich die Fallzahlen von NASA-TLX und den physiologischen Parametern unterscheiden (siehe Tab. 5, S. 30), sind in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ die für die Berechnung der Korrelationen relevanten Differenzwerte des NASA-TLX bei Zugrundelegung der Fallzahlen von EDA und Spontan-EEG in den Tab. 56-57 (S. 175) dargestellt.

3.2.4.2 Korrelationen: Elektrodermale Aktivität und Skalenpunkte des NASA-TLX

Es gab in einem Fall einen signifikant positiven Zusammenhang, $r = .22$, p (2-seitig) $< .05$, zwischen der Anzahl der Spontanfluktuationen und der Skala *Fehlleistung*. In allen anderen Fällen konnte kein signifikanter Zusammenhang beobachtet werden.

In Anhang „4. Spearman-Korrelationen der Differenzwerte“ sind die Korrelationen zwischen den Differenzwerten der Anzahl der Spontanfluktuationen und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX zum Subtest *Liste* in Tab. 71 (S. 182) dargestellt.

3.2.4.3 Korrelationen: Spontan-EEG und Skalenpunkte des NASA-TLX

Für das EEG-Frequenzband Delta gab es nur in einem einzigen Fall eine signifikante Korrelation mit der Skala *Geistige Anforderung*, $r_{\text{frontal}} = -.22$, p (2-seitig) $< .05$. Zu beachten ist, dass es sich dabei um die einzige signifikant negative Korrelation handelte. Ansonsten waren alle anderen signifikanten Korrelationen positiv. Bezüglich des Theta-Bandes gab es signifikant positive Korrelationen mit den Skalen *Geistige Anforderung*, $r_{\text{parietal}} = .28$, p (2-seitig) $< .05$, *Körperliche Anforderung*, $r_{\text{parietal}} = .28$, p (2-seitig) $< .05$, und *Zeitdruck*, $r_{\text{parietal}} = .22$, p (2-seitig) $< .05$. Ein weiteres auffälliges Ergebnis war, dass die Differenzwerte der Skalenpunkte der Skala *Geistige Anforderung* – mit Ausnahme von Delta – ausschließlich mit den Differenzwerten der absoluten Power in den EEG-Frequenzbändern bei parietozentraler Lokalisation signifikant positiv korreliert waren. Neben dem zuvor erwähnten Theta-Band galt dies für die Frequenzbänder Beta 2, $r_{\text{parietal}} = .25$, p (2-seitig) $< .05$, Gamma 1, $r_{\text{parietal}} = .26$, p (2-seitig) $< .05$, sowie Gamma 2, $r_{\text{parietal}} = .25$, p (2-seitig) $< .05$. Die meisten signifikant positiven Korrelationen gab es im Zusammenhang mit der Skala *Zeitdruck*. Die Differenzwerte der absoluten Power in den EEG-Frequenzbändern Beta 1, $r_{\text{frontal}} = .27$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{\text{parietal}} = .30$, p (2-seitig) $< .05$, Beta 2, $r_{\text{frontal}} = .26$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{\text{parietal}} = .38$, p (2-seitig) $< .05$, Gamma 1, $r_{\text{frontal}} = .29$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{\text{parietal}} = .34$, p (2-seitig) $< .05$, und Gamma 2, $r_{\text{frontal}} = .30$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{\text{parietal}} = .33$, p (2-seitig) $< .05$, korrelierten hinsichtlich beider Ableitorte signifikant mit dieser Skala. Auch die Differenzwerte der absoluten Power im frontalen Alpha-Band, $r_{\text{frontal}} = .29$, p (2-seitig) $< .05$, korrelierten signifikant positiv mit der Skala *Zeitdruck*. Signifikant positive Korrelationen gab es darüber hinaus zwischen der Skala *Fehlleistung* mit den EEG-Frequenzbändern Beta 2, $r_{\text{parietal}} = .22$, p (2-seitig) $< .05$, Gamma 1, $r_{\text{frontal}} = .23$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{\text{parietal}} = .24$, p (2-seitig) $< .05$, sowie Gamma 2, $r_{\text{frontal}} = .24$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{\text{parietal}} = .21$, p (2-seitig) $< .05$. Weiter korrelierten die EEG-Frequenzbänder Beta 2, $r_{\text{parietal}} = .21$, p (2-seitig) $< .05$, Gamma 1, $r_{\text{frontal}} = .24$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{\text{parietal}} = .25$, p (2-seitig) $< .05$, und Gamma 2, $r_{\text{frontal}} = .27$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{\text{parietal}} = .25$, p (2-seitig) $< .05$, signifikant positiv mit der Skala *Frustration*. Schließlich konnten signifikant positive Korrelationen auch zwischen der Skala *Körperliche Anforderung* mit den Frequenzbändern Beta 2, $r_{\text{frontal}} = .23$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{\text{parietal}} = .28$, p (2-seitig) $< .05$, Gamma 1, $r_{\text{frontal}} = .28$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{\text{parietal}} = .23$, p (2-seitig) $< .05$, und Gamma 2, $r_{\text{frontal}} = .25$, p (2-seitig) $< .05$, bestimmt werden. Es gab aber keine einzige signifikante Korrelation zwischen den Differenzwerten der Skalenpunkte der

Skala *Anstrengung* und den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG.

In Anhang „4. Spearman-Korrelationen der Differenzwerte“ sind die Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX zum Subtest *Liste* in Tab. 72 (S. 183) dargestellt.

3.3 Subtest *Herd*

3.3.1 Verhaltensindikatoren

3.3.1.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten

3.3.1.1.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der Reaktionszeiten wurden die Daten von 102 Probanden ausgewertet.

3.3.1.1.2 Deskriptivstatistik

Tab. 18 gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

*Tabelle 18. Deskriptive Statistiken zu den Reaktionszeiten (in Millisekunden) für die drei Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd** (N = 102).*

	<i>M</i>	<i>MDN</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>SCHIEFE</i>	<i>KURTOSIS</i>
Natürliches Mapping	1474.546	1421.958	255.629	25.311	1059.750	2531.625	1.347	2.729
Linear weit	2259.365	2123.458	641.027	63.471	1324.417	4900.000	1.285	2.594
Linear eng	2142.024	2037.117	598.614	59.272	1241.417	4130.250	0.738	0.248

Abbildung 21 (S. 70) zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Reaktionszeiten für die Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests *Herd*.

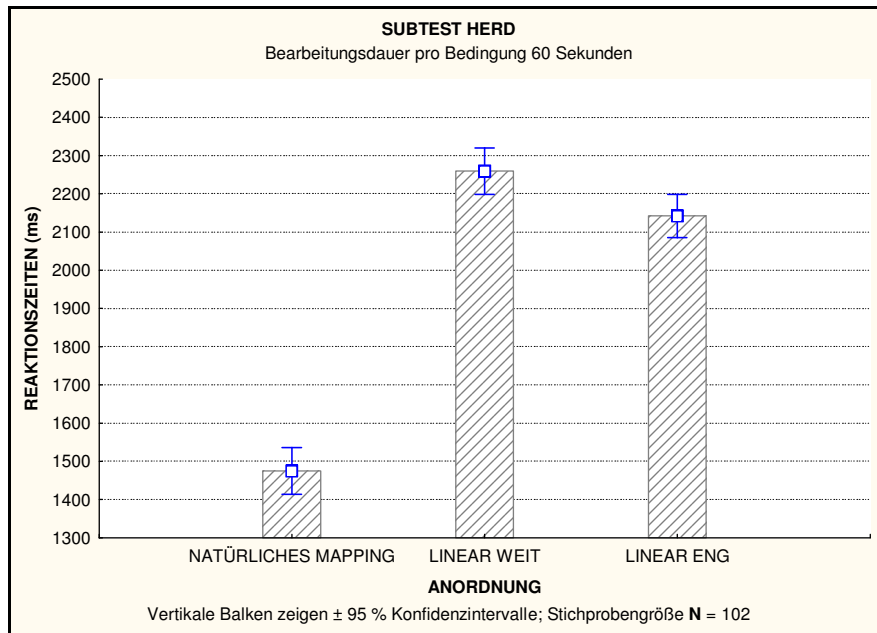


Abbildung 21. Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervalle der nach der Cosineau-Morey-Methode standardisierten Reaktionszeiten des Messwiederholungsfaktors **Anordnung** der drei Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 102$).

3.3.1.1.3 Statistische Hypothesenprüfung

Das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten und ungerichteten Hypothese zum Subtest **Herd** bezüglich der abhängigen Variable *Reaktionszeiten* war eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem dreistufigen Messwiederholungsfaktor **Anordnung** (NATÜRLICHES MAPPING vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Die Reaktionszeiten aller drei Bedingungen waren sowohl nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests (NATÜRLICHES MAPPING: $D(102) = 0.097$, $p < .05$; LINEAR WEIT: $D(102) = 0.109$, $p < .05$; LINEAR ENG: $D(102) = 0.089$, $p < .05$) als auch nach den Shapiro-Wilk-Tests (NATÜRLICHES MAPPING: $W(102) = 0.911$, $p < .05$; LINEAR WEIT: $W(102) = 0.917$, $p < .05$; LINEAR ENG: $W(102) = 0.953$, $p < .05$) nicht normalverteilt. Daher wurde zum Vergleich der Mittelwerte der Reaktionszeiten der drei Bedingungen als nichtparametrisches Äquivalent zur einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung der Friedman-Test berechnet. Die Reaktionszeiten der drei Bedingungen unterschieden sich signifikant voneinander, $\chi^2(2) = 106.137$, $p < .001$. Anschließend daran wurden jeweils Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben berechnet. Die gerichtete Hypothese wurde im Sinne von Kontrasten verglichen und damit ein Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ gewählt. Hingegen wurde gemäß der ungerichteten Hypothese im Sinne eines Post-Hoc-Tests

eine Bonferroni-Korrektur vorgenommen. Für diesen Effekt bestimmte sich das Signifikanzniveau mit $\alpha = .0167$. Die Reaktionszeiten waren signifikant länger in der Bedingung LINEAR WEIT ($Mdn = 2123.458$) als in der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING ($Mdn = 1421.958$), $z = -8.424$, $p < .001$, $r = -.590$. Auch waren die Reaktionszeiten signifikant länger in der Bedingung LINEAR ENG ($Mdn = 2037.117$) als in der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING ($Mdn = 1421.958$), $z = -8.110$, $p < .001$, $r = -.568$. Nicht signifikant war hingegen der Vergleich der Reaktionszeiten der Bedingungen LINEAR WEIT ($Mdn = 2123.458$) und LINEAR ENG ($Mdn = 2037.117$), $z = -2.115$, $p > .0167$, $r = -.148$. Nach den Ergebnissen des Signifikanztests konnte die gerichtete Hypothese zum Subtest **Herd** hinsichtlich der abhängigen Variable *Reaktionszeiten* bestätigt werden. Hingegen musste die ungerichtete Hypothese bei Nichtüberschreitung der Signifikanzschwelle zurückgewiesen werden.

3.3.1.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten

3.3.1.2.1

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der prozentuellen Trefferraten wurden die Daten von 102 Probanden ausgewertet.

3.3.1.2.2 Deskriptivstatistik

Tab. 19 gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

*Tabelle 19. Deskriptive Statistiken zu den prozentuellen Trefferraten für die drei Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd** (N = 102).*

	<i>M</i>	<i>MDN</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>SCHIEFE</i>	<i>KURTOSIS</i>
NATÜRLICHES MAPPING	0.982	1.000	0.077	0.008	0.417	1	-5.440	32.812
LINEAR WEIT	0.835	0.917	0.216	0.021	0.083	1	-1.586	2.057
LINEAR ENG	0.895	1.000	0.196	0.019	0.167	1	-2.102	3.501

Abbildung 22 (S. 72) zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Reaktionszeiten für die Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd**.

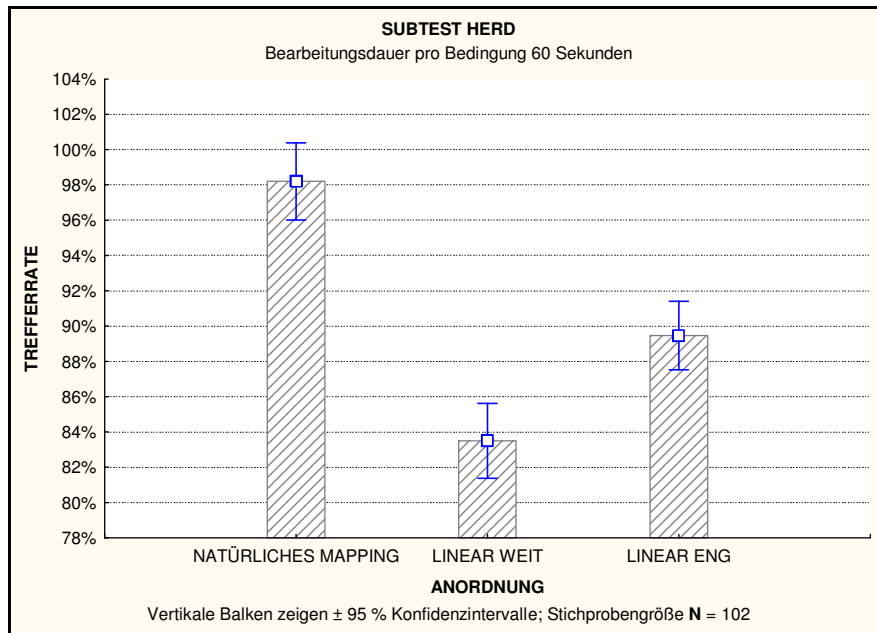


Abbildung 22. Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervalle der nach der Cosineau-Morey-Methode standardisierten prozentuellen Trefferraten des Messwiederholungsfaktors **Anordnung** der drei Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße N = 102).

3.3.1.2.3 Statistische Hypothesenprüfung

Das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten und ungerichteten Hypothese zum Subtest **Herd** bezüglich der abhängigen Variable *Prozentuelle Trefferraten* war eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem dreistufigen Messwiederholungsfaktor **Anordnung** (NATÜRLICHES MAPPING vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Die prozentuellen Trefferraten aller drei Bedingungen waren sowohl nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests (NATÜRLICHES MAPPING: $D(102) = 0.513$, $p < .05$; LINEAR WEIT: $D(102) = 0.255$, $p < .05$; LINEAR ENG: $D(102) = 0.332$, $p < .05$) als auch nach den Shapiro-Wilk-Tests (NATÜRLICHES MAPPING: $W(102) = 0.251$, $p < .05$; LINEAR ,WEIT: $W(102) = 0.771$, $p < .05$; LINEAR ENG: $W(102) = 0.605$, $p < .05$) nicht normalverteilt. Daher wurde zum Vergleich der Mittelwerte der prozentuellen Trefferraten der drei Bedingungen als nichtparametrisches Äquivalent zur einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung der Friedman-Test berechnet. Die prozentuellen Trefferraten der drei Bedingungen unterschieden sich signifikant voneinander, $\chi^2(2) = 56.775$, $p < .001$. Anschließend daran wurden jeweils Wilcoxon-Tests für gepaarte Stichproben berechnet. Die gerichtete Hypothese wurde im Sinne von Kontrasten verglichen und damit ein Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ gewählt. Hingegen wurde gemäß der ungerichteten Hypothese

im Sinne eines Post-Hoc-Tests eine Bonferroni-Korrektur vorgenommen. Für diesen Effekt bestimmte sich das Signifikanzniveau mit $\alpha = .0167$. Die prozentuellen Trefferraten waren signifikant höher in der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING ($Mdn = 1.000$) als in der Bedingung LINEAR WEIT ($Mdn = .917$), $z = -5.978$, $p < .001$, $r = -.419$. Auch waren die prozentuellen Trefferraten signifikant höher in der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING ($Mdn = 1.000$) als in der Bedingung LINEAR ENG ($Mdn = 1.000$), $z = -4.113$, $p < .001$, $r = -.288$. Schließlich waren auch die prozentuellen Trefferraten der Bedingung LINEAR ENG ($Mdn = 1.000$) signifikant höher als die prozentuellen Trefferraten der Bedingung LINEAR WEIT ($Mdn = .917$), $z = -3.392$, $p < .01$, $r = -.237$. Nach den Ergebnissen des Signifikanztests konnte sowohl die gerichtete als auch die ungerichtete Hypothese zum Subtest *Herd* hinsichtlich der abhängigen Variable *Prozentuelle Trefferraten* bestätigt werden.

3.3.2 Selbstbeobachtung

3.3.2.1 Abhängige Variable: Subjektive Angaben

3.3.2.1.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der Skalenpunkte des NASA-TLX wurden die Daten von 102 Probanden ausgewertet.

3.3.2.1.2 Deskriptivstatistik

Tab. 20 (S. 74) gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

Tabelle 20. Deskriptive Statistiken zu Skalenpunkten des NASA-TLX für die drei Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd** (N = 92).

SKALA	BEDINGUNG	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
Geistige Anforderung	Natürliches Mapping	7.098	6	4.240	0.442	1	18	0.458	-0.709
	Linear weit	10.076	10	4.644	0.484	1	20	0.032	-0.760
	Linear eng	10.674	11	4.579	0.477	1	19	-0.131	-0.930
Körperliche Anforderung	Natürliches Mapping	5.565	5	3.503	0.365	1	15	0.509	-0.634
	Linear weit	7.261	7	4.314	0.450	1	18	0.459	-0.530
	Linear eng	7.174	7	4.283	0.447	1	19	0.591	-0.360
Zeitdruck	Natürliches Mapping	6.739	6	4.174	0.435	1	17	0.370	-0.755
	Linear weit	9.033	9	4.687	0.489	1	20	0.360	-0.385
	Linear eng	9.283	9	4.679	0.488	1	18	0.028	-0.972
Anstrengung	Natürliches Mapping	8.630	8	4.925	0.513	1	20	0.276	-0.964
	Linear weit	10.924	11	4.841	0.505	1	21	-0.164	-0.802
	Linear eng	11.098	12	4.950	0.516	1	21	-0.160	-0.885
Fehlleistung	Natürliches Mapping	6.587	6	3.815	0.398	1	16	0.437	-0.577
	Linear weit	10.826	12	4.837	0.504	1	20	-0.182	-0.865
	Linear eng	10.826	11	4.965	0.518	1	21	-0.059	-0.752
Frustration	Natürliches Mapping	5.185	4	3.318	0.346	1	13	0.587	-0.781
	Linear weit	8.946	8	5.234	0.546	1	21	0.447	-0.802
	Linear eng	9.761	10	5.158	0.538	1	21	0.180	-1.012

Abbildung 23 (S. 75) zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Skalenpunkte für alle sechs Skalen des NASA-TLX für die Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd**.

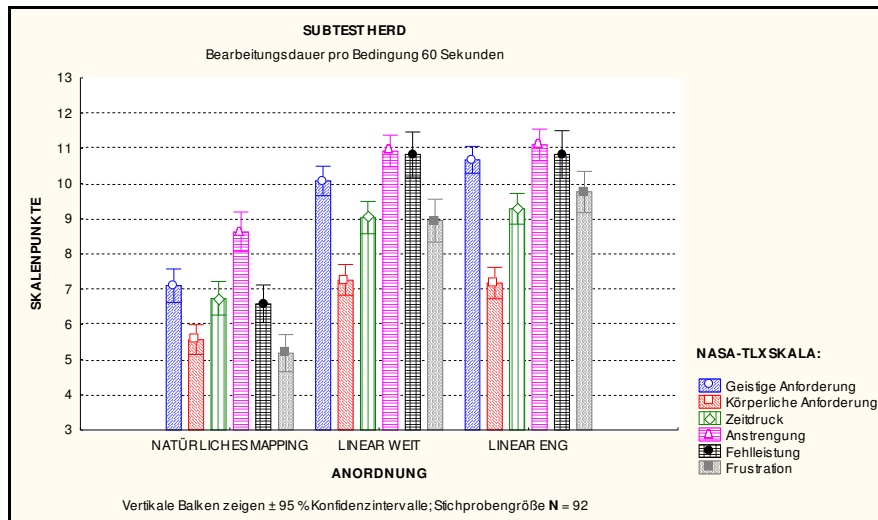


Abbildung 23. Diagramm zur multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten Skalenpunkte des NASA-TLX der drei Bedingungen Subtests Herd mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 92$).

3.3.2.1.3 Statistische Hypothesenprüfung

Da für die statistische Analyse die sechs Skalen des NASA-TLX jeweils als abhängige Variable definiert wurden und es sich somit um ein sogenanntes zweifach-multivariates Design handelte (Statsoft, 2015), war das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten und ungerichteten Hypothese zum Subtest **Herd** bezüglich der abhängigen Variable *Subjektive Angaben* eine einfaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem dreistufigen Messwiederholungsfaktor **Anordnung** (NATÜRLICHES MAPPING vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Bis auf vier Ausnahmen waren die Punktwerte der Skalen des NASA-TLX zu den drei Bedingungen des Subtests **Herd** nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht normalverteilt. Nach den Shapiro-Wilk-Tests waren bis auf drei Ausnahmen die Punktwerte aller Skalen nicht normalverteilt. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der

Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Alle folgenden Effekte der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden unter Verwendung der Pillai's Spur bei $p < .05$ als signifikant berichtet, da diese Teststatistik sehr robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilungsannahme ist (Bray & Maxwell, 1985, zitiert nach Field, 2009, S. 605). Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt **Abstand** auf die Skalenpunkte, $V = 0.596$, $F(12, 80) = 9.829$, $p < .001$, $\eta^2 = .596$. Es unterschieden sich also in Abhängigkeit von der Anordnung der Interaktionselemente die jeweiligen Skalenpunkte voneinander. Mit Blick auf die Hypothesenprüfung interessierte neben diesem Ergebnis die für jede Skala daran anschließend berechnete univariate Varianzanalyse. Die Sphärizitätsannahme für den Haupteffekt **Anordnung** war bezüglich aller sechs Skalen verletzt. Girden empfiehlt bei Schätzungen der Sphärizität, die größer als 0.75 sind, die Huynh-Feldt-Korrektur und bei Schätzungen der Sphärizität, die kleiner als 0.75 sind, die Greenhouse-Geisser-Korrektur (Girden, 1992, zitiert nach Field, 2009, S. 461). Für die Ergebnisse zur Skala *Zeitdruck* wurde daher die Greenhouse-Geisser-Korrektur (da $\varepsilon < .75$), für alle anderen fünf Skalen die Hynh-Feldt-Korrektur angewandt (da ε jeweils $> .75$). In Tab. 21 (S. 77) liegen die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen für jede Skala vor. Demnach unterschieden sich die Skalenpunkte aller Skalen in Bezug auf die drei Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG signifikant voneinander. Anschließend daran wurden gemäß der gerichteten Hypothese Kontraste berechnet, welche pro Skala die Bedingungen LINEAR WEIT und LINEAR ENG mit der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING verglichen. Die entsprechenden Effektstärken sind ebenfalls in Tab. 21 (S. 77) angegeben. Große Effekte ($r > .50$) waren demnach bis auf die Skala *Körperliche Anforderung* (für diese Skala ein mittlerer Effekt von $r > .30$) für alle anderen fünf Skalen zu verzeichnen. Den größten Effekt gab es bezüglich der Skala *Geistige Anforderung* für den Vergleich der Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR ENG. Die Skalenpunkte aller Skalen waren in der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING niedriger als in den Bedingungen LINEAR WEIT und LINEAR ENG. Nach den Ergebnissen der multivariaten Varianzanalyse als auch der nachfolgenden univariaten Varianzanalysen konnte die gerichtete Hypothese zum Subtest **Herd** hinsichtlich der abhängigen Variable *Subjektive Angaben* bestätigt werden. Für die ungerichtete Hypothese wurden Post-Hoc-Tests für jede Skala unter Anwendung der Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Dabei fiel kein einziger Vergleich signifikant aus. Daher mussten die ungerichtete Hypothese generell zurückgewiesen werden.

Tabelle 21. Ergebnisse der der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung nachfolgenden univariaten Tests zu den Skalenpunkten des NASA-TLX des Subtests **Herd** für den Haupteffekt **Anordnung** ($N = 92$).

Univariate Tests zum Haupteffekt Anordnung des Subtests Herd							
SKALA	SS	MS	df	F	η^2	r^3	p
Geistige Anforderung ¹	675.152	385.779	1.750	64.751***	.416	.647 ^{4,6} .712 ^{5,6}	.000
Fehler	948.848	5.958	159.259				
Körperliche Anforderung ¹	167.768	104.534	1.605	24.562***	.213	.492 ^{4,6} .496 ^{5,6}	.000
Fehler	621.565	4.256	146.047				
Zeitdruck ²	361.616	243.472	1.485	35.884***	.283	.539 ^{4,6} .577 ^{5,6}	.000
Fehler	917.051	6.785	135.157				
Anstrengung ¹	348.935	202.722	1.721	38.025***	.295	.591 ^{4,6} .580 ^{5,6}	.000
Fehler	835.065	5.331	156.633				
Fehlleistung ¹	1102.174	575.816	1.914	45.374***	.333	.628 ^{4,6} .634 ^{5,6}	.000
Fehler	2210.493	12.691	174.184				
Frustration ¹	1096.312	573.356	1.912	45.135***	.332	.595 ^{4,6} .652 ^{5,6}	.000
Fehler	2210.355	12.703	174.001				

Anmerkungen: *p < .05. **p < .01. ***p < .001. ¹Korrektur nach Hynh-Feldt. ²Korrektur nach Greenhouse-Geisser. ³Effektstärken der Kontraste. ⁴Kontraste zur gerichteten Hypothese (Vergleich NATÜRLICHES MAPPING-LINEAR WEIT). ⁵Kontraste zur gerichteten Hypothese (Vergleich NATÜRLICHES MAPPING-LINEAR ENG). Für die ungerichtete Hypothese (Vergleich LINEAR WEIT -LINEAR WEIT) siehe die Ausführungen im Text zu den Post-Hoc-Tests. ⁶Diese Kontraste waren zumindest bei p < .05 signifikant.

3.3.3 Physiologie

3.3.3.1 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität

3.3.3.1.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der Anzahl der Spontanfluktuationen wurden die Daten von 95 Probanden ausgewertet.

3.3.3.1.2 Deskriptivstatistik

Tab. 22 gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

Tabelle 22. Deskriptive Statistiken zu der Anzahl der Spontanfluktuationen der zwei Bedingungen des Subtests **Herd** (N = 95).

	<i>M</i>	<i>MDN</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>SCHIEFE</i>	<i>KURTOSIS</i>
NATÜRLICHES MAPPING	6.684	7	3.904	0.401	0	16	0.202	-0.459
LINEAR WEIT	6.874	7	3.699	0.380	0	16	0.232	-0.628
LINEAR ENG	6.811	7	4.056	0.416	0	19	0.343	-0.193

Abbildung 24 zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Anzahl der Spontanfluktuationen für die Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd**.

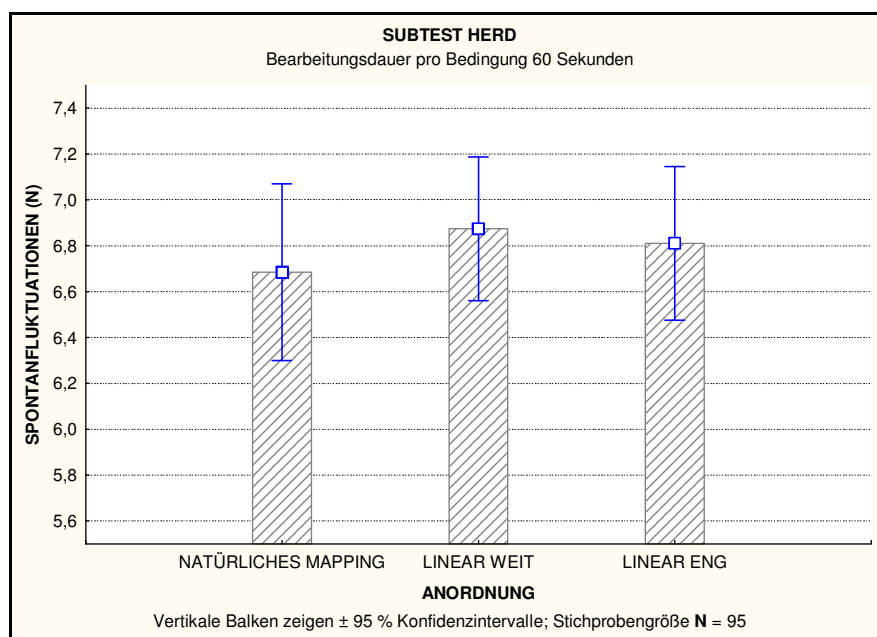


Abbildung 24. Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervalle der nach der Cosineau-Morey-Methode standardisierten Anzahl der Spontanfluktuationen des Messwiederholungsfaktors **Anordnung** der drei Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße N = 95).

3.3.3.1.3 Statistische Hypothesenprüfung

Das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten und ungerichteten Hypothese zum Subtest **Herd** bezüglich der abhängigen Variable *Elektrodermale Aktivität* war eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem dreistufigen Messwiederholungsfaktor **Anordnung** (NATÜRLICHES MAPPING vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Die Anzahl der Spontanfluktuation aller drei Bedingungen war nach dem Kolmogorov-Smirnov-Tests (Bedingung NATÜRLICHES MAPPING: $D(95) = 0.90$, $p > .05$; Bedingung LINEAR WEIT: $D(95) = 0.087$, $p > .05$; Bedingung LINEAR ENG: $D(95) = 0.079$, $p > .05$) normalverteilt. Nach den Shapiro-Wilk-Tests waren zwei der drei Bedingungen (Bedingung NATÜRLICHES MAPPING: $W(95) = 0.969$, $p < .05$; Bedingung LINEAR WEIT: $W(95) = 0.977$, $p > .05$; Bedingung LINEAR ENG: $W(95) = 0.975$, $p > .05$) normalverteilt. Daher wurde die Voraussetzung der Normalverteilung als erfüllt angesehen und zum Vergleich der Mittelwerte der prozentuellen Trefferraten der drei Bedingungen eine einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung berechnet. Ergebnisse des Mauchley-Tests zeigten keine Verletzung der Annahme der Sphärizität für den Haupteffekt **Anordnung**, $\chi^2(2) = 5.892$, $p > .05$. Alle folgenden Effekte wurden bei $p < .05$ als signifikant berichtet. Die Anzahl der Spontanfluktuationen der drei Bedingungen unterschieden sich nicht signifikant voneinander, $F(2, 188) = 0.153$, $p > .05$, $\eta^2 = .002$. Nach den Ergebnissen des Signifikanztests konnte sowohl die gerichtete als auch die ungerichtete Hypothese zum Subtest **Herd** hinsichtlich der abhängigen Variable *Elektrodermale Aktivität* nicht bestätigt werden.

3.3.3.2 Abhängige Variable: Spontan-EEG

3.3.3.2.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG wurden die Daten von 89 Probanden ausgewertet.

3.3.3.2.2 Deskriptivstatistik

Die Tab. 23 (S. 80) und 24 (S. 81) geben einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

*Tabelle 23. Deskriptive Statistiken der absoluten Power in den EEG-Frequenzbändern bei frontozentraler Ableitung für die Bedingungen des Subtests **Herd** (N = 89).*

EEG-Band	BEDINGUNG	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
DELTA	Nat. Mapping	34.487	29.4	23.624	2.504	8.0	119.7	1.695	2.943
	Linear Weit	30.472	24.6	19.008	2.015	6.9	116.3	1.970	5.005
	Linear Eng	31.917	26.2	21.497	2.279	9.1	136.2	2.186	6.633
THETA	Nat. Mapping	29.202	25.8	15.617	1.655	10.1	87.3	1.632	3.129
	Linear Weit	29.043	24.2	14.434	1.530	9.7	84.8	1.611	3.426
	Linear Eng	31.974	26.4	20.161	2.137	10.4	146.0	2.808	11.899
ALPHA	Nat. Mapping	13.287	11.5	7.017	0.744	4.3	33.9	1.395	1.527
	Linear Weit	11.915	10.5	5.606	0.594	4.0	34.4	1.742	4.349
	Linear Eng	12.937	11.3	6.668	0.707	4.4	37.2	1.649	3.018
BETA 1	Nat. Mapping	5.397	4.5	2.647	0.281	1.8	13.6	1.208	1.134
	Linear Weit	4.530	4.0	1.985	0.210	1.4	10.9	1.176	1.425
	Linear Eng	5.139	4.6	2.876	0.305	1.4	18.8	1.943	5.469
BETA 2	Nat. Mapping	16.349	13.0	9.586	1.016	7.1	58.9	2.191	6.177
	Linear Weit	13.602	11.3	7.689	0.815	4.2	44.9	1.934	3.869
	Linear Eng	15.228	12.6	8.270	0.877	4.5	46.3	1.500	2.230
GAMMA 1	Nat. Mapping	18.156	12.2	17.185	1.822	3.7	107.3	3.368	14.697
	Linear Weit	14.370	10.3	10.982	1.164	3.5	53.5	1.760	2.669
	Linear Eng	17.917	12.8	15.474	1.640	3.9	92.7	2.359	7.548
GAMMA 2	Nat. Mapping	8.440	6.0	7.242	0.768	1.9	49.9	2.877	12.190
	Linear Weit	6.780	4.7	5.370	0.569	1.6	25.3	1.800	2.578
	Linear Eng	8.804	5.6	8.140	0.863	2.0	47.0	2.205	6.064

*Tabelle 24. Deskriptive Statistiken der absoluten Power in den EEG-Frequenzbändern bei parietozentraler Ableitung für die Bedingungen des Subtests **Herd** (N = 89).*

EEG-Band	BEDINGUNG	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
DELTA	Nat. Mapping	15.789	13.2	12.545	1.330	4.2	118.2	6.438	51.285
	Linear Weit	12.896	12.3	4.063	0.431	5.5	22.8	0.337	-0.483
	Linear Eng	15.107	12.7	10.323	1.094	5.7	82.1	4.104	21.920
THETA	Nat. Mapping	15.742	14.9	5.752	0.610	6.6	37.3	1.120	1.821
	Linear Weit	15.309	15.1	4.977	0.528	6.8	27.9	0.475	-0.404
	Linear Eng	15.638	15.3	5.708	0.605	7.0	34.6	1.040	1.225
ALPHA	Nat. Mapping	15.273	11.0	11.352	1.203	4.2	56.3	1.977	3.559
	Linear Weit	12.752	9.9	8.632	0.915	3.3	47.5	2.065	4.558
	Linear Eng	14.015	10.6	10.960	1.162	3.7	68.6	2.739	8.910
BETA 1	Nat. Mapping	6.717	5.6	3.519	0.373	2.0	20.2	1.311	1.998
	Linear Weit	5.676	4.7	2.884	0.306	1.4	16.7	1.420	2.425
	Linear Eng	6.285	5.1	3.316	0.352	1.6	15.9	1.031	0.406
BETA 2	Nat. Mapping	15.921	14.1	7.259	0.769	6.2	39.7	0.922	0.554
	Linear Weit	14.533	12.0	8.439	0.895	4.0	66.2	3.027	15.204
	Linear Eng	15.645	13.2	9.002	0.954	4.1	62.2	2.247	7.745
GAMMA 1	Nat. Mapping	19.562	16.1	12.942	1.372	3.7	69.3	1.302	1.810
	Linear Weit	18.154	14.1	15.955	1.691	3.6	128.0	4.184	25.392
	Linear Eng	20.418	16.1	17.941	1.902	4.0	119.8	3.120	12.505
GAMMA 2	Nat. Mapping	8.671	6.5	6.339	0.672	2.0	36.6	1.828	4.248
	Linear Weit	7.755	5.7	7.914	0.839	1.6	64.8	4.926	31.636
	Linear Eng	9.271	6.6	10.526	1.116	1.7	80.0	4.446	24.895

Abbildung 25 (S. 82) zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten absoluten Power in den EEG-Frequenzbändern für die Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd** bei frontozentraler und parietozentraler Lokalisation.

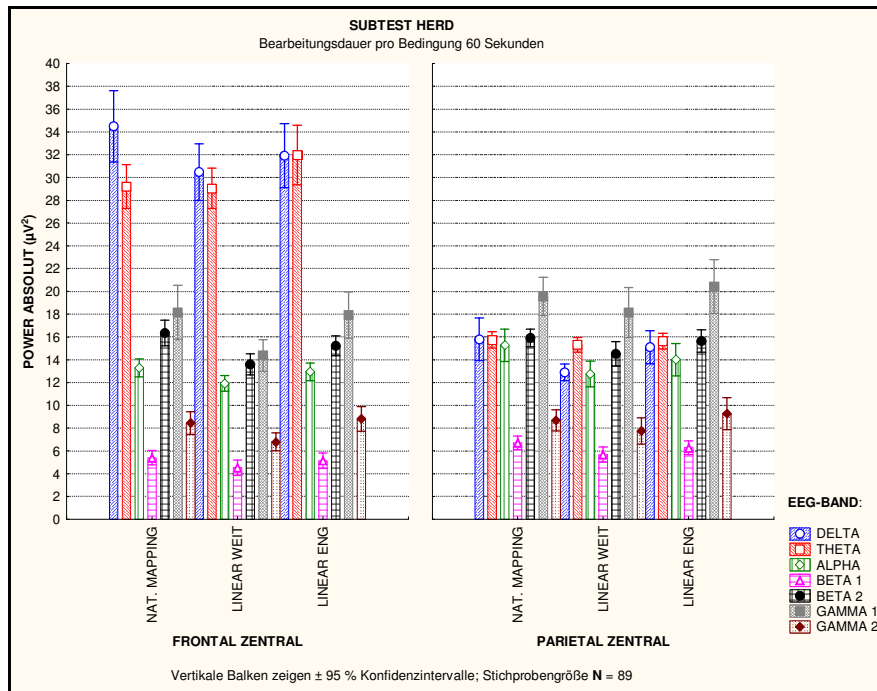


Abbildung 25. Interaktionsdiagramm zur multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten absoluten Power des Spontan-EEG für die Bedingungen des Subtests **Herd** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße N = 89).

