



universität
wien

Diplomarbeit

Titel der Arbeit

Kardiovaskuläre Korrelate mentaler Belastung im Kontext
der Mensch-Computer-Interaktion: Eine Pilotstudie.

Verfasserin

Hannah Eberle

Angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, im April 2013

Studienkennzahl: 298

Studienrichtung: Psychologie

Betreuer: Ao. Univ.-Prof. Dr. Michael Trimmel

Danksagung

Ich bedanke mich bei Herrn Ao. Univ.- Prof. Dr. Trimmel für die Bereitstellung der Forschungsfrage, und die unterstützende Betreuung während des gesamten Entstehungsprozesses meiner Diplomarbeit. Außerdem bedanke ich mich bei Herrn Koller, und besonders bei meinem Kollegen Severin Maurer, von dessen Wissen ich stark profitieren konnte, und mit dem die Zusammenarbeit sehr produktiv, kollegial und nicht zuletzt auch humorig war.

Außerdem bedanke ich mich bei meinem Freund Martin, der die Wichtigkeit dieser Diplomarbeit immer wieder relativiert hat und dafür sorgte, dass ich die schönen Dinge im Leben nicht vernachlässigte.

INHALT

A	EINLEITUNG	1
1	Problemstellung.....	1
2	Stand des Wissens	2
2.1	Definition mentaler Beanspruchung und begriffliche Abgrenzung.....	2
2.2	Theoretischer Hintergrund mentaler Beanspruchung	3
2.3	Autonome Korrelate mentaler Beanspruchung.....	5
2.3.1	Herzfrequenz und Herzratenvariabilität als Indikatoren mentaler Beanspruchung	9
2.3.2	Elektrodermale Aktivität als Indikator mentaler Beanspruchung	13
2.4	Problemstellung und Forschungsfrage.....	14
B	METHODE	16
3	Untersuchungsdesign und Variablen.....	16
3.1	Untersuchungsdesign	16
3.2	Unabhängige Variablen (UV)	17
3.3	Abhängige Variablen (AV).....	17
4	UntersuchungsteilnehmerInnen	19
5	Untersuchungsbedingungen und Materialien	22
5.1	Das Computerprogramm.....	22
5.1.1	Visuelles Suchen	24
5.1.2	Liste	25
5.1.3	Pfeil.....	26
5.1.4	Kreuz	27
5.2	Der National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TXL).....	30
6	Geräte und Apparate.....	31
7	Untersuchungsdurchführung	32
7.1	Untersuchungsablauf.....	32

C	ERGEBNISSE	33
8	Ergebnisse des Tasks Visuelles Suchen	34
8.1	Muster_Formen.....	35
8.1.1	Mittlere Herzrate.....	35
8.1.2	SDNN	36
8.1.3	rMSSD.....	37
8.1.4	PNN10	38
8.1.5	PNN50	39
8.1.6	LF	40
8.1.7	HF	41
8.1.8	HRVtotal.....	42
8.1.9	Log LF/HF	43
8.1.10	LF%	44
8.1.11	HF%.....	45
8.1.12	LF n.u.	46
8.1.13	HF n.u.	47
8.1.14	Anzahl der Spontanfluktuationen (Number of peaks).....	48
8.2	Muster_Buchstaben.....	49
8.2.1	Mittlere Herzrate.....	49
8.2.2	SDNN	50
8.2.3	rMSSD.....	51
8.2.4	PNN10	52
8.2.5	PNN50	53
8.2.6	LF	54
8.2.7	HF	55
8.2.8	HRVtotal.....	56
8.2.9	Log LF/HF	57
8.2.10	LF%	58
8.2.11	HF %.....	59
8.2.12	LF n.u.	60
8.2.13	HF n.u.	61
8.2.14	Anzahl er Spontanfluktuationen	62
8.3	Korrelationen zwischen dem NASA-TXL und der Psychophysiologie im Task Visuelles.....	64

9	Ergebnisse des Tasks Liste	65
9.1	Mittlere Herzrate	65
9.2	SDNN.....	66
9.3	rMSSD	67
9.4	PNN10.....	68
9.5	PNN50.....	69
9.6	LF	70
9.7	HF	71
9.8	HRVtotal.....	72
9.9	Log LF/HF	73
9.10	LF%.....	74
9.11	HF%	75
9.12	LF n.u.	76
9.13	HF n.u.	77
9.14	Anzahl der Spontanfluktuationen (Number of peaks)	78
9.15	Korrelationen zwischen dem NASA-TXL und der Psychophysiologie Task Liste.....	79
10	Ergebnisse des Tasks Pfeil	80
10.1	Mittlere Herzrate	80
10.2	SDNN.....	81
10.3	rMSSD	82
10.4	PNN10.....	83
10.5	PNN50.....	84
10.6	LF	85
10.7	HF	86
10.8	HRVtotal.....	87
10.9	Log LF/HF	88
10.10	LF% 89	
10.11	HF% 90	
10.12	LF n.u.	91
10.13	HF n.u.	92
10.14	Anzahl der Spontanfluktuationen (Number of peaks)	93
10.15	Korrelationen zwischen NASA-TXL und der Psychophysiologie im Task Pfeil	94

11	Ergebnisse des Tasks Kreuz	95
11.1	Ergebnisse der zweiminütigen Testphasen	95
11.1.1	Mittlere Herzrate.....	95
11.1.2	SDNN	96
11.1.3	rMSSD.....	98
11.1.4	PNN10	99
11.1.5	PNN50	100
11.1.6	LF	102
11.1.7	HF	103
11.1.8	HRVtotal.....	104
11.1.9	Log LF/HF.....	105
11.1.10	LF%	107
11.1.11	HF%.....	108
11.1.12	LF n.u.	109
11.1.13	HF n.u.	110
11.1.14	Anzahl der Spontanfluktuationen	111
11.2	Ergebnisse der Lernphasen	112
11.2.1	Log LF/HF.....	112
11.3	Korrelationen zwischen dem NASA-TXL und der Psychophysiologie im Task Kreuz	116
D	DISKUSSION.....	117
12	Interpretation	117
12.1	Visuelles Suchen.....	117
12.2	Liste.....	120
12.3	Pfeil	121
12.4	Kreuz.....	124
12.5	Übergreifende Interpretation und Zusammenfassung.....	126
13	Kritik und Ausblick	128
14	Zusammenfassung	130
15	Abstract.....	131
E	LITERATUR.....	132

F	ANHANG	138
16	Deskriptive Statistik	138
16.1	Visuelles Suchen	138
16.1.1	Kolmogorov-Smirnov-Test	138
16.1.2	Mauchly-Test.....	142
16.2	Liste.....	143
16.2.1	Kolmogorov-Smirnov-Test	143
16.3	Pfeil	144
16.3.1	Kolmogorov-Smirnov-Test	144
16.4	Kreuz.....	145
16.4.1	Kolmogorov-Smirnov-Test	145
17	Ergebnisse der Korrelationen zwischen subjektiven Beanspruchungsratings und psychophysiologischen Parametern.....	151
17.1	Visuelles Suchen	151
17.2	Liste.....	163
17.3	Pfeil	165
17.4	Kreuz.....	169
17.4.1	Testphasen	169
17.4.2	Lernphase.....	175
18	Ergebnisse der multivariaten Statistik	185
19	Das Computerprogramm	186
19.1	Graphische Beschreibung der Tasks	186
19.1.1	Visuelles Suchen	186
19.1.2	Liste	188
19.1.3	Pfeil.....	188
19.1.4	Kreuz	189
19.2	Instruktionen im Computerprogramm	190
19.2.1	Einleitung	190
19.2.2	Visuelles Suchen	190
19.2.3	Liste	191
19.2.4	Pfeil.....	191

19.2.5	Kreuz	192
19.3	Permutation der Tasks und ihren Bedingungen	193
20	Der Fragebogen zur Erhebung der soziodemographischen Daten	194

A EINLEITUNG

1 Problemstellung

Der Zweck dieser Diplomarbeit ist es, Unterschiede der autonomen Aktivität während hoher mentaler Belastung im Vergleich zu wenig kognitiver Beanspruchung in einer Mensch-Computer-Interaktion abzubilden. Zur Operationalisierung der mentalen Beanspruchung sollen kardiovaskuläre und elektrodermale Parameter, als auch subjektive Beanspruchungsratings herangezogen werden. Die Datenanalyse soll vornehmlich in Form einer beschreibenden Statistik stattfinden. Der Schwerpunkt dieser Diplomarbeit liegt demnach im Auffinden von Mustern und Trends im Datensatz, und nicht im Prüfen von Hypothesen.

In einer Gesellschaft mit schnell voranschreitender technologischer Entwicklung und häufig wechselnden sozialen Bedingungen, scheint es unumgänglich technische Instruktionen, Anweisungen und Interaktionsplattformen so zu gestalten, dass die Aneignung von universell anwendbaren und adaptiven Wissensinhalten, sowie flexiblen Handlungsfähigkeiten gefördert wird (Kalyuga, 2009). Ein Hauptanliegen des Arbeitsbereiches *human factors engineering* ist es, bei der Systementwicklung (bspw. Software oder Hardware) und deren Evaluation sicherzustellen, dass die zur Systembedingung geforderte kognitive Leistung nicht die vorhandene mentale Kapazität der Informationsverarbeitung des Individuums übersteigt (Eggemeier & O'Donnell, 1982). Eine ergonomisch gut designte Mensch-Computerschnittstelle beansprucht demnach nur wenig kognitive Kapazität, während ein schlechtes, unübersichtliches Design zu erheblicher mentaler Belastung und reduzierter Arbeitseffizienz führen kann (Izsó & Láng, 2000). Zur Untersuchung der Nutzbarkeit eines Interfaces, bzw. des Ausmaßes der kognitiven Belastung bei computerspezifischen Aufgaben, haben sich autonome Korrelate als besonders attraktiv erwiesen (Park, 2009). Trimmel, Meixner-Pendleton und Haring (2003) konnten beispielsweise zeigen, dass sich die Herzrate bei langen Systemreaktionszeiten während der Recherche im Internet, im Sinne einer Stressreaktion, erhöhte.

Im Folgenden soll nun das Konstrukt der mentalen Beanspruchung näher erläutert werden. Darüber hinaus soll die kardiovaskuläre und elektrodermale Aktivität in Bezug gesetzt werden. Schließlich sollen der Aufbau, als auch die Ergebnisse der Studie, sowie deren Interpretation diskutiert werden.

2 Stand des Wissens

2.1 Definition mentaler Beanspruchung und begriffliche Abgrenzung

Mentale Beanspruchung (engl. *mental workload*) lässt sich als ein facettenreiches und mehrdimensionales (Johanssen, Moray, Rasmussen, Pew, Sanders & Wickens, 1979, S. 101, Jex, 1988, S. 7) Konzept beschreiben. Die kognitive Belastung resultiert aus der Interaktion der mentalen Anforderungen einer Aufgabe (engl. *task*) und der kognitiven Informationsverarbeitungskapazität, dem mentalen Kraftaufwand, sowie individuellen Informationsverarbeitungsstrategien, Training und Expertise (Eggemeier & O'Donnell, 1982, Gopher & Donchin, 1986, S. 41.2f). Mentale Beanspruchung ist demnach im Sinne einer Person-Task-Schleife zu verstehen (Gopher & Donchin, 1986, S. 41.3) und stellt eine Funktion des Bedarfs und der Bereitstellung kognitiver Informationsverarbeitungsressourcen dar (Tsang & Vidulich, 2006, S. 246). Daraus schließend handelt es sich bei dem Konzept der mentalen Beanspruchung um das Ausmaß der kognitiven (Wickens, 2002), aber auch energetischen (Hockey, 1997) Kapazitäten einer Person, welche aufgebracht werden müssen, um eine Aufgabe erfolgreich zu bewältigen. Mentale Beanspruchung kann demzufolge als die Differenz zwischen den Kapazitäten des kognitiven Informationsverarbeitungssystems, welche zur erfolgreichen Bearbeitung einer Aufgabe benötigt werden, und der kognitiven Informationsverarbeitungsleistung, welche akut und situationsabhängig zur Verfügung steht, verstanden werden (Gopher & Donchin, 1986, S. 41.3).

Darüber hinaus ist die mentale Beanspruchung als ein Teilbereich der Gesamtbeanspruchung einer Person zu begreifen und wird von physischen Beanspruchungskomponenten abgegrenzt (Boucsein, 1991). Schmidtke (1993, S. 143) führt diesbezüglich jedoch an, dass eine solche begriffliche Trennung vor allem auf operationale Prinzipien zurückzuführen ist. Johanssen et al. (1979, S. 101) verzichten gänzlich auf die Differenzierung zwischen mentaler und physischer Beanspruchung und sprechen zusammenfassend von einem *human operator workload*.

Des Weiteren ist die mentale Beanspruchung von emotionalen Beanspruchungszuständen zu unterscheiden (Boucsein, 1991, Schmidtke, 1993, S. 144). Letztere subsumieren all jene Prozesse, welche als motivationale und affektive Begleiterscheinungen einer Tätigkeit auftreten und rationale Prozesse überlagern (Schmidtke, 1993, S. 144).

Darüber hinaus wird, vor allem im deutschsprachigen Raum, im Rahmen eines Belastungs-Beanspruchungs-Konzeptes, zwischen mentalen Belastungen (engl. *inputload, demands, stressors*) und mentaler Beanspruchung unterschieden (Boucsein, 1991, Schmidtke & Bubb, 1993, S. 116, Wieland-Eckelmann, 1992, S. 24). Mentale Belastungen sind als exogene, objektive Faktoren (Wieland-Eckelmann, 1992, S. 27), wie vornehmlich die Aufgabenschwierigkeit, die Aufgabenpriorität, sowie situative Bedingungen zu verstehen (Meshkati, 1988a, S. 307, Tsang & Vidulich, 2006, S. 246). Schlussendlich umfasst die mentale Beanspruchung nur jenen Teil der Gesamtbeanspruchung, welcher im Sinne einer Varianzaufteilung von den aufgabenspezifischen Ansprüchen an die kognitive Informationsverarbeitung einer Person, und somit von der Komplexität eines Tasks bestimmt wird (Manzey, 1998, S. 800).

2.2 Theoretischer Hintergrund mentaler Beanspruchung

In der Literatur lassen sich zahlreiche theoretische Modelle zum Konzept der mentalen Beanspruchung finden, welche die unterschiedlichsten Faktoren betonen (Meshkati, 1988a, S. 307, Sanders, 1983, Jex, 1988, S. 7, Moray, 1979). Manzey (1998, S. 802) unterscheidet im Sinne eines groben Ordnungsschemas aktivierungstheoretische Modelle, welche energetische Aspekte der mentalen Beanspruchung umfassen, sowie aufmerksamkeitstheoretische Ansätze, die sich verstärkt auf strukturelle Prozesse beziehen. Trotz dieser konzeptuellen Diversität wird mentale Beanspruchung vornehmlich im Zusammenhang mit einer beschränkten Kapazität des menschlichen Informationsverarbeitungssystems, und deren aufgabenspezifischen Ressourcenausschöpfung beschrieben (Eggemeier & O'Donnell, 1982, Gopher & Donchin, 1986, S. 41.3, Johannsen, 1979, S. 6). Der menschliche Organismus ist als ein Prozessor zu verstehen, welcher durch eine begrenzte Verfügbarkeit an Ressourcen zur Bewältigung mentaler Belastungen charakterisiert ist (Gopher & Sanders, 1984, S. 232). Ausschlaggebend ist hierbei, dass vorwiegend kontrollierte, nichtautomatische Informationsverarbeitungsprozesse an die Grenzen der Verarbeitungsressourcen stoßen können (Gaillard, 1993, Sanders, 1982). Aktuelle ressourcenorientierte Konzepte mentaler Beanspruchung unterscheiden, entgegen der Annahme eines gesamten einheitlichen Ressourcenpools (Kahneman, 1973), multiple, unabhängige und spezifische Verarbeitungsressourcen (Wickens, 2002). Letztere sind als heterogene strukturspezifische (Wickens 1979, S. 80) Einheiten zu verstehen, welche sich durch unterschiedliche Kapazitäten auszeichnen (Navon & Gopher, 1979). Maßgeblich ist hierbei Wickens` (2002) Modell der vierdimensionalen multiplen Ressourcen, in welchem spezifi-

sche Ressourcen anhand von vier dichotomen Sets der Informationsverarbeitung¹ unterschieden werden. Manzey (1998, S. 811), als auch Eggemeier und O'Donnell, (1982) weisen darauf hin, dass die vier unterschiedlichen Ressourcendimensionen die Mehrdimensionalität mentaler Beanspruchung widerspiegeln, und sich unterschiedliche Aspekte mentaler Beanspruchung den spezifischen Ressourcen zuordnen lassen. Wickens (2008) hingegen verweist in erster Linie auf den Zusammenhang zwischen dem Konzept der mentalen Beanspruchung und dem von Navon und Gopher (1979) postulierten Bedarf an Ressourcen (engl. *demand of resources*). Letzterer stellt eine Funktion des Subjekt-Task-Parameters dar und impliziert, dass bei steigender Aufgabenschwierigkeit ein erhöhtes Maß an Verarbeitungsressourcen aufgebracht werden muss, unabhängig davon, ob diese als multipel oder ganzheitlich betrachtet werden. Dies aufgreifend betonen O'Donnell und Eggemeier (1986, S. 42.23), sowie Eggemeier (1988), dass beide Ansätze ihre Berechtigung haben. Abhängig von Sensitivität und Diagnostizität der gewählten Erhebungsmethoden lässt sich mentale Beanspruchung als ein globales oder ressourcenspezifisches Maß der Kapazitätsausschöpfung abbilden.

Im Weiteren ist das Konstrukt der mentalen Beanspruchung in Zusammenhang mit kognitiv-energetischen Prozessen zu betrachten. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Annahme einer erhöhten (kognitiven) Anstrengung (engl. *effort*), die bei steigender mentaler Belastung in Form eines verstärkten Energieaufwandes kompensatorisch zur Zielerreichung führt (Gaillard, 1993). Ein erhöhter Energieaufwand ist vor allem dann relevant, wenn aufgabenspezifische Anforderungen über eine normative Zone der automatisierten und elaborierten Reiz-Reaktionsmuster hinausgehen, und eine aktive Regulierung und Inanspruchnahme von Ressourcen zur Zielerreichung obligatorisch werden (Gaillard, 1993, Hancock, 1989, Hockey, 1997). Dementsprechend dient das Anstrengungssystem zur Koordination der Aufmerksamkeits- und Aktivierungsrichtung, sowie zur Entkopplung der Erregungs- und Aktivierungsmechanismen. Es ist somit in einer übergeordneten Weise in der Lage, die Reizwahrnehmung, als auch die Reaktionsbildung zu verbinden, bzw. zu trennen (Boucsein & Backs, 2000, S. 6, Pribram & McGuinness, 1975). Interessant ist hierbei auch die Annahme, dass das Anstrengungssystem in direkter Weise auf die Ebenen der Verarbeitungsstufen (Wickens, 2002), nämlich auf die bewusste Reaktionsbildung, Einfluss nehmen kann (Sanders, 1983). Zu betonen ist außerdem, dass sich eine vermehrte Anstrengung auf physiologischer, als auch subjek-

¹ 1. *Stages of information processing*: Perzeptuelle und zentrale Verarbeitung vs. Reaktionsbildung

2. *Codes of processing*: Verbal/sprachlich vs. räumlich/motorisch

3. *Modalities*: auditotische Wahrnehmung vs. visuelle Wahrnehmung

4. *visual channels*: Fokussierte vs. weitläufige visuelle Wahrnehmung

tiver Ebene abbilden lässt, wobei die behaviorale Arbeitsleistung durch einen erhöhten Energieaufwand konstant gehalten bzw. gesteigert wird (Eggemeier & O'Donnell, 1982. Yeh & Wickens, 1988). Subjektive Beanspruchungslevel korrelieren dabei mit der Schwierigkeit der zu bearbeitenden Tasks (Miyake, Hashimoto, Watanabe, Takae & Shiraishi, 2004, Miyake et al., 2009)

2.3 Autonome Korrelate mentaler Beanspruchung

Zum Verständnis und der korrekten Interpretation autonomer Korrelate mentaler Beanspruchung, bedarf es in erster Linie eines zutreffenden Modells der Funktion und Wirkweise des autonomen Nervensystems (ANS) (Van Roon, Mulder, Althaus & Mulder, 2004). Berntson, Cacioppo, Quigley und Fabro (1991) schlagen eine Erweiterung der traditionellen Annahme eines ausschließlich reziproken Kontinuums der vagalen und sympathischen Reaktivität des ANS vor. Dabei beschreiben sie in ihrem zweidimensionalen Modell des autonomen Raumes neben der klassischen reziproken Innervierung, eine mögliche Koaktivierung bzw. Koinhibierung der beiden Effektoren, sowie ungekoppelte, sympathische und vagale Reaktionsmuster (*principle of multiple modes*²). Parasympathische Reaktionen treten dabei schnell und ohne große Verzögerungen auf, wobei sympathisch gesteuerte Veränderungen langsamer, mit einer Verzögerung von ein bis zwei Sekunden in Erscheinung treten (Berntson et al., 1997).

Im Zusammenhang mit mentaler Anforderung werden autonome Veränderungen als generelle Abwehrreaktionen (*Arousal-Defense-Reaktion*) betrachtet (Mulder, Mulder, Meijman, Veldman, van Roon, 2000, S. 147). Dementsprechend ist mentale Beanspruchung mit einer beschleunigten Herzrate (HR), bei gleichzeitig verringerter Herzratenvariabilität (HRV) in Verbindung zu bringen (Mulder, 1992). Laut Mallani, Montano und Pagani (1997) handelt es sich deshalb, bei zunehmender sympathischer Aktivierung und gleichzeitig nachlassendem vagalen Tonus, um eine reziproke Innervierung. Mulder et al. (2000) und van Roon, Mulder, Althaus und Mulder (2004) bringen mentale Belastung analog dazu mit einer erhöhten sympa-

²Berntson, Cacioppo, Quigley und Fabro (1991) schlagen im Rahmen ihres Modelles insgesamt drei generelle Prinzipien zur Funktion des ANS vor:

1. *Principle of multiple modes*: Siehe Fließtext
2. *Principle of innervation*: Ein Zielorgan kann entweder ausschließlich von parasympathischen, bzw. sympathischen Nerven innerviert werden, oder von beiden gemeinsam.
3. *Principle of conjoint action*: Sympathikus und Parasympathikus können antagonistisch als auch synergistisch auf ein gemeinsam innerviertes Organ wirken.

thischen Aktivierung bei gleichzeitiger Reduktion des parasympathischen Einflusses in Verbindung. Anhand ihres Baroreflexmodells demonstrieren van Roon et al. (2004) in einem ganzheitlichen Sinne das Zusammenspiel von Herzrate, Baroreflex, respiratorischer Sinusarrhythmie und den vagalen bzw. sympathischen Effektoren, um eine valide Interpretation kardiovaskulärer Effekte mentaler Beanspruchung zu gewährleisten. Die Variabilität der Herzrate ist hierbei in einer direkten Verbindung mit den Veränderungen des Blutdruckes zu betrachten. Letzterer wird in einer negativen Feedbackschleife vom Baroreflex gesteuert (Mulder, 1992). Die erhöhte Aktivität der Barorezeptoren in den Gefäßwänden des Aortenbogens und des Karotis Sinus wird von einer verstärkten vagalen bzw. reduzierten sympathischen Erregung begleitet (Mulder et al., 2000). Letztere regulieren in Folge die Herzrate, wobei der parasympathische Einfluss stärker ausfällt (van Roon et al., 2004). Im Sinne einer Modulation des Baroreflex sind die Ursachen der Herzratenvariabilität in Zusammenhang mit mentaler Belastung unter anderem in einem Wechsel der Sensitivität der Barorezeptoren und in einer sich veränderten vagal-sympathischen Balance zu sehen (Mulder, 1992).

Zudem ist im Bereich der Belastungsforschung die Herzratenvariabilität die wahrscheinlich meist gewählte Methode, um mentale Beanspruchungsprozesse und Anstrengung zu operationalisieren (Meshkati, 1988, S. 101). Die Herzrate ist im Allgemeinen anhand aufeinanderfolgender Herzschläge zu analysieren (Task Force, 1996), wobei die Länge der so genannten *Interbeat*-Intervalle in einem Bereich von 10% bis 30% variiert (Kobayashi et al., 1999). Bezüglich einer frequenzanalytischen Auswertung der HRV gilt es zu beachten, dass die Verteilung der Leistung und zentralen Frequenz des niedrigen (LF), als auch des hohen Frequenzbereiches (HF)³ in Abhängigkeit der parasympathischen und sympathischen Regulierung der autonomen Aktivität variabel ist (Malliani et al., 1991, Task Force, 1996). Des Weiteren gilt es bezüglich der Interpretation der niedrigen und hohen Frequenzbereiche zwischen absoluten und normalisierten⁴ Werten zu unterscheiden. Während die HRV im Gesamten, und die LF bzw. HF im Speziellen, in belastenden Situationen an spektraler Leistungsdichte abnehmen, lässt sich in der HF n.u. zwar auch eine Verringerung abbilden, die LF n.u. fällt jedoch erheblich erhöht aus (Task Force, 1996). Der Vorgang der Normalisierung mini-

³Es lassen sich in der Literatur unterschiedlich definierte Frequenzbereiche finden. Für eine zusammenfassende Darstellung vergleiche Kobayashi et al. (1999).

Laut der Task Force (1996) ist die LF (niedrige Frequenz; engl.: *low frequency*) zwischen 0.04 Hz und 0.15 Hz anzusiedeln. Die HF (hoher Frequenzbereich; engl.: *high frequency*) liegt hingegen zwischen 0.15 Hz und 0.4 Hz.

⁴n.u. = *normalized unit*. Berechnet wird der relative Wert jeder Leistungskomponente im Verhältnis zur gesamten Leistungsdichte, abzüglich der sehr niedrigen Frequenzanteile (Task Force, 1996).

miert den Einfluss der gesamten spektralen Dichte auf die Werte der einzelnen Frequenzbereiche (Delaney & Brodie, 2000). Interessant ist diesbezüglich auch das Verhältnis des niedrigen zum hohen Frequenzbereich. Der LF/HF-Parameter stellt ein Maß der sympatho-vagalen-Balance dar. Miyake et al. (2009) sprechen sich allerdings gegen die Verwendung des Parameters LF/HF aus. Die Autoren begründen dies durch die gleichzeitige Verringerung von LF und HF bei Hemmung des parasympathischen Systems unter mentaler Belastung. Demzufolge zeigt der Parameter LF/HF eine bidirektionale Veränderung, welche die korrekte Interpretation erschwert. Reyes del Paso, Langewitz, Mulder, van Roon und Duschek (2013) argumentieren ebenfalls gegen die Verwendung des Verhältnisses LF zu HF. Sie kommen in ihrem Review-Artikel zu dem Schluss, dass der Kennwert LF/HF auf der Annahme der Reziprozität des autonomen Nervensystems basiert, was sie als wissenschaftlich überholt ansehen.