3.3.3.2.3 Statistische Hypothesenprüfung

Da für die Analyse die sieben EEG-Frequenzbänder jeweils als abhängige Variablen definiert wurden und es sich somit um ein sogenanntes zweifach-multivariates Design handelte (Statsoft, 2015), war das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten und ungerichteten Hypothese zum Subtest **Herd** bezüglich der abhängigen Variable *Spontan-EEG* eine 2×3 multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den zwei Messwiederholungsfaktoren **Lokalisation** (FZ vs. PZ) und **Anordnung** (NATÜRLICHES MAPPING vs. LINEAR WEIT vs. LINEAR ENG). Bis auf drei Ausnahmen war die absolute Power in den EEG-Frequenzbändern nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht normalverteilt. Nach den Shapiro-Wilk-Tests war bis auf eine Ausnahme die absolute Power in allen EEG-Frequenzbändern nicht normalverteilt. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer

Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Alle folgenden Effekte der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden unter Verwendung der Pillai's Spur bei $p < .05$ als signifikant berichtet, da diese Teststatistik sehr robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilungsannahme ist (Bray & Maxwell, 1985, zitiert nach Field, 2009, S. 605). Es zeigte sich ein signifikanter Haupteffekt der **Lokalisation** auf die absolute Power in den EEG-Frequenzbändern, $V = 0.681$, $F(7, 82) = 25.018$, $p < .001$, $\eta^2 = .681$. Ebenso war der Haupteffekt **Anordnung** auf die absolute Power in den EEG-Frequenzbändern, $V = 0.347$, $F(14, 75) = 2.845$, $p < .05$, $\eta^2 = .347$, signifikant. Der Interaktionseffekt **Lokalisation** $\times$ **Anordnung** war ebenfalls signifikant, $V = 0.268$, $F(14, 75) = 1.957$, $p < .05$, $\eta^2 = .268$. Es war also in Abhängigkeit von der Lokalisation die absolute Power für die einzelnen EEG-Frequenzbänder je nach Anordnung der Interaktionselemente voneinander unterschiedlich. Mit Blick auf die Hypothesenprüfung interessierten der Haupteffekt **Anordnung** sowie der Interaktionseffekt **Lokalisation** $\times$ **Anordnung**, für welche weiter separate univariate Varianzanalysen für jedes EEG-Frequenzband berechnet wurden. Das Erfordernis der Sphärizität war für den Haupteffekt **Lokalisation** gegeben, da dieser nur zweistufig vorlag. Die Sphärizitätsannahmen für den Haupteffekt **Anordnung** als auch für den Interaktionseffekt **Lokalisation** $\times$ **Anordnung** waren nur teilweise gegeben. Sphärizitätsverletzungen gab es gemäß dem Mauchly's-Test bezüglich dem Haupteffekt **Anordnung** für die EEG-Frequenzbändern Delta, $\chi^2(2) = 14.199$, $p < .05$, Theta, $\chi^2(2) = 37.499$, $p < .05$, und Alpha, $\chi^2(2) = 8.976$, $p < .05$. Ergebnisse des Mauchly's Test zeigten darüber hinaus Sphärizitätsverletzungen hinsichtlich des Interaktionseffekts **Lokalisation** $\times$ **Anordnung** für die EEG-Frequenzbändern Delta, $\chi^2(2) = 13.170$, $p < .05$, Alpha, $\chi^2(2) = 70.649$, $p < .05$, Beta 1, $\chi^2(2) = 9.438$, $p < .05$, Beta 2, $\chi^2(2) = 20.563$, $p < .05$, Gamma 1, $\chi^2(2) = 67.957$, $p < .05$, sowie Gamma 2, $\chi^2(2) = 80.688$, $p < .05$. Girden empfiehlt bei Schätzungen der Sphärizität, die größer als 0.75 sind, die Huynh-Feldt-Korrektur und bei Schätzungen der Sphärizität, die kleiner als 0.75 sind, die Greenhouse-Geisser-Korrektur (Girden, 1992, zitiert nach Field, 2009, S. 461). Daher wurden die Freiheitsgrade der EEG-Frequenzbänder Delta und Alpha für den Haupteffekt **Anordnung** mittels der Huynh-Feldt-Schätzung der Sphärizität (Delta, $\varepsilon = .885$; Alpha, $\varepsilon = .929$) und für das

EEG-Frequenzband Theta mittels der Greenhouse-Geisser-Schätzung der Sphärizität korrigiert ($\varepsilon = .741$). Die Freiheitsgrade der EEG-Frequenzbänder Delta, Beta 1 und Beta 2 für den Interaktionseffekt **Lokalisation** $\times$ **Anordnung** wurden mittels der Huynh-Feldt-Schätzung der Sphärizität (Delta, $\varepsilon = .885$; Beta 1, $\varepsilon = .907$; Beta 2, $\varepsilon = .826$) und für die EEG-Frequenzbänder Theta, Gamma 1 sowie Gamma 2 mittels der Greenhouse-Geisser-Schätzung der Sphärizität korrigiert (Theta, $\varepsilon = .643$; Gamma 1, $\varepsilon = .648$; Gamma 2, $\varepsilon = .623$). Für die EEG-Frequenzbänder Delta, $F(1,88) = 77.685$, $p < .001$, $\eta^2 = .469$, Theta, $F(1,88) = 122.117$, $p < .001$, $\eta^2 = .581$, Beta 1, $F(1,88) = 44.603$, $p < .001$, $\eta^2 = .336$, sowie Gamma 1, $F(1,88) = 6.469$, $p < .05$, $\eta^2 = .068$, war der Haupteffekt **Lokalisation** signifikant, nicht hingegen für die EEG-Frequenzbänder Alpha, $F(1,88) = 3.928$, $p > .05$, $\eta^2 = .043$, Beta 2, $F(1,88) = 0.323$, $p > .05$, $\eta^2 = .004$, und Gamma 2, $F(1,88) = 0.928$, $p > .05$, $\eta^2 = .010$. Mit Blick auf die Hypothesenprüfung interessierte der Haupteffekt **Anordnung** und der Interaktionseffekt **Lokalisation** $\times$ **Anordnung**. In Tab. 25 (S. 85) liegen die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen zum Haupteffekt **Anordnung** für jedes EEG-Frequenzband vor. Signifikant war der Haupteffekt **Anordnung** für die EEG-Frequenzbänder Delta, Alpha, Beta 1 und Beta 2. Gemäß der gerichteten Hypothese wurden für die EEG-Frequenzbänder Alpha und Beta 2 Kontraste berechnet, welche die Bedingungen LINEAR WEIT und LINEAR ENG mit der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING verglichen. Die Ergebnisse der Kontraste deckten auf, dass die absolute Power über beide Stufen des Haupteffekts **Lokalisation** sowohl für das EEG-Frequenzband Alpha ($M = 14.28$; $SD = 8.77$), als auch für das EEG-Frequenzband Beta 2 ($M = 16.14$; $SD = 7.94$) in der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING signifikant höher war als in der Bedingung LINEAR WEIT (Alpha: $M = 12.33$; $SD = 6.61$; Beta 2: $M = 14.07$; $SD = 7.47$). Die verbleibenden Kontraste deckten für beide EEG-Frequenzbänder keine signifikanten Effekte zwischen der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR ENG auf. Dagegen waren die zur Prüfung der ungerichteten Hypothese durchgeführten Post-Hoc-Tests unter Anwendung der Bonferroni-Korrektur für die EEG-Frequenzbänder Alpha und Beta 2 bezüglich des Vergleichs der Bedingungen LINEAR WEIT und LINEAR ENG nicht signifikant (p jeweils $> .05$).

Tabelle 25. Ergebnisse der der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung nachfolgenden univariaten Tests zur absoluten EEG-Power des Subtests **Herd** für den Haupteffekt Anordnung ($N = 89$).

Univariate Tests zum Haupteffekt Anordnung des Subtests Herd							
EEG-BAND	SS	MS	df	F	η^2	r^3	p
Delta ¹	1062.952	600.457	1.770	5.661**	.060	.351 ^{4,6} .143 ⁵	.004
Fehler	16524.191	106.073	155.781				
Theta ²	268.539	181.284	1.481	2.850	.031	.068 ⁴ .166 ⁵	.060
Fehler	8290.295	63.598	130.356				
Alpha ¹	340.658	183.359	1.858	6.675**	.071	.376 ^{4,6} .139 ⁵	.002
Fehler	4491.059	27.469	163.493				
Beta 1	82.971	41.485	2	9.008***	.093	.400 ^{4,6} .153 ⁵	.000
Fehler	810.566	4.605	176				
Beta 2	393.938	196.969	2	3.966*	.043	.272 ^{4,6} .098 ⁵	.021
Fehler	8741.349	49.667	176				
Gamma 1	906.800	453.400	2	1.960	.022	.170 ⁴ .019 ⁵	.144
Fehler	40720.453	231.366	176				
Gamma 2	298.180	149.090	2	2.569	.028	.181 ⁴ .058 ⁵	.079
Fehler	10214.173	58.035	176				

Anmerkungen: * $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$. ¹Korrektur nach Hynh-Feldt. ²Korrektur nach Greenhouse-Geisser. ³Effektstärken der Kontraste. ⁴Kontraste zur gerichteten Hypothese (Vergleich NATÜRLICHES MAPPING-LINEAR WEIT). ⁵Kontraste zur gerichteten Hypothese (Vergleich NATÜRLICHES MAPPING-LINEAR ENG). Für die ungerichtete Hypothese (Vergleich LINEAR WEIT -LINEAR WEIT) siehe die Ausführungen im Text zu den Post-Hoc-Tests. ⁶Diese Kontraste waren zumindest bei $p < .05$ signifikant.

Aufgrund der ungerichteten Hypothese für die EEG-Frequenzbänder Delta und Beta 1 wurden Post-Hoc-Tests unter Anwendung der Bonferroni-Korrektur berechnet. Diese Tests zeigten, dass die absolute Power für beide EEG-Frequenzbänder in der Bedingung LINEAR WEIT (Delta: $M = 21.68$; $SD = 10.63$; Beta 1: $M = 5.10$; $SD = 2.33$) signifikant geringer war (beide Male $p < .01$) als in der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING (Delta: $M = 25.14$; $SD = 14.62$; Beta 1: $M = 6.06$; $SD = 2.94$). Keine signifikanten Unterschiede gab es jedoch

zwischen der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR ENG. Darüber hinaus war die absolute Power im EEG-Frequenzband Beta 1 signifikant geringer ($p < .05$), in der Bedingung LINEAR WEIT ($M = 5.10$; $SD = 2.94$) als in der Bedingung LINEAR ENG ($M = 5.71$; $SD = 2.83$). Nicht signifikant fiel dieser Vergleich für das Delta - Band aus. Die interessierenden univariaten Varianzanalysen für den Interaktionseffekt **Lokalisation** $\times$ **Anordnung** fielen dagegen für alle EEG-Frequenzbänder nicht signifikant aus. Einzig für das Theta – Band gäbe es eine Tendenz hin zu einem signifikanten Ergebnis, da bei Vorliegen der Sphärizität die Signifikanz gegeben gewesen wäre. Da jedoch die Sphärizitätsannahmen verletzt waren und jede Methode der Korrektur zu einem insignifikanten Ergebnis geführt hätte, konnte für dieses Frequenzband kein signifikantes Ergebnis nachgewiesen werden. Nach den Ergebnissen der Signifikanztests konnte für die EEG-Frequenzbänder Delta und Alpha die gerichtete Hypothese für den Vergleich der Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR WEIT bestätigt werden, nicht jedoch für den Vergleich der Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR ENG. Die ungerichtete Hypothese musste für beide Frequenzbänder zurückgewiesen werden. Für das EEG-Frequenzband Beta 2 verhielten sich die Ergebnisse zur gerichteten Hypothese geradezu komplementär, weshalb diese abgelehnt werden musste. Auch die ungerichtete Hypothese musste diesbezüglich abgewiesen werden. Die gerichtete Hypothese zum EEG-Frequenzband Beta 1 konnten nur für den Vergleich der Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR WEIT bestätigt werden. Die ungerichtete Hypothese konnte hingegen für Beta 1 bestätigt werden. Die gerichtete und ungerichtete Hypothese zu den Frequenzbändern Theta, Gamma 1 und Gamma 2 mussten dagegen aufgrund der vorliegenden Resultate zurückgewiesen werden. Aufgrund dieser Ergebnisse konnte sowohl die gerichtete als auch die ungerichtete Hypothese zum Subtest *Herd* hinsichtlich der abhängigen Variable *Spontan-EEG* nur teilweise bestätigt werden.

3.3.4 Zusammenhänge zwischen subjektivem Erleben und der Physiologie

Aufgrund der Tatsache, dass die Variablen gemäß den Normalverteilungstests mehrheitlich signifikant nicht normalverteilt waren, wurden für die Zusammenhangsanalysen jeweils Spearman-Korrelationen berechnet. Dabei wurden die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen sowie der absoluten Power pro EEG-Frequenzband und Lokalisation zwischen den Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests *Herd* jeweils mit den Differenzwerten der Punkte pro Skala des NASA-TLX (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) zwischen den Bedingungen

NATÜRLICHES MAPPING, LINEAR WEIT und LINEAR ENG korreliert, um zu analysieren, ob die dabei beobachteten Veränderungen der Messwerte der physiologischen Parameter und der subjektiven Angaben über die Bedingungen miteinander in kongruenter oder inkongruenter Beziehung standen. Signifikant positive Korrelationen bedeuteten dabei, dass je positiver beziehungsweise negativer die Differenzwerte der Skalenpunkte einer bestimmten Skala waren, desto positiver beziehungsweise negativer waren auch die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen beziehungsweise der absoluten Power in dem betreffenden EEG-Frequenzband. Signifikant negative Korrelationen bedeuteten dabei, dass je positiver beziehungsweise negativer die Differenzwerte der Skalenpunkte einer bestimmten Skala waren, desto negativer beziehungsweise positiver waren auch die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen beziehungsweise der absoluten Power in dem betreffenden EEG-Frequenzband.

3.3.4.1 Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten

In den Tab. 26, 27 und 28 (S. 88) werden die Differenzwerte zu den Skalen des NASA-TLX sowie zu den physiologischen Parametern (EDA und Spontan-EEG) angegeben.

Tabelle 26. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX im Subtest Herd.

NASA-TLX SKALENPUNKTE – DIFFERENZWERTE						
	<i>NAT. MAP – LW¹</i>		<i>NAT. MAP. – LE²</i>		<i>LW – LE³</i>	
<i>NASA-TLX SKALA</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Geistige Anforderung	-2.978	3.533	-3.576	3.546	-0.598	2.494
Körperliche Anforderung	-1.696	3.019	-1.609	2.828	0.087	1.838
Zeitdruck	-2.293	3.600	-2.543	3.624	-0.250	2.036
Anstrengung	-2.293	3.147	-2.467	3.485	-0.174	2.342
Fehlleistung	-4.239	5.276	-4.239	5.194	0.000	4.250
Frustration	-3.761	5.104	-4.576	5.352	-0.815	4.263

Anmerkungen: ¹Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING minus Skalenpunkte der Bedingung LINER WEIT. ²Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING minus Skalenpunkte der Bedingung LINER ENG. ³Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung LINEAR WEIT minus Skalenpunkte der Bedingung LINER ENG. N = 92.

Tabelle 27. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der elektrodermalen Aktivität im Subtest Herd.

ELEKTRODERMALE AKTIVITÄT - DIFFERENZWERTE		
Anzahl Spontanfluktuationen	<i>M</i>	<i>SD</i>
NATÜRLICHES MAPPING – LINEAR WEIT	-0.189	3.499
NATÜRLICHES MAPPING – LINEAR ENG	-0.126	3.685
LINEAR WEIT – LINEAR ENG	0.063	2.964

Anmerkungen: N = 95.

Tabelle 28. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG im Subtest **Herd**.

SPONTAN-EEG - DIFFERENZWERTE				
	<i>Lokalisation</i>	<i>Differenz</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Delta	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	4.015	12.406
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	2.893	11.992
	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	2.570	12.445
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	0.682	15.258
	Frontal zentral	LW – LE ³	-1.445	10.335
	Parietal zentral	LW – LE ³	-2.211	9.738
Theta	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	0.160	6.528
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	0.433	3.618
	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	-2.772	14.216
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	0.103	4.116
	Frontal zentral	LW – LE ³	-2.931	14.031
	Parietal zentral	LW – LE ³	-0.329	3.340
Alpha	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	1.372	4.054
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	2.521	6.451
	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	0.349	5.492
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	1.258	7.096
	Frontal zentral	LW – LE ³	-1.022	4.320
	Parietal zentral	LW – LE ³	-1.263	5.798
Beta 1	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	0.866	2.022
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	1.040	2.698
	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	0.257	2.705
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	0.431	2.395
	Frontal zentral	LW – LE ³	-0.609	2.503
	Parietal zentral	LW – LE ³	-0.609	2.111
Beta 2	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	2.747	8.723
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	1.389	7.361
	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	1.121	8.367
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	0.276	7.244
	Frontal zentral	LW – LE ³	-1.626	7.537
	Parietal zentral	LW – LE ³	-1.112	6.410
Gamma 1	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	3.787	17.338
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	1.408	15.762
	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	0.239	18.756
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	-0.856	16.436
	Frontal zentral	LW – LE ³	-3.547	15.011
	Parietal zentral	LW – LE ³	-2.264	14.338
Gamma 2	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	1.661	7.071
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LW ¹	0.916	8.088
	Frontal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	-0.364	8.468
	Parietal zentral	NAT:MAPPING – LE ²	-0.600	9.823
	Frontal zentral	LW – LE ³	-2.025	7.638
	Parietal zentral	LW – LE ³	-1.516	7.690

Anmerkungen: ¹Absolute Power (NATÜRLICHES MAPPING) minus absolute Power LINER WEIT.

²Absolute Power (NATÜRLICHES MAPPING) minus absolute Power (LINER ENG). ³Absolute Power (LINEAR WEIT) minus absolute Power (LINER ENG). N = 89.

Da sich die Fallzahlen von NASA-TLX und den physiologischen Parametern unterscheiden (siehe Tab. 5, S. 30), sind in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ die für die Berechnung der Korrelationen relevanten Differenzwerte des NASA-TLX bei Zugrundelegung der Fallzahlen von EDA und Spontan-EEG in den Tab. 59-60 (S. 176) dargestellt.

3.3.4.2 Korrelationen: Elektrodermale Aktivität und Skalenpunkte des NASA-TLX

Es gab in keinem einzigen Fall eine signifikante Korrelation zwischen der Anzahl der Spontanfluktuationen und den subjektiven Belastungseinschätzungen.

In Anhang „4. Spearman-Korrelationen der Differenzwerte“ sind die Korrelationen zwischen der Anzahl der Spontanfluktuationen und den Skalenpunkten des NASA-TLX zum Subtest **Herd** in Tab. 71 (S. 182) dargestellt.

3.3.4.3 Korrelationen: Spontan-EEG und Skalenpunkte des NASA-TLX

Betrachtet man die Gruppe der Korrelationen zu den Differenzwerten der Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR WEIT, so zeigte sich, dass die zu beobachtenden signifikanten Korrelationen hauptsächlich bei parieto-zentraler Lokalisation vorkamen. Für die Skala *Körperliche Anforderung* gab es signifikante positive Korrelationen mit dem EEG-Frequenzband Theta, $r_{frontal} = .21$, p (2-seitig) $< .05$ und $r_{parietal} = .25$, p (2-seitig) $< .05$, und darüber hinaus für das EEG-Frequenzband Beta 1, $r_{parietal} = .23$, p (2-seitig) $< .05$. Signifikant positive Korrelationen gab es außerdem zwischen der Skala *Zeitdruck* und den EEG-Frequenzbändern Theta, $r_{parietal} = .28$, p (2-seitig) $< .05$, und Beta 2, $r_{parietal} = .22$, p (2-seitig) $< .05$. Auch mit der Skala *Frustration* und den EEG-Frequenzbändern Theta, $r_{parietal} = .21$, p (2-seitig) $< .05$ und Beta 2, $r_{parietal} = .22$, p (2-seitig) $< .05$, bestanden signifikant positive Korrelationen. Schließlich gab es auch noch eine signifikant positive Korrelation zwischen der Skala *Fehlleistung* und dem EEG-Frequenzband Gamma 2, $r_{parietal} = .21$, p (2-seitig) $< .05$. Im Hinblick auf die Korrelationen der Differenzwerte zwischen den Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR ENG gab es signifikant negative Korrelationen zwischen der Skala *Geistige Anforderung* mit den EEG-Frequenzbändern Delta, $r_{parietal} = -.24$, p (2-seitig) $< .05$, Beta 1, $r_{frontal} = -.30$, p (2-seitig) $< .05$, sowie Beta 2, $r_{frontal} = -.26$, p (2-seitig) $< .05$. Eine weitere signifikante Korrelation bestand zwischen der Skala *Frustration* und dem EEG-Frequenzband Beta 2, $r_{parietal} = -.22$, p (2-seitig) $< .05$. Die einzige positive Korrelation war zwischen der Skala

Körperliche Anforderung und dem EEG-Frequenzband Theta zu beobachten, $r_{frontal} = .22$, p (2-seitig) $< .05$. Die letzte Gruppe von Korrelationen wurde zwischen den Differenzwerten der Bedingungen LINEAR WEIT und LINEAR ENG mit den Skalen des NASA-TLX berechnet. Hier gab es nur für die Skala *Anstrengung* signifikant positive Korrelationen mit den EEG-Frequenzbändern Gamma 1, $r_{frontal} = .28$, p (2-seitig) $< .05$, und $r_{parietal} = .24$, p (2-seitig) $< .05$, sowie mit Gamma 2, $r_{frontal} = .21$, p (2-seitig) $< .05$.

In Anhang „4. Spearman-Korrelationen der Differenzwerte“ sind die Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX zum Subtest *Herd* in den Tab. 73-75 (S. 184-186) dargestellt.

3.4 Subtest Kreuz

3.4.1 Vorbemerkung

Die objektiven Verhaltensindikatoren (Reaktionszeiten, prozentuelle Trefferraten) wurden nur für die zweiminütigen Testblöcke erhoben, nicht jedoch für die jeweils vorhergehenden Lernblöcke. Auch die Vorgabe des NASA-TLX erfolgte nicht für die Lern- und Testblöcke getrennt, sondern immer erst nach Bearbeitung eines zusammengehörigen Lern- und Testblocks. Bezüglich der physiologischen Daten wurde pro Lern- und Umlernphase der jeweils erste Lernblock für die statistische Analyse verwendet.

3.4.2 Verhaltensindikatoren

3.4.2.1 Abhängige Variable: Reaktionszeiten

3.4.2.1.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der Reaktionszeiten wurden die Daten von 102 Probanden ausgewertet.

3.4.2.1.2 Deskriptivstatistik

Tab. 29 (S. 91) gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

Tabelle 29. Deskriptive Statistiken zu den Reaktionszeiten (in Millisekunden) in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** (N = 102).

Repräsentation	Testblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
ANALOG	TLP	892.690	833.146	238.065	23.572	585.333	2153.640	2.162	7.560
	TULP	1460.135	1419.814	330.158	32.690	843.478	2816.350	0.945	1.805
DIGITAL	TLP	1121.133	1083.167	266.081	26.346	785.292	2323.048	1.984	5.886
	TULP	1286.290	1275.109	297.818	29.488	847.783	2273.208	0.837	0.797
VERBAL	TLP	1185.703	1144.707	258.527	25.598	738.833	1953.667	0.868	0.442
	TULP	1316.034	1260.271	308.369	30.533	815.167	2201.565	0.766	0.027

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

Abbildung 26 zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Reaktionszeiten in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz**.

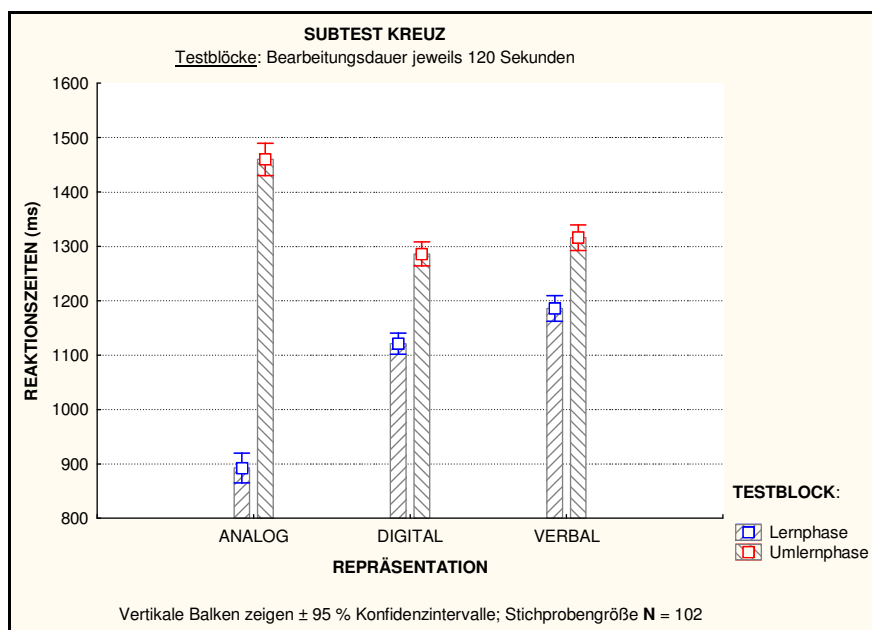


Abbildung 26. Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten Reaktionszeiten in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 120 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße N = 102).

3.4.2.1.3 Statistische Hypothesenprüfung

Das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten Hypothesen 1-3 zum Subtest **Kreuz** bezüglich der abhängigen Variable *Reaktionszeiten* war eine 3×2 zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den zwei

Messwiederholungsfaktoren **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und **Testblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Die Reaktionszeiten in fünf der sechs Testblöcke der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** waren nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht normalverteilt. Nach den Shapiro-Wilk-Tests waren die Reaktionszeiten in allen sechs Testblöcken nicht normalverteilt. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Ergebnisse des Mauchley-Tests zeigten eine Verletzung der Annahme der Sphärizität für den Haupteffekt **Repräsentation** an, $\chi^2(2) = 7.550, p < .05$. Girden empfiehlt bei Schätzungen der Sphärizität, die größer als 0.75 sind, die Huynh-Feldt-Korrektur und bei Schätzungen der Sphärizität, die kleiner als 0.75 sind, die Greenhouse-Geisser-Korrektur (Girden, 1992, zitiert nach Field, 2009, S. 461). Daher wurden die Freiheitsgrade mittels der Huynh-Feldt-Schätzungen der Sphärizität korrigiert ($\varepsilon = .949$). Alle folgenden Effekte wurden bei $p < .05$ als signifikant berichtet. Der Haupteffekt **Repräsentation** war signifikant, $F(1.898, 191.709) = 6.802, p < .01, \eta^2 = .063$. Die Reaktionszeiten waren also in Abhängigkeit von der Repräsentationsform unterschiedlich. Signifikant war auch der Haupteffekt **Testblock**, $F(1,101) = 410.026, p < .001, \eta^2 = .802$. Aufgrund der gerichteten Hypothese 1 wurde dazu ein Kontrast berechnet, welcher die Reaktionszeiten in den Testblöcken der Umlernphasen mit den Reaktionszeiten in den Testblöcken der Lernphasen verglich. Die Berechnung des Kontrasts zeigte, dass die Reaktionszeiten in den Testblöcken der Umlernphasen signifikant länger waren als die Reaktionszeiten in den Testblöcken der Lernphasen, $F(1,101) = 410.026, r = .896$. Auch zeigte sich ein für die Prüfung der Hypothesen 2 und 3 bedeutsamer signifikanter Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Testblock**, $F(2, 202) = 150.262, p < .001, \eta^2 = .598$. Die Art des Interaktionseffekts ist für die Aussagen zu den Haupteffekten von Bedeutung. Eine erste Betrachtung der Interaktionsdiagramme in Abbildung 27 (S. 94) legte dar, dass es sich um eine hybride Interaktion handelte (Bortz & Döring, 2006, S. 534).

Deshalb konnten nur für den Haupteffekt **Testblock**, nicht aber für den Haupteffekt **Repräsentation** globale Aussagen gemacht werden, weil im Interaktionsdiagramm für den Haupteffekt **Testblock** alle Grafen einen ansteigenden Verlauf zeigten. Das bedeutete, dass die Reaktionszeiten in den Testblöcken der Lernphasen über die Stufen des Haupteffekts **Repräsentation** hinweg generell niedriger waren als die Reaktionszeiten in den Testblöcken der Umlernphasen. Für den Haupteffekt **Repräsentation** waren hingegen im Folgenden differenzierte Angaben notwendig, weil die Grafen im Interaktionsdiagramm für diesen Faktor sowohl an- als auch abstiegen und damit unterschiedliche Verläufe zeigten. Die Signifikanz des Interaktionseffekts ließ darauf schließen, dass die Testblöcke unterschiedliche Effekte auf die Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der Art der Repräsentation hatten. Um diese Interaktionseffekte genauer zu untersuchen, wurden Kontraste berechnet, welche die digitale und verbale mit der analogen Repräsentationsform und die Testblöcke der Lernphasen mit den Testblöcken der Umlernphasen verglichen. Diese Kontraste deckten signifikante Interaktionen beim Vergleich des Testblocks der Lernphase mit dem Testblock der Umlernphase sowohl für die digitale im Vergleich zur analogen Repräsentationsform, $F(1, 101) = 213.546$, $r = .824$, und für die verbale im Vergleich zur analogen Repräsentationsform, $F(1, 101) = 207.067$, $r = .820$, auf. Wie man aus den Abbildungen 26 (S. 91) und 27 (S. 94) sowie Tab. 29 (S. 91) sehen kann, war der Unterschied zwischen den Reaktionszeiten in den Testblöcken der Lern- und Umlernphase bei analoger Repräsentation signifikant größer als bei digitaler oder verbaler Repräsentation. Dies bedeutete weiter, dass die Reaktionszeiten bei analoger Repräsentation in dem Testblock der Lernphase ($M = 892.69$; $SD = 238.07$) kürzer und in dem Testblock der Umlernphase ($M = 1460.14$; $SD = 330.16$) länger als alle anderen Faktorstufenkombinationen waren. Aufgrund dieser Ergebnisse konnten die Hypothesen 1-3 zum Subtest **Kreuz** hinsichtlich der abhängigen Variable *Reaktionszeiten* bestätigt werden.

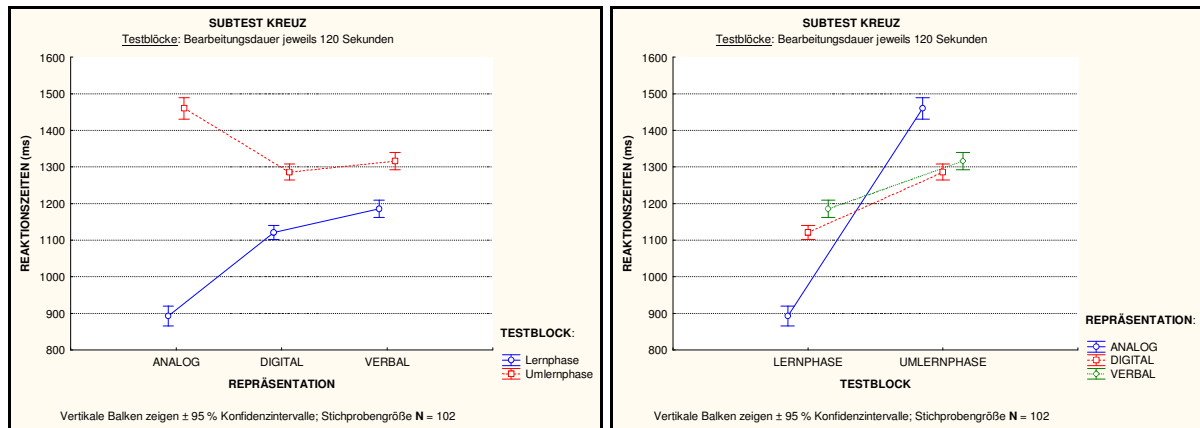


Abbildung 27. Interaktionsdiagramme für die Haupteffekte **Repräsentation** (links) und **Testblock** (rechts) der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten Reaktionszeiten in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 120 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 102$).

3.4.2.2 Abhängige Variable: Prozentuelle Trefferraten

3.4.2.2.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der prozentuellen Trefferraten wurden die Daten von 102 Probanden ausgewertet.

3.4.2.2.2 Deskriptivstatistik

Tab. 30 gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

Tabelle 30. Deskriptive Statistiken zu den prozentuellen Trefferraten in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** ($N = 102$).

Repräsentation	Testblock ¹	<i>M</i>	<i>MDN</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>SCHIEFE</i>	<i>KURTOSIS</i>
ANALOG	TLP	0.994	1.000	0.022	0.002	0.870	1	-3.836	15.077
	TULP	0.941	0.958	0.074	0.007	0.583	1	-2.063	5.725
DIGITAL	TLP	0.987	1.000	0.025	0.003	0.917	1	-1.865	2.260
	TULP	0.973	1.000	0.043	0.004	0.750	1	-2.757	10.197
VERBAL	TLP	0.964	1.000	0.073	0.007	0.458	1	-4.130	23.246
	TULP	0.960	0.958	0.055	0.005	0.667	1	-2.626	9.605

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

Abbildung 28 zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten prozentuellen Trefferraten (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz**.

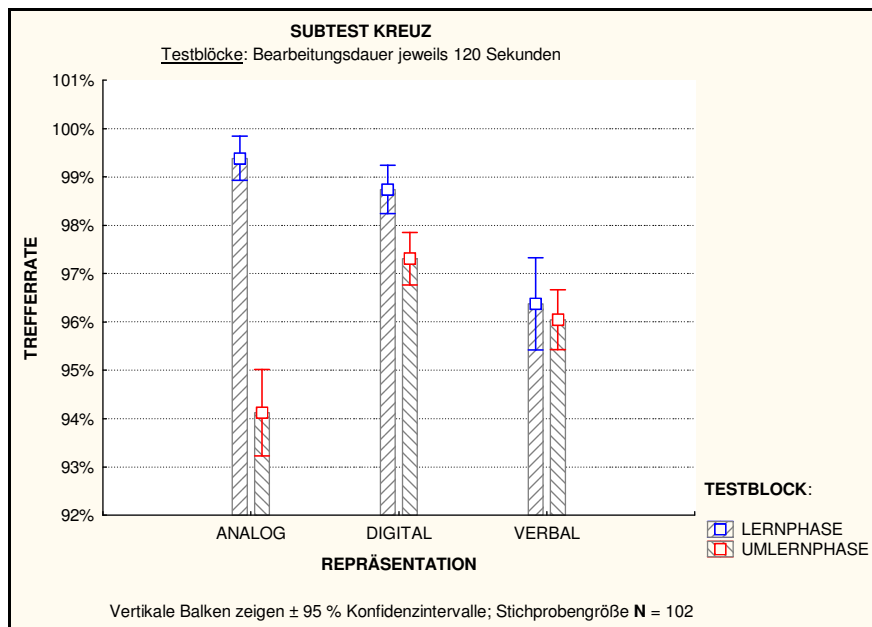


Abbildung 28. Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten prozentuellen Trefferraten in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 120 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße N = 102).

3.4.2.2.3 Statistische Hypothesenprüfung

Das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten Hypothesen 1-3 zum Subtest **Kreuz** bezüglich der prozentuellen Trefferraten war eine 3×2 zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den zwei Messwiederholungsfaktoren **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und **Testblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Die prozentuellen Trefferraten in allen Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** waren sowohl nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests als auch nach den Shapiro-Wilk-Tests nicht normalverteilt. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer

Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Ergebnisse des Mauchley-Tests zeigten eine Verletzung der Annahme der Sphärizität für den Haupteffekt **Repräsentation**, $\chi^2(2) = 9.600$, $p < .05$, sowie für den Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Testblock**, $\chi^2(2) = 9.251$, $p < .05$, an. Girden empfiehlt bei Schätzungen der Sphärizität, die größer als 0.75 sind, die Huynh-Feldt-Korrektur und bei Schätzungen der Sphärizität, die kleiner als 0.75 sind, die Greenhouse-Geisser-Korrektur (Girden, 1992, zitiert nach Field, 2009, S. 461). Daher wurden die Freiheitsgrade für beide Effekte mittels der Huynh-Feldt-Schätzungen der Sphärizität korrigiert (Haupteffekt **Repräsentation**: $\varepsilon = .932$; Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Testblock**: $\varepsilon = .935$). Alle folgenden Effekte wurden bei $p < .05$ als signifikant berichtet. Der Haupteffekt **Repräsentation** war signifikant, $F(1.864, 188.308) = 6.959$, $p < .01$, $\eta^2 = .064$. Die prozentuellen Trefferraten waren also in Abhängigkeit von der Repräsentationsform unterschiedlich. Auch für den Haupteffekt **Testblock** war die Signifikanz gegeben, $F(1,101) = 25.375$, $p < .001$, $\eta^2 = .201$. Für diesen Haupteffekt wurde gemäß der gerichteten Hypothese 1 ein Kontrast berechnet, welcher die prozentuellen Trefferraten in den Testblöcken der Umlernphasen mit den prozentuellen Trefferraten in den Testblöcken der Lernphasen verglich. Die Berechnung des Kontrasts zeigte, dass die prozentuellen Trefferraten bei Bearbeitung der Testblöcke der Umlernphasen signifikant geringer waren als bei der Bearbeitung der Testblöcke der Lernphasen, $F(1,101) = 25.375$, $r = .448$. Auch der für die gerichteten Hypothesen 2 und 3 bedeutsame Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Testblock** war signifikant, $F(1.870, 188.874) = 17.472$, $p < .001$, $\eta^2 = .147$. Die Art des Interaktionseffekts ist für die Aussagen zu den Haupteffekten von Bedeutung. Eine erste Betrachtung der Interaktionsdiagramme in Abbildung 29 (S. 97) legte dar, dass es sich um eine hybride Interaktion handelte (Bortz & Döring, 2006, S. 534). Deshalb konnten nur für den Haupteffekt **Testblock**, nicht aber für den Haupteffekt **Repräsentation** globale Aussagen gemacht werden, weil im Interaktionsdiagramm für den Haupteffekt **Testblock** alle Grafen einen absteigenden Verlauf zeigten. Das bedeutete, dass die prozentuellen Trefferraten in den Testblöcken der Lernphasen über die Stufen des Haupteffekts **Repräsentation** hinweg generell höher waren als die prozentuellen Trefferraten in den Testblöcken der Umlernphasen. Für den Haupteffekt **Repräsentation** waren hingegen

im Folgenden differenzierte Angaben notwendig, weil die Grafen im Interaktionsdiagramm für diesen Faktor sowohl an- als auch abstiegen und damit unterschiedliche Verläufe zeigten. Die Signifikanz des Interaktionseffekts ließ darauf schließen, dass die Testblöcke unterschiedliche Effekte auf die prozentuellen Trefferraten in Abhängigkeit von der Art der Repräsentation hatten. Um diese Interaktionseffekte genauer zu untersuchen, wurden Kontraste berechnet, welche die digitale und verbale mit der analogen Repräsentationsform und die Testblöcke der Lernphasen mit den Testblöcken der Umlernphasen verglichen. Diese Kontraste deckten signifikante Interaktionen beim Vergleich des Testblocks der Lernphase mit dem Testblock der Umlernphase sowohl für die analoge im Vergleich zur digitalen Repräsentationsform, $F(1, 101) = 26.184$, $r = .454$, und für die analoge im Vergleich zur verbalen Repräsentationsform, $F(1, 101) = 25.527$, $r = .449$, auf. Entsprechend den Ergebnissen der Kontraste war der Unterschied zwischen den prozentuellen Trefferraten in den Testblöcken der Lern- und Umlernphase bei analoger Repräsentation signifikant größer als bei digitaler und der verbaler Repräsentation, wie man auch aus den Abbildungen 28 (S. 95) und 29 sowie Tab. 30 (S. 94) sehen kann. Die prozentuellen Trefferraten in dem Testblock der Lernphase waren bei analoger Repräsentation höher ($M = .99$; $SD = 0.02$) und in dem Testblock der Umlernphase geringer ($M = .94$; $SD = 0.07$) als bei digitaler oder verbaler Repräsentation. Aufgrund dieser Ergebnisse konnten die Hypothesen 1-3 zum Subtest **Kreuz** hinsichtlich der abhängigen Variable *Prozentuelle Trefferraten* bestätigt werden.

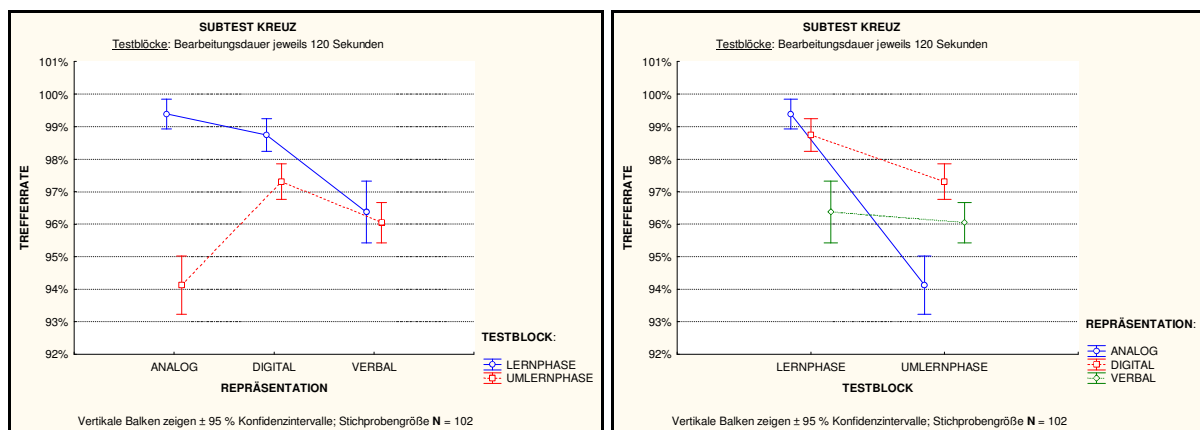


Abbildung 29. Interaktionsdiagramme für die Haupteffekte **Repräsentation** (links) und **Testblock** (rechts) der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten prozentuellen Trefferraten in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 120 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 102$).

3.4.3 Selbstbeobachtung

3.4.3.1 Abhängige Variable: Subjektive Angaben

3.4.3.1.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der Punkte auf den Skalen des NASA-TLX wurden die Daten von 102 Probanden ausgewertet.

3.4.3.1.2 Deskriptivstatistik

Die Tab. 31-33 (S. 98-99) geben pro Repräsentationsform einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

*Tabelle 31. Deskriptive Statistiken zu den Skalenpunkten des NASA-TLX zu den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** bei analoger Repräsentation (N = 102).*

SKALA	Testblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
Geistige Anforderung	TLP	5.980	5.0	4.423	0.438	1	18	0.987	0.133
	TULP	11.696	13.0	5.097	0.505	2	21	-0.321	-1.099
Körperliche Anforderung	TLP	5.657	5.0	3.790	0.375	1	20	0.911	0.927
	TULP	7.127	6.0	4.546	0.450	1	21	0.708	-0.111
Zeitdruck	TLP	6.833	6.0	4.560	0.452	1	21	0.860	0.510
	TULP	8.892	8.0	5.529	0.547	1	21	0.362	-0.927
Anstrengung	TLP	8.020	7.0	5.060	0.501	1	21	0.418	-0.646
	TULP	11.706	13.0	5.352	0.530	2	21	-0.225	-1.065
Fehlleistung	TLP	6.529	6.0	4.757	0.471	1	21	0.847	0.325
	TULP	8.471	7.0	5.308	0.526	1	21	0.428	-0.840
Frustration	TLP	5.902	4.5	5.179	0.513	1	21	1.211	0.882
	TULP	9.235	8.0	5.780	0.572	1	21	0.311	-1.035

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

Tabelle 32. Deskriptive Statistiken zu den Skalenpunkten des NASA-TLX zu den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen Subtests **Kreuz** bei digitaler Repräsentation ($N = 102$).

SKALA	Testblock ¹	<i>M</i>	<i>MDN</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>SCHIEFE</i>	<i>KURTOSIS</i>
Geistige Anforderung	TLP	6.618	6	4.396	0.435	1	19	0.741	-0.190
	TULP	8.843	8	4.647	0.460	1	20	0.346	-0.755
Körperliche Anforderung	TLP	6.088	5	4.105	0.406	1	19	0.817	0.063
	TULP	6.441	6	3.967	0.393	1	18	0.865	0.451
Zeitdruck	TLP	7.422	7	5.047	0.500	1	20	0.677	-0.277
	TULP	7.716	7	4.843	0.480	1	21	0.747	-0.069
Anstrengung	TLP	8.892	9	5.195	0.514	1	21	0.168	-0.937
	TULP	10.382	11	5.258	0.521	1	21	-0.064	-1.024
Fehlleistung	TLP	6.490	6	4.937	0.489	1	20	0.865	-0.077
	TULP	7.098	6	5.065	0.502	1	18	0.601	-0.882
Frustration	TLP	5.569	5	4.449	0.441	1	20	0.896	0.050
	TULP	6.167	4	4.867	0.482	1	21	1.098	0.640

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

Tabelle 33. Deskriptive Statistiken zu den Skalenpunkten des NASA-TLX zu den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen Subtests **Kreuz** bei verbaler Repräsentation ($N = 102$).

SKALA	Test-durchlauf ¹	<i>M</i>	<i>MDN</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>SCHIEFE</i>	<i>KURTOSIS</i>
Geistige Anforderung	TLP	9.382	9.0	4.981	0.493	1	20	0.205	-0.909
	TULP	10.539	10.0	4.874	0.483	2	20	0.054	-0.891
Körperliche Anforderung	TLP	6.725	6.0	4.086	0.405	1	20	0.735	0.155
	TULP	6.951	6.0	4.229	0.419	1	19	0.689	-0.046
Zeitdruck	TLP	7.618	6.0	5.124	0.507	1	20	0.741	-0.436
	TULP	8.157	8.0	4.778	0.473	1	21	0.609	-0.199
Anstrengung	TLP	10.902	11.0	5.234	0.518	1	21	-0.087	-0.890
	TULP	11.098	11.0	4.868	0.482	2	21	-0.044	-0.814
Fehlleistung	TLP	7.304	6.0	5.062	0.501	1	20	0.753	-0.248
	TULP	7.745	7.0	4.910	0.486	1	21	0.528	-0.595
Frustration	TLP	6.990	6.0	5.069	0.502	1	21	0.892	0.355
	TULP	7.245	6.5	5.035	0.499	1	21	0.735	-0.164

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

Abbildung 30 zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Skalenpunkte für alle sechs Skalen des NASA-TLX zu den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz**.

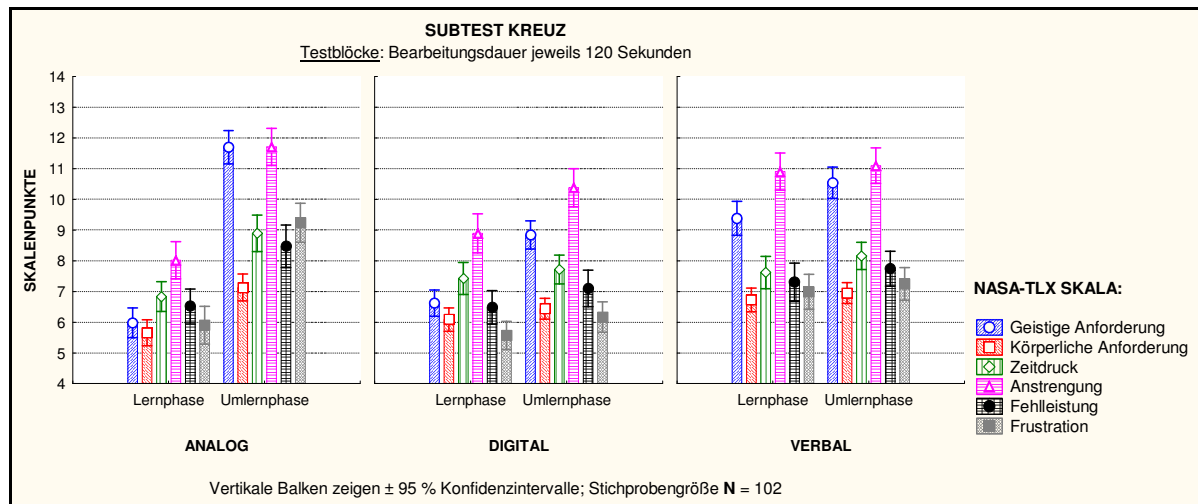


Abbildung 30. Diagramm zur multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten Skalenpunkte der sechs Skalen des NASA-TLX zu den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 120 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 102$).

3.4.3.1.3 Statistische Hypothesenprüfung

Da für die statistische Analyse die sechs Skalen des NASA-TLX jeweils als abhängige Variable definiert wurden und es sich somit um ein sogenanntes zweifach-multivariates Design handelte (Statsoft, 2015), war das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten Hypothesen 1-3 zum Subtest Kreuz bezüglich der abhängigen Variable *Subjektive Angaben* eine 3×2 zweifaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem dreistufigen Messwiederholungsfaktor **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und dem zweistufigen Messwiederholungsfaktor **Testblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Bis auf drei Ausnahmen waren die Punkte der Skalen des NASA-TLX zu den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht normalverteilt. Nach den Shapiro-Wilk-Tests waren bis auf eine Ausnahme die Punktwerte aller Skalen nicht normalverteilt. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches

Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Alle folgenden Effekte der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden unter Verwendung der Pillai's Spur bei $p < .05$ als signifikant berichtet, da diese Teststatistik sehr robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilungsannahme ist (Bray & Maxwell, 1985, zitiert nach Field, 2009, S. 605). Die Haupteffekte **Repräsentation**, $V = 0.412$, $F(12, 90) = 5.256$, $p < .001$, $\eta^2 = .412$, und **Testblock**, $V = 0.589$, $F(6, 96) = 22.892$, $p < .001$, $\eta^2 = .589$, sowie der Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Testblock**, $V = 0.530$, $F(12, 90) = 8.466$, $p < .001$, $\eta^2 = .530$, waren signifikant. Mit Blick auf die Hypothesenprüfung interessierten der Haupteffekt **Testblock** sowie der Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Testblock**. Anschließend an die Ergebnisse der multivariaten Varianzanalyse wurden für beide Effekte pro Skala univariate Varianzanalysen berechnet. Die Sphärizitätsannahme für den Haupteffekt **Testblock** war bezüglich aller sechs Skalen gegeben, da dieser nur zweistufig vorlag. Hingegen war der Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Testblock** bezüglich der Skalen *Geistige Anforderung*, *Körperliche Anforderung* und *Frustration* verletzt. Girden empfiehlt bei Schätzungen der Sphärizität, die größer als 0.75 sind, die Huynh-Feldt-Korrektur und bei Schätzungen der Sphärizität, die kleiner als 0.75 sind, die Greenhouse-Geisser-Korrektur (Girden, 1992, zitiert nach Field, 2009, S. 461). Daher wurde für alle drei Skalen die Hynh-Feldt-Korrektur angewandt (da jeweils $\epsilon > .75$). In den Tab. 34 (S. 103) und 35 (S. 104) liegen die Ergebnisse der univariaten Varianzanalysen zum Haupteffekt **Testblock** sowie zum Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Testblock** für jede Skala vor. Die gerichtete Hypothese 1 bezog sich auf den Vergleich der Skalenpunkte zu den Testblöcken der Lernphasen mit den Skalenpunkten zu den Testblöcken der Umlernphasen über alle Repräsentationsformen hinweg. Für die Prüfung dieser Hypothese war der signifikante Haupteffekt **Testblock** relevant. Wie aus Tab. 34 (S. 103) zu sehen ist, führte dieser Vergleich in Bezug auf alle Skalen zu signifikanten Unterschieden. Anschließend daran wurden gemäß der Einseitigkeit der Hypothese pro Skala Kontraste berechnet, welche die Skalenpunkte zu den Testblöcken der Umlernphasen mit den Skalenpunkten zu den Testblöcken der Lernphasen verglichen. Die

entsprechenden Effektstärken sind ebenfalls in Tab. 34 (S. 103) angegeben. Große Effekte (r jeweils $> .50$) waren demnach für die Skalen *Geistige Anforderung*, *Anstrengung* und *Frustration* zu verzeichnen. Den größten Effekt gab es hier bezüglich der Skala *Geistige Anforderung* ($r = .751$). Für die Skalen *Körperliche Anforderung*, *Zeitdruck* und *Fehlleistung* zeigten sich mittlere Effekte (r jeweils $> .30$). Dies bedeutete, dass die Skalenpunkte und damit die subjektiven Belastungseinschätzungen hinsichtlich der Testblöcke nach den Lernphasen signifikant geringer waren als die Skalenpunkte der Testblöcke nach den Umlernphasen. Nach den Ergebnissen der multivariaten Varianzanalyse als auch der nachfolgenden univariaten Varianzanalysen konnte Hypothese 1 zum Subtest **Kreuz** hinsichtlich der abhängigen Variable *Subjektive Angaben* bestätigt werden. Für die Prüfung der gerichteten Hypothesen 2 und 3 war der signifikante Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Testblock** relevant. Die Art des Interaktionseffekts ist für die Aussagen zu den Haupteffekten von Bedeutung. Eine erste Betrachtung der Interaktionsdiagramme in Abbildung 31 (S. 105) legte dar, dass es sich um eine hybride Interaktion handelte (Bortz & Döring, 2006, S. 534). Deshalb konnten nur für den Haupteffekt **Testblock** globale Aussagen gemacht werden, weil im Interaktionsdiagramm für den Haupteffekt **Testblock** alle Grafen einen ansteigenden Verlauf zeigten. Das bedeutete, dass die Skalenpunkte der einzelnen Skalen des NASA-TLX zu den Testblöcken der Lernphasen über die Stufen des Haupteffekts Repräsentation höher waren als die Skalenpunkte der einzelnen Skalen des NASA-TLX zu den Testblöcken der Umlernphasen. Für den Haupteffekt **Repräsentation** waren hingegen im Folgenden differenzierte Angaben notwendig, weil die Grafen im Interaktionsdiagramm für diesen Faktor sowohl an- als auch abstiegen und damit unterschiedliche Verläufe zeigten. Die Signifikanz des Interaktionseffekts ließ darauf schließen, dass die Testblöcke der Lern- und Umlernphasen unterschiedliche Effekte auf die Skalenpunkte in Abhängigkeit von der Repräsentationsform hatten. In Tab. 35 (S. 104) sind die univariaten Varianzanalysen, die für alle sechs Skalen signifikante Unterschiede des Interaktionseffekts zeigten, dargestellt. Um diese Interaktion aufzuschlüsseln, wurden Kontraste berechnet, welche die digitale und verbale Repräsentation mit der analogen Repräsentation und die Testblöcke der Umlernphasen mit den Testblöcken der Lernphasen verglichen. Gemäß Tab. 35 (S. 104) zeigten sich bei allen Skalen signifikante Kontraste (die Effektstärken sind ebenfalls in Tab. 35 angegeben). Die größten Effekte zeigten sich in Bezug auf die Skala *Geistige Anforderung* (für beide Kontraste $r > .50$). Mittlere bis große Effekte gab es hinsichtlich der Skalen *Zeitdruck*, *Anstrengung* und *Frustration* (r jeweils $> .30$). Geringe bis mittlere Effekte waren für die Skalen *Körperliche Anforderung*

und *Fehlleistung* zu verzeichnen ($r > .10$). Insgesamt betrachtet fiel also auf, dass der Unterschied zwischen den Skalenpunkten der einzelnen Skalen im Hinblick auf den Testblock der Lern- und Umlernphase bei analoger Repräsentation signifikant höher war als bei der digitalen oder verbalen Repräsentationsform, wie man auch aus den Abbildungen 30 (S. 100) und 31 (S. 105) sowie den Tab. 31-33 (S. 98-99) sehen kann. Nach den Ergebnissen der multivariaten Varianzanalyse als auch der nachfolgenden univariaten Varianzanalysen konnten neben der gerichteten Hypothesen 1 die gerichteten Hypothesen 2 und 3 zum Subtest **Kreuz** hinsichtlich der abhängigen Variable *Subjektive Angaben* bestätigt werden.

*Tabelle 34. Ergebnisse der der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung nachfolgenden univariaten Tests zu den Skalenpunkten des NASA-TLX des Subtests **Kreuz** für den Haupteffekt Testblock (N = 102).*

Univariate Tests zum Haupteffekt Testblock des Subtests Kreuz							
SKALA	SS	MS	df	F	η^2	r^I	p
Geistige Anforderung	1407.163	1407.163	1	130.448***	.564	.751 ^{2,3}	.000
Fehler	1089.503	10.787	101				
Körperliche Anforderung	71.374	71.374	1	18.046***	.152	.389 ^{2,3}	.000
Fehler	399.459	3.955	101				
Zeitdruck	142.198	142.198	1	30.756***	.233	.483 ^{2,3}	.000
Fehler	466.969	4.623	101				
Anstrengung	490.693	490.693	1	56.213***	.358	.598 ^{2,3}	.000
Fehler	881.641	8.729	101				
Fehlleistung	152.002	152.002	1	12.799**	.112	.335 ^{2,3}	.001
Fehler	1199.498	11.876	101				
Frustration	297.923	297.923	1	34.042***	.252	.502 ^{2,3}	.000
Fehler	883.910	8.752	101				

Anmerkungen: *p < .05. **p < .01. ***p < .001. ¹Effektstärken der Kontraste. ²Kontraste zur gerichteten Hypothese 1. ³Diese Kontraste waren zumindest bei p < .05 signifikant.

Tabelle 35. Ergebnisse der der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung nachfolgenden univariaten Tests zu den Skalenpunkten des NASA-TLX des Subtests **Kreuz** für den Interaktionseffekt Repräsentation × Testblock (N = 102).

Univariate Tests zum Interaktionseffekt Repräsentation × Testblock des Subtests Kreuz							
SKALA	SS	MS	df	F	η^2	r^2	p
Geistige Anforderung ¹	579.807	305.872	1.896	43.361***	.300	.592 ^{3,5} .618 ^{4,5}	.000
Fehler	1350.526	7.054	191.455				
Körperliche Anforderung ¹	47.866	25.986	1.842	6.388**	.059	.284 ^{3,5} .273 ^{4,5}	.003
Fehler	756.801	4.068	186.042				
Zeitdruck	93.219	46.609	2	12.756***	.112	.392 ^{3,5} .381 ^{4,5}	.000
Fehler	738.114	3.654	202				
Anstrengung	317.542	158.771	2	27.016***	.211	.402 ^{3,5} .584 ^{4,5}	.000
Fehler	1187.124	5.877	202				
Fehlleistung	68.944	34.472	2	4.533*	.043	.236 ^{3,5} .245 ^{4,5}	.012
Fehler	1536.056	7.604	202				
Frustration ¹	290.297	168.244	1.725	19.096***	.159	.396 ^{3,5} .481 ^{4,5}	.000
Fehler	1535.369	15.202	101.000				

Anmerkungen: *p < .05. **p < .01. ***p < .001. ¹Korrektur nach Hynh-Feldt. ²Effektstärken der Kontraste. ³Kontraste zu den Hypothesen 2 und 3 (analog vs. digital). ⁴Kontraste zu den Hypothesen 2 und 3 (analog vs. verbal). ⁵Diese Kontraste waren zumindest bei p < .05 signifikant.

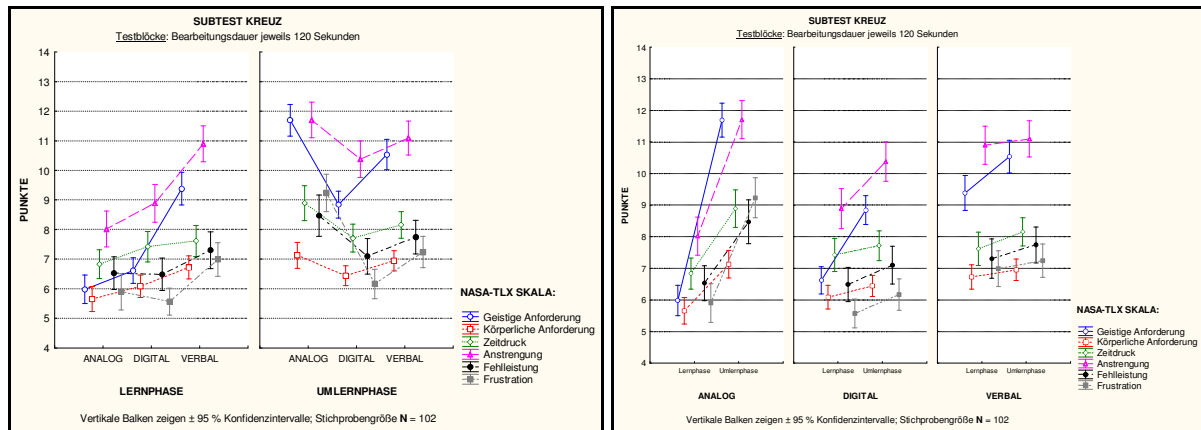


Abbildung 31. Interaktionsdiagramme für die Haupteffekte **Repräsentation** (links) und **Testblock** (rechts) der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten Skalenpunkte der sechs Skalen des NASA-TLX zu den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 120 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße N = 102).

3.4.4 Physiologie

3.4.4.1 Abhängige Variable: Elektrodermale Aktivität

3.4.4.1.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der Anzahl der Spontanfluktuationen wurden für den Lernblock die Daten von 98 Probanden und für die Testblöcke die Daten von 97 Probanden ausgewertet.

3.4.4.1.2 Deskriptivstatistik

3.4.4.1.2.1 Lernblöcke

Tab. 36 (S. 106) gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

Tabelle 36. Deskriptive Statistiken zu der Anzahl der Spontanfluktuationen der sechs Lernblöcke der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** (N = 98).

Repräsentation	Lernblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
ANALOG	LP	7.143	7.0	3.758	0.380	0	18	0.430	0.056
	ULP	8.010	8.0	3.631	0.367	0	17	-0.205	-0.145
DIGITAL	LP	7.714	8.0	3.700	0.374	0	16	-0.105	-0.400
	ULP	8.429	8.5	4.351	0.439	0	20	0.223	-0.278
VERBAL	LP	7.714	8.0	3.706	0.374	0	17	0.211	-0.163
	ULP	7.847	8.0	3.975	0.402	0	17	-0.015	-0.530

Anmerkungen: ¹LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase.

Abbildung 32 zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Anzahl der Spontanfluktuationen in den sechs Lernblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz**.

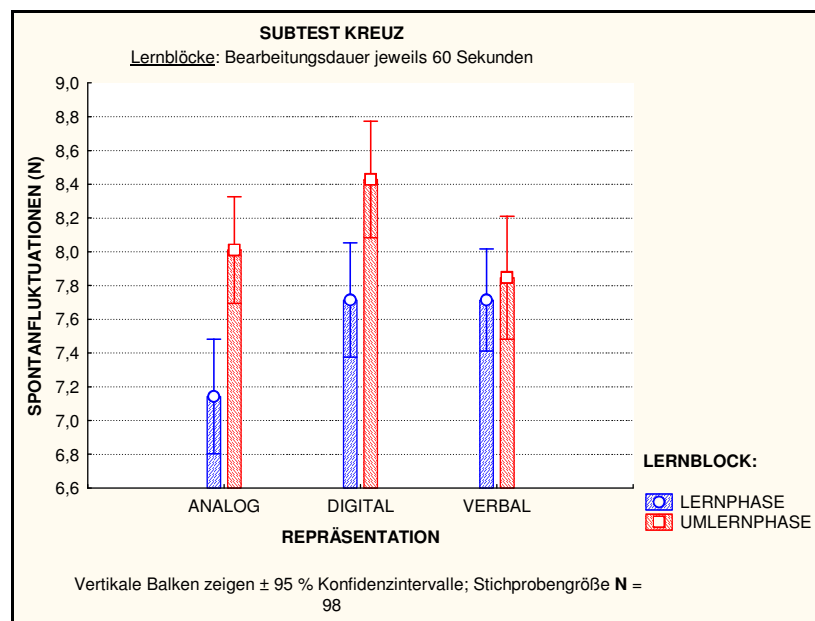


Abbildung 32. Diagramm zur zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten ± 95% - Konfidenzintervalle der nach der Cosineau-Morey-Methode standardisierten Anzahl der Spontanfluktuationen in den sechs Lernblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße N = 98).

3.4.4.1.2.2 Testblöcke

Tab. 37 gibt einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

*Tabelle 37. Deskriptive Statistiken zu der Anzahl der Spontanfluktuationen der sechs Testblöcke der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** (N = 97).*

Repräsentation	Testblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
1. MINUTE									
ANALOG	TLP	6.124	6	3.504	0.356	0	13	-0.181	-0.795
	TULP	7.186	8	3.959	0.402	0	15	-0.224	-0.950
DIGITAL	TLP	6.897	7	3.999	0.406	0	17	0.064	-0.559
	TULP	6.835	8	3.752	0.381	0	13	-0.233	-1.162
VERBAL	TLP	7.021	8	3.640	0.370	0	14	-0.317	-0.925
	TULP	6.732	7	3.740	0.380	0	16	0.039	-0.838
2. MINUTE									
ANALOG	TLP	6.505	6	4.034	0.410	0	16	0.300	-0.507
	TULP	6.887	6	3.802	0.386	0	15	-0.122	-0.846
DIGITAL	TLP	5.990	6	3.441	0.349	0	14	0.036	-0.728
	TULP	6.381	6	3.906	0.397	0	17	0.329	-0.369
VERBAL	TLP	6.186	6	3.474	0.353	0	14	0.090	-0.516
	TULP	6.588	7	3.896	0.396	0	14	-0.041	-1.039

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

Abbildung 33 (S. 108) zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten Anzahl der Spontanfluktuationen in den sechs Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz**.

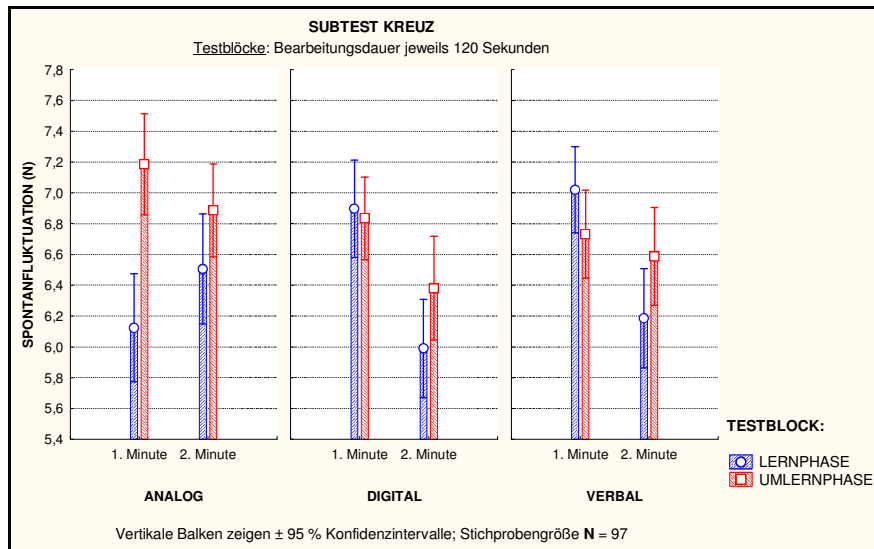


Abbildung 33. Diagramm zur dreifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung (Interaktionsdiagramm zweiter Ordnung) mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervalle der nach der Cosineau-Morey-Methode standardisierten Anzahl der Spontanfluktuationen in den sechs Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 120 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 97$).

3.4.4.1.3 Statistische Hypothesenprüfung

3.4.4.1.3.1 Lernblock

Das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten Hypothesen 1-3 zum Subtest **Kreuz** bezüglich der abhängigen Variable *Elektrodermale Aktivität* war eine 3×2 zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den zwei Messwiederholungsfaktoren **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und **Lernblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Drei der sechs Variablen des Subtests **Kreuz** waren nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht normalverteilt. Nach den Shapiro-Wilk-Tests waren bis auf eine Ausnahme alle Variablen normalverteilt. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf

die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Nach den Ergebnissen des Mauchley-Tests war die Sphärizitätsannahme für sämtliche Effekte erfüllt. Alle folgenden Effekte wurden bei $p < .05$ als signifikant berichtet. Der Haupteffekt **Repräsentation** war nicht signifikant, $F(2, 194) = 1.757, p > .05, \eta^2 = .018$. Der Haupteffekt **Lernblock** hingegen war signifikant, $F(1,97) = 9.306, p < .01, \eta^2 = .088$. Aufgrund der gerichteten Hypothese 1 wurde dazu ein Kontrast berechnet, welcher die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Lernblöcken der Umlernphasen mit der Anzahl der Spontanfluktuationen in den Lernblöcken der Lernphasen verglich. Die Berechnung des Kontrasts deckte auf, dass die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Lernblöcken der Lernphasen signifikant geringer war als die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Lernblöcken der Umlernphasen, $F(1,97) = 9.306, r = .296$. Der Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Lernblock** war hingegen nicht signifikant, $F(2, 194) = 1.642, p > .05, \eta^2 = .017$. Nach den Ergebnissen des Signifikanztests konnte die gerichtete Hypothese 1 zum Subtest **Kreuz** hinsichtlich der abhängigen Variable *Elektrodermale Aktivität* bestätigt werden. Die gerichteten Hypothesen 2 und 3, die sich auf den Interaktionseffekt bezogen, mussten hingegen zurückgewiesen werden.

3.4.4.1.3.2 Testblöcke

Das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der Hypothesen 1-3 zum Subtest **Kreuz** bezüglich der abhängigen Variable *Elektrodermale Aktivität* war eine $3 \times 2 \times 2$ dreifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung mit dem dreistufigen Messwiederholungsfaktor **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL), dem zweistufigen Messwiederholungsfaktor **Testblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE), und dem zweistufigen Messwiederholungsfaktor **Zeit** (1.MINUTE vs. 2.MINUTE). Bis auf drei Ausnahmen war die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht normalverteilt. Nach den Shapiro-Wilk-Tests war bis auf eine Ausnahme die Anzahl der Spontanfluktuationen nicht normalverteilt. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer dreifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der

Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Nach den Ergebnissen des Mauchley-Tests waren die Sphärizitätsannahmen für alle Effekte gegeben. Alle folgenden Effekte wurden bei $p < .05$ als signifikant berichtet. Der Haupteffekt **Repräsentation** war nicht signifikant, $F(2, 192) = 0.280, p > .05, \eta^2 = .003$. Signifikant waren hingegen die Haupteffekte **Testblock**, $F(1, 96) = 6.299, p < .05, \eta^2 = .062$, und **Zeit**, $F(1, 96) = 8.332, p < .01, \eta^2 = .080$. Gemäß der gerichteten Hypothese 1 wurde dazu ein Kontrast berechnet, welcher die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Testblöcken der Umlernphasen mit der Anzahl der Spontanfluktuationen in den Testblöcken der Lernphasen verglich. Die Berechnung des Kontrasts deckte auf, dass die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Testblöcken der Lernphasen signifikant geringer war als die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Testblöcken der Umlernphasen, $F(1,96) = 6.299, r = .248$. Die Interaktionseffekte erster Ordnung **Repräsentation** $\times$ **Testblock**, $F(2, 192) = 2.254, p > .05, \eta^2 = .023$, und **Testblock** $\times$ **Zeit**, $F(1, 96) = 0.562, p > .05, \eta^2 = .006$, waren nicht signifikant. Einzig der Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Zeit** war signifikant, $F(2, 192) = 3.771, p < .05, \eta^2 = .038$. Dies bedeutete, dass sich die Anzahl der Spontanfluktuationen pro Repräsentationsform in Abhängigkeit von der Dauer der Testung unterschied. Abbildung 34 (S. 111) zeigt das entsprechende Interaktionsdiagramm. Daraus war ersichtlich, dass die Anzahl der Spontanfluktuationen bei analoger Repräsentation über die Testblöcke der Lern- und Umlernphase hinweg für beide Minuten der Bearbeitung gleich hoch war, während es in den Bedingungen mit digitaler und verbaler Repräsentation zu einem Abfall der Anzahl der Spontanfluktuationen kam. Die Interaktion zweiter Ordnung **Repräsentation** $\times$ **Testblock** $\times$ **Zeit** wiederum fiel signifikant aus, $F(2, 192) = 3.689, p < .05, \eta^2 = .037$. Die gerichteten Hypothesen 2 und 3 bezogen sich auf den Interaktionseffekt erster Ordnung **Repräsentation** $\times$ **Testblock**. Angesichts des signifikanten Interaktionseffekts zweiter Ordnung erforderte dies eine differenziertere Betrachtung der Ergebnisse, weshalb auch die dazu formulierten Hypothesen in dieser Form nicht bestätigt werden konnten. Die grafischen Veranschaulichungen des Interaktionseffekts zweiter Ordnung in den Abbildungen 33 (S. 108) und 34 (S. 111) zeigten, dass sich die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Testblöcken der Umlernphasen bei allen drei Repräsentationsformen von der ersten Minute auf die zweite Minute verringerte. Derselbe Trend zeigte sich für die Testblöcke nach den Lernphasen bei digitaler und verbaler Repräsentation. Gegenläufig verhielt es sich jedoch bei der analogen Repräsentation, da es hier von der ersten Minute auf die zweite Minute zu einem Anstieg der Spontanfluktuationen bei dem Testblock der Lernphase kam. Nach den

Ergebnissen des Signifikanztests konnte die gerichtete Hypothese 1 zum Subtest **Kreuz** hinsichtlich der abhängigen Variable *Elektrodermale Aktivität* bestätigt werden. Die Hypothesen 2 und 3 konnten aufgrund der vorliegenden Ergebnisse in dieser Form jedoch nicht bestätigt werden.

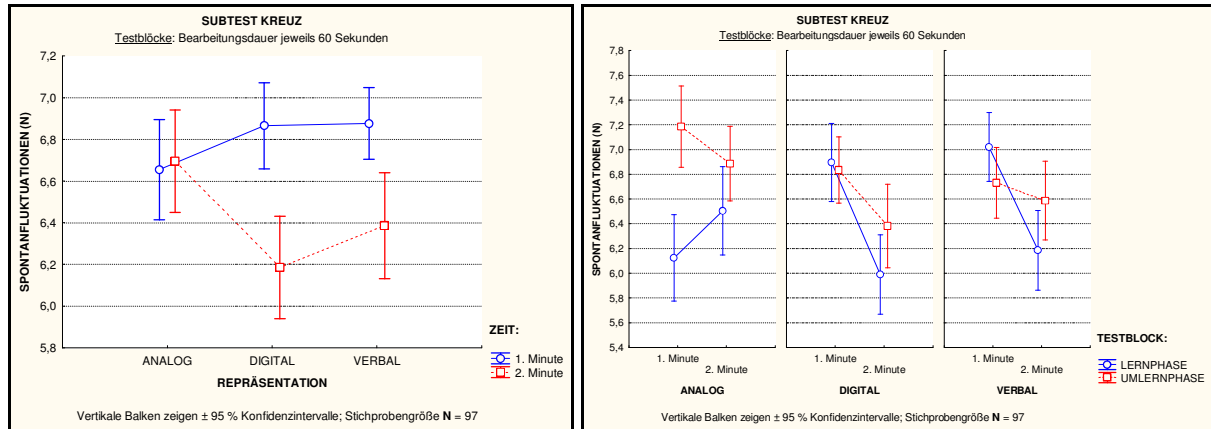


Abbildung 34. Diagramme zum Interaktionseffekt erster Ordnung **Repräsentation x Zeit** (links) und zum Interaktionseffekt zweiter Ordnung **Repräsentation x Testblock x Zeit** (rechts) der dreifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten Anzahl der Spontanfluktuationen in den sechs Testblöcken der Lern- und Umlernphasen Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße N = 97).

3.4.4.2 Abhängige Variable: Spontan-EEG

3.4.4.2.1 Fallzahl

Für die deskriptiv- und inferenzstatistische Analyse der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG wurden für die Lern- und Testblöcke die Daten von 89 Probanden ausgewertet.

3.4.4.2.2 Deskriptivstatistik

3.4.4.2.2.1 Lernblöcke

Die Tab. 38-40 (S. 112-114) geben pro Repräsentationsform einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert. Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

*Tabelle 38. Deskriptive Statistiken zur absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG im Lernblock der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei analoger Repräsentation ($N = 89$).*

EEG-Band	Lernblock ¹	<i>M</i>	<i>MDN</i>	<i>SD</i>	<i>SE</i>	<i>MIN</i>	<i>MAX</i>	<i>SCHIEFE</i>	<i>KURTOSIS</i>
LOKALISATION: FRONTOZENTRAL									
DELTA	LP	40.217	34.6	25.270	2.679	7.8	139.8	1.843	4.523
	ULP	45.203	39.2	32.961	3.494	7.0	203.2	2.581	8.462
THETA	LP	35.113	30.1	18.012	1.909	9.4	108.6	1.282	2.212
	ULP	38.602	32.3	21.574	2.287	9.5	122.6	1.465	2.484
ALPHA	LP	15.443	13.2	7.412	0.786	5.5	51.1	1.969	5.927
	ULP	15.893	12.6	8.353	0.885	6.1	46.4	1.566	2.240
BETA 1	LP	5.979	5.4	2.523	0.267	2.1	17.7	1.860	5.487
	ULP	6.437	5.2	3.525	0.374	2.0	23.5	2.207	6.443
BETA 2	LP	18.272	15.9	8.643	0.916	7.9	50.8	1.651	3.525
	ULP	19.913	14.6	14.426	1.529	8.0	96.0	2.637	8.928
GAMMA 1	LP	21.951	16.5	15.841	1.679	5.7	78.1	1.810	3.495
	ULP	26.391	16.8	25.994	2.755	3.8	124.0	1.966	3.335
GAMMA 2	LP	10.508	7.9	7.896	0.837	3.2	47.7	2.095	5.672
	ULP	12.563	7.9	14.339	1.520	2.1	97.3	3.232	13.988
LOKALISATION: PARIETOZENTRAL									
DELTA	LP	16.224	14.3	7.498	0.795	5.4	50.4	1.684	4.527
	ULP	17.812	15.0	11.156	1.183	6.8	74.9	2.939	10.712
THETA	LP	17.362	16.1	5.906	0.626	8.1	35.9	0.591	0.026
	ULP	20.394	17.3	13.671	1.449	9.3	94.8	3.756	16.489
ALPHA	LP	16.882	11.9	12.369	1.311	5.6	74.7	2.311	6.104
	ULP	15.891	11.8	10.507	1.114	5.3	56.3	1.919	3.705
BETA 1	LP	7.779	6.8	3.971	0.421	2.2	24.0	1.510	3.050
	ULP	7.771	6.5	4.570	0.484	1.8	27.2	2.002	4.722
BETA 2	LP	19.473	17.0	13.962	1.480	6.7	118.6	4.576	29.173
	ULP	21.710	15.8	19.081	2.023	5.9	140.6	3.661	17.793
GAMMA 1	LP	24.258	19.6	17.627	1.869	6.1	114.6	2.322	7.713
	ULP	29.753	19.8	29.588	3.136	5.1	155.0	2.569	7.145
GAMMA 2	LP	11.873	8.8	14.630	1.551	2.7	123.5	5.595	39.287
	ULP	13.496	8.3	15.465	1.639	2.3	96.6	3.200	12.263

Anmerkungen: ¹LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase.

*Tabelle 39. Deskriptive Statistiken zur absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG im Lernblock der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei digitaler Repräsentation (N = 89).*

EEG-Band	Lernblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
LOKALISATION: FRONTOZENTRAL									
DELTA	LP	43.229	34.1	29.956	3.175	9.9	164.5	1.923	4.022
	ULP	45.996	38.0	32.386	3.433	9.0	160.7	1.845	3.338
THETA	LP	35.024	28.9	19.634	2.081	10.2	107.1	1.699	3.043
	ULP	36.551	30.9	20.190	2.140	11.2	105.1	1.419	1.593
ALPHA	LP	14.758	13.1	7.075	0.750	5.5	40.1	1.671	3.126
	ULP	14.964	12.9	7.420	0.787	5.3	37.9	1.419	1.552
BETA 1	LP	5.945	5.3	2.497	0.265	2.4	15.6	1.284	2.248
	ULP	5.764	5.0	2.592	0.275	1.9	14.2	1.369	1.728
BETA 2	LP	18.308	14.8	10.536	1.117	6.9	55.9	1.709	2.787
	ULP	18.327	14.3	13.343	1.414	5.800	95.300	3.204	13.588
GAMMA 1	LP	22.753	14.6	21.388	2.267	4.9	100.9	2.279	4.969
	ULP	23.167	15.1	26.399	2.798	4.9	186.9	3.748	17.877
GAMMA 2	LP	11.391	7.1	11.936	1.265	2.3	64.4	2.736	8.178
	ULP	11.331	7.9	13.125	1.391	2.3	92.7	3.811	18.271
LOKALISATION: PARIETOZENTRAL									
DELTA	LP	17.089	15.0	8.989	0.953	5.4	53.0	1.563	2.866
	ULP	14.930	14.4	5.838	0.619	5.4	38.5	1.347	3.148
THETA	LP	17.565	15.4	7.274	0.771	7.5	42.1	1.081	0.981
	ULP	17.320	16.8	6.462	0.685	7.5	43.2	1.317	2.722
ALPHA	LP	15.349	11.6	10.781	1.143	5.5	76.0	2.937	11.725
	ULP	15.851	11.2	12.564	1.332	4.8	70.8	2.485	6.556
BETA 1	LP	7.313	6.3	3.766	0.399	2.1	24.5	1.802	4.551
	ULP	7.110	5.9	3.793	0.402	1.9	23.6	1.854	4.780
BETA 2	LP	17.943	16.5	9.099	0.964	5.6	51.0	1.737	3.863
	ULP	17.402	15.5	8.989	0.953	5.1	56.3	2.021	5.672
GAMMA 1	LP	23.626	18.2	18.209	1.930	5.3	96.5	2.107	4.624
	ULP	23.039	18.4	19.274	2.043	5.3	109.2	2.709	8.383
GAMMA 2	LP	11.128	7.8	10.222	1.084	2.7	58.6	2.516	6.880
	ULP	10.648	7.2	10.047	1.065	2.1	55.4	2.922	9.395

Anmerkungen: ¹LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase.