Im Weiteren steht im Bereich der Belastungsforschung insbesondere der niedrige Frequenzanteil, als Indikator mentaler Beanspruchung, im Fokus der Diskussion (Jorna, 1992). Hierbei liegt die Zentrale Frequenz bei 0.1 Hz und wird deshalb als 0.1 Hz-Komponente, oder auch Mayer-Kurve bezeichnet (Julien, 2006, Pagani et al., 1986, Pomeranz et al., 1985). Die LF wird vornehmlich durch Veränderungen des Blutdruckes (gesteuert durch den Baroreflex) beeinflusst (van Roon et al. 2004) und ist somit von jenen Schwingungen bestimmt, welche durch arteriellen Druck ausgelöst werden und langsamer als Oszillationen der Atmung⁵ sind (Julien, 2006). Zu beachten ist jedoch, dass die LF sporadisch in einer störenden Weise von der phasisch auftretenden respiratorischen Sinusarrhythmie überlagert werden kann (Pomeranz et al., 1985). Dies lässt sich verstärkt beobachten, wenn die Atmungsrate unter 10 Atemzügen pro Minute fällt (Berntson et al., 1997). Die Atmung nimmt also dann Einfluss auf den niedrigen Frequenzbereich, wenn Individuen dazu neigen, langsam zu atmen (Veltman & Gaillard, 1998).

Uneinigkeit besteht bezüglich der Forschungsergebnisse zur autonomen Modifikation der LF durch vagale und sympathische Effektoren. Malliani et al. (1991) konnten nachweisen, dass während der Bearbeitung einer mental belastenden Aufgabe eine sympathische Beeinflussung der LF vorherrschend ist. Hingegen demonstrierten Pomeranz et al. (1985), dass die spektrale Leistung in der LF von vagalen als auch sympathischen Effektoren beeinflusst wird. Experimentell untersuchten die Autoren die spektrale Frequenzverteilung von liegenden bzw.

⁵ Normalerweise ist die Frequenz der Atmung in einem Bereich von 0.2-0.5 Hz anzusiedeln (Jorna, 1992).

stehenden Testpersonen unter medikamentöser Blockierung des ANS. Es zeigte sich, dass die spektrale Leistungsdichte im Frequenzbereich unter 0.12 Hz durch parasympathische Blockierung, in einer liegenden Körperhaltung, um 84% verringert werden konnte. Dementgegen führte eine sympathische Blockierung durch Propranolol in aufrecht stehender Position zu einer Verringerung der spektralen Dichte im Bereich der LF um 89%. Jorna (1992) schlägt in einem pragmatischen Sinne vor, zur Interpretation der autonomen Einflussnahme auf LF und HF stets die Herzrate miteinzubeziehen. Nimmt vornehmlich das parasympathische System Einfluss auf den niedrigen bzw. hohen Frequenzbereich, so sollten sich bezüglich der Herzrate keine auffälligen Veränderungen einstellen, wobei die gesamte HRV durchaus reduziert sein kann. Sympathische Einflussnahme auf die autonome Reaktivität zeigt sich hingegen in einem Anstieg der Herzrate, sowie in einem Abfall der HRV.

Demgegenüber wird der hohe Frequenzbereich der Herzratenvariabilität von atmungskorrelierten Schwingungen bestimmt (*respiratorischen Sinusarrhythmie*, RSA) (Mulder, 1992) und ist ausschließlich parasympathisch moduliert (Berntson, Cacioppo, Quigley, 1993, Pagani et al., 1986, Pomeranz et al., 1985). Dies ist unter anderem dadurch zu erklären, dass die sympathische Herzratenschleife prinzipiell nicht schnell genug agiert, um Einfluss auf den hohen Frequenzbereich nehmen zu können (Akselrod, et al., 1981, van Roon et al., 2004). Das Einatmen tritt dabei mit einer Hemmung des parasympathischen Einflusses in Erscheinung (van Roon et al., 2004). Zusammenfassend lässt sich demnach, bei steigender Amplitude der atmungskorrelierten Herzratenschwankungen, eine Zunahme des parasympathischen Anteils an der vegetativen Steuerung des Herzrhythmus beobachten (Gramann & Schandry, 2009, S. 95).

Ferner lassen sich autonome Korrelate mentaler Beanspruchung in Form der elektrodermalen Aktivität operationalisieren (Boucsein, 2000, S. 15). Das Hautpotential lässt sich, neben phasischen Veränderungen, in tonischen Kennwerten darstellen. Hierbei spielt die sogenannte Anzahl der Spontanfluktuationen, als Maß des sympathischen Erregungsniveaus, eine wesentliche Rolle. Dabei handelt es sich um spontane phasische Hautleitwerterhöhungen während bspw. einer Minute. Die Erregung korreliert hierbei positiv mit der Anzahl der Fluktuationen (Gramann & Schandry, 2009, S. 71).

2.3.1 *Herzfrequenz und Herzratenvariabilität als Indikatoren mentaler Beanspruchung*

Die Herzfrequenz stellt ein sensitives Maß mentaler Beanspruchung dar, dessen Amplitude mit steigender Aufgabenschwierigkeit zunimmt (Veltman & Gaillard, 1998)⁶. Veltman und Gaillard (1996) konnten unterschiedliche Grade mentaler Beanspruchung anhand der Herzfrequenz während einer Phase des Ausruhens und einer Flugsimulation aufzeigen. In relativem Bezug zur Baseline wird die Herzrate in Situationen mentaler Beanspruchung also generell erhöht (Fairclough, Venables & Tattersall, 2005). Die Divergenz der Herzrate zwischen mehreren unterschiedlich beanspruchenden Bedingungen und Phasen des Ausruhens fällt vor allem dann signifikant aus, wenn die Aufgaben bezüglich ihres Schwierigkeitsgrades in einer absteigenden Reihenfolge vorgegeben werden (Althaus, Mulder, Mulder, van Roon, & Minderaa, 1998). Außerdem stellten sich durchschnittliche Herzratenunterschiede, während unterschiedlich belastender kognitiver Prozesse, über eine zeitliche Distanz von einigen Wochen als konstant heraus (Wilson, 2002). Zusätzlich ist die Herzrate gegenüber kurzweilig auftretenden kognitiven Stressoren sensibel (Delaney & Brodie, 2000). Während einer fünfminütigen Bearbeitung einer Stroop-Test-Aufgabe stellten letztgenannte Autoren eine signifikant erhöhte Herzrate, bei reduzierter Standardabweichung des Interbeat-Intervalls fest. Dies konnte auch noch bei einer Wiederholung des Experimentes nachgewiesen werden.

Darüber hinaus kann das Interbeat-Intervall bei bestehender mentaler Beanspruchung durch zusätzliche Belastung, z.B. in Form einer Gedächtnisaufgabe, weiter reduziert werden (Veltman & Gaillard, 1996). Hierbei steht die Herzrate in einem signifikanten Zusammenhang mit den verhaltenskorrelierten Daten: Je höher die Herzrate ist, desto höher fällt die Verhaltensqualität, in Form verringerter Fehleranzahl, (in einem Intervall von 15min) aus (Fairclough & Houston, 2004). Daran anknüpfend ist die mittlere Herzperiode als ein Parameter im Zusammenhang mit den aufmerksamkeitskorrelierten Anforderungen des Aufmerksamkeitstestes d2 zu verstehen (Duschek, Muckenthaler, Werner, Reyes del Paso, 2009). Bei verkürzten R-R-Intervallen fällt hierbei die Leistung, ebenfalls im Sinne einer Fehlerreduktion, besser aus. Fairclough et al. (2005) kommen diesbezüglich zu ähnlichen Ergebnissen. Sie konnten demonstrieren, dass zu Beginn einer Lernphase, eine verstärkte sympathische Aktivität (in Form einer erhöhten Herzfrequenz) zu einer Fehlerreduktion führt. Finsen, Sjøgaard, Jensen, Borg und Christensen (2001) zeigten außerdem, dass die Herzrate unter Bearbeitung einer aufmerksamkeitsfordernden Gedächtnisaufgabe ebenfalls zunimmt. Interessant ist hier-

⁶ Zu beachten ist hierbei der nicht lineare Zusammenhang zwischen IBI und Herzfrequenz. Das RR-Intervall und die Herzfrequenz stehen in einem reziproken Verhältnis (Gramann & Schandry, 2009, S. 109)

bei, dass bei nochmaliger Bearbeitung derselben Gedächtnisaufgabe, dieses Ergebnis nicht mehr gezeigt werden konnte. Die Autoren begründen diesen Sachverhalt mit einer Wechselwirkung zwischen Adaption und einem Neuigkeitseffekt. Letzterer ist bei nochmaliger Präsentation der bereits bekannten Gedächtnisaufgabe nicht mehr gegeben. Nickel und Nachreiner (2003) konnten dieses Ergebnis hingegen nicht replizieren. Letztgenannte Autoren weisen anhand der HRV darauf hin, dass die nochmalige Bearbeitung einer Aufgabenbatterie, bestehend aus sechs Untertests, mit verstärkter mentaler Beanspruchung (im Vergleich mit der ersten Bearbeitungsphase) verbunden ist. Zu beachten ist hierbei jedoch, dass beide Ergebnisse, aufgrund unterschiedlicher psychophysiologischer Parameter, nur bedingt vergleichbar sind. Zusätzlich kann in der Studie von Nickel und Nachreiner (2003), aufgrund einer großen Item Anzahl, vermutlich auch kein Lerneffekt verzeichnet werden.

Im Weiteren konnten Veltman und Gaillard (1998) zeigen, dass die Herzratenvariabilität zwischen Situationen mit stark unterschiedlichem Belastungslevel differenzieren kann (Pause – wenig belastende Flugsimulation – mental beanspruchende Flugsimulation). In derselben Studie war es jedoch nicht möglich, anhand der HRV zwischen fein abgestuften Belastungsgraden zu unterscheiden. Dies konnte auch von Wilson (2002) bestätigt werden, welcher anhand der HRV nicht zwischen unterschiedlichen kognitiven Anforderungen, während eines realen Fluges differenzieren konnte. Demgegenüber zeigte sich die HRV als deutliche Diskriminante bei der Interaktion mit einer Telekommunikationssoftware. Bei der Beantwortung mental sehr fordernder Anrufe, im Vergleich zu schnell behandelbaren telefonischen Anfragen, fiel die HRV deutlich reduziert aus (Izsó & Láng, 2000). Darüber hinaus untersuchten Hjortskov et al. (2004) ebenfalls die HRV in einer Mensch-Computer-Interaktion. In der experimentellen Versuchsanordnung waren die Teilnehmerinnen mentalem, psychosozialem und physischem Stress ausgesetzt. Die Ergebnisse der Autoren zeigen, in einer Situation, in der unter anderem eine verbale Gedächtnisaufgabe gelöst werden musste, eine signifikant reduzierte HRV.

Interessant sind im Weiteren die Ergebnisse von Haapalainen, Kim, Forlizzi und Dey (2010), welche die Herzratenvariabilität⁷ als einen Indikator identifizieren, anhand dessen mit einer Wahrscheinlichkeit von 71.4% zwischen hoher und niedriger Belastung unterschieden werden kann. Die Testpersonen bearbeiteten in dieser Studie unter anderem vier PC-

⁷ Erhoben wurde die Herzratenvariabilität anhand des Kennwertes ECG MAD (*median absolut deviation*).

Aufgaben, die zur Erfassung der visuellen Wahrnehmungsgeschwindigkeit dienten. Zwei dieser Aufgaben zielten spezifisch auf die Fähigkeit des visuellen Suchens von Zielreizen unter einer Vielzahl von Distraktoren ab. Laut Haapalainen et al. (2010) konnte hierbei anhand der Herzratenvariabilität, mit einer Wahrscheinlichkeit von 68.3%, hohe mentale Belastung von niedriger diskriminiert werden.

In Bezug auf den niederen Frequenzbereich der Herzratenvariabilität wird in einer Vielzahl an Studien ein negativer Zusammenhang mit der individuell investierten Anstrengung zur Erreichung eines Aufgabenzieles beschrieben (für eine Zusammenfassung siehe Boucsein & Backs, 2002, S. 14). In einer Studie von Fairclough et al. (2005) wird dementsprechend deutlich, dass die zentrale Frequenz der LF, die 0.1 Hz-Komponente, als Indikative in Zusammenhang mit Lerneffekten zu sehen ist. Die Autoren interpretieren die verringerte Dichte im Bereich der LF, zu Beginn einer Lernperiode, als erhöhte sympathische Aktivität, welche zu einer Fehlerreduktion beiträgt. Daraus schlussfolgernd lässt sich ein guter Lernerfolg mit einer erhöhten sympathischen Aktivität in Verbindung bringen. Bei andauerndem Lernprozess zeigt sich jedoch im Verlauf ein gegenwärtiges Bild: Die Fehleranzahl steigt an, wobei auch ein erhöhtes Ausmaß an vagaler Aktivität nachgewiesen werden kann.

Fairclough und Houston (2004) kommen diesbezüglich zu ähnlichen Ergebnissen. Sie stellen in einer ersten 15-minütigen Versuchsbedingung, verglichen mit zwei weiteren Versuchssituationen, eine signifikante Reduktion der LF fest. Dies ist konsistent mit den Ergebnissen von Fairclough et al. (2005), welche ebenfalls einen signifikanten Effekt des Faktors *time-on-task* im niederfrequenten HRV-Parameter feststellen. Jedoch konnten Fairclough und Houston (2004) die Sensitivität der 0.1 Hz-Komponenten während unterschiedlich schwerer Aufgabe, in der die Hemmung automatisierter Reaktionsmuster zur Zielerreichung erforderlich war, (Stroop-Test) nicht bestätigen. Wie zuvor erwähnt⁸ könnte letzteres durch eine atmungsbedingte Überlagerung der zentralen Frequenz des LF-Bereiches zu erklären sein (Fairclough & Houston, 2004). Ist die Atmungsaktivität im niedrigen Frequenzspektrum während einer Phase des Ausruhens höher, als während mentaler Beanspruchung, so kann dies zur Überschätzung des Beanspruchungsunterschiedes der Bedingungen führen⁹ (Veltman & Gaillard, 1998). Jorna (1992) weist hingegen auf eine generelle Insensibilität der 0.1 Hz-

⁸ Vergleiche Kapitel 2.3

⁹ Dieser Effekt lässt sich auch vice versa beobachten: Im Falle einer höheren Atmungsaktivität in der LF während einer belastenden Versuchsbedingung verglichen mit einer entspannenden Situation, wird der Grad der mentalen Beanspruchung systematisch unterschätzt (Veltman & Gaillard, 1998).

Komponente in Bezug auf unterschiedliche Schwierigkeitsgrade innerhalb einer Aufgabe hin. Letzteres wird auch von Nickel und Nachreiner (2003) bekräftigt, die der 0.1 Hz-Komponenten ihre Sensibilität gänzlich absprechen. Die Autoren konnten keine Korrelation zwischen der LF und subjektiv empfundenem Stresslevel verzeichnen. Außerdem geben Nickel und Nachreiner (2003) zu bedenken, dass die hohe Leistungsdichte im LF-Spektrum während der Bewältigung von zeitlich limitierten Aufgaben zu beobachten ist. Daraus schließend, könnte die 0.1 Hz-Komponente ein Indikator für empfundenen oder objektiven Zeitdruck darstellen und folglich als ein Parameter genereller Aktivierung, bei zeitlicher Restriktion herangezogen werden (Nickel, Eilers, Seehase & Nachreiner, 2002, Nickel & Nachreiner, 2003). Zusätzlich sind nach Nickel et al. (2002) unterschiedliche Leistungsdichten im niedrigen Frequenzbereich eher auf intersubjektive Unterschiede mentaler Beanspruchung, anstatt auf situative Gegebenheiten, sprich unterschiedlicher Grade mentaler Belastung, zurückzuführen.

Des Weiteren konnte während der Bearbeitung eines Aufmerksamkeitstests¹⁰ eine negative Korrelation zwischen der RSA und den testspezifischen Kennwerten abgebildet werden (Duschek et al., 2009). Verringerte Werte im hohen Frequenzbereich standen in dieser Studie in einem engen Zusammenhang mit der Anzahl der bearbeiteten Stimuli, der fehlerhaft bearbeiteten Items, sowie der testspezifischen Aufmerksamkeitskapazität. Außerdem konnte durch die RSA (im Vergleich zu LF, IBI) der größte Teil der Gesamtvarianz in der Testleistung erklärt werden. Letztere Zusammenhänge weiter ausführend, demonstrierten Fairclough et al. (2004) eine Reduktion des vagalen Tonus (HF) während der Bearbeitung von Aufmerksamkeits- und Reaktionsaufgaben, wobei die parasympathische Aktivität bei hoher mentaler Beanspruchung gänzlich gedämpft wurde. Darüber hinaus besteht eine negative korrelative Verbindung zwischen HF und subjektiv empfundener Beanspruchung (erhoben mit dem NASA-TXL) (Muth, Moss, Rosopa, Salley & Walker, 2011). Interessanterweise eruieren die Autoren hierbei einen signifikanten Effekt des Geschlechtes auf die subjektive Beanspruchung, nicht aber auf das Ausmaß der spektralen Dichte zwischen 0.15 Hz und 0.5 Hz.

Althaus et al. (1998) betonen, dass bei der Analyse der HF im Zusammenhang mit mentaler Beanspruchung der respiratorische Effekt auf die spektrale Dichte zu berücksichtigen ist. Anhand ihrer Studie wird deutlich, dass mit Hilfe der HF, als auch der LF nur dann signifikant zwischen unterschiedlich visuell beanspruchenden Gedächtnisaufgaben unterschieden

¹⁰ Aufmerksamkeitstest d2

werden kann, wenn die atemungskorrelierte Variabilität herauspartialisiert wird. Welches der beiden Frequenzbänder von der Atmung, in einem Sinne der Frequenzverstärkung, überlagert wird, ist von experimentellen Bedingungen und intrasubjektiven Atmungsmustern abhängig (Althaus et al., 1998).

Im Weiteren zeigen Delaney und Brodie (2000), wie sich LF und HF in normalisierten Einheiten (normalized units) im Gegensatz zu absoluten Werten verhalten. Im Sinne einer Abwehrreaktion verringert sich die Herzratenvariabilität und damit die normalisierten Werte der Leistungsdichte im hohen Frequenzbereich. Die Leistungsdichte der niedrigen Frequenz n.u. hingegen erhöhte sich in dieser Studie um 9.1%. In diesem Zusammenhang ist auch die Veränderung des Verhältnisses des niedrigen Frequenzspektrums zum hohen Frequenzbereich zu betrachten. Während kurzweiliger mentaler Belastung nimmt das Verhältnis zwischen niedrigem Frequenzbereich und hoher Frequenz signifikant zu. Dies bedeutet eine Veränderung der sympatho-vagalen-Balance im Sinne einer parasympathischen Verdrängung durch sympathischen Aktivitätszuwachs (Delaney & Brodie, 2000). Analog dazu demonstrieren Garde und Laursen (2002), während der Bearbeitung des Stroop-Tests, im Vergleich zu einer Phase des Ausruhens, eine Erhöhung des Verhältnisses von LF zur HF. Zusätzlich zeigten letztere Autoren in derselben Studie erhöhte Werte der HF n.u. während einer kognitiv wenig beanspruchenden Computeraufgabe, im Vergleich zur Bearbeitung des computerisierten Stroop-Tests. Entsprechend dazu erhöhte sich die LF n.u. während der Bearbeitung des Stroop-Tests.

Interessant sind außerdem die von Miyake et al. (2004) und Miyake et al. (2009) gezeigten positiven Zusammenhänge zwischen subjektiv empfundenen Beanspruchungslevel und der Schwierigkeit der zu bearbeitenden Tasks. Muth et al. (2011) konnten einen Zusammenhang zwischen hoher empfundener Belastung und niedriger spektraler Leistungsdichte im Bereich der hohen Frequenz zeigen. Nickel und Nachreiner (2003) nehmen einen Zusammenhang zwischen der 0.1 Hz-Komponente und empfundenem Zeitdruck an.

2.3.2 *Elektrodermale Aktivität als Indikator mentaler Beanspruchung*

Anhand der elektrodermalen Aktivität war es Wilson (2002) möglich, die kognitive Beanspruchung von Piloten während eines realen Szenarios des Abflug- und Landeprozesses aufzuzeigen. Im Speziellen konnte gezeigt werden, dass sich vor allem die tonische Aktivität während dieser Flugmanöver signifikant erhöhte. Darüber hinaus zeigte eine Korrelation von

$r = 0.83$ zwischen Herzrate und EDA einen signifikanten Zusammenhang der beiden Parameter. Hierbei ist jedoch zu betonen, dass die Herzfrequenz das sensitivere Maß darstellte, um zwischen unterschiedlichen Belastungssituationen zu differenzieren.

In einer *Dual-Task*-Versuchsanordnung verdeutlichten Mehler et al. (2012), dass die Hautleitfähigkeit, bei zunehmender kognitiver Belastung relativ linear ansteigt. Die Versuchspersonen waren angehalten, sich Zahlenfolgen während des Autofahrens zu merken, und diese widerzugeben. Nennenswert ist hierbei, dass die Hautleitfähigkeit, verglichen mit der Herzrate, mehr Zeit in Anspruch nimmt, um sich in einer Erholungsphase zu reduzieren (Mehler et al., 2012).

Bei der Bearbeitung einer Multitaskaufgabe am PC, in der die Testpersonen ein Ressourcenmanagement-Task, einen Vigilanz-Test und ein Tracking-Task zu bewältigen hatten, zeigte sich das Hautpotential für die Unterscheidung zwischen hoher und niedriger Belastung sensibel (Miyake et al., 2004). Daran anknüpfend zeigten Miyake et al. (2009) in einer Studie zur Überprüfung der Test/Retest-Reliabilität psychophysiologischer Parameter, dass sich das Hautpotentiallevel durch eine hohe Test/Retest-Korrelation auszeichnet. Außerdem korrelierte das Hautpotentiallevel mit der Höhe der mentalen Belastung. Im Weiteren nehmen Soga, Miyake und Wada (2007) an, dass das Hautpotentiallevel ein sehr sensibles Maß für antizipierte Anspannung/Belastung darstellt. Die Autoren konnten zeigen, dass sich das Hautpotentiallevel schon frühzeitig vor einer arithmetischen Rechenaufgabe, während einer Phase der Entspannung, veränderte. Tabelle 1 stellt die dargestellten Ergebnisse zusammenfassend dar.

2.4 Problemstellung und Forschungsfrage

Die vorliegende Diplomarbeit untersucht die autonomen Korrelate mental belastender Mensch-Computer-Schnittstellen im Vergleich zu Benutzeroberflächen, welche als wenig kognitiv beanspruchend gelten. Zusätzlich werden korrelative Beziehungen zwischen subjektiven Beanspruchungsratings und den autonomen Parametern geprüft.

Es ergeben sich demnach folgende zwei Forschungsfragen:

1. Gibt es einen Unterschied bezüglich der autonomen Aktivität während der Bearbeitung von mental belastenden Aufgaben am Computer im Vergleich zu kognitiv wenig beanspruchenden PC-Aufgaben?
2. Gibt es einen Zusammenhang zwischen subjektiv empfundener Beanspruchung und autonomer Aktivität?

Tabelle 1: Autonome Parameter im Zusammenhang mit mentaler Belastung. Pfeil nach oben = Erhöhung, Pfeil nach unten = Verringerung, kein Pfeil = kein signifikantes Ergebnis.

<i>Parameter</i>		<i>Studie</i>	<i>Sensitivität</i>
HR	↑	Veltman & Gaillard (1998)	bei steigender Aufgabenschwierigkeit
HR	↑	Veltman & Gaillard (1996)	im Vergleich: Ruhephase und Flugsimulation
HR	↑	Fairclough et al. (2005)	im Vergleich: Mentale Belastung und Baseline
HR	↑	Delaney & Brodie (2000)	bei kurzweilig auftretenden Stressoren
HR	↑	Fairclough & Houston (2004)	negativer korrelativer Zusammenhang mit Fehleranzahl
HR	↑	Duschek et al. (2009)	negative Korrelation mit Fehleranzahl im Test d2
HR	↑	Finsen et al. (2001)	bei Bearbeitung einer Gedächtnisaufgabe
HRV	↓	Nickel & Nachreiner (2003)	bei hoher mentaler Belastung
HRV	↓	Veltman & Gaillard (1998)	im Vergleich: Stark divergierender Belastungslevel
HRV		Wilson (2002)	Keine Veränderung bei unterschiedlich starker kognitiver Anforderung
HRV	↓	Izso & Lang (2000)	im Vergleich: Mental beanspruchender Anrufe und wenig anstrengenden Anrufen.
HRV	↓	Hjortskov et al. (2004)	verbale Gedächtnisaufgabe
HRV	↓	Haapalainen et al. (2010)	im Vergleich: Visuelle Suchaufgaben mit wenig und vielen Distraktoren.
LF	↓	Fairclough et al. (2005)	in Zusammenhang mit Lernprozessen
LF	↓	Nickel und Nachreiner (2003)	in Zusammenhang mit Zeitdruck
LF		Nickel und Nachreiner (2003)	mentale Beanspruchung zeigt keinen Effekt auf die 0.1 Hz-Komponente
LF	↓	Fairclough & Houston (2004)	im Vergleich: unterschiedlich schwere Aufgaben, in denen die Hemmung automatisierter Reaktionsmuster zur Zielerreichung nötig waren.
HF	↓	Duschek et al. (2009)	im Zusammenhang mit Aufmerksamkeitskapazität
HF	↓	Fairclough & Houston (2004)	in Zusammenhang mit Aufmerksamkeits- und Reaktionsaufgaben.
HF	↓	Muth et al. (2011)	in Zusammenhang mit hoher subjektiv empfundener Beanspruchung
LF/HF	↑	Delaney & Brodie (2000)	bei Bearbeitung des Stroop-Testes
LF/HF	↑	Garde & Laursen (2002)	bei Bearbeitung des Stroop-Testes im Vergleich zu Ruhephase
LF n.u.	↑	Delaney & Brodie (2000)	bei Bearbeitung des Stroop-Testes
HF n.u.	↓	Garde & Laursen (2002)	bei Bearbeitung des Stroop-Testes im Vergleich zu Ruhephase
EDA (tonisch)	↑	Wilson (2002)	bei Abflug und Landeprozess
SPL	↑	Soga et al. (2007)	bei antizipierter Anspannung/Belastung
SPL	↑	Miyake et al. (2004)	im Vergleich: Hohe und niedrige mentale Beanspruchung am PC

B METHODE

3 Untersuchungsdesign und Variablen

3.1 Untersuchungsdesign

Dem durchgeführten Laborexperiment liegt ein mehrfaktorielles Design mit Messwiederholung zugrunde. Ein Within-Subject-Design erscheint besonders wertvoll, da die Erfassung tonischer Herzraten durch unterschiedliche zyklische Trends bedingt ist und bei einem Vergleich zwischen Individuen zu periodischen Herzfrequenzunterschieden führen kann (Gramann & Schandry, 2009, S. 107).