*Tabelle 40. Deskriptive Statistiken zur absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG im Lernblock der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei verbaler Repräsentation (N = 89).*

EEG-Band	Lernblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
LOKALISATION: FRONTOZENTRAL									
DELTA	LP	45.645	39.0	34.456	3.652	8.9	165.2	1.903	3.789
	ULP	45.858	33.1	30.672	3.251	13.4	160.8	1.850	3.793
THETA	LP	37.471	29.9	22.654	2.401	10.9	122.9	1.597	2.650
	ULP	37.630	32.4	21.189	2.246	11.2	140.8	2.062	6.538
ALPHA	LP	14.648	13.2	7.191	0.762	5.3	54.1	2.446	10.008
	ULP	15.137	13.3	7.048	0.747	4.8	38.5	1.109	0.985
BETA 1	LP	5.674	5.0	2.385	0.253	2.0	14.1	1.137	1.498
	ULP	6.197	5.2	3.430	0.364	1.9	25.5	2.557	10.775
BETA 2	LP	16.430	13.2	9.589	1.016	6.9	53.9	2.173	5.136
	ULP	18.079	13.3	11.400	1.208	6.7	70.4	2.407	7.215
GAMMA 1	LP	18.685	13.0	17.154	1.818	4.5	96.2	2.788	9.297
	ULP	22.298	14.8	21.982	2.330	4.5	133.0	2.737	8.938
GAMMA 2	LP	8.780	5.9	7.914	0.839	2.2	47.4	2.702	9.003
	ULP	10.651	7.5	11.336	1.202	2.3	72.4	3.410	14.267
LOKALISATION: PARIETOZENTRAL									
DELTA	LP	15.652	14.1	6.477	0.687	5.1	37.6	0.974	1.132
	ULP	18.492	15.6	13.391	1.419	5.6	101.1	3.378	16.373
THETA	LP	17.119	16.1	6.219	0.659	7.1	39.3	0.920	1.087
	ULP	17.987	17.0	7.631	0.809	7.5	57.5	1.974	7.433
ALPHA	LP	14.817	11.1	10.048	1.065	4.5	51.5	1.851	2.912
	ULP	15.702	11.6	11.404	1.209	5.1	58.4	2.014	3.760
BETA 1	LP	6.796	6.1	3.545	0.376	1.8	21.8	1.725	4.392
	ULP	7.276	6.1	3.968	0.421	2.0	23.4	1.544	2.726
BETA 2	LP	16.256	14.3	7.978	0.846	6.1	52.8	1.778	4.748
	ULP	17.535	14.8	8.838	0.937	6.8	51.6	1.522	2.680
GAMMA 1	LP	19.274	15.4	13.347	1.415	4.4	82.2	2.334	7.047
	ULP	22.093	17.7	16.755	1.776	5.0	106.3	2.148	6.629
GAMMA 2	LP	8.261	6.6	5.955	0.631	2.2	37.2	2.429	7.618
	ULP	9.752	7.0	6.958	0.738	2.2	36.0	1.505	2.276

Anmerkungen: ¹LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase.

Abbildung 35 zeigt die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG in den Lernblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests *Kreuz*.

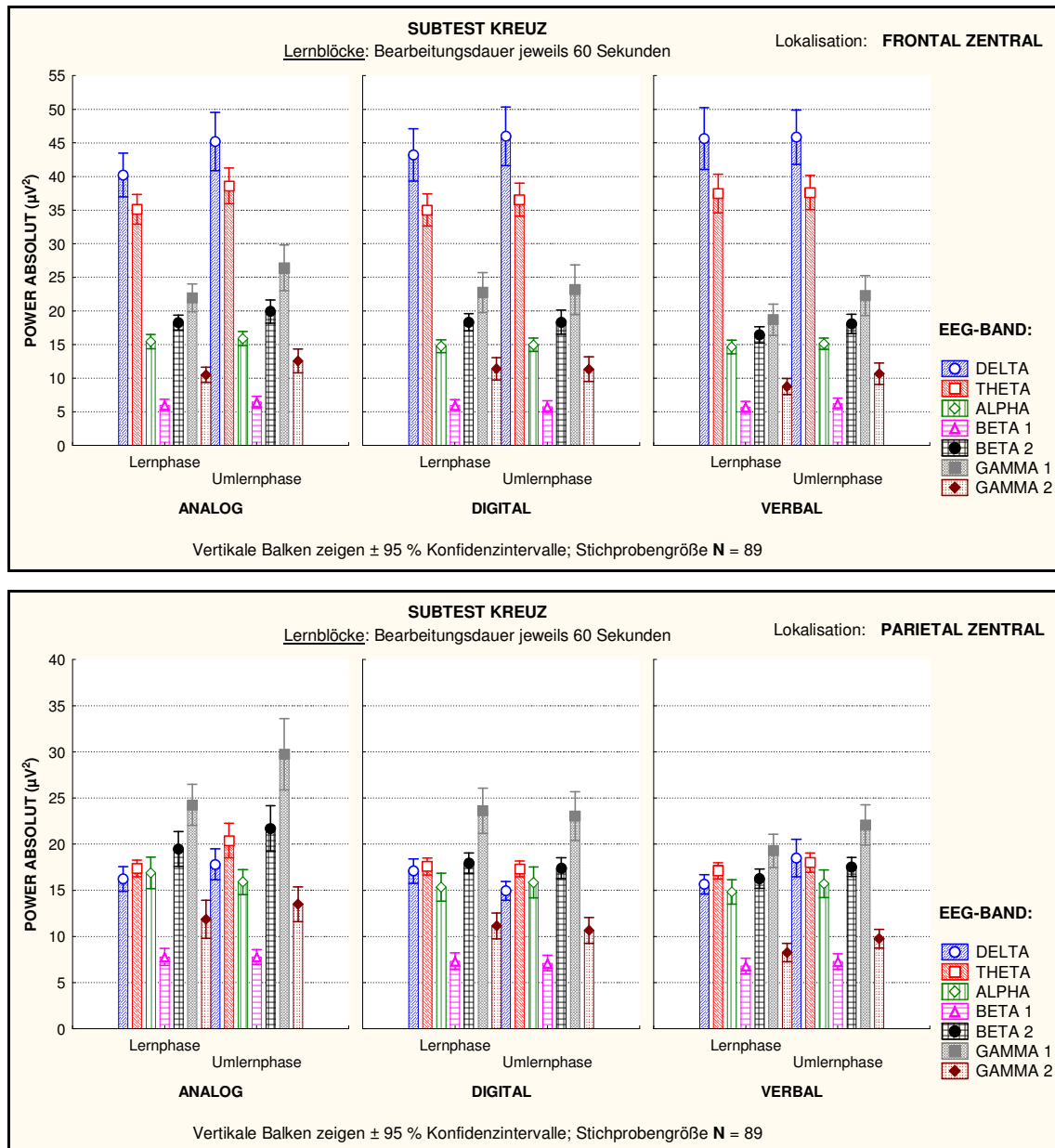


Abbildung 35. Diagramme (Lokalisation: frontal zentral oben, parietal zentral unten) für den Interaktionseffekt zweiter Ordnung **Lokalisation** $\times$ **Repräsentation** $\times$ **Lernblock** der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten absoluten Power des Spontan-EEG in den sechs Lernblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests *Kreuz* mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 89$).

3.4.4.2.2 Testblöcke

Die Tab. 41-46 (S. 116-121) geben pro Repräsentationsform und Testminute einen Überblick über die wichtigsten deskriptivstatistischen Kennwerte wie Mittelwert, Median, Standardabweichung, Standardfehler, Minimal- und Maximalwert.

*Tabelle 41. Deskriptive Statistiken zur absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG in der ersten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei analoger Repräsentation (N = 89).*

EEG-Band	Testblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
LOKALISATION: FRONTOZENTRAL									
DELTA	TLP	33.573	26.6	23.297	2.469	7.3	137.9	2.050	5.412
	TULP	37.445	29.9	26.000	2.756	9.7	129.6	1.657	2.587
THETA	TLP	29.799	24.8	15.251	1.617	10.3	84.6	1.232	1.219
	TULP	33.162	29.1	17.263	1.830	11.8	84.9	1.168	0.941
ALPHA	TLP	14.745	13.3	7.554	0.801	4.8	45.9	1.487	2.715
	TULP	14.408	12.6	8.736	0.926	4.8	60.4	2.760	10.895
BETA 1	TLP	5.826	5.2	2.542	0.269	1.7	15.7	1.258	2.220
	TULP	5.538	4.5	2.784	0.295	1.6	16.8	1.567	2.918
BETA 2	TLP	16.915	15.6	8.730	0.925	4.2	53.7	1.615	3.601
	TULP	15.663	12.8	9.323	0.988	5.7	56.1	2.596	7.864
GAMMA 1	TLP	18.884	13.6	15.204	1.612	3.6	97.5	2.271	7.484
	TULP	17.230	12.2	16.757	1.776	3.7	102.1	3.121	11.440
GAMMA 2	TLP	8.834	6.4	7.360	0.780	1.7	46.9	2.522	8.659
	TULP	8.060	5.8	8.211	0.870	1.9	46.7	3.142	10.321
LOKALISATION: PARIETOZENTRAL									
DELTA	TLP	14.345	12.8	8.163	0.865	5.7	66.9	3.503	19.184
	TULP	14.444	12.6	9.993	1.059	5.4	70.2	4.050	19.355
THETA	TLP	16.429	15.3	6.763	0.717	7.4	52.4	2.168	8.454
	TULP	17.319	15.7	7.379	0.782	8.4	50.1	1.751	4.859
ALPHA	TLP	16.843	11.9	12.951	1.373	3.9	69.2	2.124	4.403
	TULP	15.757	11.5	12.859	1.363	3.7	71.6	2.434	6.314
BETA 1	TLP	7.238	6.3	3.486	0.369	1.5	19.0	0.877	0.569
	TULP	6.694	5.7	3.597	0.381	1.6	20.7	1.353	2.025
BETA 2	TLP	17.813	15.1	9.664	1.024	3.6	58.2	1.365	2.529
	TULP	15.915	13.7	8.016	0.850	4.6	44.9	1.525	2.535
GAMMA 1	TLP	22.288	16.3	17.555	1.861	3.1	99.8	1.740	3.688
	TULP	19.284	14.7	14.165	1.501	4.5	78.5	1.916	4.128
GAMMA 2	TLP	9.569	6.9	7.759	0.822	1.6	43.7	2.017	4.737
	TULP	8.290	6.5	6.907	0.732	2.3	40.1	2.691	8.269

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

*Tabelle 42. Deskriptive Statistiken zur absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG in der zweiten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei analoger Repräsentation (N = 89).*

EEG-Band	Testblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
LOKALISATION: FRONTOZENTRAL									
DELTA	TLP	33.918	29.0	25.402	2.693	6.3	182.4	2.903	13.284
	TULP	34.691	28.5	22.742	2.411	6.7	115.1	1.591	2.598
THETA	TLP	29.769	25.7	15.174	1.608	9.2	79.7	1.072	0.779
	TULP	31.802	28.5	17.208	1.824	9.6	78.1	1.224	1.030
ALPHA	TLP	15.373	12.8	8.784	0.931	4.8	55.3	2.097	6.086
	TULP	14.784	11.8	9.158	0.971	5.4	65.1	2.665	10.624
BETA 1	TLP	6.099	5.1	3.363	0.356	2.1	18.5	2.090	5.008
	TULP	5.662	4.7	2.747	0.291	2.2	17.0	1.602	3.358
BETA 2	TLP	18.283	14.1	12.575	1.333	7.1	68.3	2.524	6.756
	TULP	16.189	13.7	8.696	0.922	5.1	52.7	2.010	4.367
GAMMA 1	TLP	21.726	14.1	22.241	2.358	4.0	117.4	2.599	7.200
	TULP	17.066	13.2	13.610	1.443	3.5	72.3	2.255	5.703
GAMMA 2	TLP	10.210	6.5	10.580	1.121	2.1	55.4	2.606	7.341
	TULP	8.047	5.8	7.558	0.801	1.9	52.4	3.534	15.754
LOKALISATION: PARIETOZENTRAL									
DELTA	TLP	16.380	13.5	14.144	1.499	4.8	102.1	4.313	22.092
	TULP	14.091	13.0	7.717	0.818	4.7	55.4	2.779	10.838
THETA	TLP	16.788	15.6	7.643	0.810	7.3	59.5	2.487	10.628
	TULP	16.767	15.6	6.610	0.701	6.6	36.2	0.845	0.385
ALPHA	TLP	17.842	12.5	14.248	1.510	4.7	79.5	2.314	6.048
	TULP	17.044	11.8	15.423	1.635	4.2	95.6	2.933	9.814
BETA 1	TLP	7.593	6.3	4.037	0.428	2.0	22.4	1.331	1.993
	TULP	6.860	6.0	3.189	0.338	2.1	17.4	1.077	0.847
BETA 2	TLP	17.785	15.0	11.158	1.183	4.9	76.3	2.988	11.930
	TULP	16.073	14.3	7.419	0.786	3.8	47.8	1.451	3.456
GAMMA 1	TLP	23.069	17.1	22.150	2.348	3.9	130.8	3.133	11.730
	TULP	19.463	15.4	14.168	1.502	3.2	81.4	1.976	4.799
GAMMA 2	TLP	10.609	6.8	11.617	1.231	2.1	81.1	3.672	16.949
	TULP	8.333	6.6	6.688	0.709	1.6	44.9	2.921	11.557

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

*Tabelle 43. Deskriptive Statistiken zur absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG in der ersten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei digitaler Repräsentation (N = 89).*

EEG-Band	Testblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
LOKALISATION: FRONTOZENTRAL									
DELTA	TLP	35.157	29.8	24.191	2.564	8.6	129.2	1.862	4.192
	TULP	35.951	28.1	26.889	2.850	7.0	148.1	2.043	4.880
THETA	TLP	29.646	25.7	14.782	1.567	11.7	78.2	1.088	0.687
	TULP	30.767	26.1	17.085	1.811	10.2	90.4	1.430	1.960
ALPHA	TLP	14.319	11.2	7.969	0.845	4.3	42.9	1.597	2.525
	TULP	14.202	11.9	7.985	0.846	5.2	45.6	1.889	4.316
BETA 1	TLP	5.738	4.9	2.925	0.310	1.8	18.7	1.584	3.697
	TULP	5.653	4.9	2.945	0.312	1.8	17.6	1.465	2.661
BETA 2	TLP	17.551	13.9	12.170	1.290	4.9	81.2	2.671	9.084
	TULP	16.948	13.2	12.087	1.281	5.7	86.3	2.936	12.124
GAMMA 1	TLP	21.178	12.5	24.542	2.601	4.3	144.5	2.974	9.754
	TULP	19.009	11.4	21.895	2.321	4.9	167.5	4.188	24.070
GAMMA 2	TLP	10.265	6.1	11.667	1.237	2.3	58.2	2.503	5.978
	TULP	8.929	5.7	9.730	1.031	2.3	68.0	3.426	15.774
LOKALISATION: PARIETOZENTRAL									
DELTA	TLP	14.156	12.0	9.687	1.027	4.5	82.9	4.499	28.871
	TULP	13.958	13.1	7.440	0.789	4.7	59.3	3.013	15.201
THETA	TLP	15.599	14.5	5.893	0.625	6.2	32.7	0.886	0.471
	TULP	15.565	14.6	5.400	0.572	6.9	28.9	0.664	-0.220
ALPHA	TLP	16.188	11.5	12.492	1.324	3.9	57.1	1.885	2.812
	TULP	16.319	11.2	14.535	1.541	3.9	81.1	2.591	7.308
BETA 1	TLP	7.140	5.7	4.146	0.439	1.7	25.5	1.795	4.357
	TULP	6.634	5.8	3.685	0.391	1.7	26.3	2.250	8.432
BETA 2	TLP	17.212	14.0	11.139	1.181	4.8	71.7	2.437	7.769
	TULP	15.358	13.4	7.180	0.761	5.4	37.0	1.188	1.076
GAMMA 1	TLP	20.933	14.8	19.421	2.059	4.4	106.3	2.616	7.992
	TULP	17.680	14.1	11.948	1.266	4.6	61.8	1.646	2.816
GAMMA 2	TLP	9.836	5.8	10.138	1.075	2.0	58.0	2.683	8.381
	TULP	7.755	6.0	5.072	0.538	2.0	24.1	1.602	2.188

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

*Tabelle 44. Deskriptive Statistiken zur absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG in der zweiten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei digitaler Repräsentation (N = 89).*

EEG-Band	Testblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
LOKALISATION: FRONTOZENTRAL									
DELTA	TLP	37.904	31.0	28.650	3.037	7.8	135.4	1.756	2.736
	TULP	35.482	31.0	23.723	2.515	7.0	130.5	1.881	4.484
THETA	TLP	32.034	27.4	18.059	1.914	10.0	100.3	1.401	1.945
	TULP	30.081	24.8	14.654	1.553	9.9	85.2	1.143	1.456
ALPHA	TLP	15.509	13.3	8.686	0.921	5.0	48.1	1.626	2.733
	TULP	14.510	12.3	8.426	0.893	5.0	50.7	2.106	5.145
BETA 1	TLP	6.345	5.3	3.813	0.404	1.8	23.6	2.311	7.329
	TULP	5.835	4.9	3.026	0.321	2.2	19.7	1.842	4.602
BETA 2	TLP	19.222	13.8	15.015	1.592	5.9	84.5	2.699	8.228
	TULP	17.197	13.1	12.201	1.293	6.9	84.3	3.105	12.107
GAMMA 1	TLP	23.272	13.9	30.751	3.260	5.1	210.3	4.126	20.160
	TULP	20.051	11.4	22.311	2.365	4.6	131.4	3.101	10.711
GAMMA 2	TLP	11.343	6.4	15.582	1.652	2.3	106.5	4.017	19.070
	TULP	9.571	5.5	11.546	1.224	2.1	78.4	3.776	17.024
LOKALISATION: PARIETOZENTRAL									
DELTA	TLP	15.929	13.4	12.460	1.321	4.5	87.3	4.015	19.214
	TULP	13.093	12.1	5.064	0.537	5.3	27.9	0.743	0.452
THETA	TLP	16.655	14.9	7.199	0.763	7.1	53.1	1.869	6.366
	TULP	15.887	15.0	5.550	0.588	6.2	32.4	0.689	0.055
ALPHA	TLP	18.109	12.7	14.942	1.584	3.9	86.4	2.351	6.166
	TULP	17.831	11.4	16.594	1.759	4.8	90.1	2.271	5.064
BETA 1	TLP	7.802	6.3	4.480	0.475	2.1	24.9	1.490	2.580
	TULP	7.436	6.0	4.952	0.525	2.2	38.8	3.394	17.870
BETA 2	TLP	18.160	14.8	12.198	1.293	6.0	74.3	2.495	7.366
	TULP	16.669	14.1	12.099	1.282	6.2	96.5	4.182	23.056
GAMMA 1	TLP	23.352	15.3	26.352	2.793	5.2	192.3	3.938	20.209
	TULP	19.226	14.5	17.985	1.906	3.8	127.0	3.583	16.346
GAMMA 2	TLP	10.910	6.3	13.291	1.409	2.1	80.7	3.466	13.728
	TULP	8.712	6.5	9.010	0.955	2.1	61.9	3.623	15.871

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

*Tabelle 45. Deskriptive Statistiken zur absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG in der ersten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei verbaler Repräsentation (N = 89).*

EEG-Band	Testblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
LOKALISATION: FRONTOZENTRAL									
DELTA	TLP	37.717	32.4	25.636	2.717	7.9	134.5	1.600	2.766
	TULP	36.362	32.0	22.330	2.367	7.3	115.0	1.375	1.780
THETA	TLP	32.474	27.6	17.230	1.826	9.1	79.3	0.997	0.284
	TULP	32.047	26.1	17.157	1.819	9.7	78.4	1.026	0.070
ALPHA	TLP	15.434	12.4	12.922	1.370	5.1	105.4	4.541	27.747
	TULP	14.556	12.6	9.864	1.046	5.0	84.0	4.318	27.692
BETA 1	TLP	6.002	4.8	4.414	0.468	1.5	32.2	3.583	16.562
	TULP	5.728	5.2	2.770	0.294	1.6	16.3	1.375	2.609
BETA 2	TLP	17.366	13.1	14.419	1.528	4.2	94.5	3.382	13.123
	TULP	17.670	13.9	12.942	1.372	4.6	78.2	2.617	7.873
GAMMA 1	TLP	20.503	13.3	29.852	3.164	3.4	207.4	4.755	25.303
	TULP	19.848	11.9	21.654	2.295	4.3	113.9	2.627	7.297
GAMMA 2	TLP	9.582	6.3	12.931	1.371	1.8	80.5	4.316	20.255
	TULP	9.576	5.2	11.329	1.201	2.0	68.3	3.340	13.451
LOKALISATION: PARIETOZENTRAL									
DELTA	TLP	14.719	12.2	13.331	1.413	4.9	121.5	6.245	47.858
	TULP	16.370	12.9	17.822	1.889	4.5	163.3	6.700	53.625
THETA	TLP	16.469	15.1	7.161	0.759	6.7	56.2	2.232	9.675
	TULP	16.903	15.6	7.428	0.787	6.2	43.8	1.476	2.920
ALPHA	TLP	16.072	10.6	13.355	1.416	4.1	80.0	2.249	6.021
	TULP	16.265	11.1	14.171	1.502	4.3	98.5	3.051	12.723
BETA 1	TLP	6.917	5.8	4.083	0.433	1.5	23.2	1.434	2.361
	TULP	7.112	5.9	4.377	0.464	1.8	28.2	2.111	6.167
BETA 2	TLP	16.420	13.7	10.573	1.121	3.5	72.6	2.766	10.353
	TULP	16.740	12.9	12.506	1.326	3.8	88.1	3.465	14.797
GAMMA 1	TLP	20.049	14.3	20.375	2.160	3.0	143.4	3.809	18.149
	TULP	20.146	14.1	22.096	2.342	3.1	139.7	3.574	14.641
GAMMA 2	TLP	8.967	6.1	9.856	1.045	1.6	70.8	4.068	20.274
	TULP	9.409	5.9	13.056	1.384	1.4	87.6	4.376	20.911

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

*Tabelle 46. Deskriptive Statistiken zur absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG in der zweiten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei verbaler Repräsentation (N = 89).*

EEG-Band	Testblock ¹	M	MDN	SD	SE	MIN	MAX	SCHIEFE	KURTOSIS
LOKALISATION: FRONTOZENTRAL									
DELTA	TLP	38.906	32.3	29.303	3.106	8.5	196.1	2.581	9.597
	TULP	34.874	31.3	21.823	2.313	6.5	127.4	1.884	5.090
THETA	TLP	32.372	27.4	15.833	1.678	10.9	73.8	0.851	-0.141
	TULP	30.065	25.4	14.233	1.509	10.0	71.3	0.949	0.170
ALPHA	TLP	15.628	12.9	10.237	1.085	4.6	74.3	3.057	13.328
	TULP	14.616	12.3	8.251	0.875	4.5	53.5	2.083	6.212
BETA 1	TLP	6.263	5.4	3.277	0.347	2.1	21.1	1.768	4.547
	TULP	5.911	5.0	3.292	0.349	1.5	25.8	2.978	14.659
BETA 2	TLP	18.346	14.6	13.031	1.381	5.9	90.5	3.103	12.356
	TULP	17.318	13.2	12.793	1.356	5.1	99.1	3.648	18.917
GAMMA 1	TLP	21.391	13.2	23.068	2.445	5.2	163.1	3.699	17.690
	TULP	19.398	12.1	23.607	2.502	4.0	182.1	4.407	25.923
GAMMA 2	TLP	11.129	6.5	16.902	1.792	2.7	136.6	5.606	37.270
	TULP	9.127	5.8	11.433	1.212	2.0	94.3	5.138	35.081
LOKALISATION: PARIETOZENTRAL									
DELTA	TLP	14.657	12.2	9.332	0.989	5.2	71.8	3.220	15.763
	TULP	13.688	12.3	7.196	0.763	4.2	61.4	3.593	21.385
THETA	TLP	16.720	15.3	6.548	0.694	7.1	44.9	1.224	2.912
	TULP	16.400	15.0	7.218	0.765	6.9	49.0	1.802	4.963
ALPHA	TLP	17.939	12.1	15.853	1.680	4.2	106.2	2.850	10.949
	TULP	16.682	11.4	13.634	1.445	4.5	73.6	2.255	5.414
BETA 1	TLP	7.480	6.1	4.108	0.435	2.6	23.3	1.331	1.942
	TULP	7.067	5.9	4.056	0.430	1.6	24.4	1.693	3.809
BETA 2	TLP	17.671	14.3	11.689	1.239	6.4	88.5	3.341	16.316
	TULP	16.422	13.3	10.659	1.130	4.0	69.3	2.913	10.311
GAMMA 1	TLP	21.263	13.3	18.563	1.968	4.3	130.0	3.074	13.510
	TULP	18.887	14.1	18.291	1.939	3.4	125.8	3.501	15.259
GAMMA 2	TLP	9.528	6.1	8.816	0.934	3.0	61.0	3.245	14.096
	TULP	8.698	6.3	11.181	1.185	1.5	89.0	5.192	32.450

Anmerkungen: ¹TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

Zusätzlich dazu liefern Schiefe und Kurtosis Informationen zur Verteilungsform.

Die Abbildungen 36 und 37 (S. 123) zeigen die Mittelwerte und die zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten Konfidenzintervalle der nach der Cousineau-Morey-Methode (Baguley, 2012; Cousineau & O'Brien, 2014) standardisierten absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests *Kreuz*.

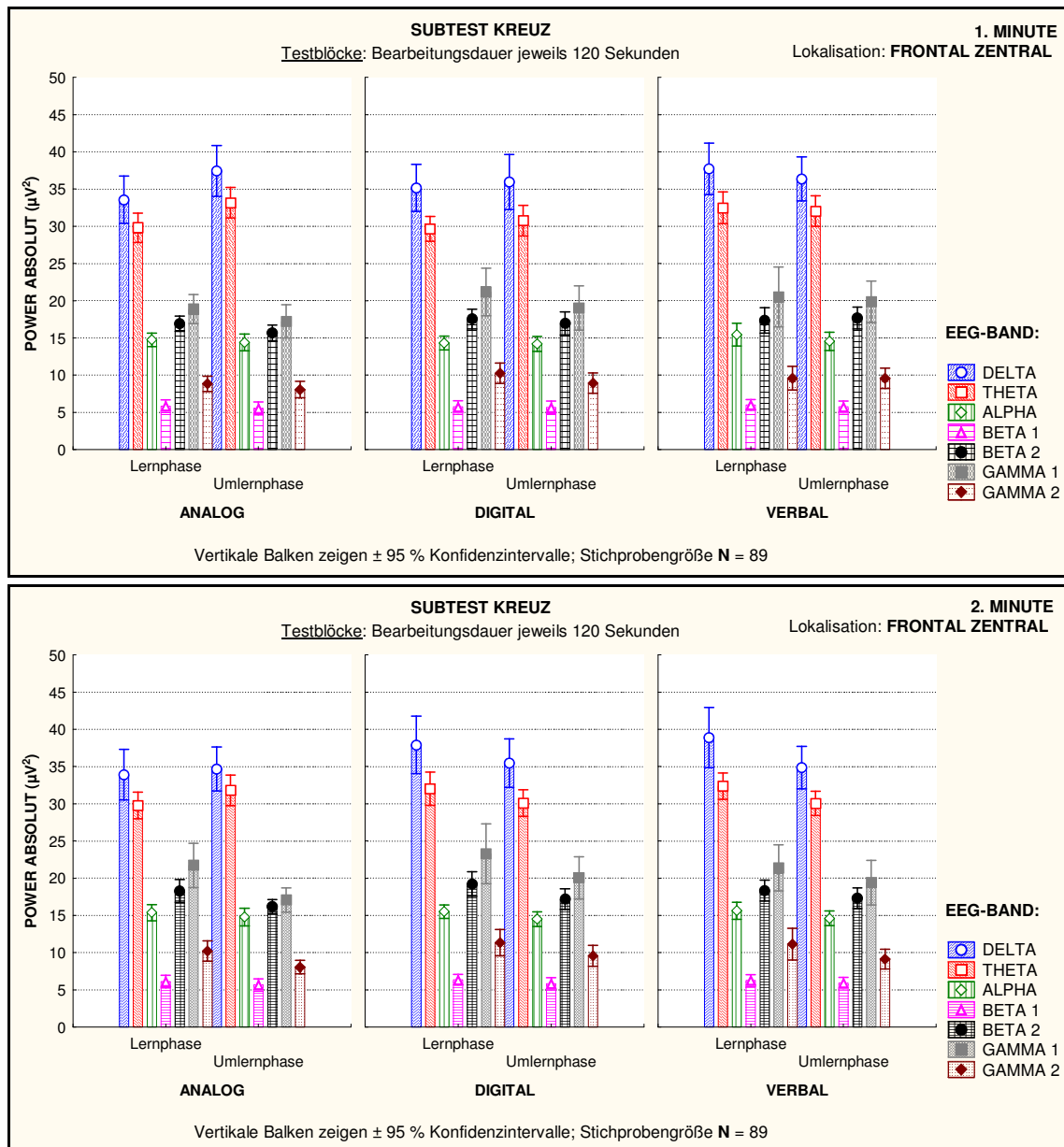


Abbildung 36. Diagramme (Lokalisation: frontal zentral oben, parietal zentral unten) für den Interaktionseffekt zweiter Ordnung **Lokalisation** $\times$ **Repräsentation** $\times$ **Testblock** der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten absoluten Power des Spontan-EEG in den sechs Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests *Kreuz* mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 120 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße **N** = 89).

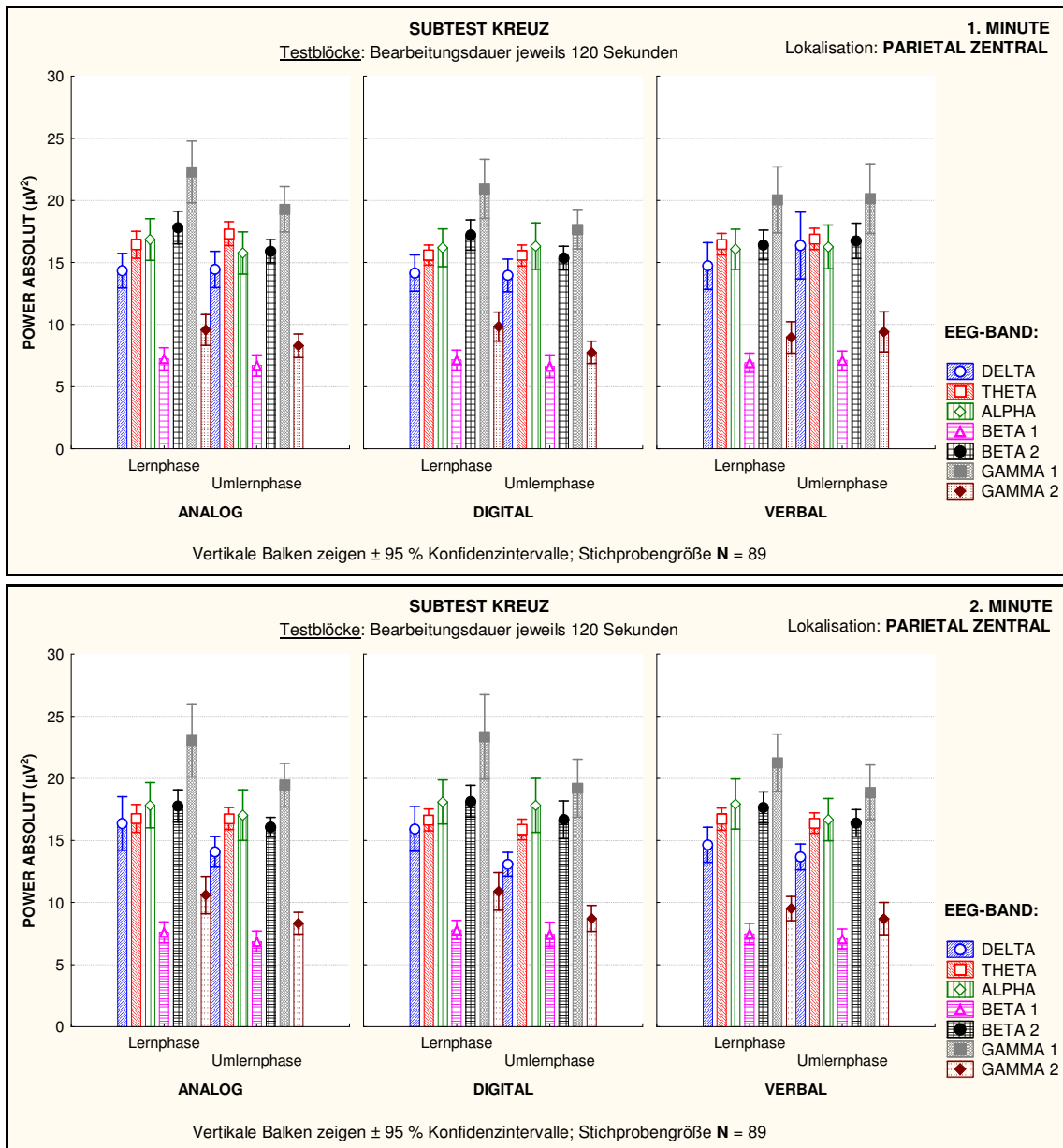


Abbildung 37. Diagramme (Lokalisation: frontal zentral oben, parietal zentral unten) für den Interaktionseffekt zweiter Ordnung **Lokalisation** $\times$ **Repräsentation** $\times$ **Testblock** der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten absoluten Power des Spontan-EEG in den sechs Testblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 120 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße **N** = 89).

3.4.4.2.3 Statistische Hypothesenprüfung

3.4.4.2.3.1 Lernblöcke

Da für die Analyse die sieben EEG-Frequenzbänder jeweils als abhängige Variablen definiert wurden und es sich somit um ein sogenanntes zweifach-multivariates Design handelte (Statsoft, 2015), war das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der Hypothesen 1-3 zum Subtest **Kreuz** bezüglich der abhängigen Variable *Spontan-EEG* eine $2 \times 3 \times 2$ dreifaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den drei Messwiederholungsfaktoren **Lokalisation** (FZ vs. PZ), **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL) und **Lernblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE). Nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests und den Shapiro-Wilk-Tests war die absolute Power der Frequenzbänder in allen Lernblöcken nicht normalverteilt. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Alle folgenden Effekte der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden unter Verwendung der Pillai's Spur bei $p < .05$ als signifikant berichtet, da diese Teststatistik sehr robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilungsannahme ist (Bray & Maxwell, 1985, zitiert nach Field, 2009, S. 605). Signifikant war der Haupteffekt **Lokalisation**, $V = 0.658$, $F(7, 82) = 22.496$, $p < .001$, $\eta^2 = .658$. Hingegen waren die weiteren Haupteffekte **Repräsentation**, $V = 0.236$, $F(14, 75) = 1.656$, $p > .05$, $\eta^2 = .236$, und **Lernblock**, $V = 0.130$, $F(7, 82) = 1.753$, $p > .05$, $\eta^2 = .130$, nicht signifikant. Weiter gab es die drei Interaktionseffekte erster Ordnung **Lokalisation** $\times$ **Repräsentation**, **Lokalisation** $\times$ **Lernblock** sowie **Repräsentation** $\times$ **Lernblock**. Von diesen Interaktionseffekten waren die Interaktionseffekte **Lokalisation** $\times$ **Repräsentation**, $V = 0.170$, $F(14, 75) = 1.094$, $p > .05$, $\eta^2 = .170$, und **Lokalisation** $\times$ **Lernblock**, $V = 0.083$, $F(7, 82) = 0.400$, $p > .05$, $\eta^2 = .083$, nicht signifikant, wohl aber der Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Lernblock**, $V = 0.278$, $F(14, 75) = 2.061$,

$p < .05$, $\eta^2 = .278$. Der Interaktionseffekt zweiter Ordnung **Lokalisation** $\times$ **Repräsentation** $\times$ **Lernblock** war wiederum nicht signifikant, $V = 0.213$, $F(14, 75) = 1.449$, $p > .05$, $\eta^2 = .213$. Die gerichtete Hypothese 1 musste zurückgewiesen werden, da entsprechend den Ergebnissen zur multivariaten Varianzanalyse der Haupteffekt **Lernblock** nicht signifikant ausfiel. Mit Blick auf die Hypothesenprüfung interessierte darüber hinaus der signifikante Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Lernblock**, für welchen weitere separate univariate Varianzanalysen für jedes EEG-Frequenzband berechnet wurden. Die Sphärizitätsannahmen für diesen Effekt waren nur teilweise gegeben. Sphärizitätsverletzungen zeigten sich gemäß dem Mauchley's-Test für die EEG-Frequenzbändern Beta 2, $\chi^2(2) = 8.549$, $p < .05$, Gamma 1, $\chi^2(2) = 15.670$, $p < .05$, und Gamma 2, $\chi^2(2) = 14.542$, $p < .05$. Girden empfiehlt bei Schätzungen der Sphärizität, die größer als 0.75 sind, die Huynh-Feldt-Korrektur und bei Schätzungen der Sphärizität, die kleiner als 0.75 sind, die Greenhouse-Geisser-Korrektur (Girden, 1992, zitiert auch Field, 2009, S. 461). Daher wurden die Freiheitsgrade der EEG-Frequenzbänder Beta 2, Gamma 1 und Gamma 2 mittels der Huynh-Feldt-Schätzung der Sphärizität korrigiert (Beta 2: $\varepsilon = .933$; Gamma 1: $\varepsilon = .874$; Gamma 2: $\varepsilon = .882$). In Tab. 47 (S. 127) liegen die Ergebnisse der univariaten Varianzanalyse zum Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Lernblock** für jedes Frequenzband vor. Demnach zeigte sich nur bezüglich des EEG-Frequenzbandes Theta ein signifikantes Ergebnis, $F(2,176) = 3.264$, $p < .05$, $\eta^2 = .036$, nicht aber für alle anderen sechs EEG-Frequenzbänder. Um dieser Wechselwirkung für das Theta-Band genauer nachzuforschen, wurden Kontraste berechnet. Dabei deckten diese Kontraste gemäß Tab. 47 (S. 127) signifikante Interaktionen sowohl für den Vergleich der digitalen mit der analogen Repräsentation als auch für den Vergleich der verbalen mit der analogen Repräsentation bei gleichzeitigem Vergleich zwischen den Lernblöcken der Lern- und Umlernphase auf. Aus der Zusammenschau mit dem Interaktionsgrafen in Abbildung 38 (S. 126) war zu sehen, dass die absolute Power im Theta-Band bei analoger Repräsentation im Falle des Lernblocks der Umlernphase signifikant höhere Werte im Vergleich zur digitalen und verbalen Repräsentation aufwies. Aufgrund dieser Ergebnisse mussten die gerichteten Hypothesen 1-3 zu den EEG-Frequenzbändern Delta, Alpha, Beta 1, Beta 2, Gamma 1 und Gamma 2 zurückgewiesen werden. Für das Theta-Band hingegen konnten die gerichteten Hypothesen 2 und 3 hingegen bestätigt werden. Zusammenfassend betrachtet, konnte aufgrund dieser Ergebnisse die gerichtete Hypothese 1 zum Subtest **Kreuz** hinsichtlich der abhängigen Variable *Spontan-EEG* nicht bestätigt werden. Im Hinblick auf die gerichteten Hypothesen 2 und 3 konnte die abhängige Variable *Spontan-EEG* teilweise bestätigt werden.

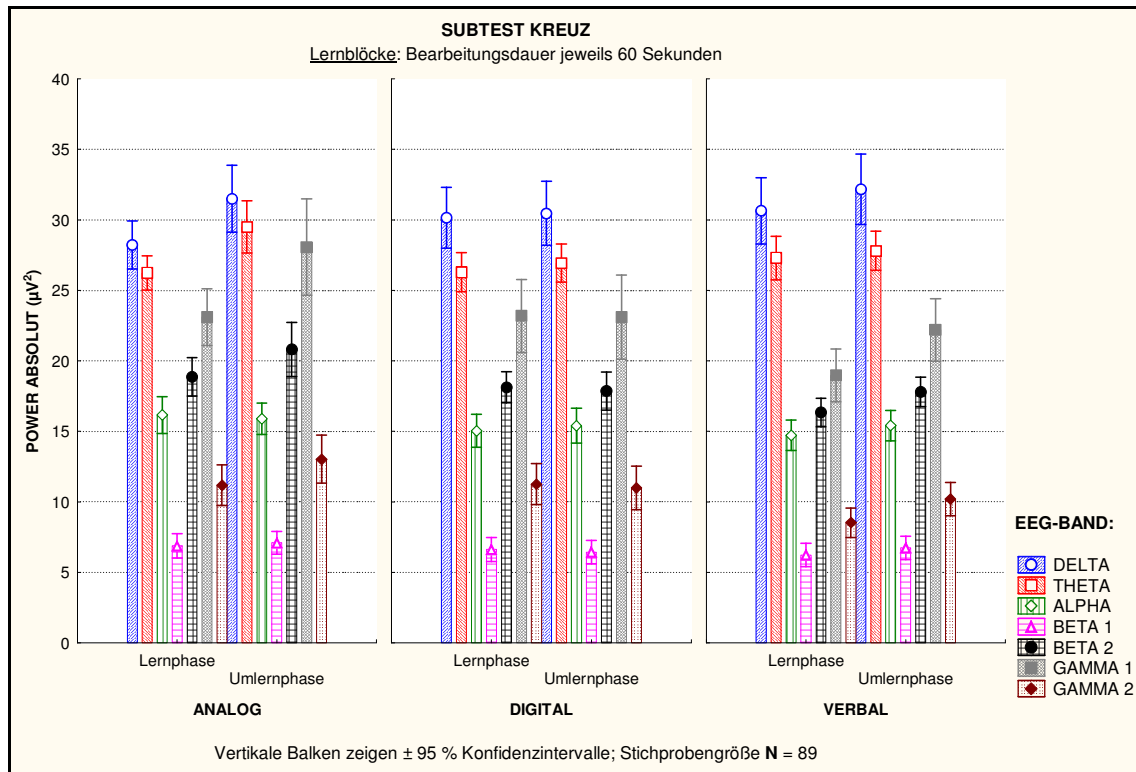


Abbildung 38. Diagramm für den Interaktionseffekt **Repräsentation** $\times$ **Lernblock** der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den Mittelwerten und den zur Unterschiedsprüfung von Mittelwerten adjustierten $\pm 95\%$ - Konfidenzintervallen der nach der Cousineau-Morey-Methode standardisierten absoluten Power des Spontan-EEG in den sechs Lernblöcken der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** mit einer Bearbeitungsdauer von jeweils 60 Sekunden pro Bedingung (Stichprobengröße $N = 89$).

Tabelle 47. Ergebnisse der der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung nachfolgenden univariaten Tests zur absoluten EEG-Power des Subtests **Kreuz** für den Interaktionseffekt Repräsentation × Lernblock (N = 89).

Univariate Tests zum Interaktionseffekt Repräsentation × Lernblock des Subtests Kreuz							
EEG-BAND	SS	MS	df	F	η^2	r^1	p
Delta	400.449	200.225	2	1.165	.013	.169 ² .089 ³	.314
Fehler	30243.119	171.836	176				
Theta	427.970	213.985	2	3.264*	.036	.222 ² .234 ³	.041
Fehler	11539.402	65.565	176				
Alpha	42.028	21.014	2	0.819	.009	.081 ² .148 ³	.443
Fehler	4515.784	25.658	176				
Beta 1	21.717	10.858	2	2.069	.023	.119 ² .090 ³	.129
Fehler	923.707	5.248	176				
Beta 2	238.495	127.834	1.86 6	0.974	.011	.124 ² .035 ³	.375
Fehler	21557.489	131.305	164. 178				
Gamma 1	1172.014	670.535	1.74 8	1.324	.015	.153 ² .077 ³	.267
Fehler	77908.754	506.515	153. 813				
Gamma 2	245.494	139.095	1.76 5	0.911	.010	.111 ² .012 ³	.394
Fehler	23725.626	152.758	155. 315				

Anmerkungen: *p < .05. **p < .01. ***p < .001. ¹Effektstärken der Kontraste. ²Kontraste zu den gerichteten Hypothesen 2 und 3 (analog vs. digital). ³Kontraste zu den gerichteten Hypothesen 2 und 3 (analog vs. verbal).

3.4.4.2.3.2 Testblöcke

Da für die Analyse die sieben EEG-Frequenzbänder jeweils als abhängige Variablen definiert wurden und es sich somit um ein sogenanntes zweifach-multivariates Design handelte (Statsoft, 2015), war das geplante statistische Verfahren für die Überprüfung der gerichteten Hypothesen 1-3 zum Subtest **Kreuz** bezüglich der abhängigen Variable *Spontan-EEG* eine

$2 \times 3 \times 2 \times 2$ vierfaktorielle multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung mit den vier Messwiederholungsfaktoren **Lokalisation** (FZ vs. PZ), **Repräsentation** (ANALOG vs. DIGITAL vs. VERBAL), **Testblock** (LERNPHASE vs. UMLERNPHASE) und **Zeit** (1.MINUTE vs. 2.MINUTE). Bis auf eine Ausnahme war die absolute Power in den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen nach den Kolmogorov-Smirnov-Tests nicht normalverteilt. Nach den Shapiro-Wilk-Tests gab es überhaupt kein insignifikantes Ergebnis. Nun gibt es aber bei Verletzung von Voraussetzungen einer multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung kein unmittelbar anzuwendendes nichtparametrisches Pendant (Field, 2009). Die weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens legitimiert sich daher über das sogenannte zentrale Grenzwerttheorem. Dieses besagt, dass bei einer Stichprobengröße von $n \geq 30$ die Mittelwertverteilung auch für extrem von der Normalität abweichende Grundgesamtheiten hinreichend normal ist (Bortz & Döring, 2006, S. 411). Für eine weitere Berechnung des parametrischen Verfahrens spricht außerdem, dass bei großen Stichproben die Normalverteilungstests auch schon bei geringfügigen Abweichungen der Daten von der Normalverteilung signifikante Ergebnisse zeigen und damit zu empfindlich auf die Datenlage reagieren (Field, 2009, S. 144). Alle folgenden Effekte der multivariaten Varianzanalyse mit Messwiederholung wurden unter Verwendung der Pillai's Spur bei $p < .05$ als signifikant berichtet, da diese Teststatistik sehr robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilungsannahme ist (Bray & Maxwell, 1985, zitiert nach Field, 2009, S. 605). Signifikant waren die Haupteffekte **Lokalisation**, $V = 0.707$, $F(7, 82) = 28.331$, $p < .001$, $\eta^2 = .707$, und **Zeit**, $V = 0.227$, $F(7, 82) = 3.441$, $p < .01$, $\eta^2 = .227$. Hingegen waren die weiteren Haupteffekte **Repräsentation**, $V = 0.217$, $F(14, 75) = 1.488$, $p > .05$, $\eta^2 = .217$, und **Testblock**, $V = 0.150$, $F(7, 82) = 2.069$, $p > .05$, $\eta^2 = .150$, nicht signifikant. Die Interaktionseffekte erster Ordnung **Lokalisation** $\times$ **Repräsentation**, $V = 0.249$, $F(14, 75) = 1.778$, $p > .05$, $\eta^2 = .249$, **Lokalisation** $\times$ **Testblock**, $V = 0.025$, $F(7, 82) = 0.297$, $p > .05$, $\eta^2 = .025$, **Repräsentation** $\times$ **Testblock**, $V = 0.222$, $F(14, 75) = 1.527$, $p > .05$, $\eta^2 = .222$, **Lokalisation** $\times$ **Zeit**, $V = 0.138$, $F(7, 82) = 1.877$, $p > .05$, $\eta^2 = .138$, **Repräsentation** $\times$ **Zeit**, $V = 0.117$, $F(14, 75) = 0.708$, $p > .05$, $\eta^2 = .117$, sowie **Testblock** $\times$ **Zeit**, $V = 0.144$, $F(7, 82) = 1.974$, $p > .05$, $\eta^2 = .144$, waren nicht signifikant. Die Interaktionseffekte zweiter Ordnung **Lokalisation** $\times$ **Repräsentation** $\times$ **Testblock**, $V = 0.210$, $F(14, 75) = 1.425$, $p > .05$, $\eta^2 = .210$, **Lokalisation** $\times$ **Repräsentation** $\times$ **Zeit**, $V = 0.200$, $F(14, 75) = 1.343$, $p > .05$, $\eta^2 = .200$, **Lokalisation** $\times$ **Testblock** $\times$ **Zeit**, $V = 0.100$, $F(7, 82) = 1.299$, $p > .05$, $\eta^2 = .100$, als auch **Repräsentation** $\times$ **Testblock** $\times$ **Zeit**, $V = 0.120$, $F(14, 75) = 0.729$, $p > .05$,

$\eta^2 = .120$, waren ebenso nicht signifikant. Schließlich zeigte sich auch für den Interaktionseffekt dritter Ordnung **Lokalisation** $\times$ **Repräsentation** $\times$ **Testblock** $\times$ **Zeit**, $V = 0.173$, $F(14, 75) = 1.118$, $p > .05$, $\eta^2 = .173$, keine Signifikanz. Es waren damit sämtliche Interaktionseffekte nicht signifikant. Alle zu den Testblöcken formulierten Hypothesen mussten aufgrund dieser Ergebnisse zurückgewiesen werden, da die dafür in Frage stehenden Haupteffekte beziehungsweise Interaktionseffekte der multivariaten Varianzanalyse nicht signifikant ausfielen, wodurch sich auch die nachfolgenden Berechnungen univariater Varianzanalysen pro Effekt und EEG-Frequenzband erübrigte.

3.4.5 Zusammenhänge zwischen subjektivem Erleben und der Physiologie

Aufgrund der Tatsache, dass die Variablen gemäß den Normalverteilungstests mehrheitlich signifikant nicht normalverteilt waren, wurden für die Zusammenhangsanalysen jeweils Spearman-Korrelationen berechnet. Dabei wurden jeweils die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen sowie der absoluten Power pro EEG-Frequenzband und Lokalisation pro Repräsentationsform zwischen den Lern- und Testblöcken der Lernphasen und Umlernphasen des Subtests **Kreuz** mit den korrespondierenden Differenzwerten der Punkte pro Skala des NASA-TLX (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) korreliert, um zu analysieren, ob die dabei beobachteten Veränderungen der Messwerte der physiologischen Parameter und der subjektiven Angaben über die Bedingungen miteinander in kongruenter oder inkongruenter Beziehung standen. Signifikant positive Korrelationen bedeuteten dabei, dass je positiver beziehungsweise negativer die Differenzwerte der Skalenpunkte einer bestimmten Skala waren, desto positiver beziehungsweise negativer waren auch die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen beziehungsweise der absoluten Power in dem betreffenden EEG-Frequenzband. Signifikant negative Korrelationen bedeuteten dabei, dass je positiver beziehungsweise negativer die Differenzwerte der Skalenpunkte einer bestimmten Skala waren, desto negativer beziehungsweise positiver waren auch die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen beziehungsweise der absoluten Power in dem betreffenden EEG-Frequenzband.

3.4.5.1 Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten

In den Tab. 48-51 (S. 130-131) werden die Differenzwerte zu den Skalen des NASA-TLX sowie zu den physiologischen Parametern (EDA und Spontan-EEG) angegeben.

Tabelle 48. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX zwischen den Testblöcken der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** pro Repräsentationsform.

NASA-TLX- DIFFERENZWERTE ¹						
NASA-TLX Skala	Analog		Digital		Verbal	
	M	SD	M	SD	M	SD
Geistige Anforderung	-5.716	4.851	-2.225	3.601	-1.157	3.438
Körperliche Anforderung	-1.471	3.609	-0.353	2.241	-0.225	2.202
Zeitdruck	-2.059	3.478	-0.294	2.520	-0.539	2.328
Anstrengung	-3.686	4.378	-1.490	3.353	-0.196	3.249
Fehlleistung	-1.941	5.018	-0.608	3.602	-0.441	4.001
Frustration	-3.333	5.241	-0.598	3.328	-0.255	3.059

Anmerkungen: ¹Die Differenzwerte wurden folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Testblöcke der Lernphase minus Skalenpunkte der Testblöcke der Umlernphase. N = 102.

Tabelle 49. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Anzahl der Spontanfluktuationen zwischen den Lernblöcken der Lern- und Umlernphase des Subtest **Kreuz** pro Repräsentationsform.

SPONTANFLUKTUATIONEN - DIFFERENZWERTE		
Differenzwert	M	SD
LP (A) – ULP (A)	-0.867	3.062
LP (D) – ULP (D)	-0.714	3.110
LP (V) – ULP (V)	-0.133	3.035

Anmerkungen: LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase. A = ANALOG. D = DIGITAL. V = VERBAL. N = 98.

Tabelle 50. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Anzahl der Spontanfluktuationen zwischen den Testblöcken der Lern- und Umlernphase des Subtest **Kreuz** pro Repräsentationsform.

SPONTANFLUKTUATIONEN - DIFFERENZWERTE				
Differenzwert	1. Minute		2. Minute	
	M	SD	M	SD
TLP (A) – TULP (A)	-1.062	3.214	-0.381	2.974
TLP (D) – TULP (D)	0.062	2.791	-0.392	2.932
TLP (V) – TULP (V)	0.289	3.003	-0.402	2.605

Anmerkungen: TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. A = ANALOG. D = DIGITAL. V = VERBAL. N = 97.

Tabelle 51. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG der Lernblöcke der Lern- und Umlernphasen des Subtests **Kreuz**.

SPONTAN-EEG – DIFFERENZWERTE ¹						
EEG - Frequenzband	Analog		Digital		Verbal	
	M	SD	M	SD	M	SD
LOKALISATION: FRONTAL ZENTRAL						
DELTA	-4.987	22.171	-2.766	18.245	-0.213	22.282
THETA	-3.489	9.983	-1.527	9.827	-0.160	11.614
ALPHA	-0.451	4.601	-0.206	5.306	-0.489	4.129
BETA 1	-0.458	2.748	0.181	1.999	-0.522	2.698
BETA 2	-1.642	11.209	-0.019	13.853	-1.648	9.973
GAMMA 1	-4.440	20.269	-0.415	30.081	-3.612	20.159
GAMMA 2	-2.055	10.747	0.060	15.215	-1.871	10.020
LOKALISATION: PARIETAL ZENTRAL						
DELTA	-1.589	10.777	2.158	7.549	-2.840	12.400
THETA	-3.033	12.387	0.245	5.168	-0.867	5.765
ALPHA	0.991	6.940	-0.501	6.881	-0.885	4.402
BETA 1	0.008	3.691	0.203	2.114	-0.481	2.153
BETA 2	-2.237	17.320	0.540	9.446	-1.279	8.591
GAMMA 1	-5.494	22.811	0.587	21.613	-2.819	17.199
GAMMA 2	-1.622	15.180	0.480	10.912	-1.491	6.941

Anmerkungen: ¹Die Differenzwerte wurden folgendermaßen berechnet: Absolute Power in den Frequenzbändern der Lernblöcke der Lernphase minus Absolute Power in den Frequenzbändern der Lernblöcke der Umlernphase. N = 89.

Da sich die Fallzahlen von NASA-TLX und den physiologischen Parametern unterscheiden (siehe Tab. 5, S. 30), sind in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ die für die Berechnung der Korrelationen relevanten Differenzwerte des NASA-TLX bei Zugrundelegung der Fallzahlen von EDA in den Tab. 68-69 (S. 180-181) und Spontan-EEG in Tab. 70 (S. 181) dargestellt.

3.4.5.2 Korrelationen: Elektrodermale Aktivität und Skalenpunkte des NASA-TLX

3.4.5.2.1 Lernblöcke

Es zeigten sich signifikante Korrelationen im Falle der analogen Repräsentation in Bezug auf die Skalen *Geistige Anforderung*, $r = .35$, p (2-seitig) $< .05$, *Zeitdruck*, $r = .21$, p (2-seitig) $< .05$, und *Frustration*, $r = .23$, p (2-seitig) $< .05$. Hingegen gab es weder bei digitaler noch bei verbaler Repräsentation signifikante Korrelationen mit den Skalen des NASA-TLX.

3.4.5.2.2 Testblöcke

Die einzige signifikante Korrelation bestand zwischen der zweiten Testminute im Falle der analogen Repräsentation mit der Skala *Frustration*, $r = .25$, p (2-seitig) $< .05$.

In Anhang „4. Spearman-Korrelationen der Differenzwerte“ sind die Korrelationen zwischen der Anzahl der Spontanfluktuationen und den Skalenpunkten des NASA-TLX zum Subtest **Kreuz** in Tab. 71 (S. 182) dargestellt.

3.4.5.3 Korrelationen: Spontan-EEG und Skalenpunkte des NASA-TLX

3.4.5.3.1 Lernblöcke

Betrachtet man die Gruppe der Korrelationen zu den Differenzwerten bei analoger Repräsentation, so zeigten sich signifikante Korrelationen hinsichtlich der Skalen *Geistige Anforderung* und *Frustration*. Für die Skala *Geistige Anforderung* gab es nur eine signifikant positive Korrelationen mit dem EEG-Frequenzband Beta 1, $r_{frontal} = .28$, p (2-seitig) $< .05$. Weitere signifikante positive Korrelationen bestanden hinsichtlich der Skala *Frustration* mit den EEG-Parametern Theta, $r_{parietal} = .21$, p (2-seitig) $< .05$, Alpha, $r_{frontal} = .26$, p (2-seitig) $< .05$, und Beta 1, $r_{frontal} = .24$, p (2-seitig) $< .05$. Im Hinblick auf die Gruppe der Korrelationen bei digitaler Repräsentation gab es weder signifikant positive oder negative Korrelationen zwischen den EEG-Frequenzbändern und den Skalen des NASA-TLX. Schließlich gab es in der Gruppe von Korrelationen bei verbaler Repräsentation nur in einem einzigen Fall eine signifikant positive Korrelation zwischen dem EEG-Frequenzband Theta und der Skala *Zeitdruck*, $r_{parietal} = .25$, p (2-seitig) $< .05$.

In Anhang „4. Spearman-Korrelationen der Differenzwerte“ sind die Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der Lernblöcke des Subtests **Kreuz** in den Tab. 76-78 (S. 187-188) dargestellt.

3.4.5.3.2 Testblöcke

Betrachtet man die Gruppe der Korrelationen zu den Differenzwerten bei analoger Repräsentation, so zeigten sich hauptsächlich bei parietozentraler Lokalisation signifikant positive Korrelationen. In der ersten Testminute gab es signifikante Korrelationen einerseits für die Skala *Zeitdruck* mit dem EEG-Frequenzband Delta, $r_{parietal} = .23$, p (2-seitig) $< .05$, und andererseits für die Skala *Fehlleistung* mit dem EEG-Frequenzband Beta 1, $r_{frontal} = .23$, p (2-seitig) $< .05$. Bezüglich der zweiten Testminute korrelierten die EEG-Frequenzbänder Beta 2, $r_{parietal} = .24$, p (2-seitig) $< .05$, und Gamma 1, $r_{parietal} = .25$, p (2-seitig) $< .05$, mit der Skala *Geistige Anforderung* des NASA-TLX signifikant positiv. Weiter gab es eine

signifikant positive Korrelation zwischen dem EEG-Frequenzband Alpha und der Skala *Anstrengung*, $r_{frontal} = .21$, p (2-seitig) $< .05$. In der Gruppe von Korrelationen bei digitaler Repräsentation traten von allen Repräsentationsformen die meisten signifikanten Korrelationen auf, wobei diese ausnahmslos negativ waren, überwiegend bei parietozentraler Lokalisation auftraten und nur bezüglich der ersten Testminute bestanden. Für die Skala *Geistige Anforderung* zeigten sich signifikant negative Korrelationen mit den EEG-Frequenzbändern Delta, $r_{frontal} = -.23$, p (2-seitig) $< .05$, sowie im Theta-Band, $r_{frontal} = -.21$, p (2-seitig) $< .05$, und $r_{parietal} = -.22$, p (2-seitig) $< .05$. Außerdem bestand für das Theta-Band eine signifikant negative Korrelation mit der Skala *Zeitdruck*, $r_{parietal} = -.25$, p (2-seitig) $< .05$. Weiter korrelierten die EEG-Frequenzbänder Beta 1, $r_{parietal} = -.23$, p (2-seitig) $< .05$, Gamma 1, $r_{parietal} = -.23$, p (2-seitig) $< .05$, als auch Gamma 2, $r_{parietal} = -.21$, p (2-seitig) $< .05$, signifikant negativ mit der Skala *Körperliche Anforderung*. In Bezug auf die zweite Testminute gab es keine einzige signifikante Korrelation. Hinsichtlich der Gruppe von Korrelationen bei verbaler Repräsentation gab es bezüglich der ersten Testminute keine signifikanten Korrelationen. Nur im Falle der zweiten Testminute gab es eine einzige signifikant negative Korrelation zwischen dem EEG-Frequenzband Alpha und der Skala *Frustration*, $r_{parietal} = -.21$, p (2-seitig) $< .05$.

In Anhang „4. Spearman-Korrelationen der Differenzwerte“ sind die Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der Testblöcke des Subtests **Kreuz** in den Tab. 79-84 (S. 190-195) dargestellt.

4. DISKUSSION

4.1 Interpretation

4.1.1 Subtest Liste

Im Falle des Subtests *Liste* bestand hinsichtlich der erhobenen Messebenen überwiegend Kongruenz bezüglich der erhaltenen Ergebnisse. Die objektiven Verhaltensindikatoren spiegelten die Probleme wider, die mit der Nichtbeachtung des Gestaltgesetzes der Nähe als auch des Fitts'schen Gesetzes bei der Gestaltung von Benutzeroberflächen einhergehen können. Die Reaktionszeitmessungen waren im Durchschnitt um 669 Millisekunden signifikant länger, wenn der Abstand zwischen den Interaktionselementen groß war. Dieser Umstand entspricht den Aussagen des Fitts'schen Gesetzes (Fitts, 1954). Auch waren die prozentuellen Trefferraten im Durchschnitt um 19 Prozent signifikant geringer. Das bedeutet, dass das Erkennen der Zugehörigkeit von Interaktionselementen durch den großen Abstand erschwert wurde. Dies ist Ausdruck des Gestaltgesetzes der Nähe, wonach näher beieinander liegendes als zugehörig empfunden wird und damit ein großer Abstand diesem Grundsatz zuwiderläuft (Koffka, 1935; Trimmel, 2013).

Die Außerachtlassung dieser kognitiven Prinzipien wirkte sich aber auch auf den Grad der subjektiv erlebten Beanspruchung und Belastung aus. Hier zeigte sich für alle Skalen ein signifikant erhöhter Wert in der Bedingung mit einem großen Abstand. Für die Skalen *Zeitdruck* und *Frustration* waren die Skalenpunkte in der Bedingung mit einem großen Abstand zwischen den Interaktionselementen im Durchschnitt um zwei Punkte höher. Bis auf die Skalen *Anstrengung* und *Fehlleistung* waren die restlichen Skalen ebenfalls im Durchschnitt um fast zwei Punkte erhöht. Die erhöhten Punkte in der Skala *Geistige Anforderung* lassen den Schluss zu, dass der vermehrte Aufwand beim Suchen und Auswählen von bestimmten Elementen auf dem Bildschirm aufgrund der Nichtbeachtung dieser Prinzipien subjektiv bereits als erhöhte mentale Beanspruchung erlebt wird. Darüber hinaus erscheint auf den ersten Blick erstaunlich, dass die Skala *Körperliche Anforderung* des NASA-TLX (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) ebenfalls höhere Punkte in der Bedingung mit einem großen Abstand zwischen den Interaktionselementen aufwies (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte der Skalenpunkte in Tab. 16, S. 66). Einerseits könnte man die Plausibilität dieses Ergebnis insofern anzweifeln, als dass es sich um Computeraufgaben gehandelt hat, die den Einsatz körperlicher Kraft nicht erfordert haben. Andererseits ist in der

Literatur schon darauf hingewiesen worden, dass mit dem Begriff „körperliche Anforderung“ nicht grob- sondern feinmotorische Abläufe gemeint sein könnten:

Most subjective workload measures imply (if they do not explicitly state) that it is mental workload that is being measured and the effects of physical work associated with gross motor muscles are not considered. The NASA TLX technique discussed below does have a category for Physical Demand that could capture the demands associated with physical labour although the wording describing this dimension seems more directed towards fine motor skills. (Cain, 2007, S. 7)

So gesehen erscheint dieses Ergebnis nunmehr wenig überraschend, wenn man annimmt, dass die Probanden diese Skala auch so interpretiert haben. Das Anwählen von Buttons über eine große Distanz erfordert nämlich sehr wohl höhere feinmotorische Anstrengungen als bei einem kleinen Abstand.

Im Einklang mit den objektiven Verhaltensdaten und den subjektiven Angaben stehen auch die Ergebnisse bezüglich der Hautleitfähigkeit. Hier kam es zu einer emotionalen Belastungsreaktion in Form einer im Durchschnitt um einen Peak signifikant erhöhten Anzahl von Spontanfluktuationen bei der Bearbeitung des Aufgabenteils mit einem großen Abstand zwischen der Zahlen- und Buttonliste. Bemerkenswert dabei ist der Umstand, dass dieses tonische Maß der elektrodermalen Aktivität ausschließlich mit der Skala *Fehlleistung* positiv korreliert war. Je schlechter also die Probanden ihre eigene Leistung einschätzten, umso höher war die Anzahl der Spontanfluktuationen. Eine solche positive Korrelation wäre im Sinne der angenommenen Indikatorfunktion der Hautleitfähigkeitsreaktion für emotionale Belastungen wohl eher für die Skalen *Frustration* und *Zeitdruck* zu erwarten gewesen.

Interessant sind auch die Ergebnisse des Spontan-EEG zu diesem Subtest (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte bezüglich der physiologischen Parameter in Tab. 17, S. 67). Die erwarteten Effekte in Bezug auf die EEG-Frequenzbänder Alpha, Beta 2, Gamma 1 und Gamma 2 blieben aus. Auch für das Theta-Band sind die Ergebnisse überraschend, da es frontal zu einem Abstieg und parietal zu einem Anstieg der absoluten Power kam. Die bisherigen zahlreichen Studien berichteten in der Regel von einem Anstieg der frontalen Theta-Aktivität bei mental beanspruchenden Aufgaben (zusammenfassend Borghini et al. 2014; Klimesch, 1999; Wascher et al. 2014). Entgegen den Erwartungen zeigten sich auch in den Gamma-Bändern keine Effekte, zumal in der Literatur ein Zusammenhang zwischen einer erhöhten Gamma-Aktivität und den Gestaltgesetzen bereits festgestellt wurde (Müller et al., 2000; Schadow et al., 2009). Dies könnte ein Hinweis darauf sein, dass es nicht für alle Gestaltgesetze Zusammenhänge mit der Gamma-Aktivität gibt. Es darf spekuliert

werden, ob die Gamma-Aktivität also eine spezifische Sensitivität für bestimmte und nicht für alle Gestaltgesetze aufweist. Für die EEG-Frequenzbänder Delta und Beta 1 fielen die Ergebnisse auch interessant aus. Es kam sowohl frontal als auch parietal zu einem Anstieg der Beta 1-Aktivität. Für das Delta-Band kam es hingegen frontal zu einem Abstieg und parietal zu einem Anstieg der absoluten Power. In Bezug auf das Delta-Band ist auch erwähnenswert, dass die Aktivität in diesem Band mit den subjektiven Angaben der Skala *Geistige Anforderung* negativ korrelierte. Je höher also die Aktivität im Delta-Band war, umso geringer war die subjektiv erlebte mentale Beanspruchung bei diesem Subtest und umgekehrt. Diese Befunde laufen damit den Ergebnissen von Harmony (1996) zuwider. Das Theta-Band war mit dieser Skala hingegen positiv korreliert. Je höher also die subjektiv erlebte mentale Beanspruchung war, desto höher war auch die Aktivität im parietalen Theta-Band. Bezüglich der parietalen Theta-Aktivität gab es weiter positive Zusammenhänge mit den Skalen *Körperliche Anforderung* und *Zeitdruck* gab. Für das Beta 1-Band gab es sowohl frontal als auch parietal eine positive Korrelation mit der Skala *Zeitdruck*. Die EEG-Frequenzbänder Alpha, Beta 2 sowie die Gamma-Bänder zeigten ebenfalls allesamt positive Korrelationen mit den Skalen des NASA-TLX (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988). Diese Korrelationen müssen allerdings an der grundsätzlichen Insignifikanz der statistischen Hypothesenprüfung zu diesen Frequenzbändern relativiert werden.

4.1.2 Subtest *Herd*

Bezüglich des Subtests *Herd* zeigten die objektiven Verhaltensindikatoren in Form von Reaktionszeitmessungen und prozentuellen Trefferraten bis auf eine Ausnahme ein kongruentes Ergebnis. Diese Ausnahme betrifft den Vergleich der Reaktionszeiten in den Bedingungen, in denen die Interaktionselemente linear angeordnet waren. Bei Anordnung der Buttons gemäß dem Prinzip des natürlichen Mappings waren die Reaktionszeiten im Vergleich zu der linearen Anordnung der Buttons mit einem weiten Abstand zwischen den Interaktionselementen durchschnittlich um 785 Millisekunden und im Vergleich zu der linearen Anordnung der Buttons mit einem engen Abstand zwischen den Interaktionselementen durchschnittlich um 667 Millisekunden signifikant kürzer. Knapp nicht signifikant war jedoch die statistische Überprüfung des Vergleichs der Reaktionszeiten in den Bedingungen mit einer linearen Anordnung der Buttons. Wie knapp dieses Ergebnis war, kann man daran sehen, dass bei Betrachtung der Konfidenzintervalle sowohl nach den Entscheidungsregeln von Cousineau und O'Brien (2014) als auch nach Baguley (2012) ein signifikantes Ergebnis gegeben wäre. Nach Baguley (2012) ist dann von einem signifikanten

Unterschied beim Vergleich zweier Mittelwerte auszugehen, wenn sich die Konfidenzintervalle der beiden Mittelwerte nicht überschneiden (S. 166). Hingegen geben Cousineau und O'Brien (2014) die liberalere Empfehlung ab, dann ein statistisch signifikantes Ergebnis anzunehmen, wenn ein Mittelwert nicht im Konfidenzintervall des anderen Mittelwertes enthalten ist (S. 1151). Bei einer konservativen Vorgehensweise ist aber letztlich die Signifikanz des Ergebnisses zu verneinen. Hinsichtlich der prozentuellen Trefferraten konnte in Übereinstimmung mit allen statistischen Methoden festgestellt werden, dass bei Einhaltung des Prinzips des natürlichen Mappings die prozentuellen Trefferraten im Vergleich zu den Bedingungen mit einer linearen Anordnung der Interaktionselemente durchschnittlich um 15 Prozent bei einem weitem Abstand und um 9 Prozent bei einem engem Abstand zwischen den Buttons signifikant höher waren (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte der Reaktionszeiten und prozentuellen Trefferraten in Tab. 58 in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ auf S. 175).

Bezüglich der subjektiven Ratings mittels des NASA-TLX (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) zeigten sich signifikant niedrigere Belastungseinschätzungen für die Bedingung mit der Anordnung der Buttons gemäß dem Prinzip des natürlichen Mappings im Vergleich zu den Bedingungen mit einer linearen Anordnung der Buttons. Es zeigte sich, dass im Falle der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING die Skalenpunkte der Skala *Fehlleistung* durchschnittlich um mehr als vier Skalenpunkte signifikant niedriger waren als in der Bedingung LINEAR WEIT. Auch die Skalenpunkte der Skalen *Geistige Anforderung* und *Frustration* waren durchschnittlich um knapp drei beziehungsweise knapp vier Skalenpunkte signifikant geringer. Im Vergleich zur Bedingung LINEAR ENG waren die Skalenpunkte der Skalen *Fehlleistung* und *Frustration* um durchschnittlich mehr als vier Skalenpunkte signifikant höher als in der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING. Ebenso waren die Skalenpunkte der Skala *Geistige Anforderung* um mehr als drei Skalenpunkte höher. Nicht einheitlich gestalteten sich hingegen die Ergebnisse zu den subjektiven Ratings bezüglich des Vergleichs der Bedingungen LINEAR WEIT und LINEAR ENG, womit sich auch hier wie zuvor bei den Reaktionszeiten nicht eindeutig die anspruchsvollere Bedingungsvariante ausmachen lässt, zumal die statistische Signifikanz wie vorhin besprochen hinsichtlich dieses Vergleiches nicht gegeben war (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte der Skalenpunkte in Tab. 26, S. 87).

Beachtlich ist, dass im Subtest **Herd** keine Hinweise auf emotionale Belastungsreaktionen ausgemacht werden konnten. Die Ergebnisse der Analyse zur Hautleitfähigkeit zeigten für keinen Vergleich ein signifikantes Ergebnis. Dazu passt, dass es auch keinen signifikanten

Zusammenhang zwischen den Differenzwerten der Anzahl der Spontanfluktuationen und der Skalen des NASA-TLX (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) gab.

Anders gestalten sich die Ergebnisse zum Spontan-EEG. Hier konnten signifikante Ergebnisse für die EEG-Frequenzbänder Delta, Alpha, Beta 1 und Beta 2 gefunden werden. Von diesen Ergebnissen liefen die Ergebnisse zum Beta 2-Band den dazu aufgestellten Hypothesen zuwider, da entgegen der Annahme einer höheren Aktivität dieses Bandes in den Bedingungen mit einer linearen Anordnung der Interaktionselemente die höchste Aktivität in der Bedingung zu verzeichnen war, in der das Prinzip des natürlichen Mappings angewandt wurde. Gemäß den Erwartungen war die Alpha-Aktivität in der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING, von der angenommen wurde, dass sie mental am wenigsten beanspruchend sei, am höchsten. Interessant ist dabei der Umstand, dass die Aktivität in diesem Band in der Bedingung LINEAR ENG höher war als in der Bedingung LINEAR WEIT. Somit steht dieses Ergebnis gewissermaßen in Widerspruch zu den Ergebnissen der Reaktionszeiten, da diese eher dafür sprachen, die Bedingung LINEAR ENG als schwieriger gegenüber der Bedingung LINEAR WEIT einzustufen. Darüber hinaus konnten signifikanten Ergebnisse für die EEG-Frequenzbänder Delta und Beta 1 gefunden werden. Auch hier war jeweils die höchste Aktivität in der Bedingung zu verzeichnen, in welcher die Aufgaben gemäß dem Prinzip des natürlichen Mappings gestaltet waren. Ebenso war wie auch schon im Alpha-Band die absolute Power in der Bedingung LINEAR ENG in diesen Frequenzbändern höher als in der Bedingung LINEAR WEIT.

Bezüglich der Forschungsfrage interessierten die Zusammenhänge mit den EEG-Frequenzbändern, für die es gemäß der statistischen Analyse signifikante Ergebnisse gab. Für den Vergleich der Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR WEIT zeigten sich signifikant positive Zusammenhänge zwischen den Beta-Bändern und den Skalen des NASA-TLX (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988). Dabei korrelierten das Beta 1-Band mit der Skala *Körperliche Anforderung* und das Beta 2-Band mit den Skalen *Zeitdruck* und *Frustration* positiv. Je höher beziehungsweise niedriger die Differenzwerte in der betreffenden Skala waren, desto höher beziehungsweise niedriger waren die Differenzwerte in diesen EEG - Bändern. Die Veränderung in den Skalenpunkten und in der absoluten Power dieser Frequenzbänder verlief also gleichsinnig und nicht gegenläufig. Kam es zu einem Abstieg oder Anstieg der Skalenpunkte, dann kam es auch zu einem Abstieg oder Anstieg im Frequenzband. Interessanterweise verzeichneten die Resultate der statistischen Analyse für die Beta-Bänder die höchste Aktivität in der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING. Für das Beta 2-Band ergeben sich damit widersprüchliche Ergebnisse. Die statistische

Hypothesenprüfung führte nämlich für das Beta 2-Band zu einer Ablehnung der Hypothesen, während die Richtung der Veränderung hypothesenkonform verlief. Bezüglich des Vergleichs der Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR ENG gab es für die EEG-Frequenzbänder Delta, Beta 1 und Beta 2 signifikant negative Korrelationen mit der Skala *Geistige Anforderung*. Je höher beziehungsweise niedriger die Differenzwerte in der betreffenden Skala waren, desto niedriger beziehungsweise höher waren die Differenzwerte in diesen EEG - Bändern. Die Veränderung in den Skalenpunkten und in der absoluten Power dieser Frequenzbänder verlief also gegenläufig und nicht gleichsinnig. In der Zusammenschau mit den Ergebnissen der statistischen Hypothesenprüfung kann somit zusammenfassend festgestellt werden, dass mit zunehmender mentaler Beanspruchung die Aktivität in diesen Bändern abnimmt und bei abnehmender mentaler Beanspruchung zunimmt. Diese Resultate entsprachen bezüglich des Beta 2-Bandes nicht den dazu aufgestellten Hypothesen. Hinsichtlich des Vergleichs der Bedingungen LINEAR WEIT und LINEAR ENG konnten nur für solche EEG-Frequenzbänder, für welche es keine statistisch signifikanten Ergebnisse gab, signifikante Korrelationen beobachtet werden (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte der physiologischen Parameter in den Tab. 27-28, S. 87-88).

4.1.3 Subtest Kreuz

Die Reaktionszeitmessungen und prozentuellen Trefferraten sowie die Skalenpunkte des NASA-TLX (Hart, 2006; Hart & Staveland, 1988) lagen nur für die zweiminütigen Testblöcke vor, die jeweils nach den erfolgreich absolvierten Lernblöcken bearbeitet werden mußten. In Bezug auf die objektiven Verhaltensindikatoren waren die Ergebnisse der statistischen Analyse hypothesenkonform. In den Testblöcken der Umlernphasen kam es in Bezug auf alle drei Repräsentationsformen zu höheren Reaktionszeiten und zu geringeren Trefferraten. Am deutlichsten war dieser Effekt im Falle der analogen Repräsentation. Eine mögliche Ursache dafür ist, dass es sich dabei um eine natürliche, kompatible Zuordnung handelt, die im Grunde nicht erlernt werden muß. Daher stellt die Annahme, dass das Umlernen einer solchen Reiz-Reaktions-Zuordnung die größten Effekte auf die Reaktionszeiten und die prozentuellen Trefferraten hat, eine plausible Erklärung dar. Diese Vermutung erhärtet sich auch durch die untereinander vorgenommenen Vergleiche der Testblöcke der Lern- und Umlernphasen. Hier waren im Falle des Testblocks der Lernphase bei analoger Repräsentation die Reaktionszeiten geringer und die prozentuellen Trefferraten höher als mit einer digitalen oder verbalen Repräsentationsform. Umgekehrt waren beim Umlernen der Reiz-Reaktions-Zuordnung bei analoger Repräsentation die Reaktionszeiten am

höchsten und die prozentuellen Trefferraten am geringsten. Dagegen waren die Reaktionszeiten und prozentuellen Trefferraten bei digitaler und verbaler Repräsentation annähernd gleich (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte der Reaktionszeiten und prozentuellen Trefferraten in Tab. 61 in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ auf S. 177).

Auch in Bezug auf die subjektiven Belastungseinschätzungen entsprachen die statistisch gefundenen Effekte zur Gänze den Hypothesen. Wie im Zuge der statistischen Hypothesenprüfung beobachtet wurde, wies jede Skala des NASA-TLX über alle Repräsentationsformen hinweg in dem Testblock der Umlernphase höhere Werte auf als in dem Testblock der Lernphase. Die höchsten Unterschiede waren in Bezug auf die analoge Repräsentationsform zu verzeichnen. Hier zeigte sich auch der größte Unterschied in der Skala *Geistige Anforderung*, da hier die Werte im Durchschnitt um fast sechs Punkte anstiegen. Das Ausmaß subjektiv erlebter mentaler Beanspruchung war hier also am deutlichsten ausgeprägt. Für die Skalen *Anstrengung* und *Frustration* waren die Skalenpunkte bei analoger Repräsentation durchschnittlich um drei Punkte höher. Den geringsten Anstieg um durchschnittlich 1.5 Punkte gab es bezüglich der Skala *Körperliche Anforderung* (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte der Skalenpunkte zwischen den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen pro Repräsentationsform in Tab. 48, S. 130). Ebenso wie bei den objektiven Verhaltensindikatoren zeigte sich beim Vergleich der Testblöcke der Lern- und Umlernphase bei analoger Repräsentation mit den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen bei digitaler und verbaler Repräsentation, daß die Skalenpunkte in den Testblöcken der Lernphasen bei analoger Repräsentation geringer waren als bei digitaler und verbaler Repräsentation. Umgekehrt waren die subjektiven Einschätzungen in den Testblöcken der Umlernphasen bei analoger Repräsentation höher als bei einer digitalen oder verbalen Repräsentationsform. Dies spricht ebenso für die vorhin geäußerte Annahme, daß es sich bei einer kompatiblen analogen Reiz-Reaktions-Zuordnung um eine natürliche, intuitiv einleuchtende Zuordnung handelt, die aber im Zusammenhang mit Umlernprozessen nicht nur auf der Verhaltensebene, sondern auch subjektiv als beanspruchender und belastender erlebt wird als im Falle einer digitalen oder verbalen Repräsentation (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte der Skalenpunkte in Tab. 62 in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ auf S. 177). Schließlich zeigte sich beim Vergleich zwischen digitaler und verbaler Repräsentation, dass die Skalenpunkte der Testblöcke der Lern- und Umlernphasen im Falle der verbalen Repräsentation unabhängig davon, um welchen Testblock es sich handelte, höher waren als bei digitaler Repräsentation

(ergänzend dazu siehe die Differenzwerte der Skalenpunkte in Tab. 63 in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ auf S. 178).