Das 1 x 35 (Versuchsgruppe x Versuchsbedingung) Messdesign repräsentiert die Versuchsgruppe während der Bearbeitung von mental beanspruchenden Aufgaben (Tasks) im Vergleich zur Bearbeitung mental weniger fordernden Tasks. Dies wurde anhand eines PC-Programmes (Trimmel & Koller, 2012) realisiert, welches im Kapitel 5 näher beschrieben werden soll. Vorweg zu nehmen ist an dieser Stelle, dass das PC-Programm aus insgesamt fünf verschiedenen Aufgaben (Tasks) besteht, welche auf unterschiedlichen psychologischen Paradigmen beruhen. Hierbei weist jedes Task ein eigenes Messdesign auf. Ausgewertet werden im Rahmen dieser Diplomarbeit vier von den fünf vorliegenden Tasks. Tabelle 5 stellt alle Tasks, Bedingungen und Faktorenbenennungen anschaulich dar.

Folgende Versuchsdesigns ergeben sich für die in Kapitel 5.1 näher beschriebenen Tasks des Computerprogramms:

Visuelles Suchen:

3 (OQ_BQ vs. SK_SQ vs. SK_WK_SQ¹¹) x 2 (06 Distraktoren vs. 50 Distraktoren)

3 (T_OG vs. T_IY vs. T_IZ) x 2 (06 Distraktoren vs. 50 Distraktoren)

Liste:

Ein-Gruppen Versuchsplan mit Messwiederholung.

¹¹ OQ = oranges Quadrat, BQ = Blaues Quadrat, SK = Schwarzer Kreis, WK = Weißer Kreis, SQ = Schwarzer Kreis.

Pfeil:

2 (mit Antizipation vs. ohne Antizipation) x 2 (großes Ziel vs. kleines Ziel)

Kreuz:

Testphase:

3 (Analog vs. Digital vs. Silben) x 2 (kompatibel vs. inkompatibel) x 2 (1. vs. 2. Minute)

Lernphase:

3 (Analog vs. Digital vs. Silben) x 2 (kompatibel vs. inkompatibel) x 5 (1.-5. Minute)

3.2 Unabhängige Variablen (UV)

Als unabhängige Variable gelten in dieser Studie die einzelnen Bedingungen der fünf Tasks des Computerprogramms (Trimmel & Koller, 2012). Namentlich besteht das Programm aus den Aufgaben Visuelles Suchen, Herd, Liste, Pfeil und Kreuz. In der vorliegenden Analyse der Daten fand das Task Herd jedoch keine Beachtung. Es ergeben sich also folgende unabhängige Variablen, welche zusätzlich in Tabelle 5 aufgelistet sind.

- Visuelles Suchen: UV_1: 3 x Muster_Formen
UV_2: 3 x Muster_Buchstaben
UV_3: 2 x Anzahl der Distraktoren
- Liste: UV_4: 2 x Distanz
- Pfeil: UV_5: 2 x Zielgröße
UV_6: 2 x Antizipation
- Kreuz: UV_7: 3 x Repräsentationsform
UV_8: 2 x Reiz-Reaktionsmuster
UV_9: 2 x Zeit

3.3 Abhängige Variablen (AV)

Als abhängige Variablen gelten in dieser Laborstudie die folgenden physiologischen Parameter, welche von der Task Force (1996) als studienrelevante Kennwerte vorgeschlagen werden. Ferner wurde ein Maß für die elektrodermale Aktivität, als auch subjektive Ratings des mentalen Belastungslevel zur Operationalisierung herangezogen.

Kardiovaskuläre Kennwerte

- Mittlere Herzrate

Kennwerte der Herzratenvariabilität im zeitbezogenen Bereich:

- SDNN
- rMSSD
- PNN10
- PNN50

Kennwerte der Herzratenvariabilität aus dem frequenzbezogenen Bereich:

- LF
- HF
- HRVtotal
- Log LF/HF
- LF%
- HF%
- LF n.u.
- HF n.u.

Zusätzlich soll ein Kennwert der elektrodermalen Aktivität ausgewertet werden:

- Anzahl der Spontanfluktuationen (number of peaks, Nop).

Außerdem wurden folgende subjektive Ratings aus dem NASA-TXL herangezogen.

- Geistige Anforderung
- Körperliche Anforderung
- Zeitliche Anforderung
- Anstrengung
- Leistung
- Frustration
- NASA-TXL Summe

4 UntersuchungsteilnehmerInnen

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde eine anfallende Stichprobe herangezogen, welche sich aus StudentInnen der Universität Wien zusammensetzte. Insgesamt nahmen 127 Personen an der Studie teil, 51 Frauen und 75 Männer, wobei eine Person keine Details zum Geschlecht angab. 107 Personen nahmen Im Rahmen der Vorlesung „Human-Computer-Interaction und Psychologie“, einer Lehrveranstaltung der Studienprogrammleitung „Informatik und Wirtschaftsinformatik“ teil. Die Mehrheit dieser Gruppe setzte sich aus Studierenden der Informatik ($n = 33$), Wirtschaftsinformatik ($n = 20$) und Medieninformatik ($n = 18$) zusammen. Darüber hinaus waren 20 StudentInnen der Psychologie im Zuge eines Proseminars der Sozialpsychologie verpflichtet, Versuchspersonenstunden zu leisten.

Das durchschnittliche Alter der Gesamtstichprobe liegt bei $M = 26.3$ Jahren ($SD = 6.614$), wobei eine Testperson es vorzog, ihr Alter nicht bekannt zu geben. Im Weiteren gaben 63.8% der TeilnehmerInnen an, Deutsch als Muttersprache zu sprechen, wobei 71.7% ihre Deutschkenntnisse als sehr gut einschätzten. 20.5% der TeilnehmerInnen betitelten ihre Kenntnisse der deutschen Sprache als gut und 6.3% der TeilnehmerInnen beschrieben die eigenen Deutschkenntnisse als eher gut. Zu charakterisieren ist die Stichprobe außerdem anhand des Bildungsstandes der TestteilnehmerInnen. 56 der insgesamt 127 Personen gaben an, eine allgemeine höhere Schule besucht zu haben, 38 Personen eine berufsbildende höhere Schule. 14 der teilnehmenden StudentInnen hatten zum Zeitpunkt der Testung bereits ein Studium mit dem Titel Bakkalaureus/Bakkalaurea abgeschlossen.

Des Weiteren bestätigten 53% der VersuchsteilnehmerInnen eine Sehschwäche, weshalb 50.4% zum Zeitpunkt der Testung eine Brille bzw. Kontaktlinsen trugen. In Zusammenhang mit individuell empfundenem Stress, gaben 48.8% der teilnehmenden Personen an, sich zu Beginn der Testung nur wenig gestresst zu fühlen. Darüber hinaus fühlten sich 22% in einem mittleren Ausmaß gestresst.

Tabelle 2: Deskriptive Charakteristik der Stichprobe.

Alter	<i>M = 26.3</i>	<i>SD = 6.614</i>		
			Häufigkeit	Gesamt
Geschlecht Gesamt				
	Männer		75	
	Frauen		51	127
Geschlecht Physiologische Stichprobe				
	Männer		61	
	Frauen		50	121
Psychologie StudentInnen			27	
StudentInnen, welche die Vorlesung "HCI und Psychologie" besuchten.			120	127
Art des Studiums				
Lehramt Informatik			9	
Kartographie und Geomedientechnik			1	
Publizistik			6	
Wirtschaftsinformatik			20	
Informatik			33	
Medieninformatik			18	
Psychologie			19	
Medizininformatik			7	
Bauwesen			1	
Informatikmanagement			2	
Mathematik			1	117 *
Deutsch als Muttersprache			81	119 *
Deutschkenntnisse allgemein	eher gut		8	
	gut		26	
	sehr gut		91	125 *
Höchste abgeschlossene Ausbildung				
	Pflichtschule		3	
	Berufsbildende mittlere Schule		3	
	Allgemein Bildende höhere Schule		56	
	Berufsbildende höhere Schule		38	
	Fachhochschule		6	
	Studium / Universität (Bak.)		14	
	Studium / Universität (Mag., Dr. med.)		3	
	Doktor phil.		1	
	Studienberechtigungs- prüfung		3	127*

* Anzahl beantworteter Items

Bezüglich ihrer generellen körperlichen Befindlichkeit, gaben 12.6% der Testpersonen an, zum Zeitpunkt der Testung unter Kopfschmerzen zu leiden. Rückenschmerzen hatten 10.2% der TeilnehmerInnen und 11% litten unter Trockenheitsgefühl der Augen. Zusammenfassend hatten jedoch 62.2% der Personen keine nennenswerten körperlichen Symptome, welche sie während der Testung hätten beeinflussen können.

Tabelle 3: Befindlichkeit und körperliche Symptomatik der TestteilnehmerInnen

<i>Symptom</i>		<i>Häufigkeit</i>	<i>Gültige Prozente</i>
<i>Kopfschmerzen</i>			
		16	12.6
	Gesamt	127	
<i>Rückenschmerzen</i>			
		13	10.2
	Gesamt	127	
<i>Trockene Augen</i>			
		14	11.0
	Gesamt	127	100.0
<i>Keine Symptome</i>			
		79	62.2
	Gesamt	127	100.0
<i>Testpersonen, welche eine Sehbehinderung haben</i>			
		67	53.2
	Gesamt	126	100.0
<i>Testpersonen, welche eine Sehhilfe tragen</i>			
		64	60.4
	Gesamt	106	100.0
<i>Stressempfinden vor der Testung</i>			
	gar keines	31	24.4
	wenig	62	48.8
	mittel	28	22.0
	ziemlich	3	2.4
	sehr viel	3	2.4
	Gesamt	127	100.0

Darüber hinaus beträgt die Stichprobe mit Personen, für welche autonome Messwerte vorliegen $n = 121$. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die EKG- und EDA-Aufzeichnungen von 4 Personen, aufgrund mangelnder Qualität, nicht für die statistische Analyse herangezogen werden konnten. Des Weiteren haben zwei Personen nach der Bearbeitung des ersten Tasks des Computertestes, die Testung gänzlich abgebrochen.

5 Untersuchungsbedingungen und Materialien

5.1 Das Computerprogramm

Für diese Studie wurde ein Computerprogramm entwickelt (Trimmel & Koller, 2012), welches sich durch fünf maßgeblichen Tasks charakterisieren lässt. Jedem Task liegt ein psychologisches Paradigma zugrunde, welches in den einzelnen Kapiteln zur Taskbeschreibung genannt wird.

Außerdem sind die Aufgaben in den einzelnen Tasks so konzipiert, dass sie aufgrund ihrer gestalterischen Merkmale zum einen wenig kognitive Ressourcen beanspruchen, dem entsprechend als leicht zu kategorisieren sind. Zum andern wurden die Aufgaben in einer mental beanspruchenden Weise vorgegeben. Ein Task ist dabei in einminütige Bedingungs- bzw. Aufgabendarbietungen gegliedert. Dabei wird eine Bedingung 12 mal (im Task Lernen in der Testphase: 24 mal) hintereinander zur Bearbeitung dargeboten. Daraus ergibt sich eine Gesamtdauer einer Bedingung bzw. Merkmalskombination von einer Minute. Die Lernphase des Tasks Kreuz stellt dabei eine Ausnahme dar, was gesondert erläutert werden soll.

Ein Task begann mit der schriftlichen Instruktion, woraufhin gegebenenfalls der ausfindig zumachende Zielreiz dargeboten wurde. Die Instruktion beinhaltete eine Handlungsanweisung und forderte die Testpersonen auf, so schnell und akkurat wie möglich zu arbeiten. Der genaue Wortlaut der Instruktionen ist in Anhang 19.2 zu finden. Zwischen Instruktion, Zielreizdarbietung (eventuell dem graphischen Aufzeigen, welcher Reiz gesucht werden soll, was vornehmlich auf das Task Visuelles Suchen zutrifft) und Beginn der Bedingung erschien, jeweils fünf Sekunden lang, ein weißer Bildschirm. Am Ende jeder Bedingung war der NASA-TXL am PC auszufüllen. Verbildlichen soll diesen Ablauf exemplarisch für eine Bedingung des Tasks Visuelles Suchen die Abbildung 1.

Während der Bearbeitung der einzelnen Bedingungen wurde der Cursor der Maus nach jedem Item (also nach jeweils 5 Sekunden) automatisch in die Mitte des Bildschirms platziert. Dies gewährleistete, dass bei jeder geforderten Reaktion vom gleichen Ausgangspunkt gestartet werden konnte. Erhoben wurden anhand des Computerprogramms die Reaktionszeiten, die Fehleranzahl in den einzelnen Tasks, als auch die Anfangs- und Endzeiten der einzelnen Bedingungen in den Tasks. Letzteres ist vor allem für die Auswertung der Physiologie von Bedeutung. Die Reaktionszeiten und Fehler werden in dieser Diplomarbeit nicht ausge-

wertet, da der Schwerpunkt auf den physiologischen Korrelate während der Taskbearbeitung liegen soll.

<i>Art der Darbietung</i>	<i>Darbietungsdauer (in Sek.)</i>
Instruktion	individuell
weißer Bildschirm	5 Sekunden
zusätzliche Instruktion und graphische Darbietung des Zielreizes: Schwarzer Kreis	individuell
Weißer Bildschirm	5 Sekunden
12 x Darbietung eines Suchbildes mit einem schwarzen Kreis und 06 schwar- zen Quadraten (12 Items)	Jede Darbietung = 5 Sek. Gesamtdauer = 1min.
NASA_TXL	individuell
weißer Bildschirm bis zum Beginn der nächsten Instruktion	5 Sekunden

Abbildung 1: Zeitlicher Ablauf der Bedingung Schwarzer Kreis vs. Schwarzes Quadrat, 06 Distraktoren im Task Visuelles Suchen. Die Abbildung ist in einer zeitlichen Reihenfolge von oben nach unten zu lesen.

Im Weiteren wurden acht Versionen des Computerprogrammes vorgegeben, in welchen die Reihenfolge der Tasks, als auch die Bedingungen in den Tasks permutiert wurden. Eine genaue Darstellung der Permutation kann im Anhang gefunden werden. Die geschlechtliche Verteilung der TeilnehmerInnen in den Tasks gestaltete sich annähernd gleich.

Tabelle 4 zeigt die Verteilung der Testpersonen über die einzelnen Programmversionen.

Tabelle 4: Geschlechtliche Verteilung der TestteilnehmerInnen der physiologischen Stichprobe von $n = 121$ in den Programmversionen (PV) 1-8.

	<i>PV_1</i>	<i>PV_2</i>	<i>PV_3</i>	<i>PV_4</i>	<i>PV_5</i>	<i>PV_6</i>	<i>PV_7</i>	<i>PV_8</i>	<i>Gesamt</i>	<i>Teststatistik</i>	<i>df</i>	<i>p-Wert</i>
<i>Geschlecht</i>										$\chi^2 = 1,736$	7	0,0973
<i>Männer</i>	8	8	8	12	10	9	10	6	61			
<i>Frauen</i>	6	4	7	7	6	7	6	7	50			

Im Folgenden sollen nun die einzelnen Tasks genauer beschrieben werden, wobei eine zusammenfassende Darstellung der Bedingungen des Computerprogramms in Tabelle 5 dargestellt wird.

5.1.1 Visuelles Suchen

Die theoretische Fundierung des Tasks Visuelles Suchen ist in der Feature Detection Theory (Treisman, 1980) zu finden. Die Versuchspersonen wurden bei diesem Task angehalten, einen visuellen Zielreiz auf dem Bildschirm zu finden, und diesen so schnell wie möglich anzuklicken. Hierbei gab es zwei Bedingungsblöcke. Zum einen galt es, den Buchstaben *T* unter den Buchstaben *O* und *G* bzw. *I* und *Y* oder *I* und *Z* ausfindig zu machen. Diese Bedingungen werden unter dem Faktor *Muster_Buchstaben* subsummiert. Zum anderen sollten die Testpersonen Figuren finden. Dabei gab es folgende Merkmalskombinationen (*Muster_Formen*): Ein oranges Quadrat musste unter blauen Quadraten gefunden werden. Darüber hinaus musste ein schwarz ausgefüllter Kreis unter schwarz ausgefüllten Quadraten gefunden werden. Als dritte Variante galt es, einen schwarzen Kreis unter schwarzen Quadraten und weißen Kreisen ausfindig zu machen. Variiert wurde im Weiteren die Anzahl der Distraktoren, wobei der Zielreiz unter sechs oder 50 Distraktoren gefunden werden musste. Schnelle Reaktionszeiten und wenig kognitive Beanspruchung während der Bearbeitung der Suchbilder, sind bei sechs Distraktoren zu erwarten, bzw. entsprechend der Theorie nach Treisman (1980). Abbildung 2 bis Abbildung 5 demonstrieren den Aufbau der Suchbilder. Eine vollständige Darstellung ist im Anhang in Kapitel 19.1 zu finden.

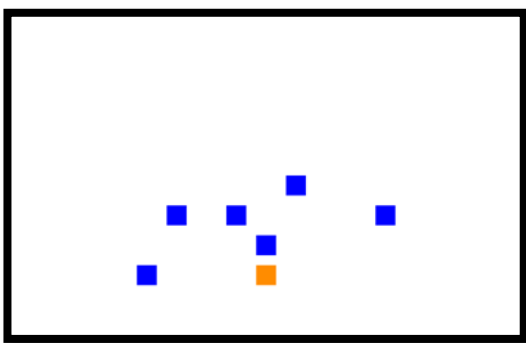


Abbildung 2: Visuelles Suchen: Oranges Quadrat vs. Blaues Quadrat; Anzahl der Distraktoren 06.

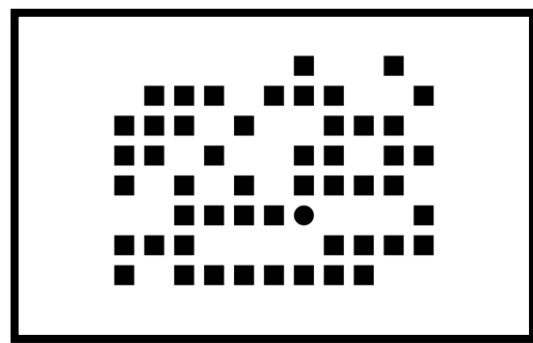


Abbildung 3: Visuelles Suchen: Schwarzer Kreis vs. Schwarzes Quadrat; Anzahl der Distraktoren 50.

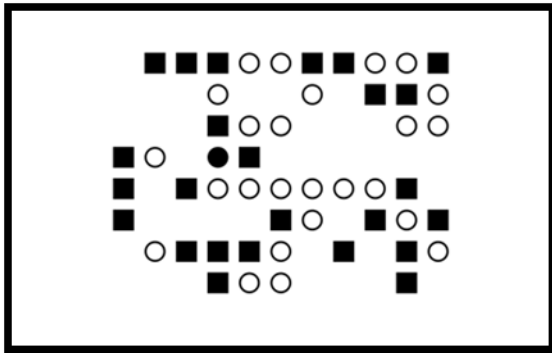


Abbildung 4: Visuelles Suchen: Schwarzer Kreis vs. Schwarzes Quadrat und weißer Kreis; Anzahl der Distraktoren 50.

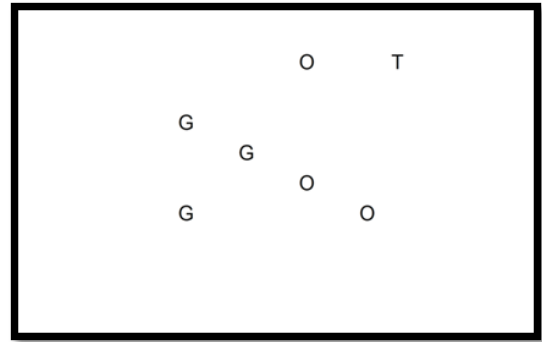


Abbildung 5: Visuelles Suchen: T vs. OG; Anzahl der Distraktoren 06.

5.1.2 Liste

Die Aufgabe des Tasks Liste bestand aus zwei aufeinanderfolgenden Reaktionen. Die Testpersonen wurden aufgefordert, in einer vertikal angeordneten Liste von 15 Ziffern die Nummer 12 ausfindig zu machen und anzuklicken. Daraufhin war es nötig, mit dem Mauscursor nach rechts zu fahren, und aus einer Liste von 15 OK-Buttons jenen anzuklicken, welcher auf Höhe (rechts von) der Nummer 12 angeordnet war. Die experimentelle Manipulation lag in der *Distanz* (*Eng*, *Weit*) zwischen den Ziffern und den OK-Buttons. Hierbei stellt eine kurze (*Eng*) Distanz zwischen Ziffern und Buttons, analog zu dem Gestaltgesetz der Nähe, die einfache, wenig kognitiv belastende Arbeitsbedingung dar. Die Bearbeitung in der Bedingung *Weit* ist hingegen als anspruchsvoll zu beschreiben. Abbildung 6 zeigt die Bedingung *Eng*. Eine vollständige Darstellung des Aufbaues vom Task Liste ist im Anhang 19.1.2 zu finden.

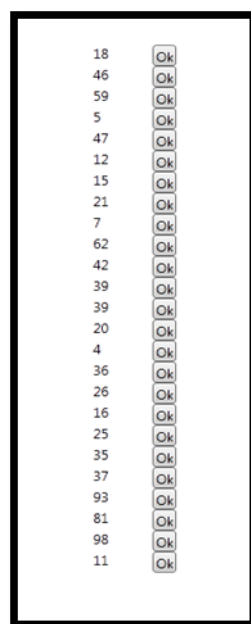


Abbildung 6: Task Liste, in der Bedingung Eng

5.1.3 Pfeil

Im Task Pfeil waren die TestteilnehmerInnen aufgefordert, den Mauscursor so schnell und genau wie möglich von einem Startkreis zu einem schwarzen Zielkreis zu bewegen. Wichtig war hierbei, dass die Testperson es schaffte, mit der Maus in die Fläche des schwarzen Zielkreises zu klicken. Dies wurde dadurch erschwert, dass die Größe des Kreises in den einzelnen Bedingungen variierte (Faktor: *Zielgröße*). Zusätzlich zur Manipulation der Kreisgröße wies in der Hälfte aller Durchgänge ein roter Pfeil vor dem Aufscheinen des Zielpunktes auf die Reaktionsrichtung hin (Faktor: *Antizipation*). Letzteres diente zur mentalen Reaktionsvorbereitung und Erleichterung der korrekten und zielgerichteten Mausführung. Die theoretische Grundlage des Tasks bildet das so genannte Fitts'sche Gesetz (Fitts, 2005), welches die Bewegungszeit, Genauigkeit und Distanz einer gezielten motorischen Reaktion in Verbindung bringt. Das Fitts'sche Gesetz beschreibt die Zeitspanne, in der durch eine motorische Reaktion eine Zielfläche erreicht wird. Es ergibt sich diesbezüglich eine Funktion, aus der Distanz zum Zielpunkt und dessen Größe (Fitts, 2005). Analog dazu stellt das Task Pfeil in der Bedingung große Zielgröße eine wenig beanspruchende Aufgabe dar. Kombiniert mit der antizipatorischen Richtungsweisung ist das geringste Ausmaß an kognitivem Aufwand nötig, um schnell und korrekt zu reagieren. Abbildung 7 und Abbildung 8 zeigen die graphische Anordnung bei großem Zielreiz mit und ohne Antizipation. Im Anhang, Kapitel 19.1.3, ist die vollständige graphische Darstellung des Tasks Pfeil zu finden.

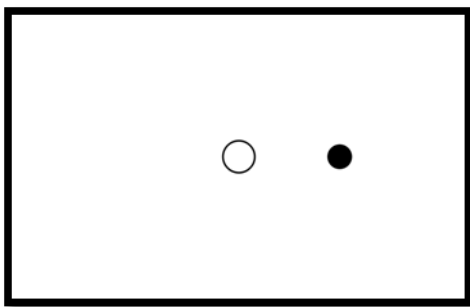


Abbildung 7: Task Pfeil in der Bedingung Groß ohne Antizipation.

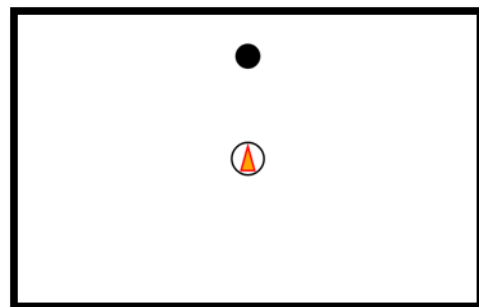


Abbildung 8: Task Pfeil in der Bedingung Groß mit Antizipation.

5.1.4 Kreuz

Das Task Kreuz beruht auf dem Paradigma des Lernens und Umlernens von Reiz-Reaktionsmustern, wobei die Hemmung automatisierter Reaktionsmuster (Fitts & Deininger, 1954) eine essentielle Rolle spielt.

Die Testpersonen wurden aufgefordert, sich anhand eines auf dem Bildschirm dargebotenen Kreuzes Reizkombinationen zu merken. In der Mitte des Kreuzes wurde auf einer quadratischen Fläche ein richtungsweisender Reiz gezeigt, anhand dessen die Testpersonen mit dem Mauscursor zur entsprechenden Spitze des Kreuzes fahren mussten. Hierbei wurden zwei Faktoren variiert. Zum einen gab es drei unterschiedliche Arten der Darbietung (Faktor: *Repräsentationsform*) der Reize im mittleren Quadrat des Kreuzes. Die Bedingung *Analog* wies die Reaktionsrichtung durch gelb aufscheinende kleine Rechtecke. Die Bedingung *Digital* hingegen zeigte den Testpersonen durch digitale Zahlenanzeigen, in welche Richtung des Kreuzes der Mauscursor zu bewegen war. Die dritte Faktorstufe *Silben* forderte die VersuchsteilnehmerInnen auf, sich die Silben *RAD*, *ZEH*, *HUT* und *ZUG* in Zusammenhang mit einer Richtung zu merken. Zusätzlich bestimmte der Faktor *Reiz-Reaktionsmuster* in welche Richtung bei den dargebotenen Reizen mit dem Cursor zu fahren war. *Kompatibel* waren hierbei all jene Reiz-Reaktionsmuster, welche ohne lernen leicht, und ohne starke Beanspruchung anhand kongruenter mentaler Repräsentation durchführbar sind. Hingegen galten von mentalen Reiz-Reaktionskombinationen abweichende Sets als *inkompatibel*.

Das Task Kreuz besteht neben der Instruktion aus zwei Hauptteilen. In der Lernphase war es nötig, dass die Testperson 2 x 4 Reizdarbietungen mit der richtigen Reaktion, also der Cursorbewegung ans entsprechende Ende des Kreuzes, beantworteten. Hierbei schien zwischen den 2 x 4 Repräsentationsformen ein weißer Bildschirm von fünf Sekunden auf. Wichtig ist außerdem zu beachten, dass die Lernphase nur dann beendet werden konnte, wenn acht Reizdarbietungen ohne Fehler mit der korrekten Reaktion an die entsprechende Kreuzspitze beantwortet wurde. Die Lerndauer konnte sich somit individuell verlängern. Auf die Lernphase folgte unmittelbar die sogenannte Testphase, in der die gelernten Reiz-Reaktionsmuster geprüft wurden. Insgesamt dauert die Testphase zwei Minuten, mit jeweils 24 Items (Reizdarbietungen).