In Bezug auf die Anzahl der Spontanfluktuationen konnten auch signifikante Ergebnisse beobachtet werden. Gemäß der statistischen Hypothesenprüfung war die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Lernblöcken der Lernphasen signifikant geringer als in den Lernblöcken der Umlernphasen. Am stärksten trat dieser Effekt bei der analogen und am geringsten bei der verbalen Repräsentationsform auf (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen zwischen den Lernblöcken der Lern- und Umlernphasen in Tab. 49, S. 130). Der Vergleich der Lernblöcke der Lernphasen ergab, daß bei analoger Repräsentation die Anzahl der Spontanfluktuationen geringer war als bei digitaler oder verbaler Repräsentation. Hingegen war beim Vergleich der Lernblöcke der Umlernphasen bei digitaler Repräsentation die Anzahl an Spontanfluktuationen höher als bei analoger oder verbaler Repräsentation (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte in Tab. 64 in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ auf S. 178). Im Zusammenhang damit steht das nicht signifikante Ergebnis der statistischen Hypothesenprüfung zu der vermuteten Interaktion, die zur Zurückweisung der entsprechenden Hypothesen führte.

Wie die statistische Hypothesenprüfung zeigte, war der Haupteffekt Testblock signifikant. Dies bedeutete, dass über alle Repräsentationsformen hinweg und über die gesamte Testdauer von zwei Minuten die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Testblöcken der Umlernphasen höher war als in den Testblöcken der Lernphasen. Bei Betrachtung der entsprechenden Differenzwerte zeigte sich aber nur hinsichtlich der Testblöcke in der zweiten Minute für den Vergleich der Testblöcke der Lern- und Umlernphasen pro Repräsentationsform, dass die Anzahl der Spontanfluktuationen in den Testblöcken der Umlernphasen für alle drei Repräsentationsformen höher war als in den Testblöcken der Lernphasen (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte der Anzahl der Spontanfluktuationen bezüglich der Testblöcke innerhalb und zwischen den einzelnen Repräsentationsformen in Tab. 50, S. 130). Und während die Anzahl der Spontanfluktuationen bei digitaler und verbaler Repräsentation in der ersten Minute zwischen den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen abnahm, kam es nur im Falle der analogen Repräsentation einen Anstieg der elektrodermalen Aktivität. Hingegen konnte mittels der statistischen Hypothesenprüfung nicht beobachtet werden, dass die Anzahl der Spontanfluktuationen bei analoger Repräsentation im Falle der Testblöcke der Lernphasen signifikant geringer und umgekehrt im Falle der Testblöcke der Umlernphase signifikant höher war als bei digitaler oder verbaler Repräsentation. Obwohl also diesbezüglich kein statistisch signifikanter Interaktionseffekt gefunden werden konnte, zeigten die

entsprechenden Differenzwerte für die erste Minute der Testdauer eine Tendenz dazu. Hier war die Anzahl der Spontanfluktuationen bei analoger Repräsentation in dem Testblock der Lernphase geringer und in dem Testblock der Umlernphase höher als bei digitaler und verbaler Repräsentation. Dieser Effekt konnte in der zweiten Minute der Testblöcke nicht beobachtet werden (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte in Tab. 65 in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ auf S. 178).

Die statistische Hypothesenprüfung zu der absoluten Power in den EEG-Frequenzbändern des Spontan-EEG zeigte grundsätzlich kaum statistisch signifikante Effekte zwischen den Lernblöcken der Lern- und Umlernphasen. Nur in Bezug auf das Theta-Band gab es einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen Repräsentationsform und den Lernblöcken, womit die Aktivität im Theta-Band als Indikator mentaler Beanspruchung statistisch abgesichert werden konnte. Sämtliche in weiterer Folge vorgenommenen Aussagen und Vergleiche zu den Frequenzbändern mit Ausnahme des Theta-Bandes sind daher als deskriptivstatistische Ergänzung zur statistischen Analyse zu verstehen. An dieser Stelle wird auf Tab. 51 (S. 131) zu den Differenzwerten der Lernblöcke zwischen den Lern- und Umlernphasen pro Repräsentationsform Bezug genommen. Entsprechend des Resultates der statistischen Analyse gab es im Theta-Band den stärksten Anstieg in der Aktivität bei analoger Repräsentation. Ansonsten waren bei frontozentraler Ableitung mit Ausnahme der Frequenzbänder Beta 1 und Gamma 1 alle Differenzwerte negativ. Dies bedeutete, dass die absolute Power in diesen Bändern bei allen Repräsentationsformen in den Lernblöcken der Umlernphase höher war als in den Lernblöcken der Lernphase. Nur für die beiden Frequenzbänder Beta 1 und Gamma 1 gab es bei digitaler Repräsentation positive Differenzwerte, weshalb die Aktivität in den Lernblöcken der Lernphase höher war als in den Lernblöcken der Umlernphase. Auffällig ist weiter, dass bei parietozentraler Lokalisation die Differenzwerte mit Ausnahme des Theta-Bandes positiv waren. Dies bedeutete, dass in allen anderen Frequenzbändern die Aktivität in den Lernblöcken der Lernphase höher war als in den Lernblöcken der Umlernphase. Zumindest für das Alpha-Band entspricht dieses Resultat nicht den bisherigen Forschungsergebnissen, in denen eine Abnahme der Aktivität bei mentaler Beanspruchung beobachtet wurde (zusammenfassend beispielsweise Borgini et al., 2014). Die Ergebnisse zu den EEG-Frequenzbändern mit Ausnahme des Theta-Bandes sind aber grundsätzlich an der statistischen Insignifikanz der statistischen Hypothesenprüfung zu relativieren.

Hinsichtlich der Vergleiche der Lernblöcke der Lern- und Umlernphasen untereinander war im Falle der frontozentralen Lokalisation die absolute Power im Delta-Band in den

Lernblöcken der Lernphasen bei analoger Repräsentation immer geringer als bei digitaler oder verbaler Repräsentation, während die absolute Power in den EEG-Frequenzbändern Alpha und Beta 1 bei analoger Repräsentation immer höher war als bei digitaler und verbaler Repräsentation. Die absolute Power in den Frequenzbändern Beta 2, Gamma 1 und Gamma 2 war in den Lernblöcken der Lernphase bei analoger Repräsentation geringer als in den Lernblöcken der Lernphase bei digitaler Repräsentation, aber höher als in den Lernblöcken der Lernphase bei verbaler Repräsentation. Umgekehrt verhielt es sich für das Theta-Band. Hier war die absolute Power in den Lernblöcken der Lernphase bei analoger Repräsentation geringer als in den Lernblöcken der Lernphase bei verbaler Repräsentation, aber höher als in den Lernblöcken der Lernphase mit digitaler Repräsentation. Im Hinblick auf die Vergleiche der Lernblöcke der Umlernphasen untereinander war die Aktivität in den Frequenzbändern Theta, Beta 2, Gamma 1 und Gamma 2 bei analoger Repräsentation immer höher als bei den anderen Repräsentationsformen.

Bei der parietozentralen Ableitung waren alle mittleren Differenzen bezüglich der Frequenzbänder Alpha, Beta 1, Beta 2, Gamma 1 und Gamma 2 positiv. Somit variierte die Aktivität in diesen Bändern nicht in Abhängigkeit von der Repräsentationsform und war im Falle der analogen Repräsentation höher als bei digitaler oder verbaler Repräsentation. Die Aktivität in den Frequenzbändern Delta und Theta war bei analoger Repräsentation in den Lernblöcken der Lernphase geringer als bei digitaler Repräsentation und höher als bei verbaler Repräsentation. Dagegen war in der Umlernphase die Aktivität im Delta-Band bei analoger Repräsentation höher als bei digitaler Repräsentation und geringer als bei verbaler Repräsentation. Die Aktivität im Theta-Band war in dem Lernblock der Umlernphase bei analoger Repräsentation höher als bei digitaler und verbaler Repräsentation (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte in Tab. 66 in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ auf S. 179).

Schließlich lassen sich auch noch deskriptivstatistische Vergleiche zwischen den Lernblöcken der Lernphasen beziehungsweise zwischen den Lernblöcken der Umlernphasen bei digitaler gegenüber der verbalen Repräsentation anstellen. Bei frontozentraler Lokalisation war die Aktivität in den EEG-Frequenzbändern Delta und Theta in den Lernblöcken der Lernphase bei digitaler Repräsentation geringer und in den Frequenzbändern Alpha, Beta 1, Beta 2, Gamma 1 und Gamma 2 höher als in den Lernblöcken der Lernphase bei verbaler Repräsentation. Die absolute Power in den Lernblöcken der Umlernphase bei digitaler Repräsentation war geringer in den Frequenzbändern Theta, Alpha und Beta 1 als in den Lernblöcken der Umlernphase bei verbaler Repräsentation. Hingegen war in den

EEG-Frequenzbändern Delta, Beta 2, Gamma 1 und Gamma 2 die Aktivität in den Lernblöcken der Umlernphase bei digitaler Repräsentation höher als in den Lernblöcken der Umlernphase bei verbaler Repräsentation. Bei parietozentraler Lokalisation war die Aktivität in allen Frequenzbändern in den Lernblöcken der Lernphase bei digitaler Repräsentation höher als in den Lernblöcken der Lernphase bei verbaler Repräsentation. Die absolute Power in den EEG-Frequenzbändern Delta, Theta, Beta 1 und Beta 2 war in den Lernblöcken der Umlernphase bei digitaler Repräsentation geringer und in den Frequenzbändern Alpha, Gamma 1 und Gamma 2 höher als in den Lernblöcken der Umlernphase bei verbaler Repräsentation (ergänzend dazu siehe die Differenzwerte in Tab.67 in Anhang „3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten“ auf S. 180).

Hinsichtlich der Testblöcke ergab bereits die multivariate Varianzanalyse mit Messwiederholung keinen signifikanten Bedingungseffekt – sei es in Form eines Haupteffekts oder von Interaktionseffekten. Aufgrund der grundsätzlichen statistischen Insignifikanz und im Sinne einer ökonomischen Darstellungsweise wurde deshalb von einer genaueren Besprechung der Testblöcke mitsamt einer tabellarischen Aufschlüsselung der Differenzwerte abgesehen.

4.1.4 Zusammenfassende Diskussion

Ging es in den vorhergehenden Ausführungen um die separat für jeden Subtest vorgenommene detaillierte Besprechung und Diskussion der Resultate, so wird an dieser Stelle in einer abschließenden Zusammenfassung die Bedeutung der gefundenen Effekte bei Nichtbeachtung der grundlegenden kognitiven Prinzipien des Gestaltgesetzes der Nähe (Koffka, 1935; Trimmel, 2013), des Fitts'schen Gesetzes (Fitts, 1954; MacKenzie, 1992; Müsseler et al., 1996; Proctor & Vu, 2009, 2015), des Prinzips des natürlichen Mappings (Dahm, 2006; Norman, 1989; Shneiderman, 1998) sowie der Reiz-Reaktions-Kompatibilität (Fitts & Seeger, 1953; Fitts & Deininger, 1954, zitiert nach Proctor & Vu, 2010; Müsseler et al., 1996; Proctor & Vu, 2006, zitiert nach Proctor & Vu, 2010; Welford, 1980, zitiert nach Müsseler et al., 1996) aus der Perspektive des Drei-Ebenen-Messkonzepts (Lutzenberger et al., 1985, S. 70; Trimmel, 1990, S. 82) auf globaler Ebene erörtert und diskutiert.

Auf der Verhaltensebene, operationalisiert mittels Reaktionszeiten und prozentuellen Trefferraten, zeigen die Ergebnisse ein durchgehend konsistentes Bild. Bei der Bearbeitung der Aufgabenteile der jeweiligen Subtests, die nicht im Sinne der kognitiven Prinzipien gestaltet waren, stiegen die Reaktionszeiten an und es verringerten sich die prozentuellen

Trefferraten gegenüber denselben Aufgaben, die im Sinne der kognitiven Prinzipien gestaltet waren. Dabei konnten für alle drei Subtests mittlere bis große Effektstärken gefunden werden. Den stärksten Effekt in Bezug auf die Reaktionszeiten gab es im Subtest **Kreuz** in Bezug auf das Umlernen bereits gelernter Reiz-Reaktions-Zuordnungen. Hinsichtlich der prozentuellen Trefferraten konnte der stärkste Effekt im Subtest **Liste** gefunden werden. Damit kann zusammenfassend festgehalten werden, dass Umlernprozesse als auch die Nichtbeachtung der angesprochenen grundlegenden kognitiven Prinzipien deutliche Leistungseinbußen auf der zur Folge haben können.

Ein ebenso einheitliches Bild zeigt sich auch in Bezug auf die Ebene der Selbstbeobachtung. Auch hier waren für jede der drei Subtests die subjektiven Belastungseinschätzungen immer bei den die kognitiven Prinzipien nicht berücksichtigenden Aufgabenteilen höher. Die größten Effektstärken zeigten sich in Bezug auf die Subtests **Herd** und **Kreuz**. Mit Ausnahme der Skala *Körperliche Anforderung* im Subtest **Kreuz** konnten hier für alle Skalen große Effektstärken gefunden werden. Im Subtest **Liste** waren für die Skalen *Geistige Anforderung* und *Zeitdruck* große Effektstärken zu verzeichnen; in Bezug auf alle anderen Skalen zeigten sich mittlere bis große Effektstärken. Wie bei der Verhaltensebene legen diese Befunde nahe, dass die Außerachtlassung dieser kognitiven Prinzipien beziehungsweise Umlernprozesse starke negative Auswirkungen auf das subjektive Erleben haben.

Die Ergebnisse im Hinblick auf die physiologische Ebene gestalten sich hingegen nicht einheitlich. Signifikante Ergebnisse mit geringen bis mittleren Effektstärken zeigten sich bezüglich der Hautleitfähigkeit für die Subtests **Liste** und **Kreuz** als Ausdruck vermehrter emotionaler Belastungsreaktionen bei der Bearbeitung der die kognitiven Prinzipien des Gestaltgesetzes der Nähe, des Fitts'schen Gesetzes sowie der Reiz-Reaktions-Kompatibilität nicht berücksichtigender Aufgabenteile. Keine signifikanten Ergebnisse gab es dagegen im Subtest **Herd**, in welchem es um das kognitive Prinzip des natürlichen Mappings ging.

Die Ergebnisse zum Spontan-EEG waren ebenso nicht einheitlich und entsprachen in mancher Hinsicht nicht der bisherigen Forschungsliteratur. Beispielsweise konnten mittels der statistischen Hypothesenprüfung für die Gamma-Bänder keine signifikanten Ergebnisse im Zusammenhang mit steigender mentalen Beanspruchung gefunden werden, obwohl in der Literatur dazu andere Befunde vorliegen (Howard et al., 2003; Meltzer et al., 2008). Auch der Zusammenhang der Gamma-Aktivität mit dem Gestaltgesetz der Nähe konnte in der vorliegenden Arbeit nicht festgestellt werden. Eine mögliche Ursache könnte in der Konfundierung der Effekte des Gestaltgesetzes der Nähe und des Fitts'schen Gesetzes im entsprechenden Subtest liegen. Allerdings könnten diese Ergebnisse ein Hinweis darauf sein,

dass nur bestimmte Gestaltgesetze, aber nicht alle, im Zusammenhang mit der Aktivität in diesen Bändern stehen. Hypothesenkonform und übereinstimmend mit den bisherigen Forschungsergebnissen stieg das Theta-Band im Subtest **Kreuz** mit dem Grad an mentaler Beanspruchung an. Die Ergebnisse zu den Beta-Bändern entsprechen hingegen nur teilweise den bisherigen Forschungsergebnissen. Tatsächlich weisen die Resultate darauf hin, dass eine Tendenz zur Abnahme der Aktivität in diesen Bändern bei ansteigender mentaler Beanspruchung besteht.

Schließlich konnten mit Blick auf die Forschungsfrage signifikante Korrelationen zwischen den Skalen des NASA-TLX und den physiologischen Parametern gefunden werden. Zusammenhänge gab es zwischen der elektrodermale Aktivität und den Skalen *Geistige Anforderung*, *Zeitdruck*, *Fehlleistung* und *Frustration*. Ebenso konnten signifikante Korrelationen insbesondere zwischen den Frequenzbändern Delta, Theta und Beta 1 mit den Skalen des NASA-TLX beobachtet werden.

4.2 Kritik

Bezüglich der statistischen Hypothesenprüfung zum Subtest **Kreuz** bildet die Tatsache, dass hier nur zum Teil das „Drei-Ebenen-Messkonzept“ (Lutzenberger et al., 1985; Trimmel, 1990) realisiert wurde, einen ersten Kritikpunkt. Die objektiven Verhaltensindikatoren in Form von Reaktionszeitmessungen und prozentuellen Trefferraten und die subjektiven Belastungseinschätzungen mittels des NASA-TLX lagen nur für die Testblöcke der Lern- und Umlernphasen des Subtests vor, nicht aber für die jeweils vorangegangenen Lernblöcke. Signifikante Effekte konnten im Bereich der Physiologie aber vorwiegend in den Lernblöcken beobachtet werden, nicht aber in den Testblöcken. Eine plausible Erklärung dafür ist, dass in den Testblöcken die erforderlichen Lernprozesse bereits erfolgreich abgeschlossen wurden. Für den Wechsel in den jeweiligen Testblock mussten nämlich zwei erfolgreiche Lerndurchläufe hintereinander absolviert werden. Da nach Ansicht des Autors Lernprozesse nur auf die Lernblöcke beschränkt waren und nicht in den nachfolgenden Testblöcken „weiterwirkten“ - ein Hinweis darauf ist das Fehlen signifikanter Effekte auf physiologischer Ebene in den Testblöcken - stellt das Fehlen objektiver und subjektiver Angaben zu den einzelnen Lernblöcken eine empfindliche Lücke in der Analyse dar.

Weitere Kritikpunkte betreffen die Zusammensetzung der Stichprobe. Die Stichprobe setzte sich mit 72.3 Prozent vorwiegend aus Studenten der Informatik zusammen, wobei ein Großteil davon (70.6%) männliche Teilnehmer waren. Weiter enthielt die Stichprobe mit 20.2 Prozent einen kleinen Teil an Studenten der Psychologie. Hier wiederum war der Anteil

weiblicher Probanden dominierend. In der statistischen Analyse wurde allerdings von einer Gewichtung der Fallzahlen abgesehen. Es wurde davon ausgegangen, dass die in der Stichprobe gefundene Zusammensetzung die wahren Verhältnisse – was den Anteil männlicher und weiblicher Studenten im jeweiligen Studienfach betrifft – widerspiegelte. Außerdem handelte es sich um eine relativ junge Stichprobe. Die Teilnehmer wiesen ein durchschnittliches Alter von 26.39 Jahren auf. Es ist also fraglich, inwieweit die Ergebnisse auch auf ältere Personen übertragen werden können, wenn man zusätzlich bedenkt, dass ein Teil der Computeraufgaben Lern- und Umlernprozesse erforderte.

Darüber hinaus konnten für die Skalen des CAAFI (Schulenberg & Melton, 2008), des DFLEX (Roberts et al., 2011) sowie der CEW Fluency Scale (Bunz, 2004) Unterschiede zwischen den Geschlechtern festgestellt werden (siehe Tab. 7, S. 69). Die statistische Analyse erfolgte jedoch nicht getrennt nach dem Geschlecht. Offen bleibt daher, inwieweit die Ergebnisse der vorliegenden Studie gleichermaßen auf Männer und Frauen generalisiert werden können.

Auch die Einteilung der Frequenzbänder des Spontan-EEG kritisch zu beleuchten. Hier existiert in der Forschung bislang keine Standardisierung (Ribback, 2002, S. 56), sodass die Ergebnisse der verschiedenen Publikationen, die sich mit der Analyse des Spontan-EEG beschäftigen, grundsätzlich nur in dem Ausmaß vergleichbar sind, in dem die dort getroffenen Einteilungen der Frequenzbänder auch übereinstimmen. Dieser Kritikpunkt gilt damit auch für die vorliegende Arbeit.

Schließlich gilt es, in Bezug auf die statistische Analyse des Subtests *Liste* noch eine kritische Anmerkung zu machen. Hier konnten die Auswirkungen der Beachtung und Nichtbeachtung der kognitiven Prinzipien des Gestaltgesetzes Nähe sowie des Fitts'schen Gesetzes über die objektiven Verhaltensindikatoren getrennt überprüft werden. Diese getrennte Überprüfung gab es hingegen für die subjektive und physiologische Ebene nicht, sodass bezüglich dieser Ebenen an eine mögliche Konfundierung der Auswirkungen dieser kognitiven Prinzipien zu denken ist.

4.3 Ausblick

Diese experimentelle Studie verfolgte grundsätzlich zwei Ziele. Zum einen ging es darum, aufzuzeigen, wie die Nichtbeachtung fundamentaler kognitiver Prinzipien im Bereich der Mensch-Computer Interaktion und speziell bei der Gestaltung von grafischen Benutzeroberflächen zu einem erheblichen Mehraufwand an mentalen Beanspruchungen und emotionalen Belastungen führen kann. Das zweite Ziel bestand darin, mittels des

„Drei-Ebenen-Messkonzepts“ (Lutzenberger et al., 1985, S. 70; Trimmel, 1990, S. 82) die dabei hervorgerufenen mentalen Beanspruchungs- und emotionalen Stressreaktionen adäquat zu beschreiben und zu quantifizieren. Die dabei gefundenen Ergebnisse zeigen, wie wichtig es ist, bei der Gestaltung grafischer Benutzeroberflächen fundamentale kognitive Prinzipien zu berücksichtigen, um mentale Beanspruchungs- und emotionale Belastungsreaktionen zu vermeiden. Gleichzeitig wird mit dieser Arbeit vorgeschlagen, bei zukünftigen Evaluationen von Software-Interfaces auf das „Drei-Ebenen-Messkonzept“ zurückzugreifen, um profunde Aussagen über die Benutzerfreundlichkeit treffen zu können.

ABSTRACT

Abstract in Deutsch

Fundamentale kognitive Prinzipien sind das Gestaltgesetz der Nähe (Koffka, 1935), das Fitts'sche Gesetz (Fitts, 1954), das Prinzip des natürlichen Mappings (Norman, 1983) sowie die Reiz-Reaktions-Kompatibilität (Fitts & Seeger, 1953; Fitts & Deininger, 1954). Die vorliegende experimentelle Studie beschäftigte sich mit den Auswirkungen der Nichtbeachtung genannter kognitiver Prinzipien in Form mentaler Beanspruchungs- und emotionaler Stressreaktionen und deren Quantifizierung auf objektiver, subjektiver und physiologischer Ebene im Sinne des „Drei-Ebenen-Messkonzepts“ (Lutzenberger, Elbert, Rockstroh & Birbaumer, 1985; Trimmel, 1990) im Kontext der Mensch-Computer Interaktion. 104 Studenten bearbeiteten verschiedene Computeraufgaben. Jede dieser Aufgaben war stets so konzipiert, dass ein Teil im Sinne dieser kognitiven Prinzipien gestaltet und ein weiteres Mal nicht gestaltet war, um Unterschiede im Ausmaß der mentalen Beanspruchung und emotionalen Belastung festzustellen. Dabei wurden Reaktionszeitmessungen und Trefferraten, subjektive Angaben, die Anzahl an Spontanfluktuationen der Hautleitfähigkeit sowie die spektrale Power in den Frequenzbändern des Spontan-Elektroenzephalogramms (EEG) erhoben und analysiert. Die objektiven Verhaltensindikatoren sowie die subjektiven Einschätzungen bildeten dabei stets den erwarteten vermehrten Aufwand bei der Bearbeitung der die kognitiven Prinzipien nicht berücksichtigenden Aufgabenteile ab. Emotionale Stressreaktionen in Form erhöhter elektrodermalen Aktivität konnten im Zusammenhang mit der Nichtbeachtung dieser kognitiven Prinzipien mit Ausnahme des Prinzips des natürlichen Mappings beobachtet werden. Hingegen waren die Ergebnisse zum Spontan-EEG nicht einheitlich und entsprachen nur zum Teil der bisherigen Forschungsliteratur. Im Gegensatz zu der Aktivität in den Frequenzbändern Beta und Gamma stieg die Theta-Aktivität bei zunehmender mentaler Beanspruchung an und erwies sich damit als valider Indikator mentaler Beanspruchungsreaktionen. Diese Ergebnisse zeigen die Relevanz der Beachtung dieser fundamentalen kognitiven Prinzipien im Kontext der Mensch-Computer Interaktion. Zudem wird empfohlen, bei zukünftigen Evaluationen von User-Interfaces neben objektiven Leistungsmaßen und subjektiven Angaben auch die physiologische Ebene miteinzubeziehen.

Abstract in Englisch

Fundamental cognitive principles are the gestalt law of proximity (Koffka, 1935), the Fitts' law (Fitts, 1954), the principle of natural mapping (Norman, 1983) as well as the stimulus-response compatibility (Fitts & Seeger 1953; Fitts & Deininger 1954). The present experimental study dealt with the effects of the nonobservance of these cognitive principles in the form of mental strain and emotional stress reactions and their quantification on an objective, subjective and physiological level for the purposes of the "Drei-Ebenen-Messkonzept" (Lutzenberger, Elbert, Rockstroh & Birbaumer, 1985; Trimmel, 1990) in the context of human-computer interaction. 104 students worked on different computer tasks. Each of these tasks always was constructed in such a way that one part was designed in the sense of these principles whereas another part was not in order to detect differences in the degree of mental strain and emotional stress. Response time measurements and hit rates, subjective ratings, nonspecific skin conductance responses as well as the spectral power in the frequency bands of the spontaneous electroencephalogram (EEG) were measured and analysed. Performance measures as well as subjective ratings illustrated the expected increased expenses when working with computer tasks in which the principles were neglected. Emotional stress reactions in the form of raised electrodermal activity could be observed in connection with the nonobservance of these cognitive principles with the exception of the principle of the natural mapping. However, the results concerning the spontaneous EEG were not uniform and corresponded only partly to the present research literature. In contrast to the activity in the frequency bands beta and gamma, theta activity increased with increasing mental workload and thus proved to be a valid indicator of mental strain reactions. Due to these results, the relevance of the observance of these basic cognitive principles in the context of human-computer interaction has been demonstrated. In addition, it is recommended that future evaluations of user interfaces also include the physiological level besides objective performance measures and subjective ratings.

LITERATURVERZEICHNIS

- Antonenko, P., Paas, F., Grabner, R., & van Gog, T. (2010). Using Electroencephalography to Measure Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(4), 425-438. doi: 10.1007/s10648-010-9130-y
- Baguley, T. (2012). Calculating and graphing within-subject confidence intervals for ANOVA. *Behavior Research Methods*, 44(1), 158-175. doi: 10.3758/s13428-011-0123-7
- Barcelo, F., Gale, A., & Hall, M. (1995). Multichannel EEG power reflects information-processing and attentional demands during visual orienting. *Journal of Psychophysiology*, 9(1), 32-44.
- Başar, E. (2013). A review of gamma oscillations in healthy subjects and in cognitive impairment. *International Journal of Psychophysiology*, 90(2), 99-117. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2013.07.005
- Berka, C., Levendowski, D. J., Lumicao, M. N., Yau, A., Davis, G., Zivkovic, V. T. et al. (2007). EEG Correlates of Task Engagement and Mental Workload in Vigilance, Learning, and Memory Tasks. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78(5), B231-B243.
- Besnard, D., & Cacitti, L. (2005). Interface changes causing accidents. An empirical study of negative transfer. *International Journal of Human-Computer Studies*, 62(1), 105-125. doi: 10.1016/j.ijhcs.2004.08.002
- Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2014). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44(Special Issue), 58-75. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.10.003
- Borghini, G., Isabella, R., Vecchiato, G., Toppi, J., Astolfi, L., Caltagirone, C. et al. (2011). Brainshield HREEG study of perceived pilot mental workload. *Italian Journal of Aerospace Medicine*, 5, 34-47, zitiert nach Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2014). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44(Special Issue), 58-75. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.10.003
- Bortz, J., & Döring, N. (2006). *Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler* (4. Aufl.). Heidelberg: Springer.

- Boucsein, W. (2000). The Use of Psychophysiology for Evaluating Stress-Strain Processes in Human-Computer Interaction. In R. W. Backs & W. Boucsein (Hrsg.), *Engineering Psychophysiology: Issues and Applications* (S. 289-309). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal Activity* (2. Aufl.). New York: Springer.
- Boucsein, W., & Backs, R. W. (2000). Engineering Psychophysiology as a Discipline: Historical and Theoretical Aspects. In R. W. Backs & W. Boucsein (Hrsg.), *Engineering Psychophysiology: Issues and Applications* (S. 3-30). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bray, J. H., & Maxwell, S. E. (1985). *Multivariate analysis of variance* (Sage university paper series on quantitative applications in the social sciences, Vol. 54). Newbury Park: Sage, zitiert nach Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3. Aufl.). London: Sage.
- Brookhuis, D., & de Waard, D. (2001). Assessment of Driver's Workload: Performance and Subjective and Physiological Indexes. In P. A. Hancock & P. A. Desmond (Hrsg.), *Stress, Workload and Fatigue* (S. 321-333). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Brookings, J. B., Wilson, G. F., & Swain, C. R. (1996). Psychophysiological responses to changes in workload during simulated air traffic control. *Biological Psychology*, 42(3), 361-377. doi: 10.1016/0301-0511(95)05167-8
- Brouwer, A.-M., Hogervorst, M. A., van Erp, J. B. F., Heffelaar, T., Zimmerman, P. H., & Oostenveld, R. (2012). Estimating workload using EEG spectral power and ERPs in the n-back task. *Journal of Neural Engineering*, 9(4), 1-14. doi: 10.1088/1741-2560/9/4/045008
- Bunz, U. (2004). The Computer-Email-Web (CEW) Fluency Scale - development and validation. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 17(4), 479-506. doi: 10.1207/s15327590ijhc1704_3
- Burgess, A. P., & Gruzelier, J. H. (2000). Short duration power changes in the EEG during recognition memory for words and faces. *Psychophysiology*, 37(5), 596-606. doi: 10.1017/S0048577200981356
- Cain, B. (2007). A Review of the Mental Workload Literature. In NATO Research & Technology Organization (Hrsg.), *Virtual Environments for Intuitive Human-System Interaction* (TR-HFM-121-Part-II) (S. 1-34). Neuilly-sur-Seine: NATO Research & Technology Organization. Zugriff am 05.07.2015. Verfügbar unter <http://www.dtic.mil/get-tr-doc/pdf?AD=ADA474193>

- Caldwell, J. A. J., & Caldwell, J. L. (2000). Studying Pharmacological Performance Enhancement With Behavioral, Subjective, and Electroencephalographic Measures. In R. W. Backs & W. Boucsein (Hrsg.), *Engineering Psychophysiology. Issues and Applications* (S. 203-240). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chalmers, P. A. (2003). The role of cognitive theory in human-computer interface. *Computers in Human Behavior*, 19(5), 593-607. doi: 10.1016/S0747-5632(02)00086-9
- Cousineau, D., & O'Brien, F. (2014). Error bars in within-subject designs: a comment on Baguley (2012). *Behavior Research Methods*, 46(4), 1149-1151. doi: 10.3758/s13428-013-0441-z
- Crone, N. E., Korzeniewska, A., & Franaszczuk, P. J. (2011). Cortical gamma responses: Searching high and low. *International Journal of Psychophysiology*, 79(1), 9-15. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2010.10.013
- Dahm, M. (2006). *Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion*. München: Pearson Studium.
- Davidson, R. J., Chapman, J. P., Chapman, L. J., & Henriques, J. B. (1990). Asymmetrical brain electrical activity discriminates between psychometrically-matched verbal and spatial cognitive tasks. *Psychophysiology*, 27(5), 528-543. doi: 10.1111/j.1469-8986.1990.tb01970.x, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Dujardin, K., Bourriez, J. L., & Guieu, J. D. (1995). Event-related desynchronization (ERD) patterns during memory processes: effects of aging and task difficulty. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 96(2), 169-182. doi: 10.1016/0168-5597(94)00284-L, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Dussault, C., Jouanin, J.-C., Philippe, M., & Guezennec, C.-Y. (2005). EEG and ECG changes during simulator operation reflect mental workload and vigilance. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(4), 344-351.
- Earle, J. B. B., & Pikus, A. A. (1982). The effect of sex and task difficulty on EEG alpha activity in association with arithmetic. *Biological Psychology*, 15(1-2), 1-14. doi: 10.1016/0301-0511(82)90027-8

- Fairclough, S. H., & Venables, L. (2006). Prediction of subjective states from psychophysiology: a multivariate approach. *Biological Psychology*, 71(1), 100-110. doi: 10.1016/j.biopsycho.2005.03.007
- Fairclough, S. H., Venables, L., & Tattersall, A. (2005). The influence of task demand and learning on the psychophysiological response. *International Journal of Psychophysiology*, 56(2), 171-184. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2004.11.003
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3. Aufl.). London: Sage.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. In N. Moray (Hrsg.), *Ergonomics. Major Writings* (Vol. 2, S. 50-66). Oxon: Taylor & Francis.
- Fitts, P. M., & Deininger, R. I. (1954). S-R compatibility: Correspondence among paired elements within stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology*, 48, 483-491, zitiert nach Welsh, T. N., Weeks, D. J., Chua, R., & Goodman, D. (2009). Perceptual-motor interaction: some implications for HCI. In A. Sears & J. A. Jacko (Hrsg.), *Human-computer interaction. Fundamentals* (S. 3-17). Boca Raton: CRC Press.
- Fitts, P. M., & Posner, M. I. (1967). *Human performance*. Belmont, CA: Brooks-Cole, zitiert nach Welsh, T. N., Weeks, D. J., Chua, R., & Goodman, D. (2009). Perceptual-motor interaction: some implications for HCI. In A. Sears & J. A. Jacko (Hrsg.), *Human-computer interaction. Fundamentals* (S. 3-17). Boca Raton: CRC Press.
- Fitts, P. M., & Seeger, C. M. (1953). S-R compatibility: spatial characteristics of stimulus and response codes. In N. Moray (Hrsg.), *Ergonomics. Major Writings* (Vol. 2, S. 153-167). Oxon: Taylor & Francis.
- Fournier, L. R., Wilson, G. F., & Swain, C. R. (1999). Electrophysiological, behavioral and subjective indexes of workload when performing multiple tasks: manipulation of task difficulty and training. *International Journal of Psychophysiology*, 31(2), 129-145. doi: 10.1016/S0167-8760(98)00049-X
- Gaillard, A. W. K., & Kramer, A. F. (2000). Theoretical and Methodological Issues in Psychophysiological Research. In R. W. Backs & W. Boucsein (Hrsg.), *Engineering Psychophysiology: Issues and Applications* (S. 31-58). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

- Gale, A. (1987). The electroencephalogram: Psychophysiology and the electronic workplace. In A. Gale & B. Christie (Hrsg.), *The electroencephalogram: Psychophysiology and the electronic workplace*. London: Wiley, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Gevins, A., & Schaffer, R. (1980). A critical review of electroencephalographic (EEG) correlates of higher cortical functions. *CRC Critical Reviews in Bioengineering*, 4(2), 113-164, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Gevins, A., & Smith, M. E. (2000). Neurophysiological Measures of Working Memory and Individual Differences in Cognitive Ability and Cognitive Style. *Cerebral Cortex*, 10(9), 829-839. doi: 10.1093/cercor/10.9.829
- Gevins, A., Smith, M. E., Leong, H., McEvoy, L., Whitfield, S., Du, R. et al. (1998). Monitoring working memory load during computer-based tasks with EEG pattern recognition methods. *Human Factors*, 40(1), 79-91. doi: 10.1518/001872098779480578, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Girden, E. R. (1992). *ANOVA: Repeated measures* (Sage university paper series on quantitative applications in the social sciences, Vol. 84). Newbury Park: Sage, zitiert nach Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3. Aufl.). London: Sage.
- Gramann, K., & Schandry, R. (2009). *Psychophysiologie: Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens* (4. Aufl.). Weinheim: Beltz.
- Gundel, A., Drescher, J., Maaß, H., Samel, A., & Vejvdova, M. (1995). Sleepiness of civil airline pilots during two consecutive night flights of extended duration. *Biological Psychology*, 40(1-2), 131-141. doi: 10.1016/0301-0511(95)05107-4
- Gundel, A., & Wilson, G. F. (1992). Topographical changes in the ongoing EEG related to the difficulty of mental tasks. *Brain Topography*, 5(1), 17-25. doi: 10.1007/BF01129966, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.