Für die psychophysiologische Auswertung war es bezüglich der Anfangs- und Endzeiten der Lernphasen pro Person wichtig zu beachten, dass Personen, welche die 2 x 4 Lern-

durchgänge auf Anhieb exakt bearbeiteten, eine Dauer von 40 Sekunden benötigten. Insgesamt wurden jedoch über alle Tasks hinweg 1-Minuten-Intervalle der kardiovaskulären Aktivität analysiert. Deshalb war es nötig, die Zeitintervalle der Lernphasen für die korrekte Analyse um 20 Sekunden zu verlängern. Dies geschah indem am Ende jeder Lernphase zehn Sekunden addiert wurden und das Intervall zu Beginn um zehn Sekunden verlängert wurde. Inhaltlich bedeutet dies, dass in die Analyse der Lernphase zusätzlich zur eigentlichen Lernaktivität, 20 Sekunden der kardiovaskulären Aktivität hineinspielen, die sich während der Bearbeitung des NASA-TXL und den Wartezeiten während der Übergänge durch weiße Bildschirme ereignet hat. Abbildungen Abbildung 9, Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen die Items des Task Kreuz. Im Anhang 19.1.4 ist die vollständige Darstellung des Tasks Kreuz zu finden.

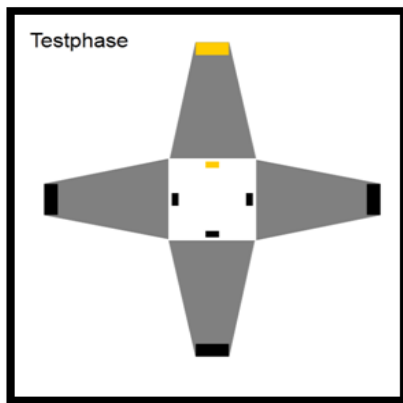


Abbildung 9: Task Kreuz in der Bedingung Analog kompatibel.

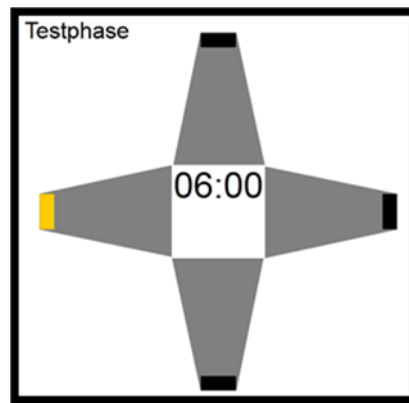


Abbildung 10: Task Kreuz in der Bedingung Digital inkompatibel.

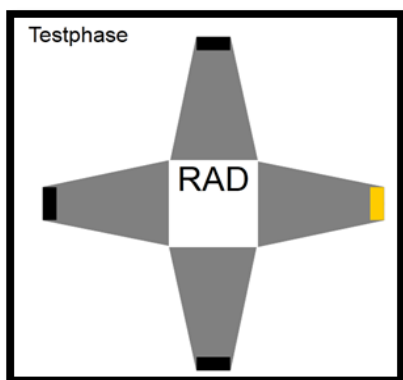


Abbildung 10: Task Kreuz in der Bedingung Silben, kompatibel.

Tabelle 5: Die Tasks des Computerprogramms und ihre Bedingungen, bzw. Faktoren

Name des Tasks	Bedingungen in den einzelnen Tasks	Anzahl und Benennung der Faktoren
VISUELLES SUCHEN		
Anzahl der Distraktoren = 06	Schwarzer Kreis vs. Schwarzes Quadrat	3 (Muster) x 2 (Anzahl der Distraktoren)
	Oranges Quadrat vs. Blaues Quadrat	
Anzahl der Distraktoren = 50	schwarzer Kreis vs. weißer Kreis und schwarzes Quadrat	3 (Muster) x 2 (Anzahl der Distraktoren)
	Schwarzer Kreis vs. Schwarzes Quadrat	
Anzahl der Distraktoren = 50	Oranges Quadrat vs. Blaues Quadrat	3 (Muster) x 2 (Anzahl der Distraktoren)
	schwarzer Kreis vs. weißer Kreis und schwarzes Quadrat	
Anzahl der Distraktoren = 06	T vs. I und Y	3 (Muster) x 2 (Anzahl der Distraktoren)
	T vs. I und Z	
	T vs. O und G	
Anzahl der Distraktoren = 50	T vs. I und Y	3 (Muster) x 2 (Anzahl der Distraktoren)
	T vs. I und Z	
	T vs. O und G	
LISTE	Eng	2 (Distanz)
	Weit	
PFEIL	Groß ohne Antizipation	2 (Zielgröße) x 2 (Antizipation)
	Groß mit Antizipation	
	Klein ohne Antizipation	
	Klein mit Antizipation	
KREUZ		
Lernen	Analog Kompatibel 1.-5. Minute	3 (Repräsentationsform) x 2 (Reiz-Reaktionsmuster) x 5 (Lernzeit)
	Analog Inkompatibel 1.-5. Minute	
	Digital Kompatibel 1.-5. Minute	
	Digital Inkompatibel 1.-5. Minute	
	Silben Kompatibel 1.-5. Minute	
	Silben Inkompatibel 1.-5. Minute	
Testen	Analog Kompatibel 1.-2. Minute	3 (Repräsentationsform) x 2 (Reiz-Reaktionsmuster) x 2 (Lernzeit)
	Analog Inkompatibel 1.-2. Minute	
	Digital Kompatibel 1.-2. Minute	
	Digital Inkompatibel 1.-2. Minute	
	Silben Kompatibel 1.-2. Minute	
	Silben Inkompatibel 1.-2. Minute	

5.2 Der National Aeronautics and Space Administration Task Load Index (NASA-TXL)

Der NASA-TXL (Hart & Staveland, 2005), welcher ein multidimensionales Maß subjektiv empfundener Beanspruchung darstellt, wurde in einer deutschen Version vorgegeben. Insgesamt wurde die individuelle Beanspruchung in sechs Subskalen mit je einem Item erfasst. Mit Hilfe einer visuellen Analogskala konnte jedes Item am PC durch verschieben des Mausursors beantwortet werden. Dabei war es möglich, die Beantwortung zu wiederholen. Die Analogskala reichte von 1 = sehr niedrig (bzw. perfekt) bis 21 = sehr hoch (bzw. fehlerhaft). Für die Interpretation ist bei der Subskala Leistung inhaltlich besonders darauf zu achten, dass hohe Werte für eine subjektiv fehlerhaft eingeschätzte Leistung stehen. Die Subskala Leistung wird daher in der tabellarischen Darstellung der Korrelationen zwischen dem NASA-TXL und den psychophysiologischen Parametern im Anhang, Kapitel 17, in fehlerhafte Leistung umbenannt. Insgesamt wurde pro Testperson der Absolutwert jeder Subskala, als auch ein Summenscore aller Subskalen als Kennwerte herangezogen.

<i>Subskala/Item</i>	<i>Endpunkte der Analogskala</i>	<i>Fragestellung</i>
Geistige Anforderung	sehr niedrig/sehr hoch	Wie stark war die GEISTIGE Anforderung?
Körperliche Anforderung	sehr niedrig/sehr hoch	Wie stark war die KOERPERLICHE Anforderung?
Zeitdruck	sehr niedrig/sehr hoch	Wie stark war die zeitliche Anforderung (ZEITDRUCK)?
Anstrengung	sehr niedrig/sehr hoch	Wie stark haben sie sich ANGESTRENGT?
Leistung	Perfekt/fehlerhaft	Wie gut war ihre LEISTUNG?
Frustration	sehr niedrig/sehr hoch	Wie stark war ihre FRUSTRATION, Irritation, Entmutigung?

Abbildung 11: Die Subskalen des NASA-TXL und ihre Items.

6 Geräte und Apparate

Zur Erfassung der kardiovaskulären und elektrodermalen Aktivität wurde ein mobiler EKG-Recorder (Medilog® AR12, ein Gerät der TOM Medical Entwicklungs GmbH) verwendet. Insgesamt wurden fünf Ag/AgCl-Elektroden am Oberkörper bzw. an der linken Hand und am linken Unterarm befestigt.

Die kardiovaskuläre Aktivität wurde anhand einer Brustwandableitung vom rechten Schlüsselbein gegen den unteren Rippenbogen der linken Körperseite erfasst. Zur Referenz wurde eine Elektrode am Brustbein befestigt. Zusätzlich wurde zur Erfassung der endosomatischen EDA (Hautpotential) eine Elektrode an der Fingerkuppe des linken Mittelfingers platziert. Eine weitere Elektrode am linken Unterarm diente hierbei zur Referenz. Zur Gewährleistung minimaler Artefakteinstreuung durch Kabelzug, wurden die Elektroden und deren Kabel mit Leukosilk fixiert.

Nach gelungener Aufzeichnung wurden die autonomen Daten zur weiteren Analyse in das Programm Medilog® Darwin des Herstellers Schiller AG importiert. Dort wurden die RR-Intervalle jeder einzelnen Testperson durch programmgesteuerte (template und advanced analysis) und händische Analysen geprüft. Ventrikuläre Extrasystolen, sowie Artefakt behaftete Kurvenabschnitte wurden bei der Kennwertberechnung nicht berücksichtigt.

Die Generierung der zeitbezogenen Herzratenvariabilitätsmaße war durch ein minimales Intervall von 319 Millisekunden und ein Maximalintervall von 1714 Millisekunden charakterisiert. Die untere Grenze der Anzahl an Interbeat-Intervallen, welche zur Analyse herangezogen wurden, lag bei 35, das Maximum hingegen bei 188 Schlägen pro Minute. Darüber hinaus dienten ausschließlich R-R-Intervallblöcke von mindestens 5 aufeinanderfolgenden Schlägen als Analyseeinheit. Die Kennwerte der frequenzbezogenen Parameter erfolgte mittels Fast-Fourier-Methode mit einer Intervalllänge von 60 Sekunden.

Die generierten Parameter wurden zur weiteren Analyse mittels Excel Tabellen in PASW 18®, als auch Statistica® eingespielt.

7 Untersuchungsdurchführung

Insgesamt arbeitete ein Team von drei Personen an der Erhebung der Daten, wobei eine Person maßgeblich mit der Erstellung des Computerprogrammes betraut war. Der entstandene Datensatz mit seiner Vielzahl an Variablen wird in weiterer Folge auch von diesen drei Personen zur Verfassung einer individuellen Diplomarbeit herangezogen. Dies führt in weiterer Folge dazu, dass bei der hier vorliegenden Beschreibung der Untersuchungsdurchführung Testmaterialien bzw.-bedingungen angeführt werden, die in der Ergebnisdarstellung nicht aufscheinen, da sie für die Fragestellungen der Kollegen von Relevanz sind.

7.1 Untersuchungsablauf

Die TestteilnehmerInnen wurden in Gruppen von zwei bis drei Personen im Labor bzw. im Seminarraum des Hygieneinstitutes der medizinischen Universität Wien, in der Kinderspitalgasse getestet. Die Testung lief im Mai 2012 an und war mit Ende des Sommersemesters 2012 zu Ende.

Für eine Testeinheit war generell ein zeitlicher Rahmen von 2.5 Stunden anberaumt worden. Zu Beginn jeder Sitzung wurde eine kurze Einführung zum Ablauf und der Bedeutung der Testung gegeben. Hierbei wurde besonderen Wert darauf gelegt, nicht den Eindruck einer Prüfungssituation entstehen zu lassen. Die TestleiterInnen erklärten den Testpersonen die Gerätschaften und den groben Ablauf des Experimentes. Jenen Versuchspersonen, welche im Rahmen ihres Informatikstudiums teilnahmen, wurde der Bezug zu ihrer Vorlesung erläutert. Außerdem war es den Versuchspersonen möglich, Fragen zu stellen, um etwaige Unklarheiten zu beseitigen.

Jeder Testperson wurde im Weiteren ein EKG-Gerät angelegt. Zusätzlich standen zwei EEG-Geräte zur Verfügung, mit denen pro Testsitzung bei jeweils zwei Personen eine EEG-Ableitung vorgenommen werden konnte.

Darüber hinaus musste pro Testeinheit nach dem Anlegen der Aufzeichnungsgeräte ca. 05-30 Minuten dafür verwendet werden, die EEG- und EKG-Geräte so einzustellen, dass zufriedenstellende Aufzeichnungen festgehalten werden konnten. Während der gesamten Testdauer war ein/eine TestleiterIn anwesend, um die Qualität der EEG-Aufzeichnungen zu kontrollieren, und um bei Fragen und Probleme bereitzustehen. Zusätzlich war es jeder Testper-

son möglich, die Geschwindigkeit des Mauscursors individuell zu adjustieren, um eine komfortable Computerbedienung zu gewährleisten.

Der eigentliche Testablauf begann mit einer zweiminütigen Baseline-Erhebung (welche bei dieser Diplomarbeit nicht in die Ergebnisdarstellung aufgenommen wird) bei geschlossenen Augen. Darauf folgte das Ausfüllen der zusammengestellten Fragebögen, für die jede Testperson individuell lange brauchte. Daraus ergab sich im Anschluss die individuelle Startzeit des Computertestes. Zum Abschluss der Testung wurden insgesamt 48 Personen gebeten, den Wiener Matrizen Test (Formann & Piswanger, 1979) auszufüllen. Die Testsitzungen wurden im Generellen damit beendet, den TestteilnehmerInnen die Gerätschaften abzunehmen, entstandenen Fragen zu klären und sich für die Teilnahme zu bedanken.

C ERGEBNISSE

Im Folgenden wurden, abhängig vom jeweiligen Studiendesign der einzelnen Tasks, ein- und zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung, sowie t-Tests, bzw. Wilcoxon-Rangtests für die statistische Analyse herangezogen. Ferner wurden rechteckige Korrelationen zwischen den sechs Subtests des NASA-TXL und dessen Summenscore mit den einzelnen Werteausprägungen der physiologischen Variablen errechnet. Die Ergebnisse des Kolmogorov-Smirnov-Tests zur Prüfung der Normalverteilung der Parameter in den einzelnen Taskbedingungen werden, aufgrund ihrer repetitiven Vielzahl, in der folgenden Ergebnisdarstellung nur verbal und ohne statistische Kennwerte dargeboten. Die genauen Analysen hierzu sind im Kapitel 16.1.1 nachzulesen. Die Normalverteilungsprüfung der Parameter LF n.u. und HF n.u. erfolgte durch graphische Interpretation von Histogrammen. Letztere Parameter können in fast allen Bedingungen als annähernd normalverteilt beschrieben werden.

Außerdem soll bei Verletzung der Sphärizität für die statistische Analyse auf die Huynh-Feldt-Korrektur zurückgegriffen werden (da $G-G$ - und $H-F-\varepsilon > 0.75$). Die Angaben der Sphärizität beziehen sich bei den Ergebnisdarstellungen im Task Visuelles Suchen auf den Faktor Muster und im Task Kreuz auf den Faktor Repräsentationsform, da diese beiden unabhängigen Variablen drei Faktorstufen aufweisen. Heterogene Varianzen der Differenzen zwischen den Versuchsbedingungen würden hierbei zu einem Verlust der Teststärke führen (Field, 2009, S. 460). Die übrigen unabhängige Variable in den einzelnen Tasks weisen ledig-

lich ein bzw. zwei Ausprägungen auf, weshalb die Sphärizität mit einem $\epsilon = 1$ durchweg gegeben ist.

Des Weiteren wurden fehlende Werte der einzelnen psychophysiologischen Parameter weitestgehend regressiv geschätzt, um einen möglichst vollständigen Datensatz zu generieren. Letzterem konnte in den physiologischen Parametern PNN10, LF% und HF% nur bedingt nachgegangen werden, weshalb hierbei jeweils zwei Testpersonen, aufgrund fehlender Werte, aus der statistischen Analyse ausgeschlossen wurden. Dies wird in der Ergebnisdarstellung anhand der Freiheitsgrade (Fehler) ersichtlich.

Die Ergebnisse gelten in den folgenden statistischen Analysen als signifikant, wenn das zufallskritische Ereignis kleiner 0.05 ($p < 0.05$) ausfällt. Darüber hinaus wird von hochsignifikanten Ergebnissen gesprochen, wenn $p < 0.01$ ist. Zur Kontrolle der Alphafehlerkumulierung wurde zu Beginn der separaten Analyse jedes Parameters, taskspezifisch eine multivariate Statistik errechnet, deren Ergebnisse im Anhang, Kapitel 18 zu finden sind.

Die errechneten rechteckigen Korrelationen werden in der folgenden Ergebnisdarstellung überblicksmäßig und in einer deskriptiven Weise angeführt. Es sollen keine Einzelkorrelationen für die Interpretation herangezogen werden, sondern Muster und Trends beschrieben werden. Die vollständigen Korrelationsmatrizen sind im Anhang, Kapitel 17 zu finden.

8 Ergebnisse des Tasks Visuelles Suchen

Zur statistischen Analyse wurde beim Tasks Visuelles Suchen eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Die unabhängigen Variablen Muster_Formen und Muster_Buchstaben wurden dabei separat ausgewertet. Im Folgenden soll mit der Analyse des Faktors Muster_Formen begonnen werden.

8.1 Muster_Formen

Design: 3 (OQ_BQ vs. SK_SQ vs. SK_WK_SQ) x 2 (06 Distraktoren vs. 50 Distraktoren)

8.1.1 Mittlere Herzrate

Der Parameter Mittlere Herzrate ist in den einzelnen Bedingungen des Tasks Visuelles Suchen als normalverteilt zu betrachten. Die Sphärizität ($\chi^2(2) = 12.003, p = 0.002, G-G- \varepsilon = 0.912$) ist hingegen nicht gegeben, weshalb auf die Huynh-Feldt-Korrektur zurückgegriffen wird. Der Faktor Muster_Formen zeigt hierbei einen signifikanten Haupteffekt ($F(1.9, 222.2) = 6.394, p = 0.0026$). Dem entgegen unterscheiden sich die beiden Faktorstufen bezüglich der Anzahl der Distraktoren, bei einem sehr geringen F-Wert nicht signifikant voneinander ($F(1, 120) = 0.054, p = 0.086$). Die Wechselwirkung der beiden Faktoren fällt ebenfalls nicht signifikant aus ($F(2, 240) = 0.932, p = 0.395$). Zusammenfassend sind diese Ergebnisse in Abbildung 12 zu betrachten.

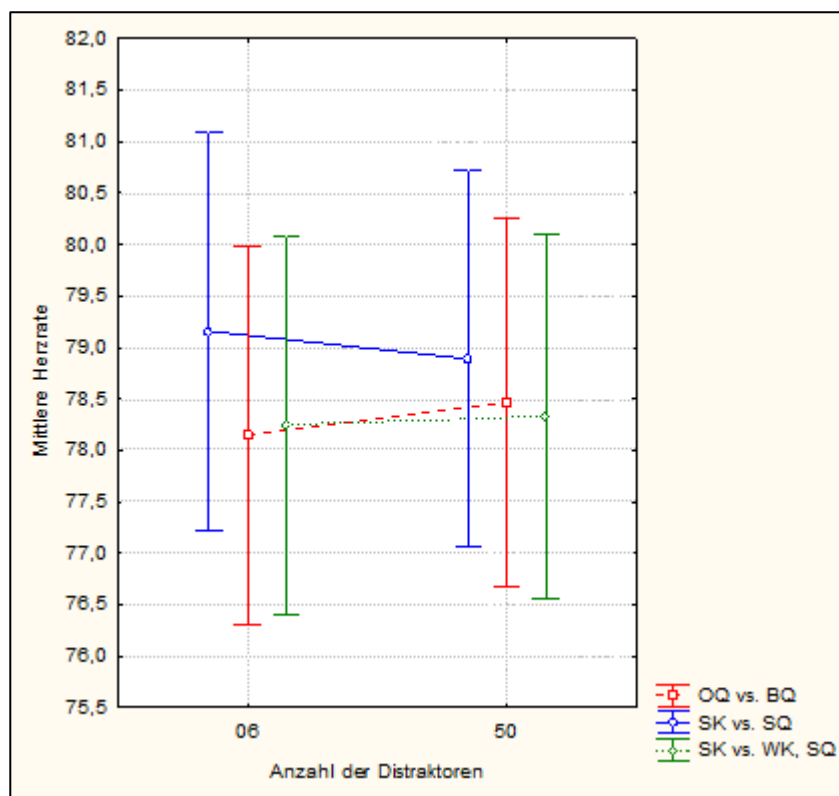


Abbildung 12: Mittelwerte der Herzfrequenz im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.932, p = 0.395$).

8.1.2 SDNN

Die Voraussetzung der Normalverteilung ist in keiner der Bedingungen des Tasks Visuelles Suchen für den Parameter SDNN gegeben. Dem entgegen können die Varianzen der Differenzen zwischen den Bedingungen als relativ gleich angesehen werden, weshalb die Sphärizität angenommen werden kann ($\chi^2(2) = 0.084, p = 0.959$). Der Hauptfaktor Muster_Formen stellt sich dabei als nicht signifikant heraus ($F(2, 240) = 1.954, p = 0.144$). Ähnlich verhält es sich mit dem zweiten Hauptfaktor, Anzahl der Distraktoren, welcher ebenfalls nicht signifikant ausfällt ($F(1, 120) = 1.462, p = 0.229$). Außerdem zeigt sich auch die Wechselwirkung nicht signifikant ($F(2, 240) = 0.081, p = 0.922$). Abbildung 13 veranschaulicht diesen Sachverhalt.

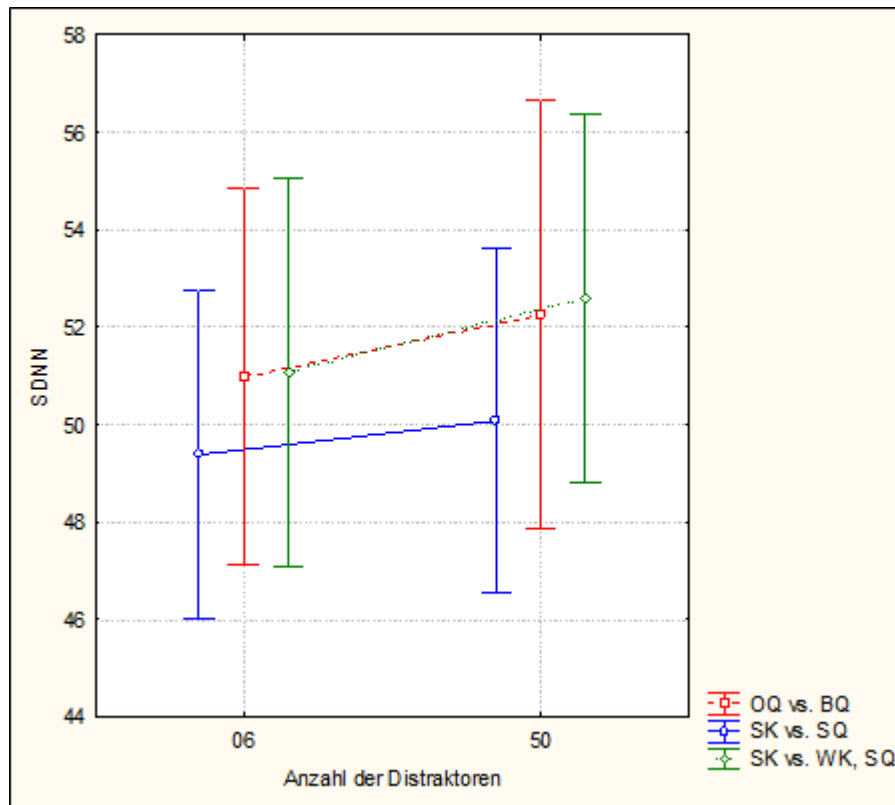


Abbildung 13: Mittelwerte des Parameters SDNN im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.081, p = 0.922$).

8.1.3 rMSSD

Die Werte des Parameters rMSSD sind in keiner der Bedingungen des Tasks Visuelles Suchen normalverteilt. Die Sphärizität der Daten kann jedoch angenommen werden ($\chi^2(2) = 5.718, p = 0.057$). Insgesamt betrachtet, ist keiner der Haupteffekte signifikant. Der Faktor Muster_Formen zeigt mit $F(2, 240) = 0.025$ mit einem von $p = 0.98$ keinen signifikanten Einfluss auf rMSSD. Die Anzahl der Distraktoren ($F(1, 120) = 0.7, p = 0.41$) hatte ebenfalls keinen signifikanten Effekt auf den Parameters rMSSD. Die wechselhafte Einflussnahme der Faktoren auf den Parameter rMSSD zeigt sich zusätzlich nicht signifikant ($F(2, 240) = 1.72, p = 0.18$). Abbildung 14 stellt dieses Ergebnis graphisch dar.

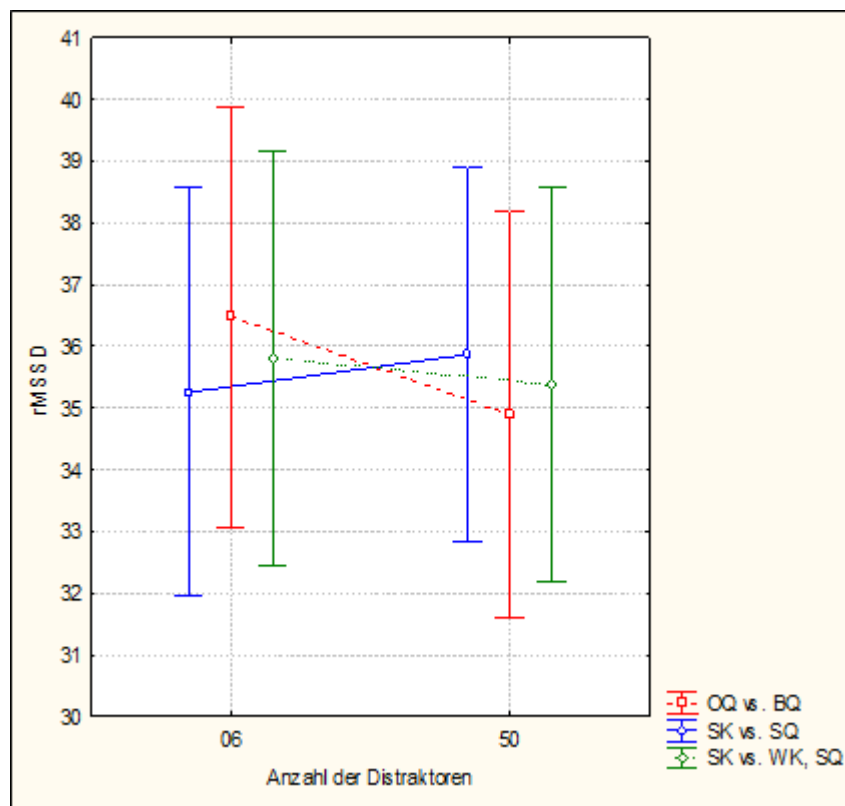


Abbildung 14: Mittelwerte des Parameters rMSSD im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 1.72, p = 0.18$).

8.1.4 PNN10

Den Ergebnissen vorwegzunehmen ist an dieser Stelle, dass im Parameter PNN10 zwei Testpersonen fehlende Werte aufzeigten, weshalb sie von der Analyse ausgeschlossen wurden. Letzteres zeigt sich in den Freiheitsgraden (Fehler).

Die Werte des Parameters PNN10 stellen sich als nicht normalverteilt heraus. Die Sphärizität der Daten kann als gegeben angenommen werden ($\chi^2(2) = 0.232, p = 0.890$). Keiner der beiden Haupteffekte fiel im Weiteren signifikant aus. Die Unabhängige Variable Muster_Formen weist einen F -Wert $(1, 118) = 2.39$ mit einer zufallskritischen Bewertung von $p = 0.094$ auf. Ebenso wenig hatte die Anzahl der Distraktoren einen signifikanten Effekt auf die mittleren Werte des Parameters PNN10 ($F(1, 118) = 1.32, p = 0.25$). Darüber hinaus konnte auch keine signifikante Wechselwirkung der beiden Faktoren festgestellt werden ($F(2, 236) = 2.18, p = 0.12$). Abbildung 15 spiegelt diesen Sachverhalt graphisch wider.

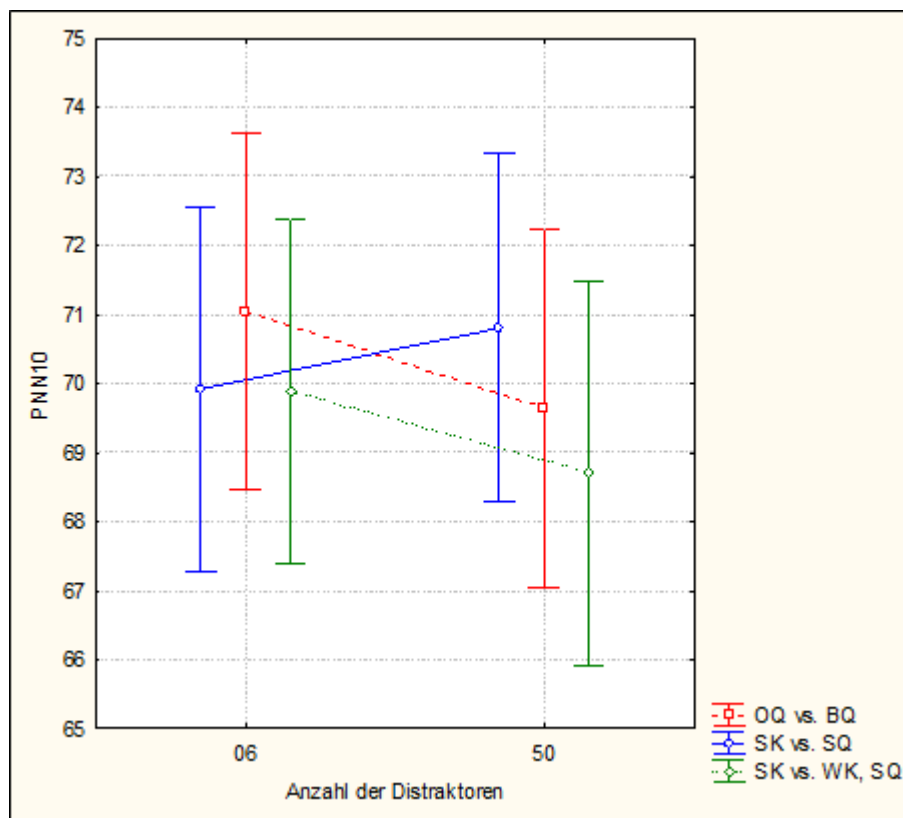


Abbildung 15: Mittelwerte des Parameters PNN10 im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 236) = 2.18, p = 0.12$).

8.1.5 PNN50

Die Werteverteilung des Parameters PNN50 kann nicht als normal bezeichnet werden. Die Varianzen der Differenzen zwischen den einzelnen Versuchsbedingungen sind jedoch homogen ($\chi^2(2) = 5.116, p = 0.077$). Die Anzahl der Distraktoren hat keinen signifikanten Einfluss auf PNN50 ($F(1, 120) = 1.11, p = 0.25$). Ebenfalls nimmt der Haupteffekt Muster_Formen keinen signifikanten Einfluss auf den Parameter ($F(2, 240) = 0.014, p = 0.99$). Im Weiteren zeigt sich auch die Wechselwirkung der beiden Haupteffekte in ihrem Einfluss auf PNN50 als nicht signifikant ($F(2, 240) = 0.344, p = 0.709$). Abbildung 16 zeigt dieses Ergebnis.

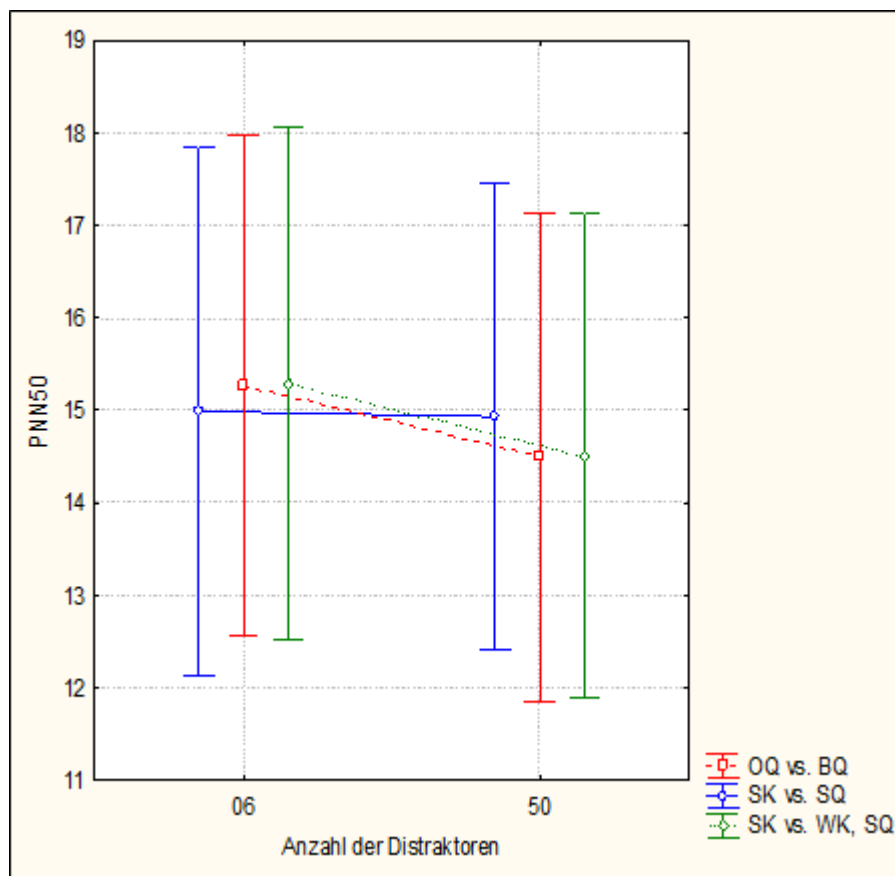


Abbildung 16: Mittelwerte des Parameters PNN50 im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.344, p = 0.709$).

8.1.6 LF

Die vorliegenden Werte des niedrigen Frequenzbereiches gelten als nicht normalverteilt. Die Sphärizität kann im Weiteren nicht angenommen werden ($\chi^2(2) = 9.181, p = 0.01$, $G-G- \varepsilon = 0.93$), weshalb die Ergebnisse der Huynh-Feldt-Korrektur angegeben werden. Die beiden Haupteffekte zeigen sich bezüglich des niedrigen Frequenzbereiches als nicht signifikant (Muster_Formen: $F(1.89, 226.8) = 0.087, p = 0.908$. Anzahl der Distraktoren: $F(1, 120) = 0.21, p = 0.65$). Außerdem haben die beiden Hauptfaktoren auch in ihrer Wechselwirkung keinen signifikanten Effekt auf die abhängige Variable ($F(2, 240) = 0.38, p = 0.68$). Abbildung 17 stellt die höchste Wechselwirkung graphisch dar.

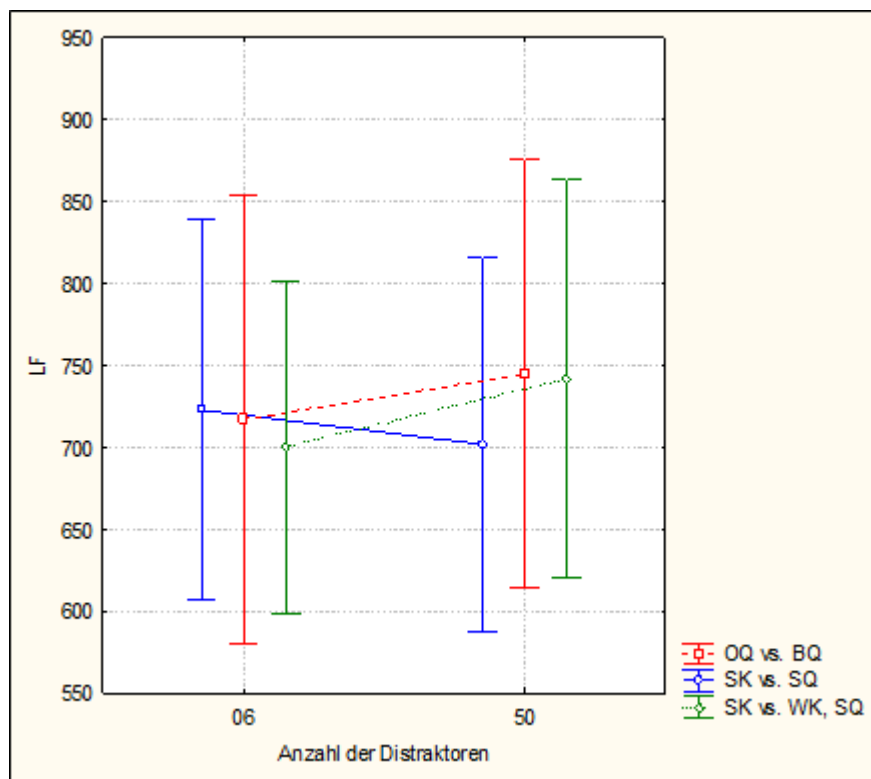


Abbildung 17: Mittelwerte des Parameters LF im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.38, p = 0.68$).

8.1.7 HF

Die Daten des hohen Frequenzbereiches gelten als nicht normalverteilt. Ebenso sind die Varianzen der Differenzen zwischen den Bedingungen nicht homogen ($\chi^2(2) = 15.546, p = 0.000, G-G-\varepsilon = 0.89, H-F-\varepsilon = 0.093$). Die Art des Musters hat keinen signifikanten Effekt auf die Leistungsdichte im hohen Frequenzbereich ($F(1.8, 216.8) = 0.22, p = 0.78$). Im Weiteren stellt sich auch die Anzahl der Distraktoren als ein Faktor heraus, welcher keinen signifikanten Einfluss auf die LF nimmt ($F(1, 120) = 0.43, p = 0.52$). Außerdem erweist sich die Wechselwirkung der beiden Hauptfaktoren als nicht signifikant ($F(2, 239.36) = 0.25, p = 0.78$). Zur graphischen Veranschaulichung dient Abbildung 18.

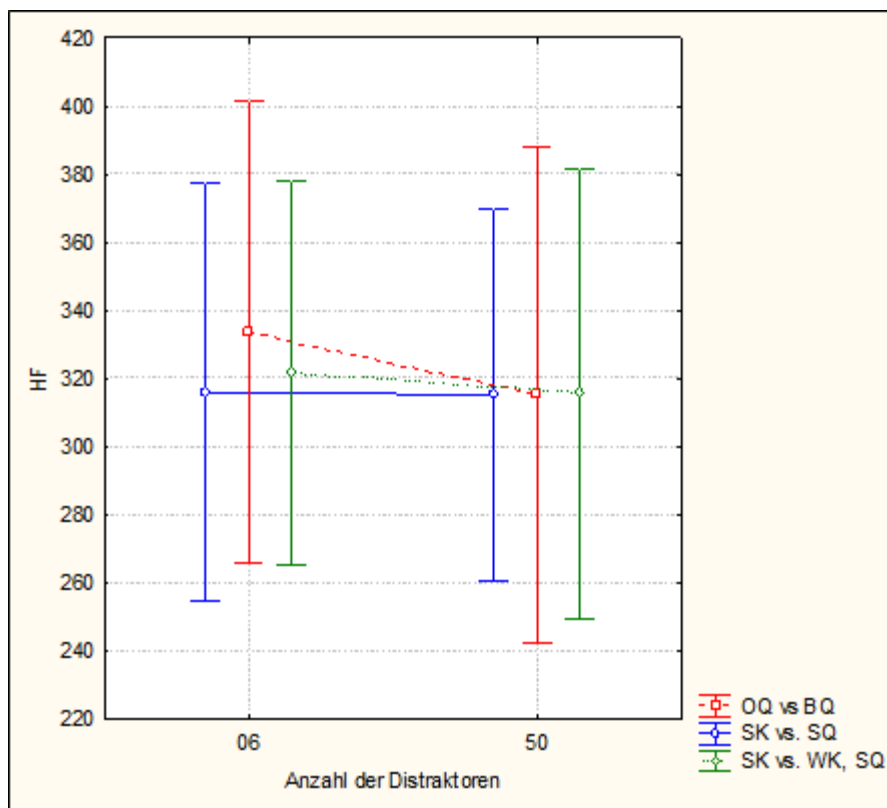


Abbildung 18: Mittelwerte des Parameters HF im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 239.36) = 0.25, p = 0.78$).

8.1.8 HRVtotal

Normalverteilung und Sphärizität der Daten sind nicht anzunehmen ($\chi^2(2) = 7.941$, $p = 0.019$, $G-G-\varepsilon = 0.939$, $H-F-\varepsilon = 0.954$). Im Zusammenhang mit der HRVtotal lassen sich weder signifikanten Haupteffekte, noch eine signifikante Wechselwirkung abbilden. Die Anzahl der Distraktoren zeigt hierbei keinen signifikanten Effekt auf die HRV ($F(1, 120) = 0.943$, $p = 0.333$). Weiterführend lassen sich die drei Stufen der Variablen Muster_Formen nicht signifikant anhand der HRV unterscheiden ($F(1.91, 228.9) = 0.46$, $p = 0.622$). Außerdem fällt die Wechselwirkung der beiden Haupteffekte nicht signifikant aus ($F(2, 240) = 0.427$, $p = 0.653$). Abbildung 19 stellt diese nicht signifikanten Effekte graphisch dar.

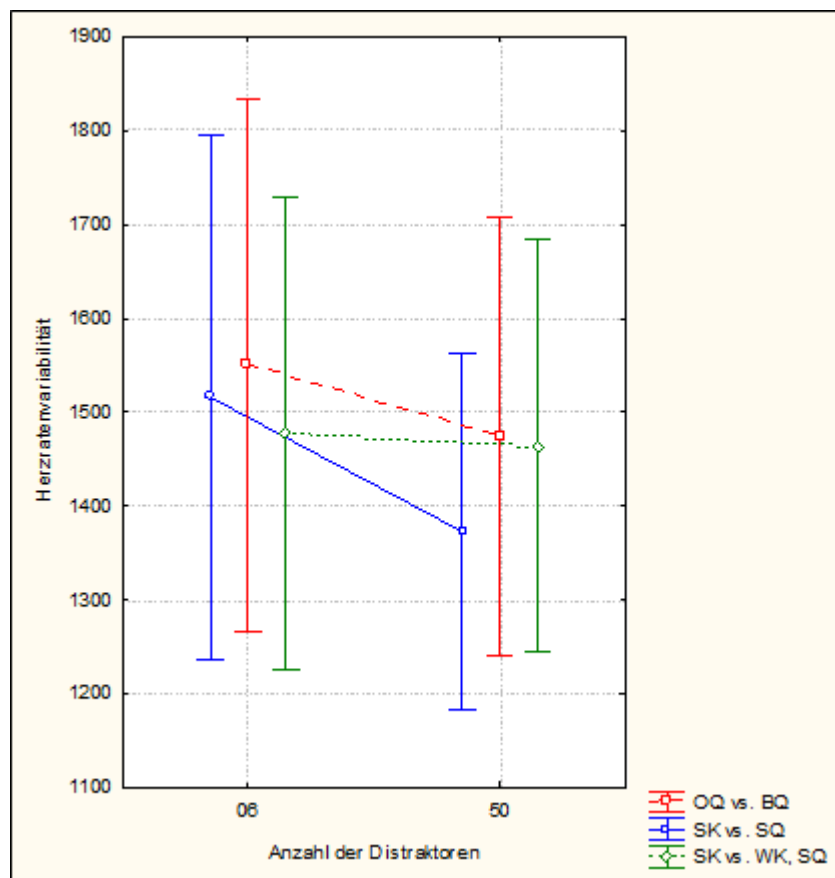


Abbildung 19: Mittelwerte des Parameters HRVtotal im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.427$, $p = 0.653$).

8.1.9 Log LF/HF

Die Werte des logarithmierten Verhältnisses der niederfrequenten Herzratenvariabilitätsanteilen zu den hohen ist in allen Bedingungen des Tasks Visuelles Suchen normalverteilt. Die Sphärizität ($\chi^2(2) = 2.794$, $p = 0.247$) kann als gegeben angenommen werden. Die unterschiedlichen Muster der Suchbilder zeigen in diesem Parameter keinen signifikanten Haupteffekt ($F(2, 240) = 0.441$, $p = 0.644$). Auch unterscheiden sich die Suchbilder mit sechs Distraktoren nicht signifikant von jenen mit 50 Distraktoren ($F(1, 120) = 0.558$, $p = 0.456$). Hingegen hatte die Wechselwirkung der Haupteffekte einen hochsignifikanten Einfluss auf den Parameter Log LF/HF ($F(2, 240) = 6.5$, $p = 0.001$). Letzteres wird in Abbildung 20 besonders deutlich.

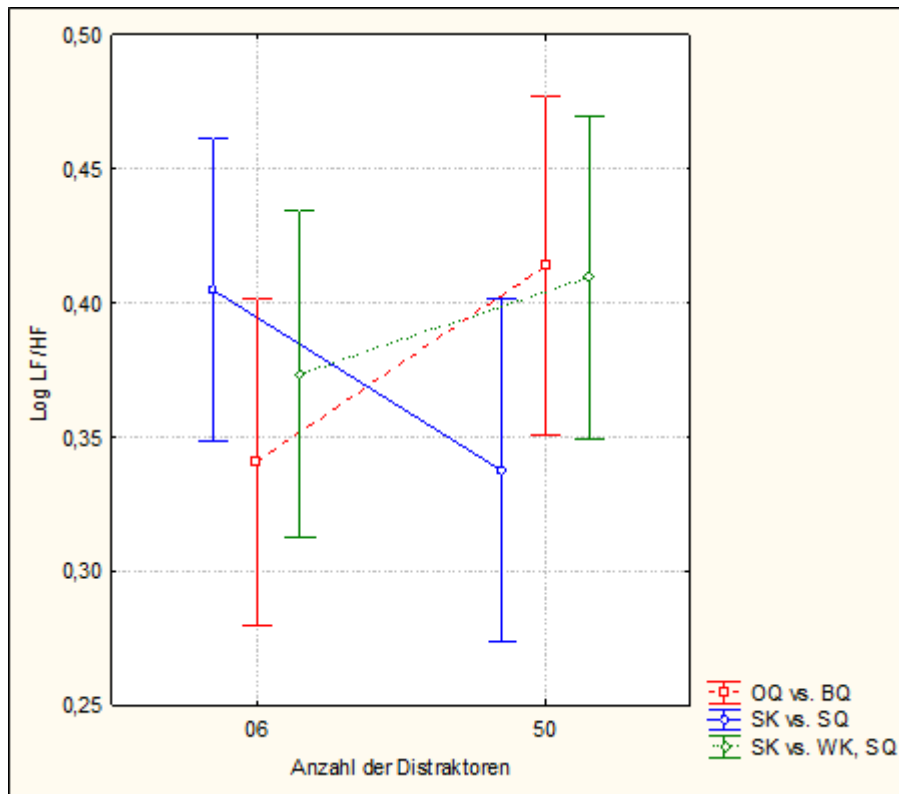


Abbildung 20: Mittelwerte des Parameters Log LF/HF im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 6.53$, $p = 0.001$).

8.1.10 LF%

Der Parameter LF% ist in allen Bedingungen des Task Visuelles Suchen normalverteilt. Die Sphärizität der Daten kann mit $\chi^2(2) = 2.166$, $p = 0.339$ angenommen werden. Die varianzanalytische Prüfung der Daten mit Messwiederholung zeigte keine signifikanten Haupteffekte: Muster_Formen: $F(2, 238) = 2.6$, $p = 0.0764$. Anzahl der Distraktoren: $F(1, 119) = 1.353$, $p = 0.247$. Die Wechselwirkung fiel ebenfalls nicht signifikant aus ($F(2, 238) = 1.486$, $p = 0.228$). Abbildung 20 veranschaulicht die Mittelwerte der einzelnen Bedingungen im Parameter LF%. Bezüglich der Freiheitsgrade ist an dieser Stelle noch einmal zu erwähnen, dass im Parameter LF% einzelne Werte vom Excel Makro, zur Generierung des Datensatzes, nicht erzeugt wurden, weshalb eine Testperson aus der statistischen Analyse ausgeschlossen wurde. Ähnlich verhält es sich im folgenden Parameter, dem prozentuellen Anteil des hohen Frequenzbereiches an der Gesamtvarianz der Herzfrequenz.

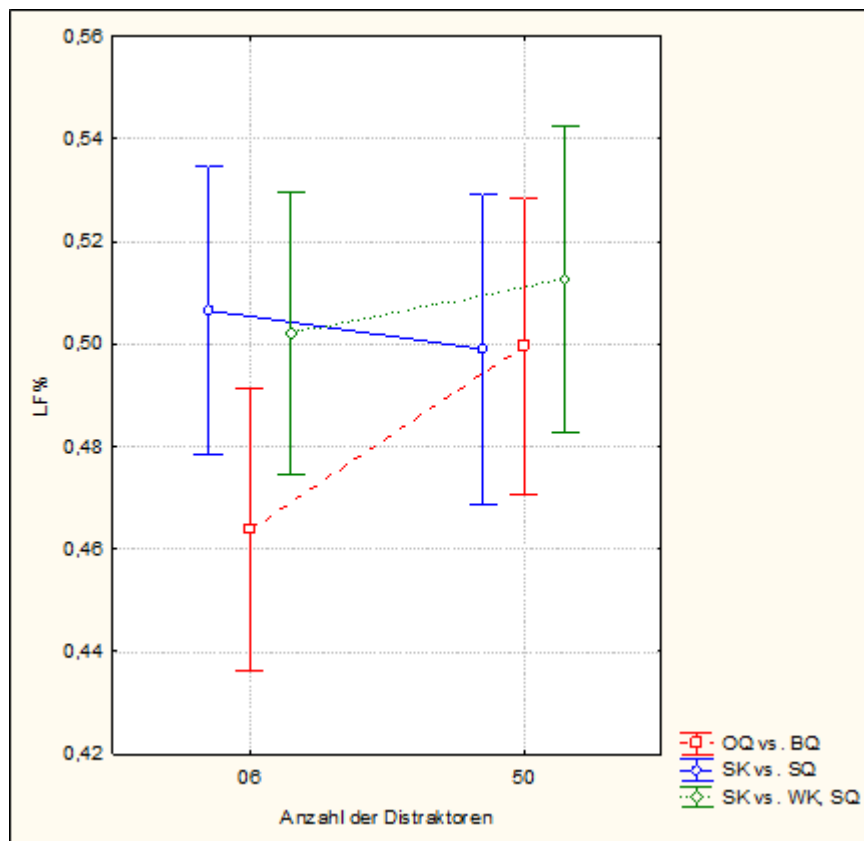


Abbildung 21: Mittelwerte des Parameters LF% im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 238) = 1.486$, $p = 0.228$).

8.1.11 HF%

Die Normalverteilung der Daten kann bezüglich des Parameters HF% nicht angenommen werden. Da die Sphärizität der Daten verletzt ist ($\chi^2(2) = 6,646, p = 0.036$), werden an dieser Stelle die Huynh-Feldt-Korrekturen berichtet ($G-G-\varepsilon = 0.948, H-F-\varepsilon = 0.963$). Beide Haupteffekte zeigen keinen signifikanten Effekt auf den Kennwert HF% (Muster_Formen: $F(1.926, 229.190) = 0.940, p = 0.403$. Anzahl der Distraktoren: $F(1, 119) = 0.114, p = 0.737$). Die Wechselwirkung hat hingegen einen hochsignifikanten Einfluss ($F(2, 238) = 5.437, p = 0.005$, siehe Abbildung 22).

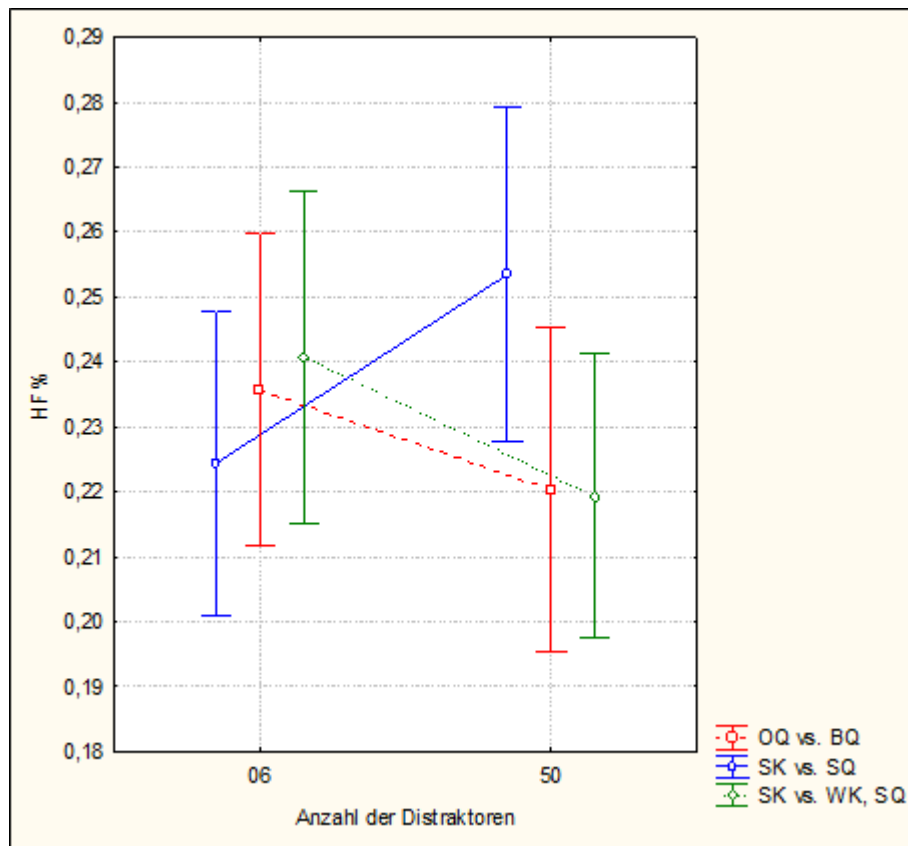


Abbildung 22: Mittelwerte des Parameters HF% im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 238) = 5.437, p = 0.005$).