- Hankins, T. C., & Wilson, G. F. (1998). A comparison of heart rate, eye activity, EEG and subjective measures of pilot mental workload during flight. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 69(4), 360-367, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Harmony, T., Fernández, T., Silva, J., Bernal, J., Díaz-Comas, L., Reyes, A. et al. (1996). EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 24(1-2), 161-171. doi: 10.1016/S0167-8760(96)00053-0
- Hart, S. G. (2006). NASA-Task Load Index (NASA-TLX): 20 Years Later. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 50(9), 904-908. doi: 10.1177/154193120605000909
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In N. Moray (Hrsg.), *Ergonomics: Skill, Displays, Controls and Mental Workload* (Vol. 2, S. 408-506). Oxon: Taylor & Francis.
- Haslam, D. R. (1982). Sleep loss, recovery sleep, and military performance. *Ergonomics*, 25(2), 163-178. doi: 10.1080/00140138208924935, zitiert nach Boucsein, W., & Backs, R. W. (2000). Engineering Psychophysiology as a Discipline: Historical and Theoretical Aspects. In R. W. Backs & W. Boucsein (Hrsg.), *Engineering Psychophysiology: Issues and Applications* (S. 3-30). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Herrmann, C. S., Fründ, I., & Lenz, D. (2010). Human gamma-band activity: A review on cognitive and behavioral correlates and network models. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 34(7), 981-992. doi: 10.1016/j.neubiorev.2009.09.001
- Herrmann, C. S., Munk, M. H. J., & Engel, A. K. (2004). Cognitive functions of gamma-band activity: memory match and utilization. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(8), 347-355. doi: 10.1016/j.tics.2004.06.006
- Hogervorst, M. A., Brouwer, A.-M., & van Erp, J. B. F. (2014). Combining and comparing EEG, peripheral physiology and eye-related measures for the assessment of mental workload. *Frontiers in Neuroscience*, 8, 1-14. doi: 10.3389/fnins.2014.00322
- Howard, M. W., Rizzuto, D. S., Caplan, J. B., Madsen, J. R., Lisman, J., R., Aschenbrenner-Scheibe, R. et al. (2003). Gamma oscillations correlate with working memory load in humans. *Cerebral Cortex*, 13(12), 1369-1374. doi: 10.1093/cercor/bhg084

- Jensen, O., Kaiser, J., & Lachaux, J.-P. (2007). Human gamma-frequency oscillations associated with attention and memory. *Trends in Neurosciences*, 30(7), 317-324. doi: 10.1016/j.tins.2007.05.001
- Kecklund, G., & Akerstedt, T. (1993). Sleepiness in long distance truck driving: An ambulatory EEG study of night driving. *Ergonomics*, 36(9), 1007-1017. doi: 10.1080/00140139308967973, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Klimesch, W. (1996). Memory processes, brain oscillations and EEG synchronization. *International Journal of Psychophysiology* 24(1-2), 61-100. doi: 10.1016/S0167-8760(96)00057-8
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2-3), 169-195. doi: 10.1016/S0165-0173(99)00056-3
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Schimke, H., & Ripper, B. (1997). Theta synchronization and alpha desynchronization in a memory task. *Psychophysiology*, 34(2), 169-176. doi: 10.1111/j.1469-8986.1997.tb02128.x
- Klimesch, W., Schimke, H., & Schwaiger, J. (1994). Episodic and semantic memory: an analysis in the EEG theta and alpha band. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 91(6), 428-441. doi: 10.1016/0013-4694(94)90164-3, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Knyazev, G. G. (2012). EEG delta oscillations as a correlate of basic homeostatic and motivational processes. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(1), 677-695. doi: 10.1016/j.neubiorev.2011.10.002
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt psychology*. New York: Harcourt, Brace.
- Kohrs, C., Hrabal, D., Angenstein, N., & Brechmann, A. (2014). Delayed system response times affect immediate physiology and the dynamics of subsequent button press behavior. *Psychophysiology*, 51(11), 1178-1184. doi: 10.1111/psyp.12253
- Lakatos, P., Karmos, G., Mehta, A. D., Ulbert, I., & Schroeder, C. E. (2008). Entrainment of Neuronal Oscillations as a Mechanism of Attentional Selection. *Science*, 320(5872), 110-113. doi: 10.1126/science.1154735

- Lal, S. K., & Craig, A. (2001). A critical review of the psychophysiology of driver fatigue. *Biological Psychology*, 55(3), 173-194. doi: 10.1016/S0301-0511(00)00085-5
- Lang, M., Lang, W., Diekmann, V., & Kornhuber, H. H. (1987). The frontal theta rhythm indicating motor and cognitive learning. In R. J. Johnson, J. W. Rohrbaugh & R. Parasuraman (Hrsg.), *Current trends in event-related potential reserach (EEG Supplement 40)* (S. 391-396). Amsterdam: Elsevier, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Laukka, S. J., Järvillehto, T., Alexandrov, Y. I., & Lindqvist, J. (1995). Frontal midline theta related to learning in a simulated driving task. *Biological Psychology*, 40(3), 313-320. doi: 10.1016/0301-0511(95)05122-Q
- Lutzenberger, W., Elbert, T., Rockstroh, B., & Birbaumer, N. (1985). *Das EEG. Psychophysiologie und Methodik von Spontan-EEG und ereigniskorrelierten Potentialen*. Berlin: Springer.
- Mach, Q. H., Hunter, M. D., & Grewal, R. S. (2010). Neurophysiological correlates in interface design: An HCI perspective. *Computers in Human Behavior*, 26(3), 371-376. doi: 10.1016/j.chb.2009.11.008
- MacKenzie, S. (1992). Fitt's Law as a Research and Design Tool in Human-Computer Interaction. *Human-Computer Interaction*, 7(1), 91-139. doi: 10.1207/s15327051hci0701_3
- Manzey, D. (1998). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie* (Vol. 5, S. 799-864). Göttingen: Hogrefe.
- Mecklinger, A., & Bösel, R. (1989). Veränderungen im EEG-Frequenzspektrum bei verschiedenen Phasen mentaler Belastung. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 36(3), 453-475.
- Meltzer, J. A., Zaveri, H. P., Goncharova, I. I., Distasio, M. M., Papademetris, X., Spencer, S. S. et al. (2008). Effects of Working Memory Load on Oscillatory Power in Human Intracranial EEG. *Cerebral Cortex*, 18(8), 1843-1855. doi: 10.1093/cercor/bhm213
- Mind Media, B. V. (n.d.). Benutzerhandbuch NeXus-4. Roermond-Herten.
- Miyake, S., Yamada, S., Shoji, T., Takae, Y., Kuge, N., & Yamamura, T. (2009). Physiological responses to workload change. A test/retest examination. *Applied Ergonomics*, 40(6), 987-996. doi: 10.1016/j.apergo.2009.02.005

- Müller, M. M., Gruber, T., & Keil, A. (2000). Modulation of induced gamma band activity in the human EEG by attention and visual information processing. *International Journal of Psychophysiology*, 38(3), 283-299. doi: 10.1016/S0167-8760(00)00171-9
- Murata, A. (2005). An Attempt to Evaluate Mental Workload Using Wavelet Transform of EEG. *Human Factors*, 47(3), 498-508. doi: 10.1518/001872005774860096
- Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (1996). Die Steuerung von Handlungen. In G. Roth & W. Prinz (Hrsg.), *Kopf-Arbeit: Gehirnfunktionen und kognitive Leistungen* (S. 309-358). Heidelberg: Spektrum.
- Natani, K., & Gomer, F. (1981). Electro cortical activity and operator workload: A comparison in the electroencephalogram and in event-related potentials. In McDonnell Douglas Astronautics company-St. Louis Division. (Hrsg.), Technical report MDC E2427 (S. 1-32). St. Louis: McDonnell Douglas Corporation. Zugriff am 25.06.2015. Verfügbar unter <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a237188.pdf>
- Norman, D. A. (1989). *Dinge des Alltags. Gutes Design und Psychologie für Gebrauchsgegenstände*. Frankfurt/Main: Campus Verlag.
- Oesterreich, R. (2001). Das Belastungs-Beanspruchungskonzept im Vergleich mit arbeitspsychologischen Konzepten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 55(3), 162-178.
- Paas, F., van Gog, T., & Sweller, J. (2010). Cognitive Load Theory: New Conceptualizations, Specifications, and Integrated Research Perspectives. *Educational Psychology Review*, 22(2), 115-121. doi: 10.1007/s10648-010-9133-8
- Pennkamp, P., Bösel, R., Mecklinger, A., & Ott, H. (1994). Differences in EEG-theta for responded and omitted targets in a sustained attention task. *Journal of Psychophysiology*, 8(2), 131-141.
- Pesonen, M., Hämäläinen, H., & Krause, C. M. (2007). Brain oscillatory 4-30 Hz responses during a visual n-back memory task with varying memory load. *Brain Research*, 1138, 171-177. doi: 10.1016/j.brainres.2006.12.076
- Pigeau, R., Hoffmann, R., Purcell, S., & Moffitt, A. (1988). The effect of endogenous alpha on hemispheric asymmetries and the relationship of frontal theta to sustained attention. In K. Jessen (Hrsg.), *Electrical and magnetic activity of the central nervous system: Research and clinical applications in aerospace medicine*. AGARD Conference Proceedings No. 432 (Kap. 20, S. 1-16). Neuville-sur-Seine: NATO Advisory Group for Aerospace Research and Development. Zugriff am 17.07.2015. Verfügbar unter <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a195265.pdf>

- Pivik, R. T., Broughton, R. J., Coppola, R., Davidson, R. J., Fox, N., & Nuwer, M. R. (1993). Guidelines for the recording and quantitative analysis of electroencephalographic activity in research contexts. *Psychophysiology*, 30(6), 547-558. doi: 10.1111/j.1469-8986.1993.tb02081.x
- Postma, M. A., Schellekens, J. M., Hanson, E. K., & Hoozeboom, P. J. (2005). Fz theta divided by Pz alpha as an index of task load during a PC-based air traffic control simulation. In D. de Waard, D. Brookhuis, R. van Egmond & T. Boersma (Hrsg.), *Human Factors in Design, Safety, and Management* (S. 1-5). Maastricht: Shaker Publishing, zitiert nach Borghini, G., Astolfi, L., Vecchiato, G., Mattia, D., & Babiloni, F. (2014). Measuring neurophysiological signals in aircraft pilots and car drivers for the assessment of mental workload, fatigue and drowsiness. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44(Special Issue), 58-75. doi: 10.1016/j.neubiorev.2012.10.003
- Proctor, R. W., & Vu, K.-P. L. (2006). *Stimulus-Response Compatibility Principles: Data, Theory, and Application*. Boca Raton: CRC Press, zitiert nach Proctor, R. W., & Vu, K.-P. L. (2010). Cumulative Knowledge and Progress in Human Factors. *Annual Review of Psychology*, 61, 623-651. doi: 10.1146/annurev.psych.093008.100325
- Proctor, R. W., & Vu, K.-P. L. (2009). Human information processing: an overview for human-computer interaction. In A. Sears & J. A. Jacko (Hrsg.), *Human-computer interaction. Fundamentals* (S. 19-38). Boca Raton: CRC Press.
- Proctor, R. W., & Vu, K.-P. L. (2010). Cumulative Knowledge and Progress in Human Factors. *Annual Review of Psychology*, 61, 623-651. doi: 10.1146/annurev.psych.093008.100325
- Rebert, C. S., Low, D. W., & Larson, F. (1984). Differential hemispheric activation during complex visuomotor performance: Alpha trends and theta. *Biological Psychology*, 19(3-4), 159-168. doi: 10.1016/0301-0511(84)90034-6
- Reimer, B., & Mehler, B. (2011). The impact of cognitive workload on physiological arousal in young adult drivers: a field study and simulation validation. *Ergonomics*, 54(10), 932-942. doi: 10.1080/00140139.2011.604431
- Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.

- Rieder, M. K., Rahm, B., Williams, J. D., & Kaiser, J. (2011). Human gamma-band activity and behavior. *International Journal of Psychophysiology*, 79(1), 39-48. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2010.08.010
- Roberts, M. E., Barthel, F. M.-S., Lopez, C., Tchanturia, K., & Treasure, J. L. (2011). Development and validation of the Detail and Flexibility Questionnaire (DFlex) in eating disorders. *Eating Behaviors*, 12(3), 168-174. doi: 10.1016/j.eatbeh.2011.04.001
- Rohmert, W. (1984). Das Belastungs-Beanspruchungskonzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 38, 193-200, zitiert nach Manzey, D. (1998). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie* (Vol. 5, S. 799-864). Göttingen: Hogrefe.
- Roux, F., & Uhlhaas, P. J. (2014). Working memory and neural oscillations: alpha-gamma versus theta-gamma codes for distinct WM information? *Trends in Cognitive Sciences*, 18(1), 16-25. doi: 10.1016/j.tics.2013.10.010
- Rugg, M. D., & Dickens, A. M. J. (1982). Dissociation of alpha and theta activity as a function of verbal and visuospatial tasks. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 53(2), 201-207. doi: 10.1016/0013-4694(82)90024-4, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Ryu, K., & Myung, R. (2005). Evaluation of mental workload with a combined measure based on physiological indices during a task of tracking and mental arithmetic. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 35(11), 991-1009. doi: 10.1016/j.ergon.2005.04.005
- Saadé, R. G., & Otrakji, C. A. (2007). First impressions last a lifetime: effect of interface type on disorientation and cognitive load. *Computers in Human Behavior*, 23(1), 525-535. doi: 10.1016/j.chb.2004.10.035
- Sanders, A. F. (1998). *Elements of human performance: reaction processes and attention in human skill*. Mahwah: Erlbaum.
- Satzinger, J. W., & Olfman, L. (1998). User interface consistency across end-user applications: The effects on mental models. *Journal of Management Information Systems*, 14(4), 167-193.

- Sauseng, P., & Klimesch, W. (2008). What does phase information of oscillatory brain activity tell us about cognitive processes? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 32(5), 1001-1013. doi: 10.1016/j.neubiorev.2008.03.014
- Sauseng, P., Klimesch, W., Freunberger, R., Pecherstorfer, T., Hanslmayr, S., & Doppelmayr, M. (2006). Relevance of EEG alpha and theta oscillations during task switching. *Experimental Brain Research*, 170(3), 295-301. doi: 10.1007/s00221-005-0211-y
- Schacter, D. L. (1977). EEG theta waves and psychological phenomena: A review and analysis. *Biological Psychology*, 5(1), 47-82. doi: 10.1016/0301-0511(77)90028-X
- Schadow, J., Dettler, N., Paramei, G. V., Lenz, D., Fründ, I., Sabel, B. A. et al. (2009). Impairments of Gestalt perception in the intact hemifield of hemianopic patients are reflected in gamma-band EEG activity. *Neuropsychologia*, 47(2), 556-568. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2008.10.012
- Schroeder, C. E., & Lakatos, P. (2008). Low-frequency neuronal oscillations as instruments of sensory selection. *Trends in Neurosciences*, 32(1), 9-18. doi: 10.1016/j.tins.2008.09.012
- Schulenberg, S. E., & Melton, A. M. (2008). The Computer Aversion, Attitudes, and Familiarity Index (CAAFI): A validity study. *Computers in Human Behavior*, 24(6), 2620-2638. doi: 10.1016/j.chb.2008.03.002
- Selvidge, P. R., Chaparro, B. S., & Bender, G. T. (2002). The world wide wait: effects of delays on user performance. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 29(1), 15-20. doi: 10.1016/S0169-8141(01)00045-2
- Shiu, L.-p., & Chan, T.-c. (2006). Unlearning a stimulus-response association. *Psychological Research*, 70(3), 193-199. doi: 10.1007/s00426-004-0201-x
- Shneiderman, B. (1998). *Designing the user interface* (3. Aufl.). Reading: Addison, Wesley, and Longman.
- Sirevaag, E., Kramer, A. F., De Jong, R., & Mecklinger, A. (1988). A psychophysiological analysis of multi-task-processing demands. *Psychophysiology*, 25(4), 482-482, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Slobounov, S. M., Fukada, K., Simon, R., Rearick, M., & Ray, W. (2000). Neurophysiological and behavioral indices of time pressure effects on visuomotor task performance. *Cognitive Brain Research*, 9(3), 287-298. doi: 10.1016/S0926-6410(00)00009-4

- Smith, M. E., Gevins, A., Brown, H., Karnik, A., & Du, R. (2001). Monitoring task loading with multivariate EEG measures during complex forms of human-computer interaction. *Human Factors*, 43(3), 366-380. doi: 10.1518/001872001775898287
- Statsoft (2015). Statistica Help. Zugriff am 08.08.2015. Verfügbar unter <http://documentation.statsoft.com/STATISTICAHelp.aspx?path=Gxx/Glm/Overviews/VisualGLMIntroductoryOverviewDoublyMultivariateDesigns>
- Sterman, M. B., & Mann, C. A. (1995). Concepts and applications of EEG analysis in aviation performance evaluation. *Biological Psychology*, 40(1-2), 115-130. doi: 10.1016/0301-0511(95)05101-5
- Sterman, M. B., Schummer, G. J., Dushenko, T. W., & Smith, J. C. (1988). Electroencephalographic Correlates of Pilot Performance: Simulation and In-Flight studies. In K. Jessen (Hrsg.), *Electrical and magnetic activity of the central nervous system: Research and clinical applications in aerospace medicine*. AGARD Conference Proceedings No. 432 (Kap. 31, S. 1-16). Neuville-sur-Seine: NATO Advisory Group for Aerospace Research and Development. Zugriff am 15.07.2015. Verfügbar unter <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a195265.pdf>
- Sweller, J. (2010). Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138. doi: 10.1007/s10648-010-9128-5
- Szalma, J. L., & Hancock, P. A. (2009). Task loading and stress in human-computer interaction: theoretical frameworks and mitigation strategies. In A. Sears & J. A. Jacko (Hrsg.), *Human-computer interaction. Fundamentals* (pp. 91-108). Boca Raton: CRC Press.
- Szameitat, A. J., Rummel, J., Szameitat, D. P., & Sterr, A. (2009). Behavioral and emotional consequences of brief delays in human-computer interaction. *International Journal of Human-Computer Studies*, 67(7), 561-570. doi: 10.1016/j.ijhcs.2009.02.004
- Torsvall, L., & Åkerstedt, T. (1983). Sleepiness and irregular work hours. *Sleep Research*, 12, 376-376, zitiert nach Boucsein, W., & Baks, R. W. (2000). Engineering Psychophysiology as a Discipline: Historical and Theoretical Aspects. In R. W. Baks & W. Boucsein (Hrsg.), *Engineering Psychophysiology: Issues and Applications* (S. 3-30). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

- Torsvall, L., & Åkerstedt, T. (1987). Sleepiness on the job: Continuously measured EEG changes in train drivers. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 66(6), 502-511. doi: 10.1016/0013-4694(87)90096-4, zitiert nach Boucsein, W., & Backs, R. W. (2000). Engineering Psychophysiology as a Discipline: Historical and Theoretical Aspects. In R. W. Backs & W. Boucsein (Hrsg.), *Engineering Psychophysiology: Issues and Applications* (S. 3-30). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Trimmel, M. (1990). *Angewandte und Experimentelle Neuropsychophysiologie*. Heidelberg: Springer.
- Trimmel, M. (2009). *Wissenschaftliches Arbeiten in Psychologie und Medizin*. Wien: Facultas.
- Trimmel, M. (2010). Aufmerksamkeit. In W. Heiß (Ed.), *Altersmedizin aktuell*. Heidelberg: Hüthig, Jehle, Rehm - ecomed Medizin, zitiert nach Trimmel, M. (2013). *Allgemeine Psychologie 2: Kognitive Psychologie*. Wien: Facultas.
- Trimmel, M. (2013). *Allgemeine Psychologie 2: Kognitive Psychologie*. Wien: Facultas.
- Trimmel, M. (2015). *Einführung in die Psychologie. Motivation, Emotion und Lernprinzipien*. Wien: Lit Verlag.
- Trimmel, M., & Koller, M. (2012). Kognitiver Ergonomietest. Wien: Universität.
- Trimmel, M., Meixner-Pendleton, M., & Haring, S. (2003). Stress Response Caused by System Response Time when Searching for Information on the Internet. *Human Factors*, 45(4), 615-621. doi: 10.1518/hfes.45.4.615.27084
- van Gog, T., Paas, F., & Sweller, J. (2010). Cognitive Load Theory: Advances in Research on Worked Examples, Animations, and Cognitive Load Measurement. *Educational Psychology Review*, 22(4), 375-378. doi: 10.1007/s10648-010-9145-4
- Walter, D. O., Rhodes, J. M., & Adey, W. R. (1967). Discriminating among states of consciousness by EEG measures. A study of 4 subjects. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 22(1), 22-29, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Ward, L. M. (2003). Synchronous neural oscillations and cognitive processes. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(12), 553-559. doi: 10.1016/j.tics.2003.10.012

- Wascher, E., Rasch, B., Sanger, J., Hoffmann, S., Schneider, D., Rinkenauer, G., Heuer, H., & Gutberlet, I. (2014). Frontal theta activity reflects distinct aspects of mental fatigue. *Biological Psychology*, 96, 57-65. doi: 10.1016/j.biopsycho.2013.11.010
- Welford, A. T. (1980). *Reaction Times*. London: Academic Press, zitiert nach Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (1996). Die Steuerung von Handlungen. In G. Roth & W. Prinz (Hrsg.), *Kopf-Arbeit: Gehirnfunktionen und kognitive Leistungen* (S. 309-358). Heidelberg: Spektrum.
- Welsh, T. N., Weeks, D. J., Chua, R., & Goodman, D. (2009). Perceptual-motor interaction: some implications for HCI. In A. Sears & J. A. Jacko (Hrsg.), *Human-computer interaction. Fundamentals* (S. 3-17). Boca Raton: CRC Press.
- Wickens, C. D. (1998). *Engineering psychology and human performance*. New York: Harper.
- Wieland-Eckelmann, R. (1992). *Kognition, Emotion und psychische Beanspruchung: Theoretische und empirische Studien zu informationsverarbeitenden Tätigkeiten*. Göttingen: Hogrefe.
- Will, U., & Berg, E. (2007). Brain wave synchronization and entrainment to periodic acoustic stimuli. *Neuroscience Letters*, 424(1), 55-60. doi: 10.1016/j.neulet.2007.07.036
- Wilson, G. F. (2001). In-flight psychophysiological monitoring. In J. Fahrenberg & M. Myrtek (Hrsg.), *Progress in Ambulatory Assessment, Computer-assisted psychological and psychophysiological Methods in Monitoring and Field Studies*. Bern, Göttingen: Hogrefe & Huber, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Wilson, G. F., Swain, C. R., & Ullsperger, P. (1999). EEG power changes during a multiple level memory retention task. *International Journal of Psychophysiology*, 32(2), 107-118. doi: 10.1016/S0167-8760(99)00005-7
- Wright, N., & McGown, A. (2001). Vigilance on the civil flight deck: Incidence of sleepiness and sleep during long-haul flights and associated changes in physiological parameters. *Ergonomics*, 44(1), 82-106. doi: 10.1080/00140130150203893
- Yamada, F. (1998). Frontal midline theta rhythm and eyeblinking activity during a VDT task and a video game: useful tools for psychophysiology in ergonomics. *Ergonomics*, 41(5), 678-688. doi: 10.1080/001401398186847

- Yamaguchi, Y. (1981). Frontal midline theta activity. In N. Yamaguchi & N. Fujisawa (Hrsg.), *Recent advances in EEG and MEG data processing* (S. 391-396). Amsterdam: North-Holland, zitiert nach Ribback, S. (2002). *Psychophysiologische Untersuchung mentaler Beanspruchung in simulierten Mensch-Maschine-Interaktionen*. Dissertation, Universität Potsdam, Potsdam.
- Yamamoto, S., Matsuoka, S., & Ishikawa, T. (1989). Variations in EEG activities during VDT operation. In M. J. Smith & G. Salvendy (Hrsg.), *Work with computers: Organizational, management, stress and health aspects* (S. 225-232). Amsterdam: Elsevier, zitiert nach Boucsein, W., & Baks, R. W. (2000). Engineering Psychophysiology as a Discipline: Historical and Theoretical Aspects. In R. W. Baks & W. Boucsein (Hrsg.), *Engineering Psychophysiology: Issues and Applications* (S. 3-30). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Young, M. S., Brookhuis, K. A., Wickens, C. D., & Hancock, P. A. (2015). State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics*, 58(1), 1-17. doi: 10.1080/00140139.2014.956151

ANHANG

1 Testmaterialien

1.1 PC-Programm: Aufbau

Tabelle 52. Die acht Programmversionen des Computerprogramms „Kognitiver Ergonomietest“ (Trimmel & Koller, 2012) sowie die Permutationen der Bedingungen bezüglich der drei Subtests **Liste**, **Herd** und **Kreuz**.

VERSION	Mausklicke	Mausklicke links/rechts	1. SUBTEST KREUZ						2. SUBTEST HERD			3. SUBTEST LISTE	
01	10 x klicken	Große Zielfläche Kleine Zielfläche	ANALOG LP/TLP	ANALOG ULP/TULP	DIGITAL LP/TLP	DIGITAL ULP/TULP	VERBAL LP/TLP	VERBAL ULP/TULP	LINEAR ENG	LINEAR WEIT	NATÜRLICHES MAPPING	ENG	WEIT
Reihenfolge		5 x klicken 5 x klicken	1		2		3		1	2	3	1	2
02	10 x klicken	Große Zielfläche Kleine Zielfläche	ANALOG LP/TLP	ANALOG ULP/TULP	DIGITAL LP/TLP	DIGITAL ULP/TULP	VERBAL LP/TLP	VERBAL ULP/TULP	LINEAR ENG	LINEAR WEIT	NATÜRLICHES MAPPING	ENG	WEIT
Reihenfolge		5 x klicken 5 x klicken	1		2		3		2	1	3	2	1
03	10 x klicken	Große Zielfläche Kleine Zielfläche	ANALOG LP/TLP	ANALOG ULP/TULP	DIGITAL LP/TLP	DIGITAL ULP/TULP	VERBAL LP/TLP	VERBAL ULP/TULP	LINEAR ENG	LINEAR WEIT	NATÜRLICHES MAPPING	ENG	WEIT
Reihenfolge		5 x klicken 5 x klicken	1		3		2		2	3	1	1	2
04	10 x klicken	Große Zielfläche Kleine Zielfläche	ANALOG LP/TLP	ANALOG ULP/TULP	DIGITAL LP/TLP	DIGITAL ULP/TULP	VERBAL LP/TLP	VERBAL ULP/TULP	LINEAR ENG	LINEAR WEIT	NATÜRLICHES MAPPING	ENG	WEIT
Reihenfolge		5 x klicken 5 x klicken			1		2		3	2	1	2	1

VERSION	Mausklicke	Mausklicke links/rechts	1. SUBTEST HERD			2. SUBTEST LISTE		3. SUBTEST KREUZ					
05	10 x klicken	Große Zielfläche Kleine Zielfläche	LINEAR ENG	LINEAR WEIT	NATÜRLICHES MAPPING	ENG	WEIT	ANALOG LP/TLP	ANALOG ULP/TULP	DIGITAL LP/TLP	DIGITAL ULP/TULP	VERBAL LP/TLP	VERBAL ULP/TULP
Reihenfolge		5 x klicken 5 x klicken	1	2	3	1	2		2		1		3
06	10 x klicken	Große Zielfläche Kleine Zielfläche	LINEAR ENG	LINEAR WEIT	NATÜRLICHES MAPPING	ENG	WEIT	ANALOG LP/TLP	ANALOG ULP/TULP	DIGITAL LP/TLP	DIGITAL ULP/TULP	VERBAL LP/TLP	VERBAL ULP/TULP
Reihenfolge		5 x klicken 5 x klicken	2	1	3	2	1		2		3		1
07	10 x klicken	Große Zielfläche Kleine Zielfläche	LINEAR ENG	LINEAR WEIT	NATÜRLICHES MAPPING	ENG	WEIT	ANALOG LP/TLP	ANALOG ULP/TULP	DIGITAL LP/TLP	DIGITAL ULP/TULP	VERBAL LP/TLP	VERBAL ULP/TULP
Reihenfolge		5 x klicken 5 x klicken	2	3	1	1	2		3		2		1
08	10 x klicken	Große Zielfläche Kleine Zielfläche	LINEAR ENG	LINEAR WEIT	NATÜRLICHES MAPPING	ENG	WEIT	ANALOG LP/TLP	ANALOG ULP/TULP	DIGITAL LP/TLP	DIGITAL ULP/TULP	VERBAL LP/TLP	VERBAL ULP/TULP
Reihenfolge		5 x klicken 5 x klicken	3	2	1	2	1		3		2		1

Anmerkungen. Subtest **Kreuz**: LP = Lernblock der Lernphase. TLP = Testblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase. TULP = Testblock der Umlernphase.

1.2 PC-Programm: Anleitungen (Instruktionen)

1.2.1 Subtest Liste

„Textsuche“

ZUERST: Zahl 12 suchen und anklicken!

DANN: Den dazugehörigen OK-Button anklicken!

Gelb ist die Farbe, die signalisiert, dass Sie richtig geklickt haben. Rot ist die Farbe, die erscheint, wenn Sie falsch geklickt haben. Suchen Sie dann weiter nach der richtigen Ziffer oder dem richtigen OK-Button!

Die Zeit ist begrenzt, arbeiten Sie daher so schnell, aber auch so korrekt wie möglich!“

1.2.2 Subtest Herd

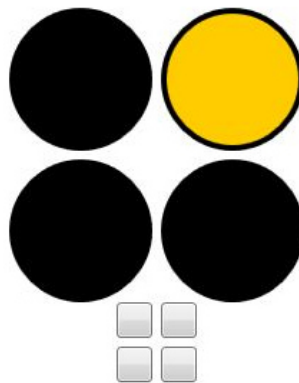
„Herdplatte

Sie haben vier Herdplatten mit vier Bedienelementen vor sich. Es soll jenes Bedienelement möglichst rasch betätigt werden, das zu der Herdplatte mit gelber Farbänderung gehört.

Wenn Sie einen falschen Schalter betätigen, versuchen Sie es bitte mit einem anderen Schalter, bis sich die gelbe Herdplatte schwarz färbt!

Die Zeit ist begrenzt, arbeiten Sie daher so schnell, aber auch so korrekt wie möglich!

Hier sehen sie ein Bild:“



1.2.3 Subtest Kreuz

1.2.3.1 Anleitung 1

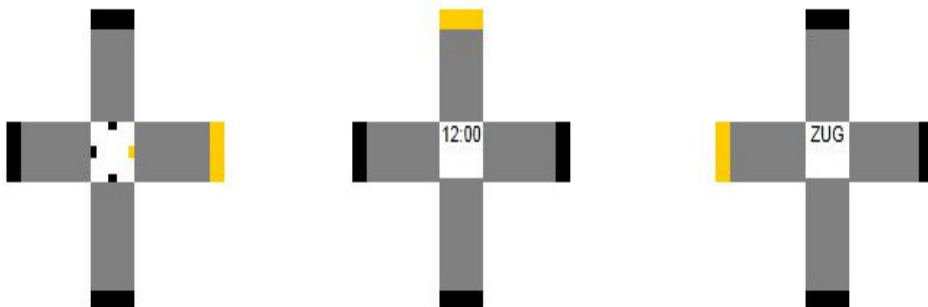
„Richtungstest

Sie werden ein Kreuz sehen.

In der Mitte des Kreuzes wird ein Hinweis eingeblendet, zu welchem der vier Enden des Kreuzes Sie mit dem Mauszeiger fahren müssen.

Die Zeit ist begrenzt, arbeiten Sie daher so schnell, aber auch so korrekt wie möglich!

Klicken Sie auf weiter, um eine Instruktion zu starten!“



1.2.3.2 Anleitung 2

„Jetzt wird Ihnen gezeigt, welches Ende des Kreuzes berührt werden soll, wenn in der Mitte des Kreuzes eine der vier Positionsanzeigen aufleuchtet. Klicken Sie auf weiter, um zu beginnen!“

1.2.3.3 Anleitung 3

„Nun müssen Sie diese Zuordnung anwenden. Bewegen Sie den Mauszeiger auf das Ende des Kreuzes, das verlangt wird, wenn eine Positionsanzeige in der Mitte des Kreuzes aufleuchtet. Wenn Sie einen Fehler machen, wird das von Ihnen berührte Ende rot eingefärbt und das richtige gelb. Sie können einen Fehler nicht ausbessern. Klicken Sie auf weiter, um zu beginnen!“

1.3 Fragebogen: Soziodemographische Daten

HCI STUDIE

Im Folgenden bitten wir Sie, allgemeine Angaben zu Ihrer Person zu machen. Bitte kreuzen Sie Zutreffendes an.

Geschlecht	☐ männlich ☐ weiblich
Alter: _____ Jahre	
Welche ist Ihre dominante Hand?	☐ rechte Hand ☐ linke Hand
Haben Sie eine Sehbehinderung? Wenn ja, tragen Sie eine Sehhilfe (Brille, Kontaktlinsen)?	☐ ja ☐ nein ☐ ja ☐ nein
Höchste abgeschlossene Ausbildung	☐ Pflichtschule ☐ Pflichtschule mit Lehre ☐ Berufsbildende mittlere Schule (z.B. Handelsschule) ☐ Allgemein Bildende höhere Schule (AHS) ☐ Berufsbildende höhere Schule (BhS, z.B. HAK, HTL) ☐ Fachhochschule ☐ Studium /Universität (Bak.) ☐ Studium /Universität (Mag.; Dr.med.) ☐ Doktor phil.

Muttersprache: _____ Kenntnis der deutschen Sprache	☐ sehr gut ☐ gut ☐ eher gut ☐ eher schlecht ☐ schlecht ☐ sehr schlecht
Wie gut haben Sie letzte Nacht geschlafen?	☐ sehr schlecht ☐ schlecht ☐ mittelmäßig ☐ gut ☐ sehr gut
Wie ausgeruht fühlen Sie sich heute?	☐ gar nicht ☐ wenig ☐ mittel ☐ ziemlich ☐ sehr
Wie viel Stress haben Sie heute (zu Hause, bzw. bei der Anreise) erlebt?	☐ gar keinen ☐ wenig ☐ mittel ☐ ziemlich ☐ sehr viel
Wie viel Stress empfinden Sie im Moment?	☐ gar keinen ☐ wenig ☐ mittel ☐ ziemlich ☐ sehr viel
Haben Sie im Moment Symptome folgender Art? (Mehrfachantworten möglich)	☐ Kopfschmerzen ☐ Bauchschmerzen ☐ Gliederschmerzen ☐ Rückenschmerzen ☐ Zahnschmerzen ☐ tränende Augen ☐ trockene Augen ☐ laufende Nase ☐ verstopfte Nase

2 Deskriptivstatistiken zur Stichprobe

Tabelle 53. Deskriptivstatistiken zur gesamten Stichprobe (N = 104).

STICHPROBENBESCHREIBUNG					
FRAGE	ANTWORT	STATISTIK	GESCHLECHT		
			MÄNNLICH	WEIBLICH	GESAMT
Seh- behinderung	Ja	ANZAHL	32	27	59
		PROZENT (%)	54.2	45.8	57.3
	Nein	ANZAHL	25	19	44
		PROZENT (%)	56.8	43.2	42.7
Sehhilfe	Ja	ANZAHL	30	26	56
		PROZENT (%)	53.6	46.4	64.4
	Nein	ANZAHL	17	14	31
		PROZENT (%)	54.8	45.2	35.6
Mutter- sprache	Deutsch	ANZAHL	42	29	71
		PROZENT (%)	59.2	40.8	73.2
	Andere	ANZAHL	12	14	26
		PROZENT (%)	46.2	53.8	26.8
Sprach- kenntnis Deutsch	Eher Gut	ANZAHL	4	3	7
		PROZENT (%)	6.9	6.8	6.9
	Gut	ANZAHL	12	7	19
		PROZENT (%)	20.7	15.9	18.6
	Sehr Gut	ANZAHL	42	34	76
		PROZENT (%)	72.4	77.3	74.5
	Pflichtschule	ANZAHL	2	0	2
		PROZENT (%)	100	0	1.9
Ausbildung	BMS	ANZAHL	0	2	2
		PROZENT (%)	0	100	1.9
	AHS	ANZAHL	22	24	46
		PROZENT (%)	47.8	52.2	44.2
	BHS	ANZAHL	21	11	32
		PROZENT (%)	65.6	34.4	30.8
	Studium- Berechtigungsprüfung	ANZAHL	3	0	3
		PROZENT (%)	100	0	2.9
	Fachhochschule	ANZAHL	3	1	4
		PROZENT (%)	75	25	3.8
	Bakkalaureat	ANZAHL	5	6	11
		PROZENT (%)	45.5	54.5	10.6
	Magister/Master, Dr. med	ANZAHL	2	1	3
		PROZENT (%)	66.7	33.3	2.9
Studium	Dr. phil.	ANZAHL	0	1	1
		PROZENT (%)	0	100	1
	Informatik	ANZAHL	48	20	68
		PROZENT (%)	70.6	29.4	72.3
	Psychologie	ANZAHL	4	15	19
		PROZENT (%)	21	78.9	20.2
	Anderes	ANZAHL	3	4	7
		PROZENT (%)	42.9	57.1	7.4

Tabelle 54. Deskriptivstatistiken zu körperlichen Beschwerden (N = 41).

KÖRPERLICHE BESCHWERDEN				
		GESCHLECHT		
SYMPTOM	STATISTIK	MÄNNLICH	WEIBLICH	GESAMT
Kopf-schmerzen	ANZAHL	3	10	13
	PROZENT (%) innerhalb SYMPTOM	23.1	76.9	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	16.7	43.5	60.2
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	7.3	24.4	31.7
Bauch-schmerzen	ANZAHL	0	2	2
	PROZENT (%) innerhalb SYMPTOM	0	100	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	0	8.7	8.7
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	0	4.9	4.9
Glieder-schmerzen	ANZAHL	1	0	1
	PROZENT (%) innerhalb SYMPTOM	100	0	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	5.6	0	5.6
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	2.4	0	2.4
Rücken-schmerzen	ANZAHL	4	8	12
	PROZENT (%) innerhalb SYMPTOM	33.3	66.7	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	22.2	34.8	57
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	9.8	19.5	29.3
Zahn-schmerzen	ANZAHL	1	0	1
	PROZENT (%) innerhalb SYMPTOM	100	0	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	5.6	0	5.6
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	2.4	0	2.4
Tränende Augen	ANZAHL	3	0	3
	PROZENT (%) innerhalb SYMPTOM	100	0	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	16.7	0	16.7
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	7.3	0	7.3
Trockene Augen	ANZAHL	5	8	13
	PROZENT (%) innerhalb SYMPTOM	38.5	61.5	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	27.8	34.8	62.6
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	12.2	19.5	31.7
Laufende Nase	ANZAHL	2	1	3
	PROZENT (%) innerhalb SYMPTOM	66.7	33.3	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	11.1	4.3	15.4
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	4.9	2.4	7.3
Verstopfte Nase	ANZAHL	3	4	7
	PROZENT (%) innerhalb SYMPTOM	42.9	57.1	100
	PROZENT (%) innerhalb GESCHLECHT	16.7	17.4	34.1
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	7.3	9.8	17.1
GESAMT	ANZAHL	18	23	41
	PROZENT (%) der GESAMTZAHL	43.9	56.1	100

Tabelle 55. Deskriptivstatistiken zum allgemeinen Befinden (N = 104)

STICHPROBENBESCHREIBUNG II					
FRAGE	ANTWORT	STATISTIK	GESCHLECHT		GESAMT
			MÄNNLICH	WEIBLICH	
Schlafqualität letzte Nacht	sehr schlecht	ANZAHL	5	0	5
		PROZENT (%)	100	0	4.8
	schlecht	ANZAHL	7	4	11
		PROZENT (%)	63.6	36.4	10.6
	mittelmäßig	ANZAHL	16	15	31
		PROZENT (%)	51.6	48.4	29.8
	gut	ANZAHL	14	22	36
		PROZENT (%)	38.9	61.1	34.6
	sehr gut	ANZAHL	16	5	21
		PROZENT (%)	76.2	23.8	20.2
Munterkeit	gar nicht	ANZAHL	2	3	5
		PROZENT (%)	40	60	4.8
	wenig	ANZAHL	12	8	20
		PROZENT (%)	60	40	19.2
	mittel	ANZAHL	21	17	38
		PROZENT (%)	55.3	44.7	36.5
	ziemlich	ANZAHL	18	16	34
		PROZENT (%)	52.9	47.1	32.7
	sehr	ANZAHL	5	2	7
		PROZENT (%)	71.4	28.6	6.7
Stress vor Testung (zu Hause, bei Anreise)	gar keinen	ANZAHL	9	9	18
		PROZENT (%)	50	50	17.3
	wenig	ANZAHL	18	14	32
		PROZENT (%)	56.3	43.7	30.8
	mittel	ANZAHL	16	14	30
		PROZENT (%)	53.3	46.7	28.8
	ziemlich	ANZAHL	12	8	20
		PROZENT (%)	60	40	19.2
	sehr viel	ANZAHL	3	1	4
		PROZENT (%)	75	25	3.8
Stress im Moment	gar keinen	ANZAHL	12	12	24
		PROZENT (%)	50	50	23.1
	wenig	ANZAHL	29	20	49
		PROZENT (%)	59.2	40.8	47.1
	mittel	ANZAHL	14	11	25
		PROZENT (%)	56	44	24
	ziemlich	ANZAHL	2	1	3
		PROZENT (%)	66.7	33.3	2.9
	sehr viel	ANZAHL	1	2	3
		PROZENT (%)	33.3	66.7	2.9

3. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten

3.1 Subtest Liste

Tabelle 56. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX im Subtest **Liste** bei Zugrundelegung der Fallzahlen der Analyse der elektrodermalen Aktivität.

NASA-TLX SKALENPUNKTE – DIFFERENZWERTE (N=99)		
NASA-TLX SKALA	M	SD
Geistige Anforderung	-1.980	2.955
Körperliche Anforderung	-1.960	3.563
Zeitdruck	-2.172	3.229
Anstrengung	-1.212	2.608
Fehlleistung	-1.889	3.801
Frustration	-2.424	4.123

Anmerkungen: Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung ENG minus Skalenpunkte der Bedingung WEIT. N = 97.

Tabelle 57. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX im Subtest **Liste** bei Zugrundelegung der Fallzahlen der Analyse des Spontan-EEG.

NASA-TLX SKALENPUNKTE – DIFFERENZWERTE (N=89)		
NASA-TLX SKALA	M	SD
Geistige Anforderung	-1.943	2.809
Körperliche Anforderung	-1.977	3.609
Zeitdruck	-2.023	3.054
Anstrengung	-1.425	2.390
Fehlleistung	-1.908	3.725
Frustration	-2.264	4.219

Anmerkungen: Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung ENG minus Skalenpunkte der Bedingung WEIT. N = 87.

3.2 Subtest Herd

Tabelle 58. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der objektiven Verhaltensindikatoren (Reaktionszeiten und prozentuelle Trefferraten) im Subtest **Herd**.