8.1.12 LF n.u.

Die Normalverteilung der Daten und die Sphärizität ($\chi^2(2) = 4.620$, $p = 0.099$) nach Mauchly können an dieser Stelle angenommen werden. Abbildung 23 zeigt die Wechselwirkung der Haupteffekte auf die niedrige Frequenz in normalisierten Einheiten. Dabei zeigt sich ein hochsignifikanter Effekt mit $F(2, 238) = 6,959$ und $p = 0.001$. Dem entgegen fällt der Effekt der Art des Musters im Suchbild nicht signifikant aus ($F(2, 238) = 0.475$, $p = 0.623$). Dieses Ergebnis zeigt sich auch im zweiten Haupteffekt. Die Anzahl der Distraktoren nimmt keinen signifikanten Einfluss auf die normalisierten Einheiten des niedrigen Frequenzbereiches ($F(1, 119) = 0.223$, $p = 0.637$).

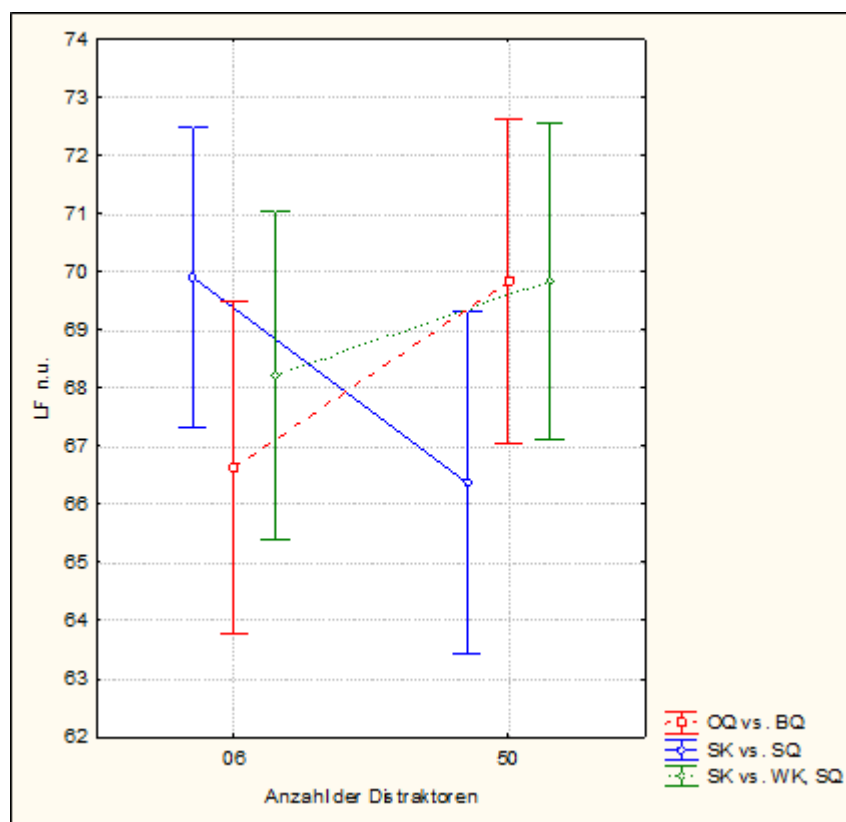


Abbildung 23: Mittelwerte des Parameters LF n.u. im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 238) = 6.959$ $p = 0.001$).

8.1.13 HF n.u.

Die Ergebnisse der HF n.u. gestalten sich ähnlich, wie die zuvor erwähnten Ergebnisse der LF n.u.. Die unabhängige Variable Muster_Formen hatte keinen signifikanten Einfluss auf den erwähnten Parameter ($F(2, 238) = 0.473, p = 0.623$). Auch der zweite Haupteffekt zeigte sich ohne signifikanten Einfluss ($F(1, 119) = 0.223, p = 0.638$). Die Faktorenkombination hatte jedoch in Form der Wechselwirkung einen hochsignifikanten Effekt auf die hohe Frequenz in normalisierten Einheiten ($F(2, 238) = 6.969, p = 0.001$). Darüber hinaus ist die Sphärizität sensu Mauchly gegeben ($\chi^2(2) = 4.612, p = 0.100$). Abbildung 24 veranschaulicht diesen Sachverhalt durch die Darstellung der Mittelwerte und deren Konfidenzintervalle.

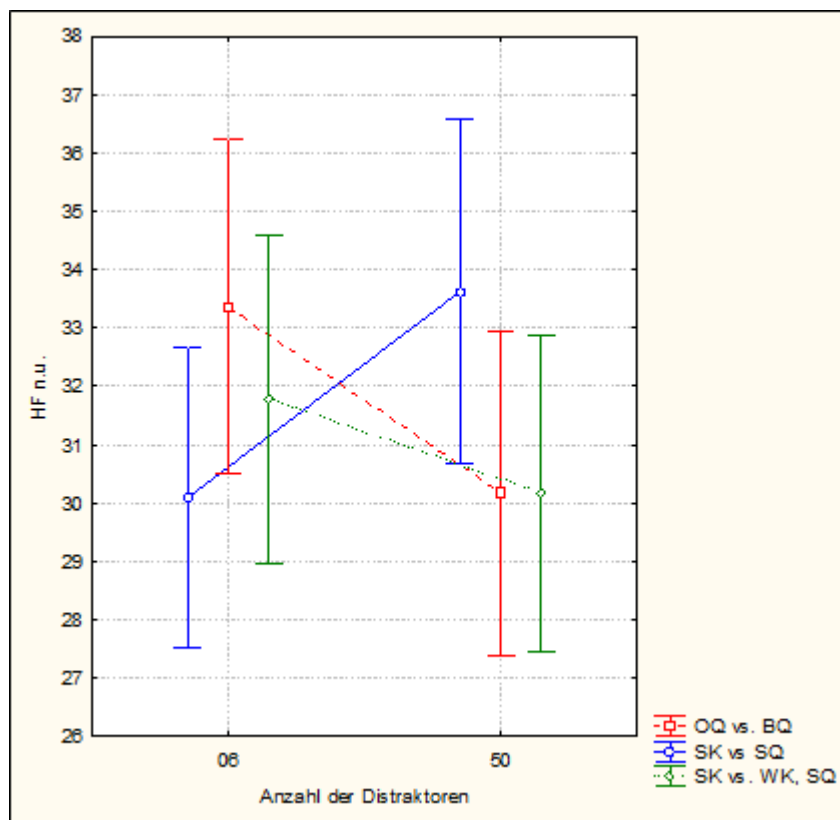


Abbildung 24: Mittelwerte des Parameters HF n.u. im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 238) = 6.969, p = 0.001$).

8.1.14 Anzahl der Spontanfluktuationen (Number of peaks)

Die Anzahl der Fluktuationen (Number of peaks) verteilt sich über die Bedingungen des Tasks Visuelles Suchen nicht normal. Da die Sphärizität des Haupteffektes Muster_Formen ($\chi^2(2) = 1.723, p = 0.422$) der Daten angenommen wird, kann auf eine Korrektur der F -Werte verzichtet werden. Der Haupteffekt Muster_Formen zeigt mit einem $F(2, 249) = 4.402$ und einem zufallskritischen Wert von $p = 0.013$ einen signifikanten Haupteffekt. Dem entgegen hat die Variable Anzahl der Distraktoren keinen signifikanten Effekt auf die Anzahl der Fluktuationen ($F(1, 120) = 0.006, p = 0.937$). Auch der Effekt der Faktorenkombination ist nicht signifikant. Hierbei ist die Sphärizität des Effektes der Interaktion jedoch nicht gegeben ($\chi^2(2) = 7.256, p = 0.027$), weshalb bei $Epsilon\text{-G.G} = 0.944$ und $Epsilon\text{-H.F.} = 0.959$ die Huynh-Feldt-Korrektur herangezogen wird: $F(1.918, 230.105) = 0.938, p = 0.39$. Abbildung 25 fasst diese Analysen anschaulich zusammen.

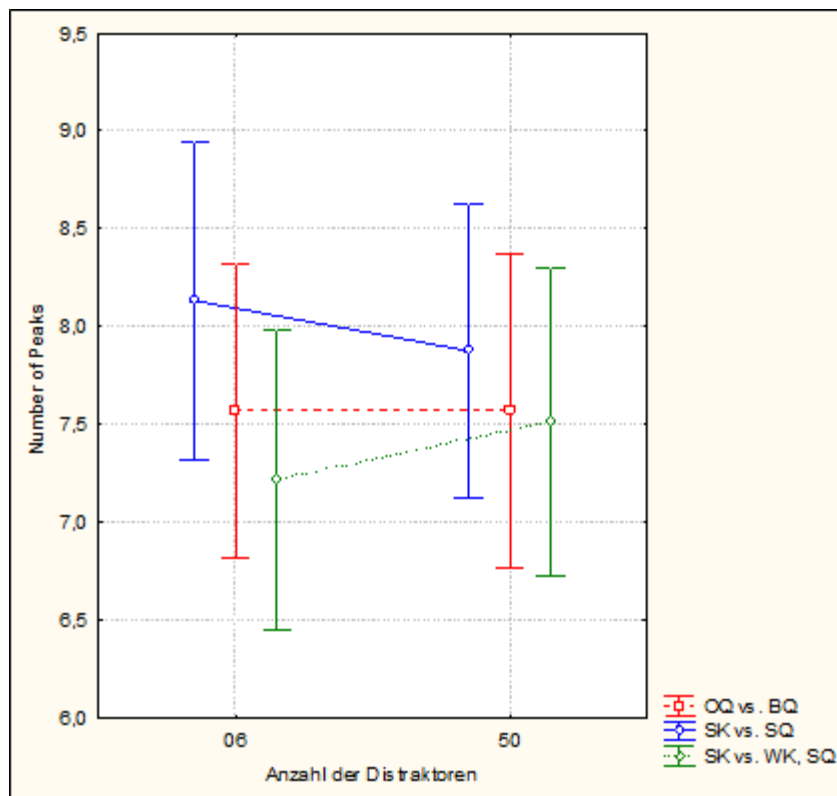


Abbildung 25: Mittelwerte der Anzahl an Spontanfluktuationen im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: SK vs. SK; OQ vs. BQ; SK vs. WK, SQ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.938, p = 0.393$).

8.2 Muster_Buchstaben

Im Folgenden wurden wie zuvor beschrieben ebenfalls zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholungen durchgeführt: 3 (T_{OG} vs. T_{IY} vs. T_{IZ}) x 2 (06 Distraktoren vs. 50 Distraktoren).

8.2.1 Mittlere Herzrate

Die Daten der mittleren Herzrate sind in allen Bedingungen der unabhängigen Variablen Muster_Buchstaben normalverteilt. Es zeigte sich außerdem, dass die Sphärizität der Daten ebenfalls angenommen werden kann ($\chi^2(2) = 5.421, p = 0.066$). Abbildung 26 veranschaulicht die folgenden Ergebnisse, wobei die Mittelwerte der Herzrate pro Bedingung und das jeweilige 95%-Konfidenzintervall angegeben werden. Der Haupteffekt Muster_Buchstaben hat einen signifikanten Einfluss auf die gemittelte Herzfrequenz $F(2, 240) = 4.246, p = 0.015$. Der zweite Haupteffekt Anzahl der Distraktoren erweist sich hingegen als nicht signifikant $F(1, 120) = 0.814, p = 0.369$. Auch der Effekt einer Faktorenkombination stellt sich als nicht signifikant heraus $F(2, 240) = 0.302, p = 0.739$.

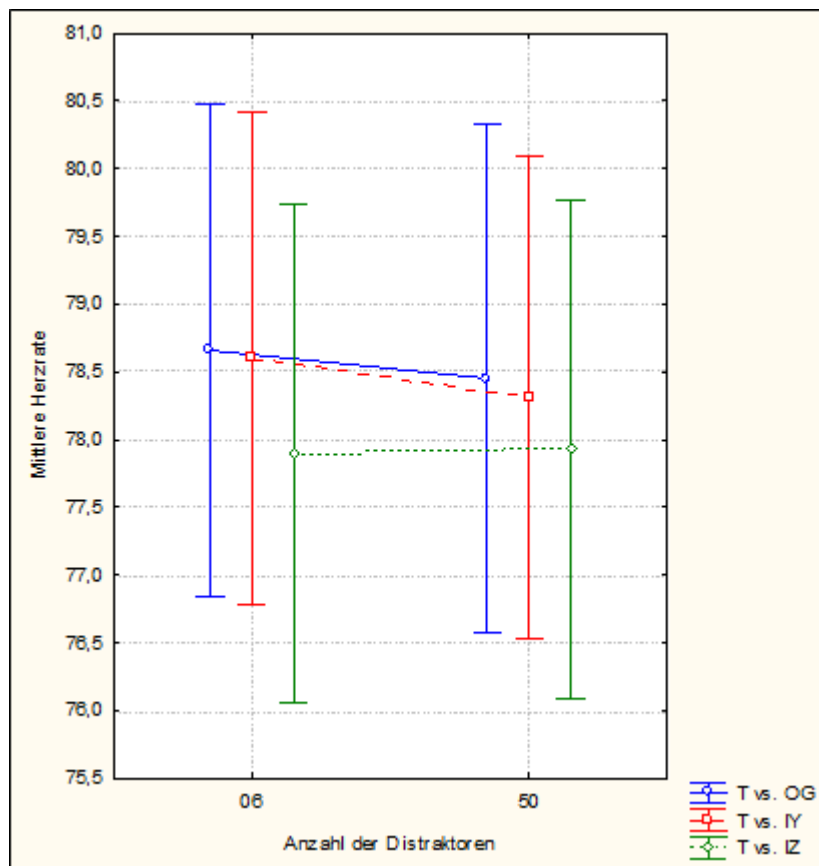


Abbildung 26: Mittelwerte der Herzfrequenz im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.302, p = 0.739$).

8.2.2 SDNN

Mauchlys Test lässt auf eine gegebene Sphärizität schließen ($\chi^2(2) = 5.421, p = 0.066$). Die Normalverteilung der Daten kann jedoch nicht angenommen werden. Der Haupteffekt Muster_Buchstaben zeigt mit $F(2, 240) = 0.517, p = 0.597$ keinen signifikanten Effekt auf die abhängige Variable. Auch die Anzahl der Distraktoren erweist sich als nicht signifikant ($F(1, 120) = 0.669, p = 0.415$). Im Weiteren ist der Effekt der Faktorenkombination als signifikant zu bewerten ($F(2, 240) = 3.857, p = 0.023$). Abbildung 25 zeigt die Mittelwerte von SDNN in den einzelnen Faktorkombinationen.

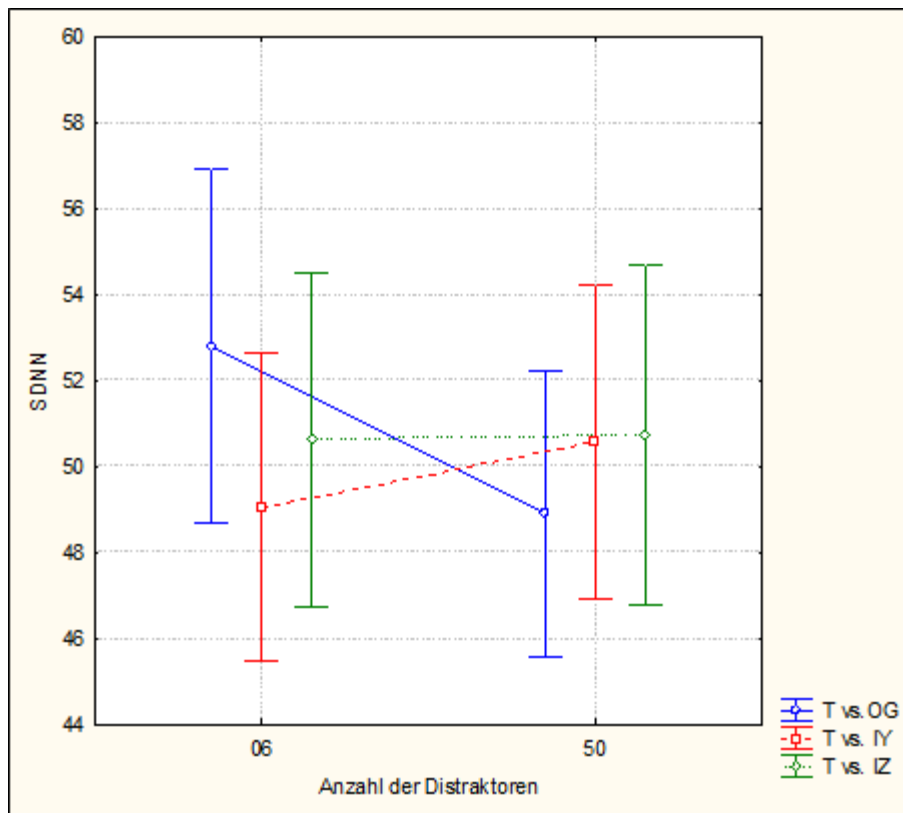


Abbildung 27: Mittelwerte des Parameters SDNN im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 3.857, p = 0.023$).

8.2.3 rMSSD

Anhand des Mauchly-Tests ist ersichtlich, dass im Parameter rMSSD die Varianzen der Differenzen zwischen den einzelnen Bedingungen des Tasks Visuelles Suchen als homogen betrachtet werden können ($\chi^2(2) = 1.618, p = 0.099$). Normalverteilung der Daten kann hingegen nicht angenommen werden. Die mittleren Werte des Parameters rMSSD sind nicht signifikant vom Faktor Muster_Buchstaben beeinflusst ($F(2, 240) = 0.043, p = 0.958$). Ebenfalls zeigte sich kein signifikanter Effekt der Anzahl der Distraktoren auf den genannten Parameter ($F(1, 120) = 0.681, p = 0.411$). Außerdem fiel auch die Wechselwirkung nicht signifikant aus ($F(2, 240) = 0.547, p = 0.579$). Abbildung 28 zeigt die Wechselwirkung Muster_Buchstaben*Anzahl der Distraktoren.

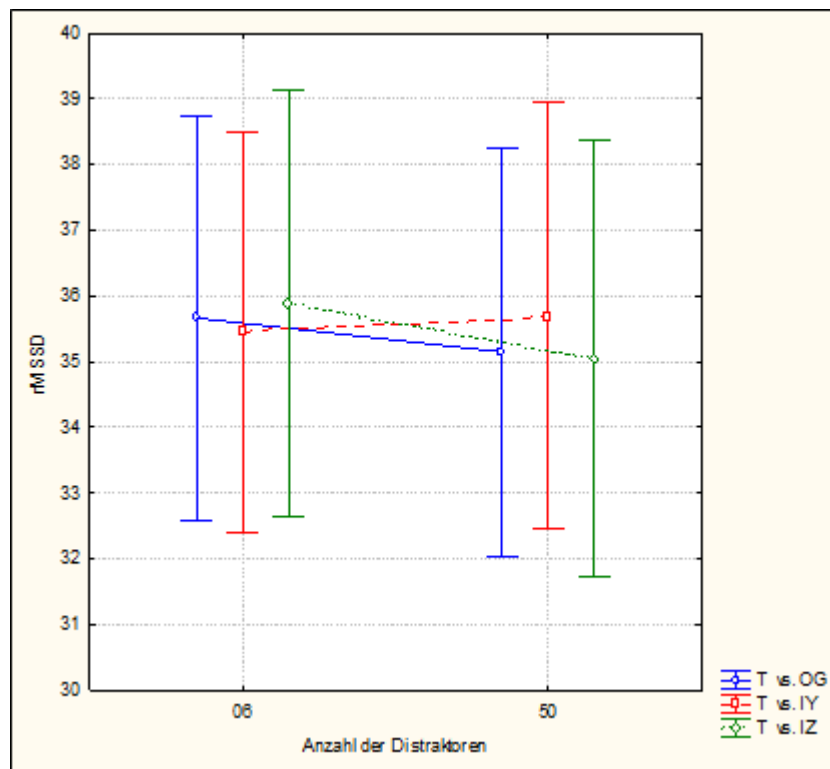


Abbildung 28: Mittelwerte des Parameters rMSSD im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.547, p = 0.579$).

8.2.4 PNN10

Die Daten des Parameters PNN10 sind nicht normalverteilt. Die Sphärizität kann jedoch mit $\chi^2(2) = 3.379$, $p = 0.185$ angenommen werden. Der Haupteffekt der unabhängigen Variablen Muster_Buchstaben fällt hierbei nicht signifikant aus $F(2, 238) = 0.342$, $p = 0.711$. Dementgegen hat die Anzahl der Distraktoren einen signifikanten Einfluss auf die Mittelwerte des Parameters PNN10 ($F(1, 119) = 6.344$, $p = 0.013$). Die Faktorenkombination fällt hingegen nicht signifikant aus ($F(2, 238) = 0.272$, $p = 0.762$). Abbildung 29 stellt diesen Sachverhalt graphisch dar.

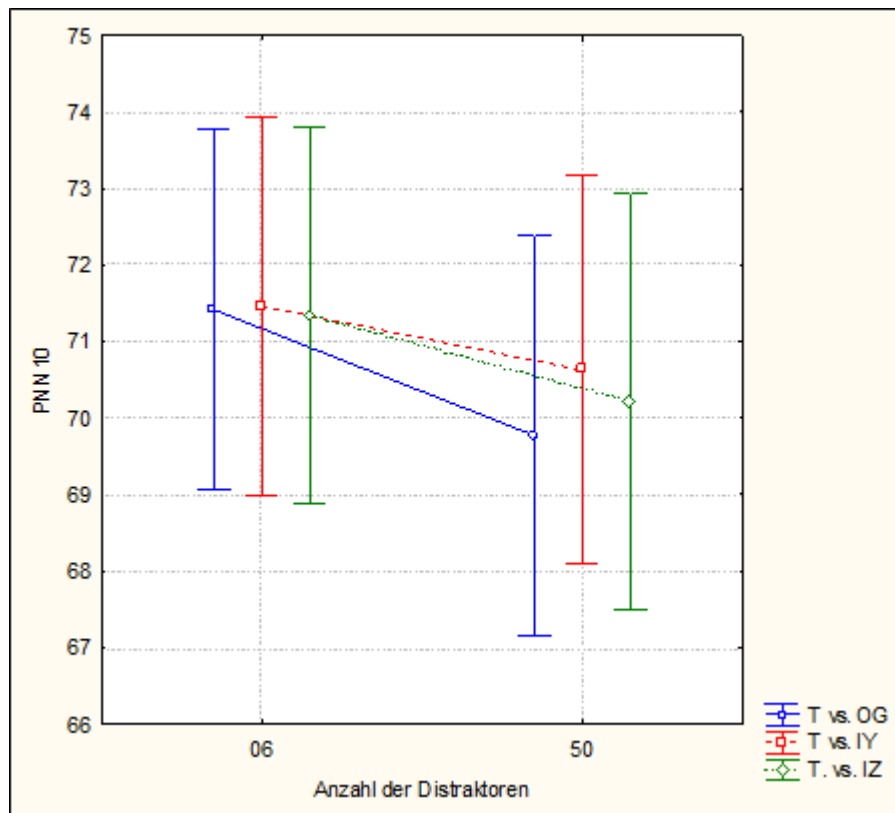


Abbildung 29: Mittelwerte des Parameters PNN10 im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 238) = 0.272$, $p = 0.762$).

8.2.5 PNN50

Die mittleren Werte des Parameters PNN50 sind nicht normalverteilt, hingegen kann die Sphärizität als gegeben angenommen werden ($\chi^2(2) = 2.897, p = 0.235$). $F(2, 240) = 0.063$, mit $p = 0.939$ zeigt, dass der Haupteffekt Muster_Buchstaben keine signifikante Auswirkung auf die PNN50 aufweist. Ebenso zeigt der Faktor Anzahl der Distraktoren keinen signifikanten Effekt auf PNN50 ($F(1, 120) = 1.448, p = 0.231$). Abschließend ist auch der Effekt der Wechselwirkung als nicht signifikant zu bewerten ($F(2, 240) = 0.383, p = 0.682$). Abbildung 30 stellt die Mittelwerte von PNN50 graphisch dar.

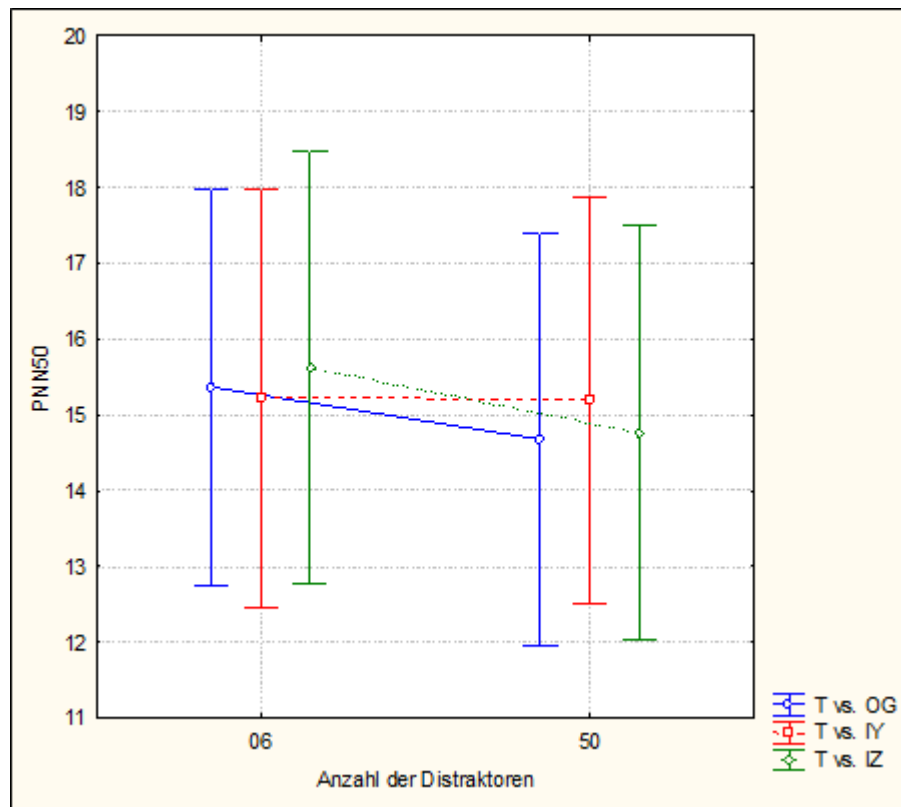


Abbildung 30: Mittelwerte des Parameters PNN50 im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.383, p = 0.68$).

8.2.6 LF

Die Sphärizität kann an dieser Stelle nicht angenommen werden, weshalb auf die Huynh-Feldt-Korrektur der Freiheitsgrade zurückgegriffen wird. ($\chi^2(2) = 7.262, p = 0.026, G-G-\varepsilon = 0.944, H-F-\varepsilon = 0.959$). Die Art des Musters hat keinen signifikanten Einfluss auf den niedrigen Frequenzbereich ($F(1.917, 238) = 0.342, p = 0.711$). Ebenso zeigt sich Der Kennwert LF durch den Hauptfaktor Anzahl der Distraktoren nicht signifikant beeinflusst ($F(1, 119) = 6.344, p = 0.013$). Die Wechselwirkung der beiden Hauptfaktoren fällt im Weiteren ebenfalls nicht signifikant aus ($F(2, 238) = 0.272, p = 0.762$). Abbildung 31 zeigt die Mittelwerte des Parameters LF.

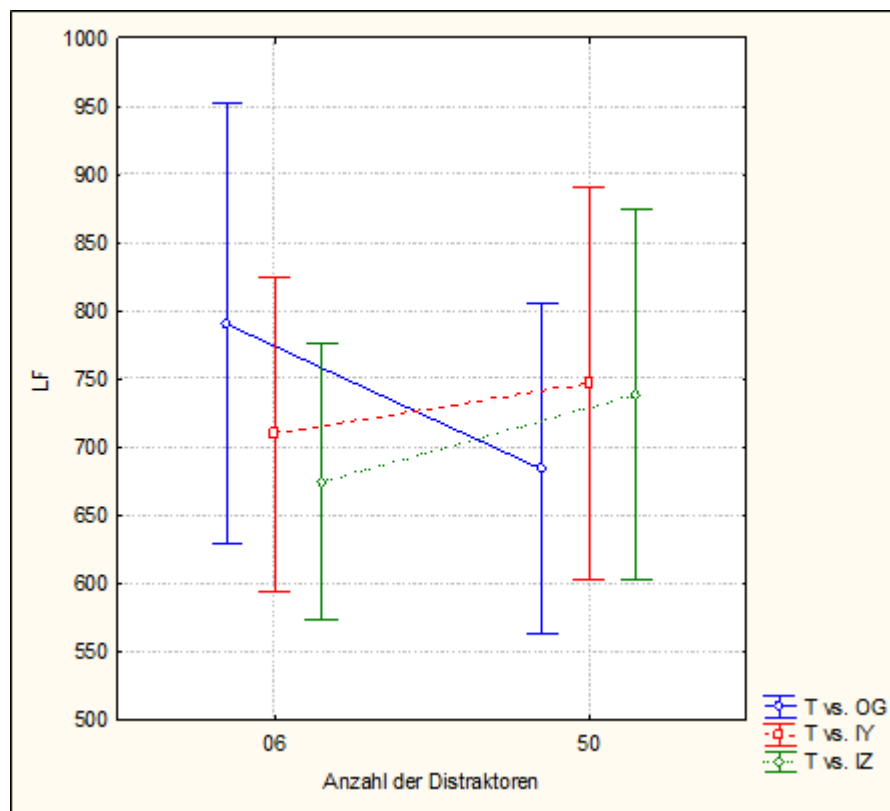


Abbildung 31: Mittelwerte des Parameters LF im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 238) = 0.272, p = 0.762$).

8.2.7 HF

Normalverteilung der spektralen Dichteverteilung im hohen Frequenzbereich kann nicht angenommen werden. Dagegen kann die Sphärizität der Daten als gegeben angesehen werden ($\chi^2(2) = 1.55$, $p = 0.461$). Mit $F(2, 240) = 3.311$ und $p = 0.038$ hat der Faktor Muster_Buchstaben mit seinen drei Abstufungen einen signifikanten Effekt auf den hohen Frequenzbereich. Die Anzahl der Distraktoren ($F(1, 120) = 0.19$, $p = 0.663$), sowie die Wechselwirkung ($F(2, 240) = 0.878$, $p = 0.417$) der beiden Haupteffekte zeigen sich jedoch nicht signifikant (siehe Abbildung 32).

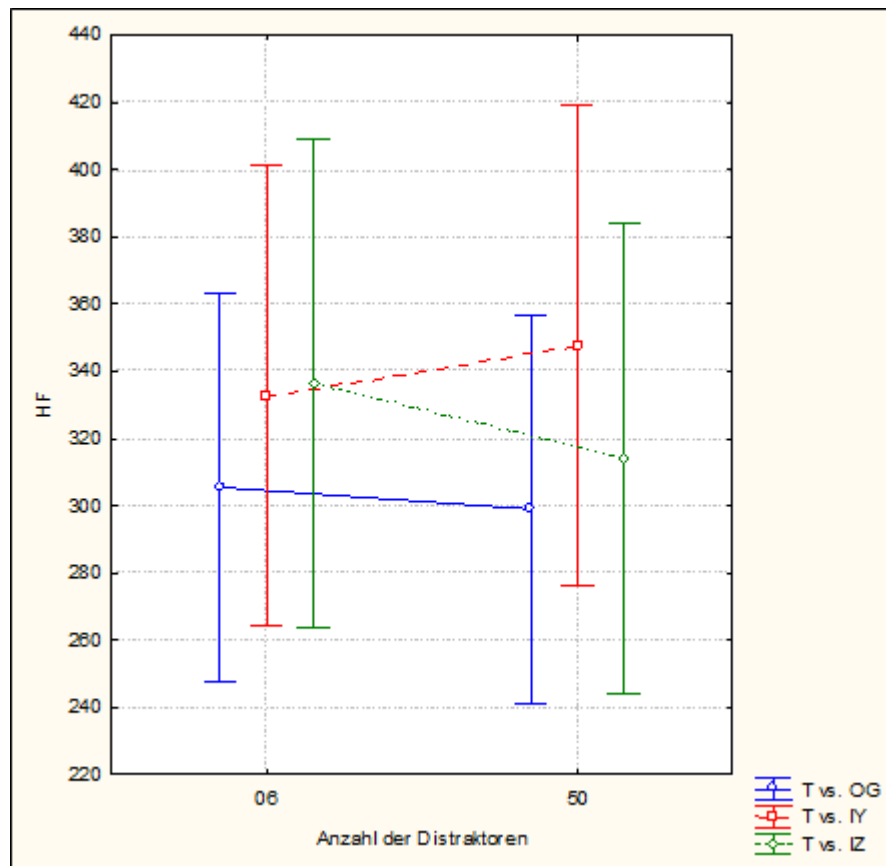


Abbildung 32: Mittelwerte des Parameters HF im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.878$, $p = 0.41$).

8.2.8 HRVtotal

Abbildung 33 zeigt die Wechselwirkung der beiden Hauptfaktoren Muster_Buchstaben*Anzahl der Distraktoren $F(2, 240) = 1.304, p = 0.273$, welche nicht signifikant ausfällt. Die Art des Musters hat ebenfalls keinen signifikanten Effekt auf die Herzratenvariabilität $F(2, 240) = 0.466, p = 0.628$. Auch der zweite Haupteffekt, die Anzahl der Distraktoren, fällt nicht signifikant aus $F(1, 120) = 0.131, p = 0.718$. Des Weiteren liegt keine Normalverteilung der Herzratenvariabilität vor, die Sphärizität hingegen ist, sensu Mauchly, gegeben ($\chi^2(2) = 2.826, p = 0.243$).

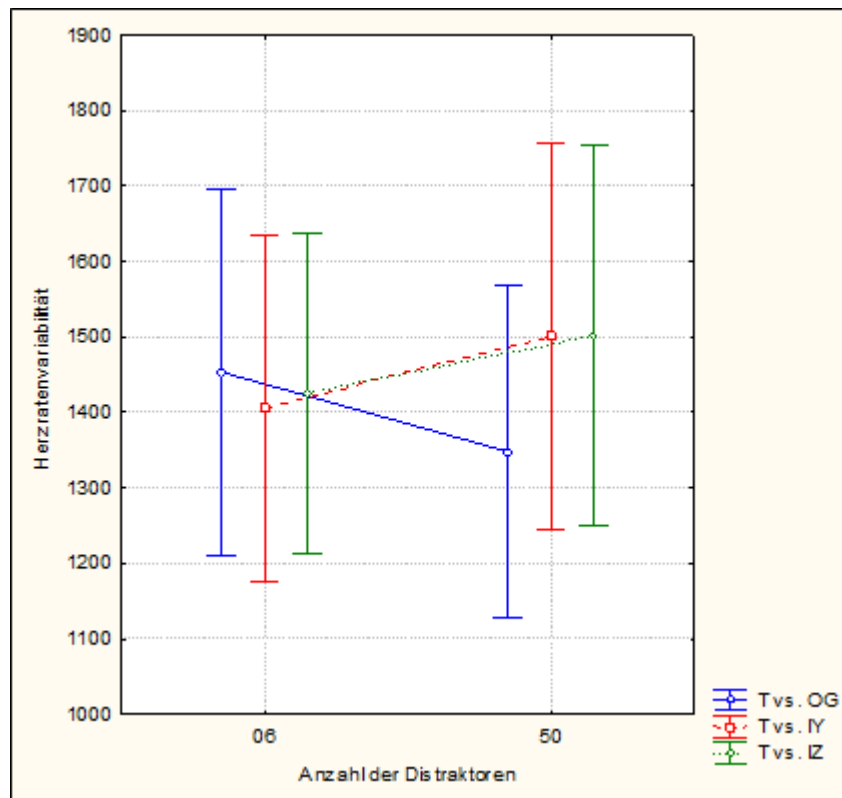


Abbildung 33: Mittelwerte des Parameters HRVtotal im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 1.304, p = 0.273$).

8.2.9 Log LF/HF

Die unterschiedlichen Buchstabenmuster hatten keinen signifikanten Effekt auf das Verhältnis der niedrigen Frequenzanteile zu den hohen ($F(2, 240) = 1.553, p = 0.214$). Der Parameter Log LF/HF ist außerdem nicht signifikant von der Anzahl der Distraktoren beeinflusst ($F(1, 120) = 0.001, p = 0.976$). Darüber hinaus zeigen die beiden Faktoren auch in einer kombinatorischen Weise im Sinne einer Wechselwirkung keinen signifikanten Effekt ($F(2, 240) = 0.483, p = 0.617$). Deskriptiv sind die Werte des Verhältnisses der spektralen Dichte des niedrigen zum hohen Frequenzbereich als normalverteilt zu beschreiben, wobei die Sphärizität gegeben ist ($\chi^2(2) = 0.68, p = 0.712$). Der hier erwähnte Wechselwirkungseffekt wird in Abbildung 34 dargestellt.

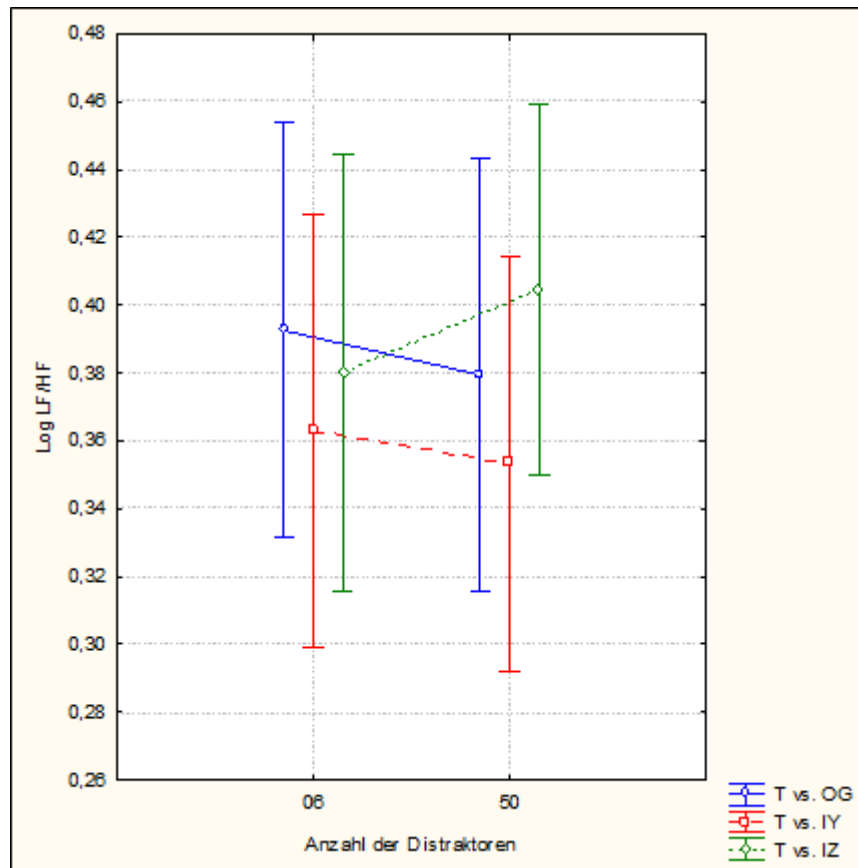


Abbildung 34: Mittelwerte des Parameters Log LF/HF im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 240) = 0.483, p = 0.617$).

8.2.10 LF%

Die Varianzen der Differenzen zwischen den einzelnen Bedingungen des Tasks Visuelles Suchen mit der unabhängigen Variablen Muster_Buchstaben können für den Kennwert LF% als homogen bezeichnet werden ($\chi^2(2) = 1.279, p = 0.528$). Normalverteilung der Daten ist gegeben.

Der Hauptfaktor Muster_Buchstaben ($F(2, 238) = 1.561, p = 0.212$), als auch der zweite Hauptfaktor, Anzahl der Distraktoren ($F(1, 119) = 0.698, p = 0.405$), hat keinen signifikanten Effekt auf den prozentuellen Anteil des niedrigen Frequenzanteils an der Gesamtvarianz der Herzrate. Weiterführend zeigt auch die Faktorenkombination keinen signifikanten Einfluss auf die LF% ($F(2, 238) = 0.482, p = 0.618$). Abbildung 35 stellt diesen Sachverhalt graphisch dar.

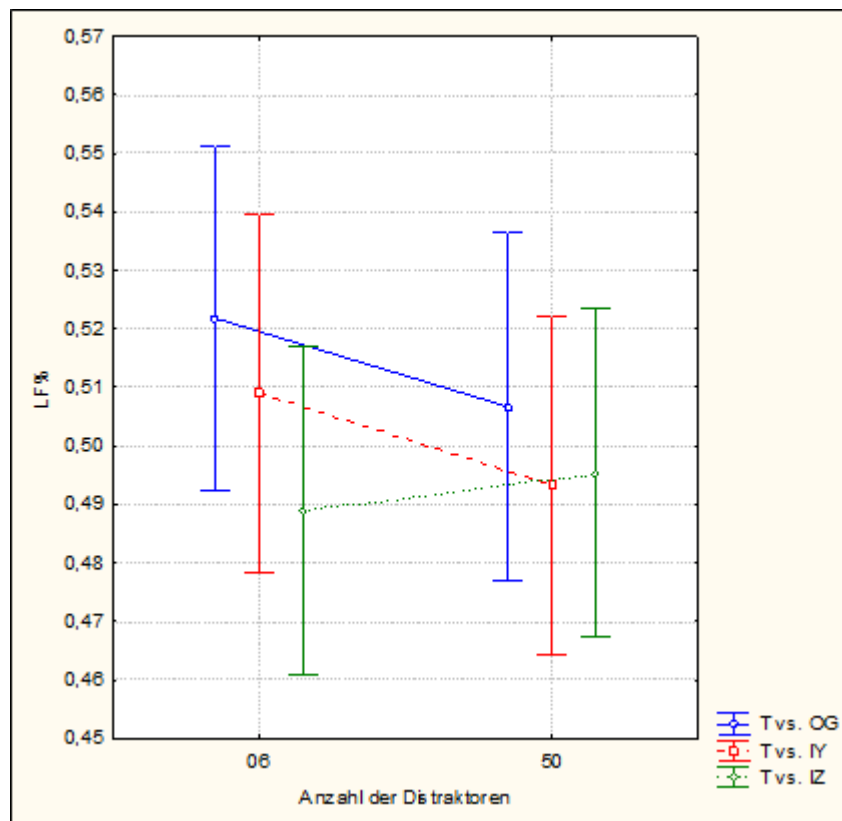


Abbildung 35: Mittelwerte des Parameters LF% im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 238) = 0.482, p = 0.618$).

8.2.11 HF %

Der prozentuelle Anteil des hohen Frequenzanteiles an der gesamten Herzratenvariabilität wird signifikant durch die unabhängige Variable *Muster_Buchstaben* beeinflusst ($F(2, 240) = 3.311, p = 0.038$). Die Anzahl der Distraktoren hingegen zeigt keinen signifikanten Effekt auf den Parameter HF% ($F(1, 120) = 0.19, p = 0.663$). Die Wechselwirkung der beiden Hauptfaktoren beeinflusst die HF% ebenfalls in keinem signifikanten Sinne ($F(2, 240) = 0.878, p = 0.417$). Deskriptive Analysen weisen auf nicht normalverteilte Daten hin und der Mauchly-Test lässt homogenen Varianzen der Differenzen zwischen den Bedingungen des Faktors *Muster_Buchstaben* annehmen ($\chi^2(2) = 1.279, p = 0.91$). Abbildung 36 zeigt die Wechselwirkung anhand der Mittelwerte der HF% und deren 95%-Konfidenzintervallen.

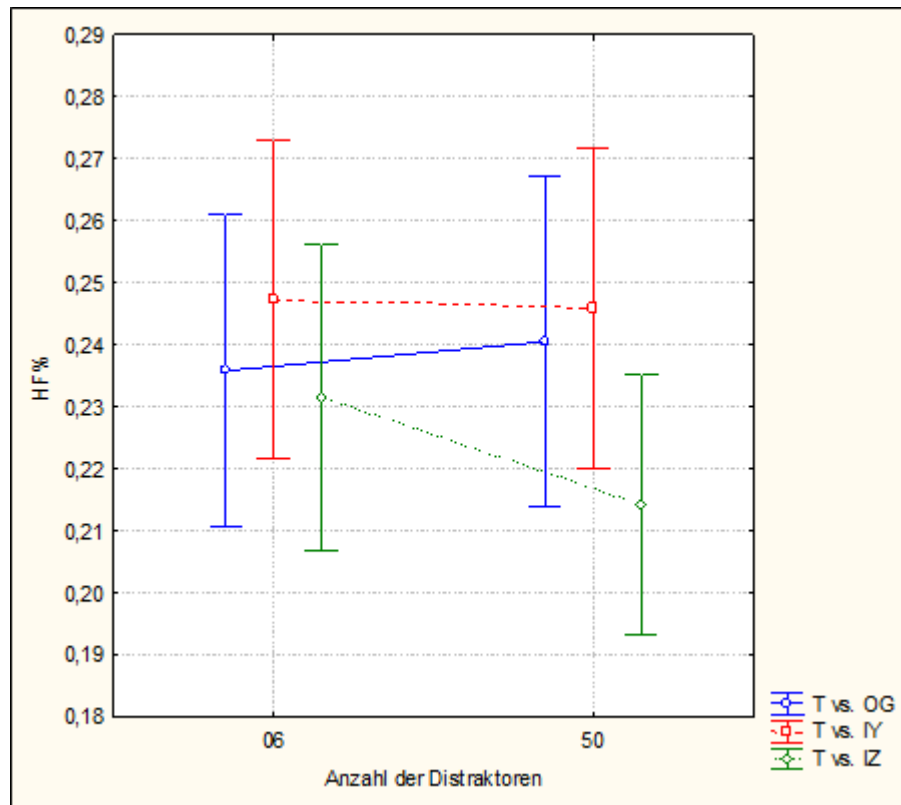


Abbildung 36: Mittelwerte des Parameters HF% im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: *Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren* ($F(2, 240) = 0.878, p = 0.417$).

8.2.12 LF n.u.

Die Sphärizität der Daten ist in diesem Falle gewährleistet ($\chi^2(2) = 1.335, p = 0.513$). Bei der zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung ergeben sich keine signifikanten Ergebnisse: Muster_Buchstaben. $F(2, 238) = 1.903, p = 0.151$; Anzahl der Distraktoren: $F(1, 119) = 0.014, p = 0.906$; Effekt der Wechselwirkung der beiden Hauptfaktoren auf LF n.u.: $F(2, 238) = 0.718, p = 0.489$. Abbildung 37 zeigt die Mittelwerte der LF n.u. und die entsprechenden 95%-Konfidenzintervalle.

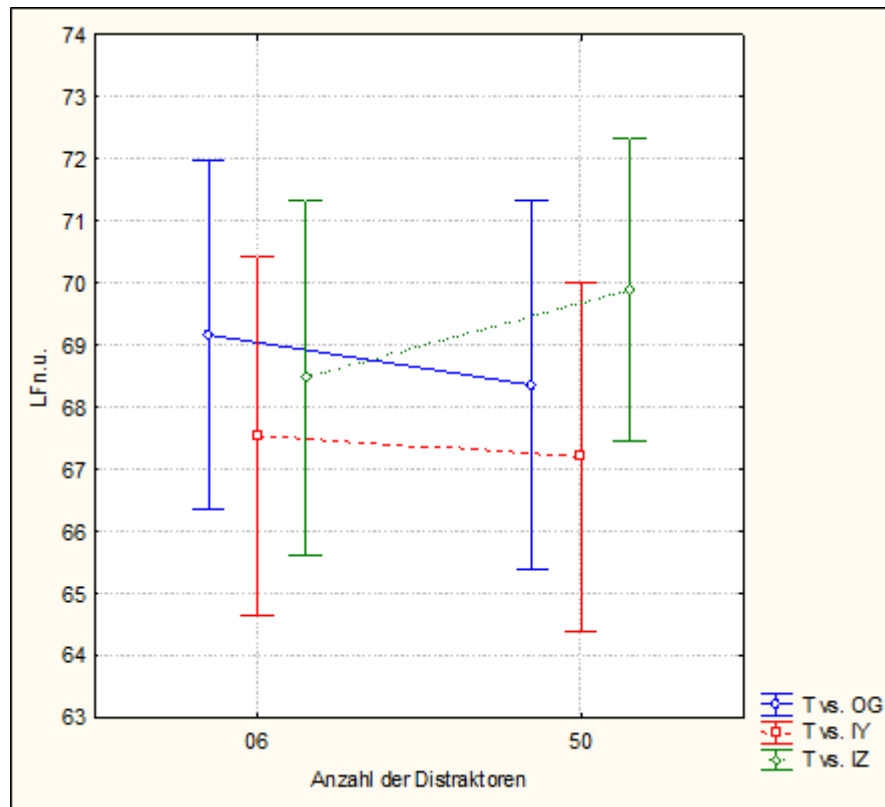


Abbildung 37: Mittelwerte des Parameters LF n.u. im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 238) = 0.718, p = 0.489$).

8.2.13 HF n.u.

Abbildung 38 zeigt den nicht signifikanten Effekt der Wechselwirkung zwischen der Anzahl der Distraktoren und der Variablen Muster_Buchstaben auf den Kennwert HF n.u. ($F(2, 238) = 0.721, p = 0.487$). Auch die beiden Hauptfaktoren beeinflussen den physiologischen Parameter HF n.u. in keinem signifikantem Maße (Muster_Buchstaben: $F(2, 238) = 1.906, p = 0.151$, Anzahl der Distraktoren: $F(1, 119) = 0.014, p = 0.906$). Die Sphärizität ist hierbei gegeben ($\chi^2(2) = 1.344, p = 0.511$).

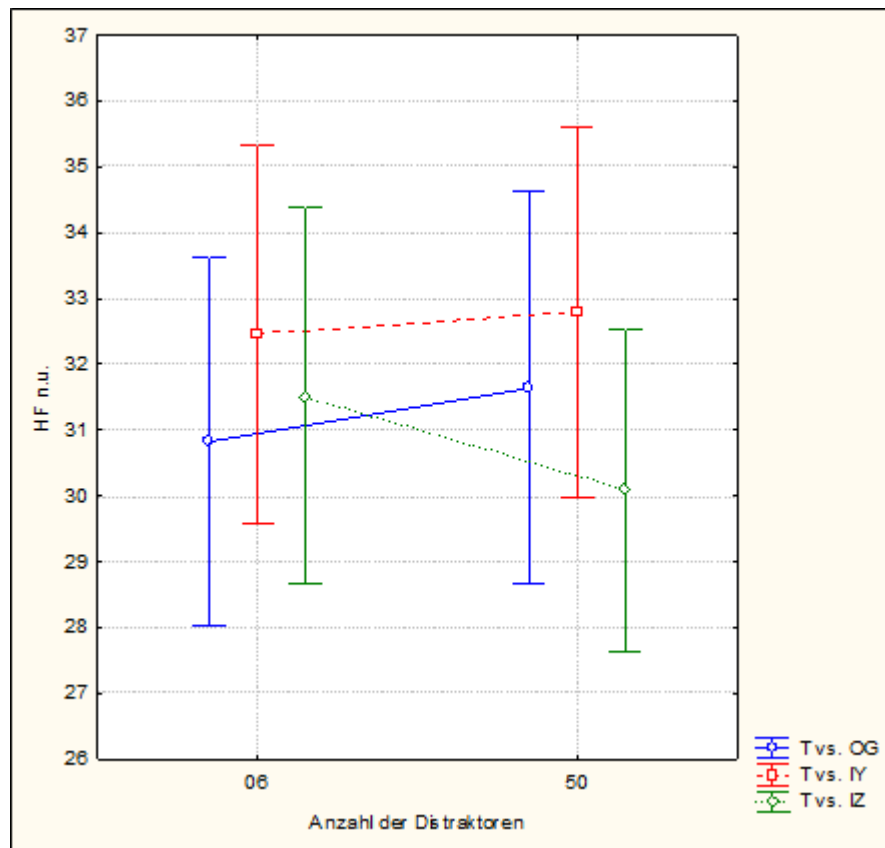


Abbildung 38: Mittelwerte des Parameters HF n.u. im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(2, 238) = 0.721, p = 0.487$).

8.2.14 Anzahl der Spontanfluktuationen

Die Sphärizität kann bezüglich der Anzahl der Fluktuationen nicht angenommen werden ($\chi^2(2) = 6.227$, $p = 0.044$, $G-G-\varepsilon = 0.951$, $H-F-\varepsilon = 0.966$), weshalb im Folgenden die Ergebnisse der Huynh-Feldt-Korrektur angegeben werden. Normalverteilung des Kennwertes kann ebenfalls als nicht gegeben angenommen werden. Es zeigt sich ein hoch signifikanter Einfluss der unabhängigen Variable Muster_Buchstaben auf die Anzahl der Fluktuationen ($F(1.399, 231.94) = 9.262$, $p = 0.000$). Des Weiteren ist auch die Wechselwirkung der beiden Hauptfaktoren als signifikant anzusehen ($F(1.399, 231.94) = 9.262$, $p = 0.000$), wobei jedoch die Anzahl der Distraktoren als Hauptfaktor keinen signifikanten Effekt auf das Ausmaß der Fluktuationen hat ($F(1, 120) = 0.009$, $p = 0.923$). Abbildung 39 verdeutlicht diesen Sachverhalt.