OBJEKTIVE VERHALTENSINDIKATOREN - DIFFERENZWERTE						
	NAT.MAP – LW ¹		NAT. MAP. – LE ²		LW – LE ³	
	M	SD	M	SD	M	SD
Reaktionszeiten	-784.819	632.342	-667.478	594.370	117.341	589.272
Prozentuelle Trefferraten	0.147	0.226	0.087	0.209	-0.060	0.203

Anmerkungen: ¹Die Differenzwerte wurden folgendermaßen berechnet: Reaktionszeiten/prozentuelle Trefferraten der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING minus Reaktionszeiten/prozentuelle Trefferraten der Bedingung LINER WEIT. ²Die Differenzwerte wurden folgendermaßen berechnet: Reaktionszeiten/prozentuelle Trefferraten der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING minus Reaktionszeiten/prozentuelle Trefferraten der Bedingung LINER ENG. ³Die Differenzwerte wurden folgendermaßen berechnet: Reaktionszeiten/prozentuelle Trefferraten der Bedingung LINEAR WEIT minus Reaktionszeiten/prozentuelle Trefferraten der Bedingung LINER ENG. N = 102.

Tabelle 59. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX im Subtest **Herd** bei Zugrundelegung der Fallzahlen der Analyse des elektrodermalen Aktivität.

NASA-TLX SKALENPUNKTE – DIFFERENZWERTE (N=95)						
	NAT.MAP – LW ¹		NAT. MAP. – LE ²		LW – LE ³	
NASA-TLX SKALA	M	SD	M	SD	M	SD
Geistige Anforderung	-3.126	3.437	-3.537	3.599	-0.411	2.295
Körperliche Anforderung	-1.674	3.133	-1.537	2.831	0.137	1.711
Zeitdruck	-2.421	3.797	-2.505	3.772	-0.084	2.009
Anstrengung	-2.284	3.312	-2.347	3.357	-0.063	2.202
Fehlleistung	-3.895	5.408	-3.684	5.646	0.211	4.092
Frustration	-3.495	5.289	-4.084	5.388	-0.589	4.057

Anmerkungen: ¹Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING minus Skalenpunkte der Bedingung LINER WEIT. ²Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING minus Skalenpunkte der Bedingung LINER ENG. ³Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung LINEAR WEIT minus Skalenpunkte der Bedingung LINER ENG. N=95.

Tabelle 60. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX im Subtest **Herd** bei Zugrundelegung der Fallzahlen der Analyse des Spontan-EEG.

NASA-TLX SKALENPUNKTE – DIFFERENZWERTE (N=89)						
	NAT.MAP – LW ¹		NAT. MAP. – LE ²		LW – LE ³	
NASA-TLX SKALA	M	SD	M	SD	M	SD
Geistige Anforderung	-2.865	3.562	-3.258	3.459	-0.393	2.480
Körperliche Anforderung	-1.607	3.228	-1.506	3.279	0.101	1.659
Zeitdruck	-2.169	3.718	-2.337	3.689	-0.169	2.030
Anstrengung	-2.034	3.325	-2.202	3.304	-0.169	2.423
Fehlleistung	-4.056	4.925	-3.798	5.113	0.258	4.428
Frustration	-3.371	5.329	-3.944	5.597	-0.573	4.459

Anmerkungen: ¹Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING minus Skalenpunkte der Bedingung LINER WEIT. ²Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung NATÜRLICHES MAPPING minus Skalenpunkte der Bedingung LINER ENG. ³Die Differenzwerte wurden pro Skala folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Bedingung LINEAR WEIT minus Skalenpunkte der Bedingung LINER ENG. N=89.

3.3 Subtest Kreuz

Tabelle 61. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der objektiven Verhaltensindikatoren (Reaktionszeiten und prozentuelle Trefferraten) im Subtest **Kreuz**.

OBJEKTIVE VERHALTENSINDIKATOREN - DIFFERENZWERTE				
<i>Differenzwert</i>	<i>Reaktionszeiten</i>		<i>Prozentuelle Trefferraten</i>	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
TLP (A) – TULP (A)	-567.445	264.450	0.053	0.075
TLP (D) – TULP (D)	-165.157	168.805	0.014	0.045
TLP (V) – TULP (V)	-130.331	208.437	0.003	0.082
TLP (A) – TLP (D)	-228.443	236.213	0.006	0.033
TLP (A) – TLP (V)	-293.013	260.044	0.030	0.074
TULP (A) – TULP (D)	173.845	271.419	-0.032	0.073
TULP (A) – TULP (V)	144.101	284.507	-0.019	0.074
TLP (D) – TLP (V)	-64.569	220.568	0.024	0.079
TULP (D) – TULP (V)	-29.744	220.981	0.013	0.058

Anmerkungen: TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. A = ANALOG. D = DIGITAL. V = VERBAL. N = 102.

Tabelle 62. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX innerhalb der Testblöcke der Lern- und Umlernphasen zwischen der analogen und der digitalen beziehungsweise verbalen Repräsentation des Subtests **Kreuz**.

NASA-TLX – DIFFERENZWERTE								
<i>NASA-TLX Skala</i>	<i>TLP (A) – TLP (D)</i>		<i>TLP (A) – TLP (V)</i>		<i>TULP (A) – TULP (D)</i>		<i>TULP (A) – TULP (V)</i>	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
Geistige Anforderung	-0.637	4.080	-3.402	5.253	2.853	3.976	1.157	4.334
Körperliche Anforderung	-0.431	3.497	-1.069	3.867	0.686	3.011	0.176	3.207
Zeitdruck	-0.588	3.511	-0.784	4.082	1.176	4.154	0.735	4.119
Anstrengung	-0.873	4.357	-2.882	5.009	1.324	3.563	0.608	3.643
Fehlleistung	0.039	3.861	-0.775	5.184	1.373	5.195	0.725	5.184
Frustration	0.333	3.878	-1.088	4.756	3.069	5.205	1.990	5.315

Anmerkungen: TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. A = ANALOG. D = DIGITAL. V = VERBAL. N = 102.

Tabelle 63. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX innerhalb der Testblöcke der Lern- und Umlernphasen zwischen der digitalen und verbalen Repräsentation des Subtests **Kreuz**.

NASA-TLX- DIFFERENZWERTE				
NASA-TLX Skala	TLP (D) – TLP (V)		TULP (D) – TULP (V)	
	M	SD	M	SD
Geistige Anforderung	-2.765	4.855	-1.696	3.825
Körperliche Anforderung	-0.637	3.001	-0.510	2.567
Zeitdruck	-0.196	4.184	-0.441	2.984
Anstrengung	-2.010	4.269	-0.716	3.268
Fehlleistung	-0.814	4.647	-0.647	4.566
Frustration	-1.422	4.048	-1.078	3.866

Anmerkungen: TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. D = DIGITAL. V = VERBAL. N = 102.

Tabelle 64. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Anzahl der Spontanfluktuationen innerhalb der Lernblöcke der Lern- und Umlernphasen zwischen der analogen und der digitalen beziehungsweise verbalen Repräsentation des Subtest **Kreuz**.

SPONTANFLUKTUATIONEN - DIFFERENZWERTE		
Differenzwert	M	SD
LP (A) – LP (D)	-0.571	3.535
LP (A) – LP (V)	-0.571	3.086
ULP (A) – ULP (D)	-0.418	3.410
ULP (A) – ULP (V)	0.163	3.317
LP (D) – LP (V)	0.000	3.208
ULP (D) – ULP (V)	0.582	3.655

Anmerkungen: LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase. A = ANALOG. D = DIGITAL. V = VERBAL. N = 98.

Tabelle 65. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Anzahl der Spontanfluktuationen innerhalb der Testblöcke der Lern- und Umlernphasen zwischen der analogen und der digitalen beziehungsweise verbalen Repräsentation des Subtest **Kreuz**.

SPONTANFLUKTUATIONEN - DIFFERENZWERTE				
Differenzwert	1. Minute		2. Minute	
	M	SD	M	SD
TLP (A) – TLP (D)	-0.773	3.328	0.515	3.686
TLP (A) – TLP (V)	-0.897	3.005	0.320	3.757
TULP (A) – TULP (D)	0.351	2.883	0.505	3.401
TULP (A) – TULP (V)	0.454	3.152	0.299	3.260
TLP (D) – TLP (V)	-0.124	2.969	-0.196	2.974
TULP (D) – TULP (V)	0.103	2.612	-0.206	3.461

Anmerkungen: TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. A = ANALOG. D = DIGITAL. V = VERBAL. N = 97.

Tabelle 66. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der absoluten Power in den betreffenden EEG-Frequenzbändern des Spontan-EEG innerhalb der Lernblöcke der Lern- und Umlernphasen zwischen der analogen und der digitalen beziehungsweise verbalen Repräsentation des Subtests **Kreuz**.

SPONTAN-EEG – DIFFERENZWERTE								
<i>EEG - Frequenzband</i>	<i>LP (A) – LP (D)</i>		<i>LP (A) – LP (V)</i>		<i>ULP (A) – ULP (D)</i>		<i>ULP (A) – ULP (V)</i>	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>			<i>M</i>	<i>SD</i>
LOKALISATION: FRONTAL ZENTRAL								
DELTA	-3.012	17.216	-5.428	20.596	-0.792	27.543	-0.655	26.020
THETA	0.090	11.233	-2.357	12.411	2.052	15.058	0.972	14.437
ALPHA	0.684	4.718	0.794	3.966	0.929	5.595	0.756	5.375
BETA 1	0.034	2.094	0.304	2.295	0.673	2.905	0.240	3.595
BETA 2	-0.036	10.451	1.842	10.375	1.587	16.003	1.835	13.139
GAMMA 1	-0.802	23.545	3.265	22.069	3.224	32.104	4.093	22.274
GAMMA 2	-0.883	11.869	1.728	10.802	1.231	16.190	1.912	14.222
LOKALISATION: PARIETAL ZENTRAL								
DELTA	-0.865	7.934	0.572	6.382	2.882	10.790	-0.680	14.444
THETA	-0.203	5.374	0.243	3.936	3.074	12.915	2.408	13.429
ALPHA	1.533	8.095	2.065	6.454	0.040	7.393	0.189	5.833
BETA 1	0.465	3.329	0.983	3.086	0.661	3.244	0.494	3.557
BETA 2	1.530	14.274	3.217	13.354	4.308	17.338	4.175	17.080
GAMMA 1	0.633	20.384	4.984	19.231	6.713	28.884	7.660	27.818
GAMMA 2	0.745	15.267	3.612	15.189	2.847	14.851	3.744	13.374

Anmerkungen: LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase.
A = ANALOG. D = DIGITAL. V = VERBAL. N = 89.

Tabelle 67. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG innerhalb der Lernblöcke der Lern- und Umlernphasen zwischen digitaler und verbaler Repräsentation des Subtests **Kreuz**.

SPONTAN-EEG – DIFFERENZWERTE				
EEG - Frequenzband	LP (D) – LP (V)		ULP (D) – ULP (V)	
	M	SD	M	SD
LOKALISATION: FRONTAL ZENTRAL				
DELTA	-2.416	19.743	0.137	22.771
THETA	-2.447	12.558	-1.080	13.547
ALPHA	0.110	5.181	-0.173	5.134
BETA 1	0.271	1.966	-0.433	3.254
BETA 2	1.878	10.156	0.248	14.962
GAMMA 1	4.067	22.518	0.870	31.587
GAMMA 2	2.611	11.876	0.681	16.432
LOKALISATION: PARIETAL ZENTRAL				
DELTA	1.437	7.578	-3.562	12.332
THETA	0.446	4.823	-0.666	6.300
ALPHA	0.533	7.179	0.148	4.974
BETA 1	0.518	2.346	-0.166	2.553
BETA 2	1.687	9.646	-0.133	10.010
GAMMA 1	4.352	20.134	0.946	23.329
GAMMA 2	2.867	10.635	0.897	10.961

Anmerkungen: LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase. D = DIGITAL. V = VERBAL. N = 89.

Tabelle 68. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX zwischen den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen pro Repräsentationsform des Subtests **Kreuz** bei Zugrundelegung der Fallzahlen der Analyse zu den Lernblöcken der elektrodermalen Aktivität.

NASA-TLX– DIFFERENZWERTE ¹						
NASA-TLX Skala	Analog		Digital		Verbal	
	M	SD	M	SD	M	SD
Geistige Anforderung	-5.847	4.868	-2.255	3.645	-1.112	3.482
Körperliche Anforderung	-1.459	3.633	-0.316	2.273	-0.214	2.207
Zeitdruck	-2.112	3.493	-0.306	2.534	-0.480	2.343
Anstrengung	-3.704	4.387	-1.439	3.355	-0.133	3.210
Fehlleistung	-1.786	4.999	-0.551	3.506	-0.276	3.866
Frustration	-3.367	5.327	-0.592	3.379	-0.255	3.101

Anmerkungen: ¹Die Differenzwerte wurden folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Testblöcke der Lernphase – Skalenpunkte der Testblöcke der Umlernphase. N = 98.

Tabelle 69. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX zwischen den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen pro Repräsentationsform des Subtests **Kreuz** bei Zugrundelegung der Fallzahlen der Analyse zu den Testblöcken der elektrodermalen Aktivität.

NASA-TLX– DIFFERENZWERTE ¹						
	Analog		Digital		Verbal	
NASA-TLX Skala	M	SD	M	SD	M	SD
Geistige Anforderung	-5.732	4.838	-2.031	3.447	-1.010	3.405
Körperliche Anforderung	-1.485	3.692	-0.351	2.291	-0.278	2.240
Zeitdruck	-2.175	3.491	-0.247	2.558	-0.495	2.359
Anstrengung	-3.557	4.406	-1.443	3.416	-0.062	3.191
Fehlleistung	-1.691	4.900	-0.454	3.461	-0.268	3.882
Frustration	-3.268	5.347	-0.464	3.317	-0.175	2.930

Anmerkungen: ¹Die Differenzwerte wurden folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Testblöcke der Lernphase – Skalenpunkte der Testblöcke der Umlernphase. N = 97.

Tabelle 70. Deskriptivstatistiken zu den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX zwischen den Testblöcken der Lern- und Umlernphasen pro Repräsentationsform des Subtests **Kreuz** bei Zugrundelegung der Fallzahlen der Analyse des Spontan-EEG.

NASA-TLX– DIFFERENZWERTE ¹						
	Analog		Digital		Verbal	
NASA-TLX Skala	M	SD	M	SD	M	SD
Geistige Anforderung	-5.820	4.699	-2.270	3.661	-1.281	3.490
Körperliche Anforderung	-1.326	3.302	-0.315	1.952	-0.146	2.086
Zeitdruck	-1.854	3.294	-0.315	2.405	-0.461	2.282
Anstrengung	-3.798	4.490	-1.438	3.361	-0.225	3.247
Fehlleistung	-2.124	5.047	-0.798	3.742	-0.596	3.831
Frustration	-3.506	5.320	-0.719	3.464	-0.427	3.122

Anmerkungen: ¹Die Differenzwerte wurden folgendermaßen berechnet: Skalenpunkte der Testblöcke der Lernphase – Skalenpunkte der Testblöcke der Umlernphase. N = 89.

4. Spearman-Korrelationen der Differenzwerte

4.1 Elektrodermale Aktivität und NASA-TLX

Tabelle 71. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der Anzahl der Spontanfluktuationen und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX pro Subtest.

SPEARMAN-KORRELATIONEN							
Subtest	Differenz	NASA-TLX SKALA ¹					
		GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Liste ²	Eng – Weit	.135	-.094	-.126	-.076	.217*	.034
Herd ³	Natürliches Mapping – Linear Weit	-.110	-.065	-.059	-.152	-.071	-.025
	Natürliches Mapping – Linear Eng	-.140	-.086	-.151	-.096	-.040	-.103
	Linear Weit – Linear Weit	.011	.048	-.023	-.035	.023	.110
Kreuz ⁴	LP – ULP Analog	.352*	.176	.205*	.099	.131	.232*
	LP – ULP Digital	-.115	-.014	.048	.094	.020	.124
	LP – ULP Verbal	.061	.044	-.034	.060	.033	.090
	TLP – TULP Analog T1	.067	.026	.116	.033	.022	-.038
	TLP – TULP Digital T1	.093	-.011	.119	.106	-.043	.040
	TLP – TULP Verbal T1	.113	-.054	-.027	-.049	.117	-.004
	TLP – TULP Analog T2	.051	.041	.088	.082	.003	.250*
	TLP – TULP Digital T2	.025	.082	.086	.192	.184	.185
	TLP – TULP Verbal T2	.103	.189	.153	-.030	.034	-.052

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung. KA = Körperliche Anforderung. ZD = Zeitdruck. AN = Anstrengung. FL = Fehlleistung. FR = Frustration. ²Subtest **Liste**: N = 99. ³Subtest **Herd**: N = 95. ⁴Subtest **Kreuz**: Lernblock N = 98. Testblock N = 97. LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase. TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. T1 = 1. Minute des Testblocks. T2 = 2. Minute der Testblocks.

4.2 Spontan-EEG und NASA-TLX

4.2.1 Subtest Liste

Tabelle 72. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der Bedingungen ENG und WEIT des Subtests *Liste*.

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	Eng – Weit	-.219*	-.038	-.002	.008	-.111	-.081
	PZ	Eng – Weit	-.031	.024	-.011	-.007	-.119	.035
Theta	FZ	Eng – Weit	-.159	.004	-.021	-.041	-.053	-.023
	PZ	Eng – Weit	.276*	.285*	.218*	.089	.073	.074
Alpha	FZ	Eng – Weit	.035	.027	.289*	.038	.047	.156
	PZ	Eng – Weit	-.032	.115	.074	.056	.067	.041
Beta 1	FZ	Eng – Weit	-.013	.146	.274*	.133	.115	.110
	PZ	Eng – Weit	.195	.196	.304*	.078	.078	.193
Beta 2	FZ	Eng – Weit	.100	.227*	.265*	.076	.170	.196
	PZ	Eng – Weit	.246*	.277*	.380*	.152	.225*	.214*
Gamma 1	FZ	Eng – Weit	.106	.284*	.286*	.125	.234*	.235*
	PZ	Eng – Weit	.255*	.229*	.339*	.148	.239*	.254*
Gamma 2	FZ	Eng – Weit	.155	.247*	.297*	.202	.238*	.265*
	PZ	Eng – Weit	.247*	.177	.326*	.132	.214*	.254*

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung, KA = Körperliche Anforderung, ZD = Zeitdruck, AN = Anstrengung, FL = Fehlleistung, FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral, PZ = parietal zentral, N = 87.

4.2.1 Subtest Herd

Tabelle 73. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR WEIT des Subtests *Herd*.

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	Nat. Mapping – Linear Weit	-.032	-.015	-.059	-.055	-.156	-.030
	PZ	Nat. Mapping – Linear Weit	-.130	-.043	-.061	-.207	-.104	.034
Theta	FZ	Nat. Mapping – Linear Weit	.008	.213*	.041	-.045	-.050	.002
	PZ	Nat. Mapping – Linear Weit	.139	.253*	.280*	.078	.112	.212*
Alpha	FZ	Nat. Mapping – Linear Weit	-.121	-.041	-.026	.002	-.097	-.006
	PZ	Nat. Mapping – Linear Weit	-.045	.089	.121	.008	.027	.171
Beta 1	FZ	Nat. Mapping – Linear Weit	-.006	.081	.150	-.012	.094	.201
	PZ	Nat. Mapping – Linear Weit	.061	.229*	.175	.022	.069	.158
Beta 2	FZ	Nat. Mapping – Linear Weit	-.042	.025	.077	-.083	.021	.092
	PZ	Nat. Mapping – Linear Weit	.033	.163	.217*	-.005	.158	.219*
Gamma 1	FZ	Nat. Mapping – Linear Weit	.013	.129	.170	-.018	.118	.143
	PZ	Nat. Mapping – Linear Weit	-.003	.162	.184	.016	.177	.203
Gamma 2	FZ	Nat. Mapping – Linear Weit	-.012	.127	.148	-.006	.099	.122
	PZ	Nat. Mapping – Linear Weit	.036	.173	.205	.057	.209*	.208

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung, KA = Körperliche Anforderung, ZD = Zeitdruck, AN = Anstrengung, FL = Fehlleistung, FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral, PZ = parietal zentral, N = 89.

*Tabelle 74. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der Bedingungen NATÜRLICHES MAPPING und LINEAR ENG des Subtests **Herd**.*

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.154	.034	-.127	-.030	-.095	-.193
	PZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.235*	-.138	-.029	-.107	-.096	-.091
Theta	FZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.093	.231*	.136	.083	.169	-.009
	PZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.079	.112	.137	.067	.039	-.072
Alpha	FZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.191	.102	.006	-.076	.047	-.104
	PZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.083	.042	-.038	-.024	-.001	-.022
Beta 1	FZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.298*	-.104	-.007	-.183	-.094	-.094
	PZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.142	-.006	-.079	-.133	-.146	-.143
Beta 2	FZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.259*	-.145	-.096	-.191	-.181	-.154
	PZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.135	-.080	-.064	-.129	-.158	-.228*
Gamma 1	FZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.164	-.108	-.048	-.099	-.047	-.066
	PZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.052	-.022	-.080	-.026	-.101	-.203
Gamma 2	FZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.164	-.104	-.089	-.085	-.043	-.049
	PZ	Nat. Mapping – Linear Eng	-.069	-.054	-.021	.007	-.050	-.120

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung, KA = Körperliche Anforderung, ZD = Zeitdruck, AN = Anstrengung, FL = Fehlleistung, FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral, PZ = parietal zentral. N = 89.

Tabelle 75. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der Bedingungen LINEAR WEIT und LINEAR ENG des Subtests **Herd**.

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	Liner Weit – Linear Eng	.058	-.079	.027	.042	-.099	-.065
	PZ	Liner Weit – Linear Eng	.056	.162	.086	.002	.008	.086
Theta	FZ	Liner Weit – Linear Eng	-.105	-.003	.027	.021	-.129	-.072
	PZ	Liner Weit – Linear Eng	-.101	.066	.074	.049	-.086	.041
Alpha	FZ	Liner Weit – Linear Eng	-.051	.178	.118	-.005	-.039	.061
	PZ	Liner Weit – Linear Eng	-.109	.079	-.059	-.058	-.116	-.080
Beta 1	FZ	Liner Weit – Linear Eng	-.009	.185	.161	.004	.042	.175
	PZ	Liner Weit – Linear Eng	-.176	.117	-.036	-.120	-.131	-.035
Beta 2	FZ	Liner Weit – Linear Eng	-.029	-.008	.073	.043	.097	.037
	PZ	Liner Weit – Linear Eng	-.072	.061	.014	-.045	.127	-.001
Gamma 1	FZ	Liner Weit – Linear Eng	.065	.009	.126	.087	.279*	.085
	PZ	Liner Weit – Linear Eng	-.014	.117	.072	.096	.241*	.027
Gamma 2	FZ	Liner Weit – Linear Eng	.008	-.030	.084	.064	.209*	.024
	PZ	Liner Weit – Linear Eng	-.004	.050	.070	.141	.117	-.090

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung, KA = Körperliche Anforderung, ZD = Zeitdruck, AN = Anstrengung, FL = Fehlleistung, FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral, PZ = parietal zentral. N = 89.

4.2.1 Subtest Kreuz

4.2.1.1 Lernblöcke

Tabelle 76. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich des Lernblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei analoger Repräsentation.

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz ³	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	LP – ULP analog	-.012	.047	.118	-.092	-.013	.107
	PZ	LP – ULP analog	.053	.038	.101	-.048	-.025	.165
Theta	FZ	LP – ULP analog	.126	.180	.135	-.148	-.001	.195
	PZ	LP – ULP analog	.185	.046	.156	-.021	-.057	.209*
Alpha	FZ	LP – ULP analog	.154	.124	.083	-.075	.110	.261*
	PZ	LP – ULP analog	.044	-.049	-.018	.055	.092	.161
Beta 1	FZ	LP – ULP analog	.277*	.025	.123	.017	.029	.242*
	PZ	LP – ULP analog	.157	-.011	.009	-.177	.132	.184
Beta 2	FZ	LP – ULP analog	.102	-.019	-.022	-.158	.050	.179
	PZ	LP – ULP analog	.101	-.011	-.048	-.146	-.035	.115
Gamma 1	FZ	LP – ULP analog	.166	.035	.057	-.121	-.003	.095
	PZ	LP – ULP analog	.109	.012	.003	-.153	-.050	.147
Gamma 2	FZ	LP – ULP analog	.143	.046	.066	-.114	-.004	.125
	PZ	LP – ULP analog	.105	.018	.031	-.157	-.079	.208

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung. KA = Körperliche Anforderung. ZD = Zeitdruck. AN = Anstrengung. FL = Fehlleistung. FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral. PZ = parietal zentral. ³LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase. N = 89.

*Tabelle 77. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich des Lernblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei digitaler Repräsentation.*

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz ³	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	LP – ULP digital	-.142	.107	-.037	.001	.160	.064
	PZ	LP – ULP digital	-.127	-.016	-.063	-.046	.070	-.035
Theta	FZ	LP – ULP digital	-.117	.182	-.010	.022	.193	.017
	PZ	LP – ULP digital	-.100	.032	-.051	-.085	.092	-.082
Alpha	FZ	LP – ULP digital	-.094	.039	.030	.006	.148	-.059
	PZ	LP – ULP digital	-.195	-.042	-.059	-.138	-.047	-.023
Beta 1	FZ	LP – ULP digital	-.084	-.020	.001	-.093	-.069	-.025
	PZ	LP – ULP digital	-.147	.047	-.027	-.028	-.030	.050
Beta 2	FZ	LP – ULP digital	-.207	.072	-.076	.027	-.036	-.066
	PZ	LP – ULP digital	-.196	.008	-.003	.065	-.055	.036
Gamma 1	FZ	LP – ULP digital	-.117	.113	-.032	.081	-.002	.023
	PZ	LP – ULP digital	-.153	.072	.060	.134	-.027	.130
Gamma 2	FZ	LP – ULP digital	-.100	.100	-.021	.084	-.008	-.007
	PZ	LP – ULP digital	-.131	.077	.033	.133	-.024	.103

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung. KA = Körperliche Anforderung. ZD = Zeitdruck. AN = Anstrengung. FL = Fehlleistung. FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral. PZ = parietal zentral. ³LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase. N = 89.

Tabelle 78. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich des Lernblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei verbaler Repräsentation.

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz ³	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	LP – ULP verbal	-.092	.017	.036	.063	-.067	-.045
	PZ	LP – ULP verbal	.162	.185	.115	.149	.170	.128
Theta	FZ	LP – ULP verbal	-.073	-.001	.108	.008	-.089	.030
	PZ	LP – ULP verbal	.045	.003	.253*	.054	.100	.130
Alpha	FZ	LP – ULP verbal	-.042	.060	.206	.030	-.100	.060
	PZ	LP – ULP verbal	.069	-.116	.106	.146	.133	.024
Beta 1	FZ	LP – ULP verbal	.099	.076	.159	.084	-.095	-.044
	PZ	LP – ULP verbal	-.053	-.069	.094	.031	.067	-.101
Beta 2	FZ	LP – ULP verbal	-.149	-.003	.113	.156	-.129	-.020
	PZ	LP – ULP verbal	-.055	.021	.090	.100	-.165	-.049
Gamma 1	FZ	LP – ULP verbal	-.129	.029	.167	.183	-.072	.022
	PZ	LP – ULP verbal	-.122	.014	.060	.110	-.124	-.022
Gamma 2	FZ	LP – ULP verbal	-.145	.018	.169	.173	-.101	.005
	PZ	LP – ULP verbal	-.102	.020	.060	.074	-.138	-.062

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung. KA = Körperliche Anforderung. ZD = Zeitdruck. AN = Anstrengung. FL = Fehlleistung. FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral. PZ = parietal zentral. ³LP = Lernblock der Lernphase. ULP = Lernblock der Umlernphase. N = 89.

4.2.1.1 Testblöcke

Tabelle 79. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der ersten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei analoger Repräsentation.

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz ³	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	TLP – TULP analog, T1	-.033	.028	.175	-.049	.094	.062
	PZ	TLP – TULP analog, T1	-.018	-.064	.229*	-.130	.187	.000
Theta	FZ	TLP – TULP analog, T1	-.194	.040	.027	-.166	.070	-.128
	PZ	TLP – TULP analog, T1	-.088	-.080	-.064	-.144	.019	-.096
Alpha	FZ	TLP – TULP analog, T1	-.122	.017	-.042	.073	.109	.013
	PZ	TLP – TULP analog, T1	-.079	.004	-.068	.041	.101	-.019
Beta 1	FZ	TLP – TULP analog, T1	.024	.011	.062	.060	.247*	.129
	PZ	TLP – TULP analog, T1	.081	-.071	.029	.052	.092	-.073
Beta 2	FZ	TLP – TULP analog, T1	-.040	-.095	-.035	.121	.064	.026
	PZ	TLP – TULP analog, T1	.118	.035	.110	.118	-.001	.039
Gamma 1	FZ	TLP – TULP analog, T1	-.029	-.111	-.025	.087	.045	-.049
	PZ	TLP – TULP analog, T1	.146	-.022	.086	.131	.016	-.049
Gamma 2	FZ	TLP – TULP analog, T1	-.073	-.161	-.076	.042	-.011	-.056
	PZ	TLP – TULP analog, T1	.053	-.021	.003	.106	-.032	-.070

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung. KA = Körperliche Anforderung. ZD = Zeitdruck. AN = Anstrengung. FL = Fehlleistung. FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral. PZ = parietal zentral. ³TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. T1 = 1. Minute des Testblocks. N = 89.

*Tabelle 80. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der zweiten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei analoger Repräsentation.*

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz ³	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	TLP – TULP analog, T2	-.071	.032	-.029	-.050	.153	.000
	PZ	TLP – TULP analog, T2	.063	.116	-.019	-.048	.168	.120
Theta	FZ	TLP – TULP analog, T2	.012	.169	.064	.129	.133	-.027
	PZ	TLP – TULP analog, T2	.115	.100	.078	-.006	.081	.056
Alpha	FZ	TLP – TULP analog, T2	.081	.201	-.031	.211*	.112	.043
	PZ	TLP – TULP analog, T2	.048	.107	.039	.014	-.008	.102
Beta 1	FZ	TLP – TULP analog, T2	.149	.198	.015	.167	.128	.104
	PZ	TLP – TULP analog, T2	.070	.136	.134	.084	-.025	.044
Beta 2	FZ	TLP – TULP analog, T2	.012	.112	-.086	.105	.185	.088
	PZ	TLP – TULP analog, T2	.243*	-.011	-.007	.109	.047	.127
Gamma 1	FZ	TLP – TULP analog, T2	.064	.035	-.101	.086	.128	.103
	PZ	TLP – TULP analog, T2	.247*	-.060	.021	.094	.125	.202
Gamma 2	FZ	TLP – TULP analog, T2	.063	.022	-.104	.116	.089	.102
	PZ	TLP – TULP analog, T2	.198	-.084	-.074	.078	.062	.169

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung. KA = Körperliche Anforderung. ZD = Zeitdruck. AN = Anstrengung. FL = Fehlleistung. FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral. PZ = parietal zentral. ³TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. T2 = 2. Minute des Testblocks. N = 89.

*Tabelle 81. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der ersten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei digitaler Repräsentation.*

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz ³	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	TLP – TULP digital, T1	-.233*	-.054	-.022	-.051	.010	.014
	PZ	TLP – TULP digital, T1	-.073	-.067	-.077	-.054	-.113	-.091
Theta	FZ	TLP – TULP digital, T1	-.215*	-.032	-.073	-.069	-.069	-.002
	PZ	TLP – TULP digital, T1	-.222*	-.055	-.250*	-.092	-.105	-.074
Alpha	FZ	TLP – TULP digital, T1	.015	-.097	-.097	-.068	-.153	-.023
	PZ	TLP – TULP digital, T1	-.088	-.118	-.050	-.187	-.151	-.085
Beta 1	FZ	TLP – TULP digital, T1	.025	-.139	-.029	-.038	-.009	-.100
	PZ	TLP – TULP digital, T1	-.065	-.229*	-.125	-.128	-.063	-.099
Beta 2	FZ	TLP – TULP digital, T1	-.050	-.159	-.080	.038	.026	.008
	PZ	TLP – TULP digital, T1	-.068	-.204	.028	.080	.019	.034
Gamma 1	FZ	TLP – TULP digital, T1	-.055	-.111	.009	.134	.000	.040
	PZ	TLP – TULP digital, T1	-.112	-.229*	.017	.047	.035	.027
Gamma 2	FZ	TLP – TULP digital, T1	-.023	-.153	.036	.109	.013	.059
	PZ	TLP – TULP digital, T1	-.050	-.210*	.021	.095	.069	.075

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung. KA = Körperliche Anforderung. ZD = Zeitdruck. AN = Anstrengung. FL = Fehlleistung. FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral. PZ = parietal zentral. ³TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. T1 = 1. Minute des Testblocks. N = 89.

*Tabelle 82. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der zweiten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei digitaler Repräsentation.*

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz ³	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	TLP – TULP digital, T2	-.153	.027	.053	.061	-.078	-.100
	PZ	TLP – TULP digital, T2	-.021	-.078	-.105	.031	.008	-.011
Theta	FZ	TLP – TULP digital, T2	-.085	-.080	-.100	.025	-.030	-.110
	PZ	TLP – TULP digital, T2	-.016	-.007	-.033	-.018	-.031	-.098
Alpha	FZ	TLP – TULP digital, T2	.006	-.136	-.029	.071	-.053	.015
	PZ	TLP – TULP digital, T2	.080	-.183	.068	.066	-.024	-.049
Beta 1	FZ	TLP – TULP digital, T2	.101	-.004	-.027	.176	.065	.063
	PZ	TLP – TULP digital, T2	.023	-.078	.017	.053	.073	-.002
Beta 2	FZ	TLP – TULP digital, T2	-.008	-.144	-.031	.095	-.029	.067
	PZ	TLP – TULP digital, T2	.004	-.086	-.020	.116	-.023	.018
Gamma 1	FZ	TLP – TULP digital, T2	.034	-.114	-.054	.096	.074	.067
	PZ	TLP – TULP digital, T2	-.033	-.094	-.034	.048	.016	.050
Gamma 2	FZ	TLP – TULP digital, T2	-.012	-.160	-.081	.067	.032	.035
	PZ	TLP – TULP digital, T2	.007	-.147	-.017	.078	-.049	.033

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung. KA = Körperliche Anforderung. ZD = Zeitdruck. AN = Anstrengung. FL = Fehlleistung. FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral. PZ = parietal zentral. ³TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. T2 = 2. Minute des Testblocks. N = 89.

*Tabelle 83. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der ersten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei verbaler Repräsentation.*

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz ³	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	TLP – TULP verbal, T1	-.020	.057	-.038	.112	.044	.057
	PZ	TLP – TULP verbal, T1	-.018	-.067	-.179	.030	.086	.038
Theta	FZ	TLP – TULP verbal, T1	.004	.077	-.013	.147	.054	.045
	PZ	TLP – TULP verbal, T1	-.002	.083	-.165	.055	-.044	.011
Alpha	FZ	TLP – TULP verbal, T1	.012	-.078	-.206	.165	.038	.010
	PZ	TLP – TULP verbal, T1	-.065	-.050	-.110	-.034	.067	.062
Beta 1	FZ	TLP – TULP verbal, T1	-.110	.027	-.113	.056	.074	.015
	PZ	TLP – TULP verbal, T1	-.203	-.133	-.169	-.065	-.093	-.088
Beta 2	FZ	TLP – TULP verbal, T1	-.005	-.017	-.128	.182	.046	.027
	PZ	TLP – TULP verbal, T1	.010	-.082	-.064	.083	-.002	.021
Gamma 1	FZ	TLP – TULP verbal, T1	.023	-.003	-.065	.204	.100	.038
	PZ	TLP – TULP verbal, T1	-.022	-.096	-.050	.158	.061	.049
Gamma 2	FZ	TLP – TULP verbal, T1	.019	-.018	-.078	.189	.063	.027
	PZ	TLP – TULP verbal, T1	-.031	-.114	-.061	.203	.072	.032

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung. KA = Körperliche Anforderung. ZD = Zeitdruck. AN = Anstrengung. FL = Fehlleistung. FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral. PZ = parietal zentral. ³TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. T1 = 1. Minute des Testblocks. N = 89.

*Tabelle 84. Spearman-Korrelationen zwischen den Differenzwerten der absoluten Power in den Frequenzbändern des Spontan-EEG und den Differenzwerten der Skalenpunkte des NASA-TLX bezüglich der zweiten Minute des Testblocks der Lern- und Umlernphase des Subtests **Kreuz** bei verbaler Repräsentation.*

SPEARMAN-KORRELATIONEN								
EEG-Band	Lokalisation ²	Differenz ³	NASA-TLX SKALA ¹					
			GA	KA	ZD	AN	FL	FR
Delta	FZ	TLP – TULP verbal, T2	.069	.184	-.023	.073	.070	-.036
	PZ	TLP – TULP verbal, T2	-.094	.181	-.140	-.056	-.042	.097
Theta	FZ	TLP – TULP verbal, T2	.109	.145	.021	-.022	.161	.114
	PZ	TLP – TULP verbal, T2	.182	.047	.106	.048	.097	.143
Alpha	FZ	TLP – TULP verbal, T2	-.009	.104	.092	-.030	.005	-.114
	PZ	TLP – TULP verbal, T2	.039	.067	.001	-.188	-.144	-.212*
Beta 1	FZ	TLP – TULP verbal, T2	.207	.123	.133	.176	-.067	-.099
	PZ	TLP – TULP verbal, T2	.174	-.050	.035	.047	.051	.021
Beta 2	FZ	TLP – TULP verbal, T2	.116	.033	.053	.025	.021	-.022
	PZ	TLP – TULP verbal, T2	.067	-.134	.056	.050	.080	.047
Gamma 1	FZ	TLP – TULP verbal, T2	.072	.051	-.006	.006	.009	.008
	PZ	TLP – TULP verbal, T2	.074	-.153	-.002	.071	.076	.062
Gamma 2	FZ	TLP – TULP verbal, T2	.018	.076	.004	-.089	.041	-.105
	PZ	TLP – TULP verbal, T2	.076	-.154	.029	.074	.011	-.028

Anmerkungen: *p < .05. ¹GA = Geistige Anforderung. KA = Körperliche Anforderung. ZD = Zeitdruck. AN = Anstrengung. FL = Fehlleistung. FR = Frustration. ²FZ = frontal zentral. PZ = parietal zentral. ³TLP = Testblock der Lernphase. TULP = Testblock der Umlernphase. T2 = 2. Minute des Testblocks. N = 89.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich versichere, dass ich die Diplomarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

Wien, im Dezember 2015

Severin Maurer, BA

LEBENS LAUF

Severin Maurer, BA

Akademische Ausbildung

- 2011 – 2014 • Bachelorstudium Kunstgeschichte, Universität Wien, abgeschlossen
- Seit 2006 • Diplomstudium Psychologie, Universität Wien, 2. Studienabschnitt
- Seit 2003 • Diplomstudium Rechtswissenschaften, Universität Wien, 2. Studienabschnitt

Schulbildung

- 1994 – 2002 • Bundesgymnasium Amstetten, Informatik-Schwerpunkt, Abschluss Matura
- 1990 – 1994 • Volksschule Seitenstetten

Berufserfahrung

- 2012 – 2015 • **Studienassistent** jeweils in den Winter- und Sommersemestern, Universität Wien, Fakultät für Psychologie, Institut für Psychologische Grundlagenforschung und Forschungsmethoden, Abteilung Allgemeine Psychologie, Wien
Tätigkeiten: Tutor für psychophysiologische Messinstrumente, Mitarbeit im Lehrbetrieb, Mithilfe bei Datenanalysen und Datenauswertungen
- 2010 – 2012 • **Projektmitarbeiter** beim EU-Projekt iSPACE „Innovative Systems for Personalised Aircraft Cabin Environment“, Medizinische Universität Wien, Institut für Umwelthygiene, Wien
Tätigkeiten: Mitarbeit bei der Projektplanung, Mitarbeit bei der Auswertung der Projektdaten und der Erstellung des Ergebnisberichts
- 2004 • **Kanzleikraft**, Brandl & Talos Rechtsanwälte, Wien
Tätigkeiten: Mithilfe bei Exekutionsverfahren, juristische Recherchen, allgemeine Bürotätigkeiten

Ferialarbeit

- 2008 – 2010 • Austrosaat AG, Wien
Tätigkeit: Lagerarbeiter
- 2003 • Österreichische Post-AG, Seitenstetten
Tätigkeit: Zusteller

Bundesheer

- 2003 • Sanitätsdienst