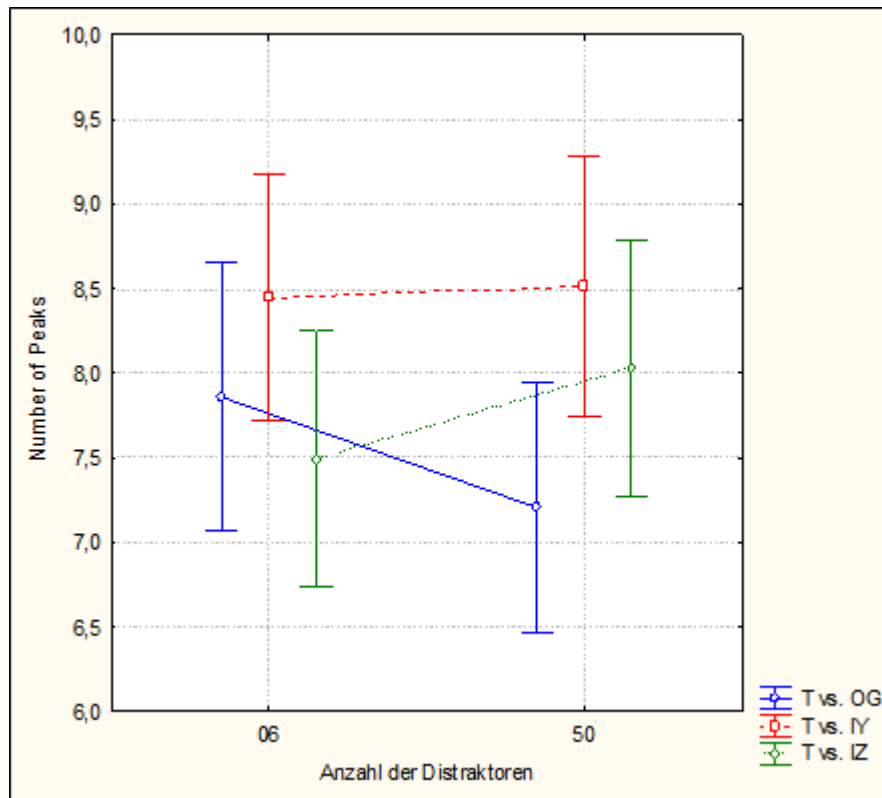


Abbildung 39: Mittelwerte des Parameters Nop im Task Visuelles Suchen in den Bedingungen: T vs. OG; T vs. IY; T vs. IZ. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren ($F(1.399, 231.94) = 9.262$, $p = 0.000$).

Zusammenfassend werden alle signifikanten Ergebnisse des Tasks Visuelles Suchen in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Signifikante Effekte des Tasks Visuelles Suchen auf die physiologischen Parameter.

<i>Parameter</i>	<i>SQ</i>	<i>df</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
HR					
Muster_Buchstaben	57.47	2	28.74	4.246	0.015
Fehler	1624.15	240	6.77		
Muster_Formen	85.78	2	46.33	6.394	0.003
Fehler	1609.90	240	6.71		
SDNN					
Muster_Buchstaben*Anzahl der Distraktoren	947.35	2	473.67	3.857	0.022
Fehler	35186.13	240	146.61		
PNN10					
Anzahl der Distraktoren _{Buchstaben}	258.36	1	258.36	6.344	0.013
Fehler	4846.23	119	40.72		
HF					
Muster_Buchstaben	177133.18	2	88566.59	3.311	0.038
Fehler	6420564.51	240	26752.35		
Log LF/HF					
Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren	0.64	2	0.32	6.5950	0.002
Fehler	11.70	240	0.05		
HF%					
Muster_Buchstaben	0.07	2	0.03	3.542	0.030
Fehler	2.34	238	0.01		
Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren	0.09	2	0.05	5.437	0.005
Fehler	2.00	238	0.01		
LF n.u.					
Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren	1480.78	2	740.39	6.959	0.001
Fehler	25320.09	238	106.39		
HF n.u.					
Muster_Formen*Anzahl der Distraktoren	1482.69	2	741.34	6.969	0.001
Fehler	25316.39	238	106.37		
Nop					
Muster_Buchstaben	117.78	2	60.93	9.262	0.000
Fehler	1525.89	240	6.36		
Muster_Buchstaben*Anzahl der Distraktoren	43.46	2	21.73	3.935	0.021
Fehler	1325.54	240	5.52		
Muster_Formen	51.72	2	25.86	4.406	0.013
Fehler	1408.61	240	5.87		

8.3 Korrelationen zwischen dem NASA-TXL und der Psychophysiologie im Task Visuelles

Insgesamt ergeben sich für das Task Visuelles Suchen in den Bedingungen Muster_Formen und Muster_Buchstaben verstärkt inkonsistente Ergebnisse bezüglich der Zusammenhänge mit den autonomen Parametern. Die vollständigen Korrelationsmatritzen sind in Kapitel 17.1 zu finden.

Signifikante negative Korrelationen zeigen sich dennoch bezüglich der subjektiven Einschätzung der geistigen Anforderung mit den Parametern SDNN und HRV. Darüber hinaus spielt in den Bedingungen Muster_Buchstaben und Muster_Formen die zeitliche Komponente eine maßgebliche Rolle. Deutlich wird dies in den Suchbildern mit 50 Distraktoren. Signifikante Zusammenhänge sind hierbei gehäuft im Frequenzbereich zu finden, namentlich in den relativen Kennwerten. Der Zusammenhang mit dem Ausmaß an Frustration, Irritation und Entmutigung fällt speziell in der Bedingung T vs. IY mit 50 Distraktoren in Bezug zu den relativen Kennwerten der Herzratenvariabilität signifikant aus. Außerdem lässt sich ein signifikanter Zusammenhang mit dem subjektiv empfundenen Ausmaß an Anstrengung in den Parametern rMSSD, PNN50 und HRVtotal finden.

9 Ergebnisse des Tasks Liste

Die beiden Bedingungen (Eng, Weit) des Tasks Liste wurden bei nicht normalverteilten Daten mit Hilfe des Wilcoxon-Rangtestes für abhängige Stichproben analysiert. Waren die Werte in den zu vergleichenden Bedingungen normalverteilt, wurde auf den t-Test für gepaarte Stichproben zurückgegriffen.

9.1 Mittlere Herzrate

Die Daten können als normalverteilt angesehen werden, weshalb auf den t-Test für abhängige Stichproben zurückgegriffen werden kann. Es zeigt sich kein signifikanter Effekt zwischen der Bedingung Eng ($MD = 75.749$, $SD = 9.490$) und Weit ($MD = 75.555$, $SD = 9.634$) $t(120) = 0.669$, $p = 0.505$. Graphisch stellt sich dieser Mittelwertunterschied in Abbildung 40 dar.

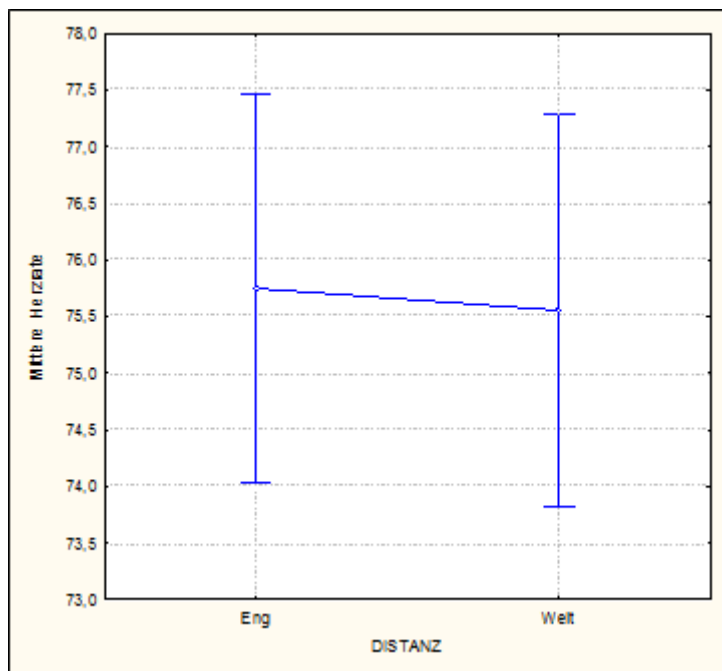


Abbildung 40: Mittlere Herzrate im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.2 SDNN

Der Parameter SDNN zeigt sich in den Bedingungen des Tasks Liste nicht normalverteilt. Ein paarweiser Vergleich mit dem Wilcoxon-Rangtest ergibt ein knapp nicht signifikantes Ergebnis ($Z = 1.864$, $p = 0.062$). Abbildung 41 bildet die Mittelwerte des Parameters SDNN ab.

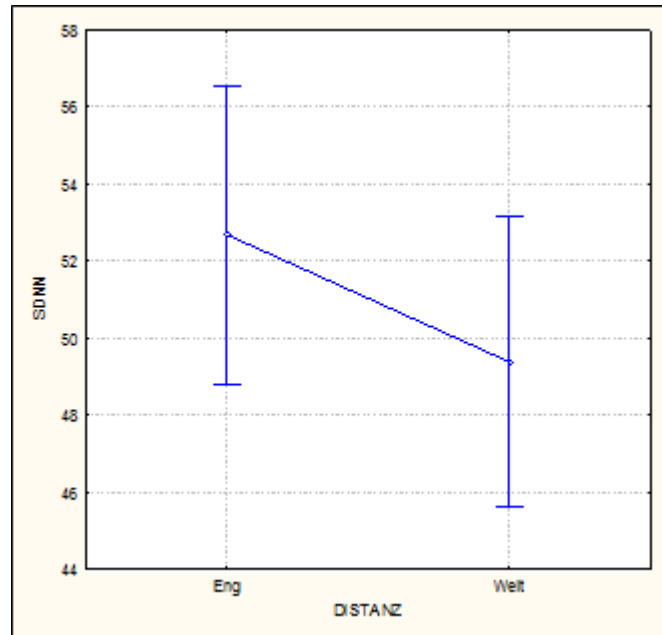


Abbildung 41: Mittelwerte für den Parameter SDNN im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.3 rMSSD

Die Werte des Parameters rMSSD gelten in den Bedingungen des Tasks Liste als nicht normalverteilt. Ein Wilcoxon-Rang-Test zeigt, dass sich die Ausprägungen von rMSSD zwischen Eng und Weit signifikant unterscheiden ($Z = 2.169$, $p = 0.030$). Abbildung 42 zeigt die Mittelwerte der beiden Bedingungen und ihre 95%-Konfidenzintervalle.

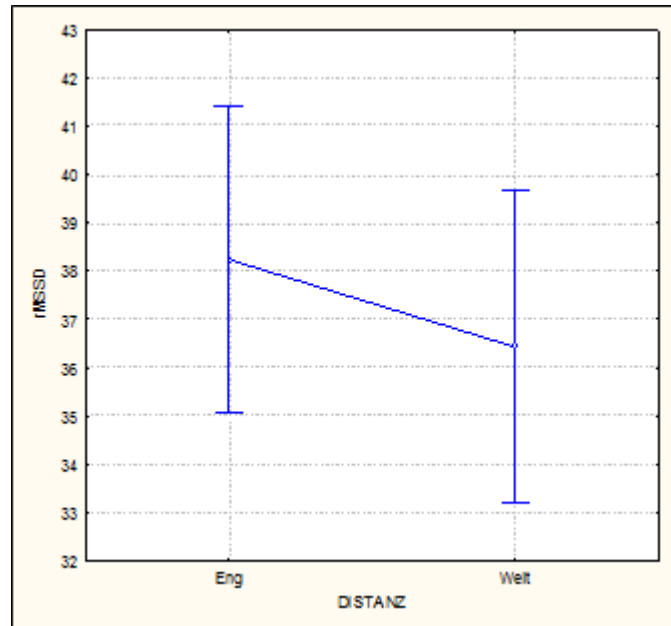


Abbildung 42: Mittelwerte für den Parameter rMSSD im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-

9.4 PNN10

Bei nicht normalverteilten Daten, zeigte der Wilcoxon-Test keinen signifikanten Unterschied zwischen der engen und weiten Distanz im Parameter PNN10 ($Z = 1.602$, $p = 0.109$). Vergleiche hierzu Abbildung 43.

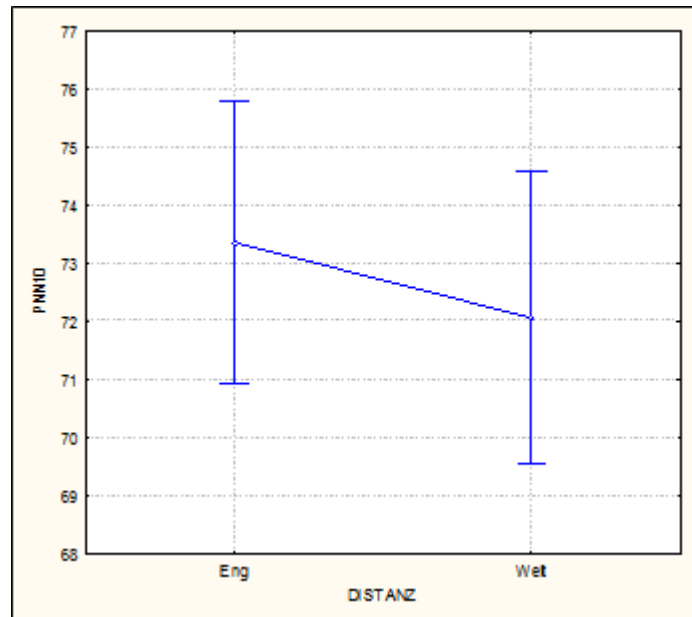


Abbildung 43: Mittelwerte für den Parameter PNN10 im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.5 PNN50

Die Normalverteilung kann nicht angenommen werden. Der Wilcoxon-Test zeigt ein nicht signifikantes Ergebnis ($Z = 1.665$, $p = 0.096$). Die Mittelwerte von PNN50 sind in Abbildung 44 dargestellt.

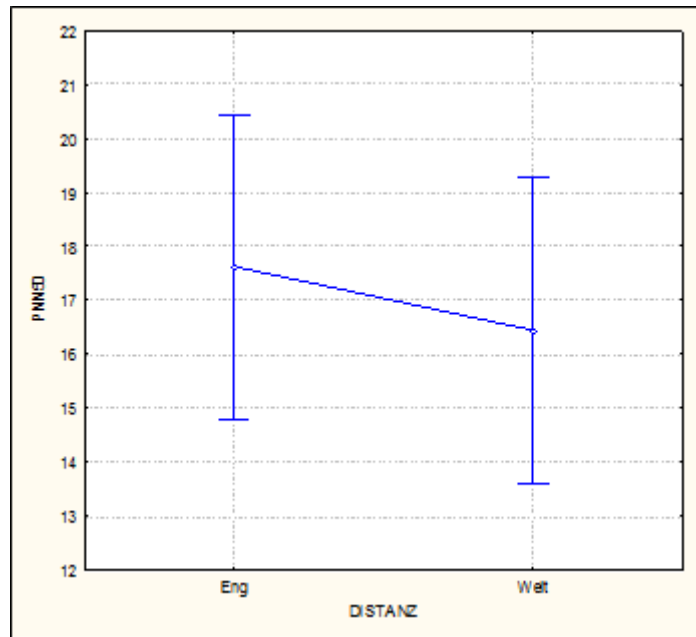


Abbildung 44: Mittelwerte für den Parameter PNN50 im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.6 LF

Bei nicht normalverteilten Daten zeigt der Wilcoxon-Rangtest mit einem von $Z = 1.308$ und einem zufallskritischen Niveau von $p = 0.191$ keinen signifikanten Effekt (siehe Abbildung 45).

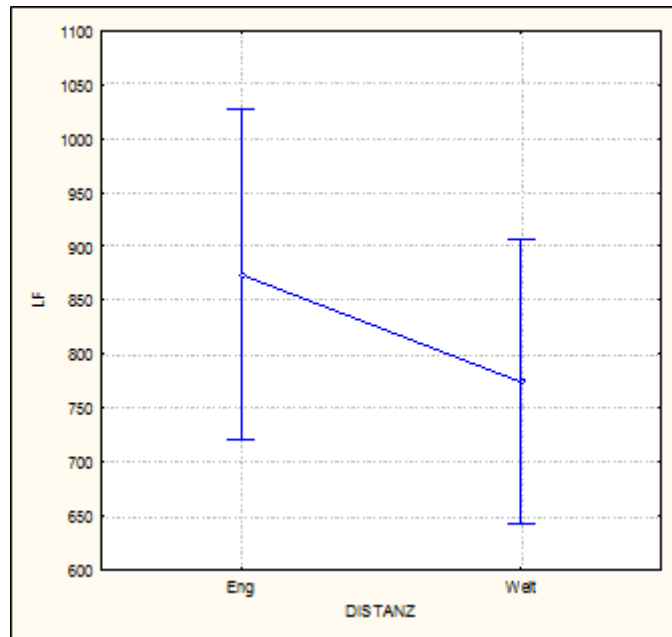


Abbildung 45: Mittelwerte für den Parameter LF im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.7 HF

Abbildung 46 stellt die mittleren Werte des hohen Frequenzbereiches der Herzratenvariabilität dar, welche nicht normalverteilt ausfallen. Die Bedingungen Eng und Weit unterscheiden sich in diesem Parameter nicht signifikant voneinander ($Z = 0.484$, $p = 0.628$).

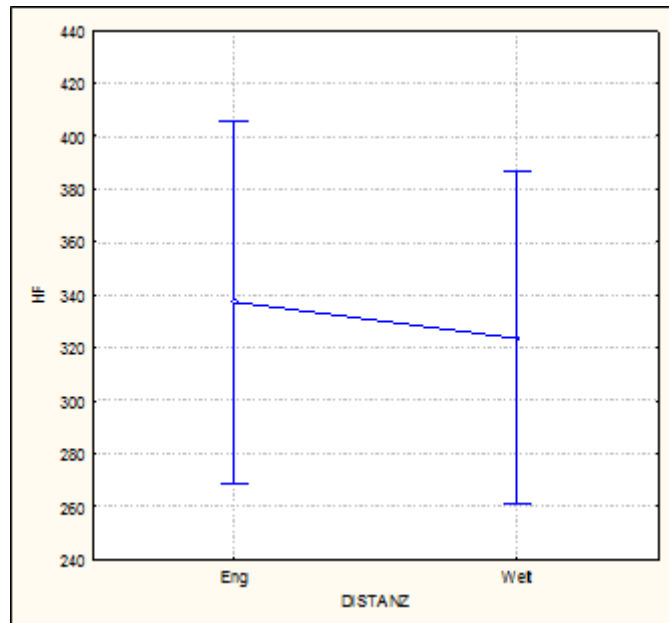


Abbildung 46: Mittelwerte für den Parameter HF im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.8 HRVtotal

Sensu Kolmogorov-Smirnov-Test ergibt sich keine Normalverteilung der Daten. Der Wilcoxon-Rangtest zeigt einen nicht signifikanten Unterschied zwischen den beiden Bedingungen Eng und Weit ($Z = 1.574$, $p = 0.116$). Veranschaulicht werden soll dieser Effekt durch Abbildung 47.

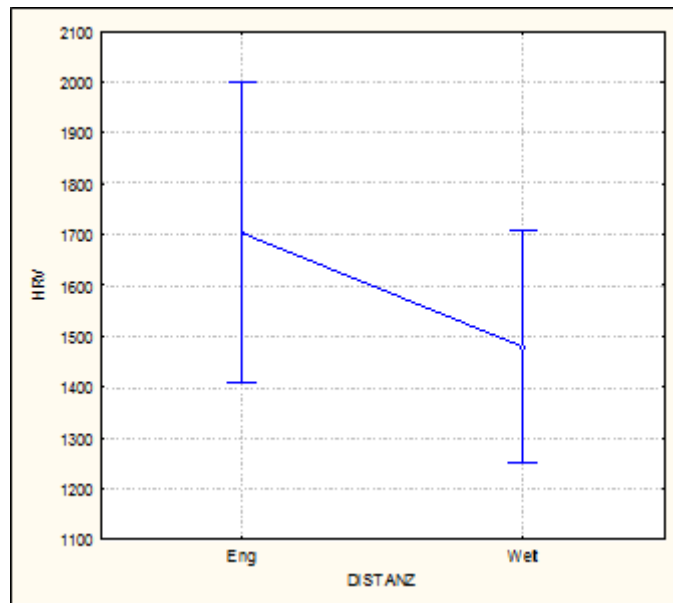


Abbildung 47: Mittelwerte für den Parameter HRVtotal im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.9 Log LF/HF

Die Daten des Parameters Log LF/HF sind normalverteilt, weshalb ein t-Test zur Analyse herangezogen werden kann. Die Bedingung Eng ($MW = 0.444$, $SD = 0.347$) und Weit ($MW = 0.420$, $p = 0.349$) unterscheiden sich demnach nicht signifikant $t(120) = 0.710$, $p = 0.479$). Abbildung 48 veranschaulicht dieses Ergebnis.

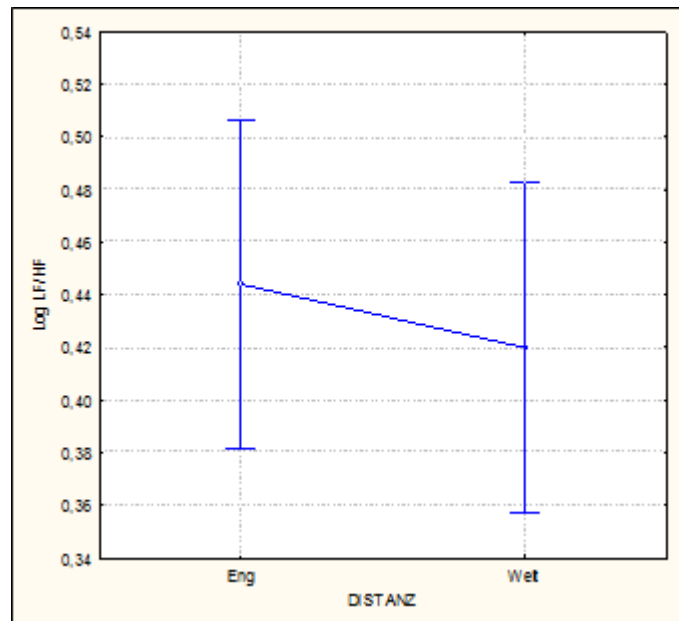


Abbildung 48: Mittelwerte für den Parameter Log LF/HF im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.10 LF%

Die Werte des prozentuellen Anteils der niedrigen Frequenzbereiche an der gesamten Herzratenvariabilität sind nicht normalverteilt. Ein paarweiser Vergleich zeigt, dass sich die Bedingungen Eng und Weit nicht signifikant unterscheidet ($Z = 0.803$, $p = 0.422$). Vergleiche Abbildung 49.

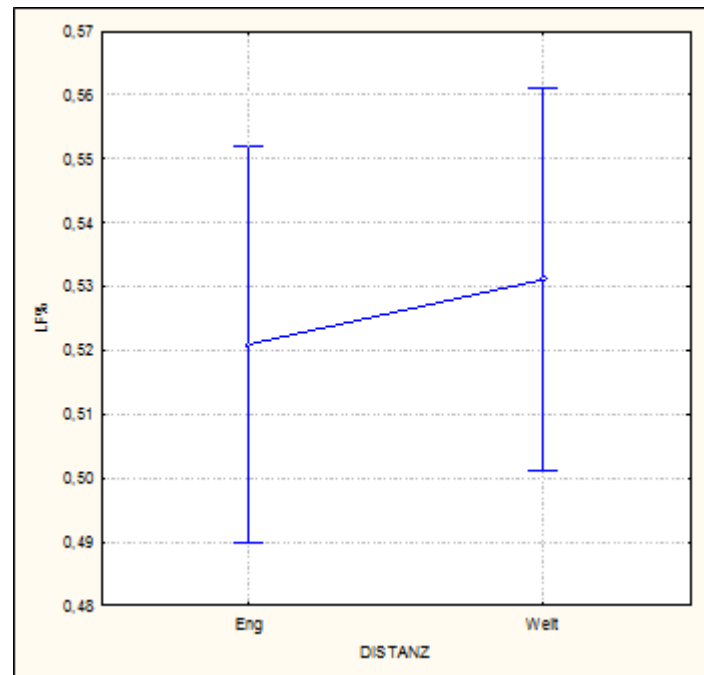


Abbildung 49: Mittelwerte für den Parameter LF% im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.11 HF%

Abbildung 50 stellt die Mittelwerte der Bedingungen im Task Kreuz graphisch dar. Aufgrund normalverteilter Daten des Parameters HF% wurde ein t-Test durchgeführt. Dieser zeigt, dass sich die beiden Bedingungen des Tasks Liste (Eng: $MD = 0.211$, $SD = 0.124$; Weit: $MW = 0.226$, $SD = 0.126$) bezüglich des Kennwertes HF% nicht signifikant unterscheiden ($t(119) = -1.105$, $p = 0.271$).

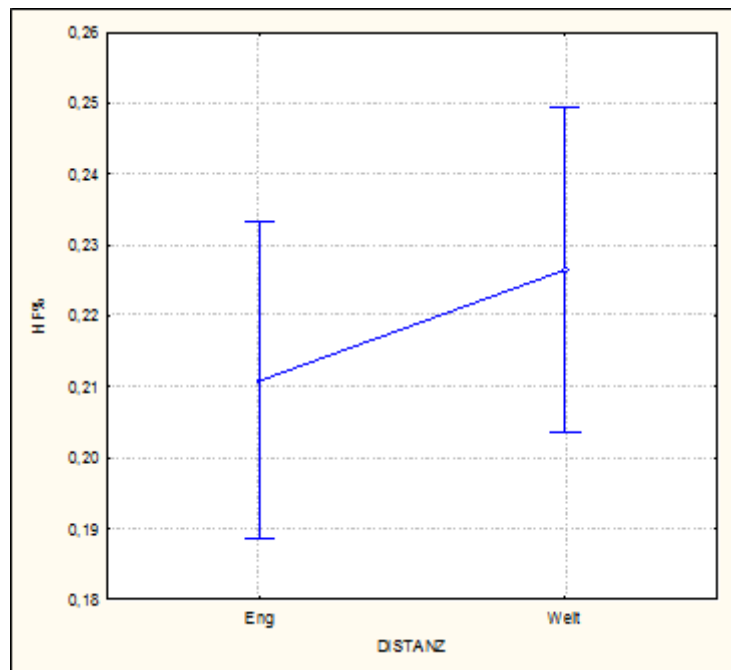


Abbildung 50: Mittelwerte für den Parameter HF% im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.12 LF n.u.

Die Bedingung Eng ($MD = 71.026$, $SD = 14.780$) unterscheidet sich von Weit ($MD = 70.191$, $SD = 14.690$) mit $t = 0.559$ bei $p = 0.577$ nicht signifikant. Abbildung 51 zeigt die Mittelwerte des Parameters LF n.u. und deren 95%-Konfidenzintervall.

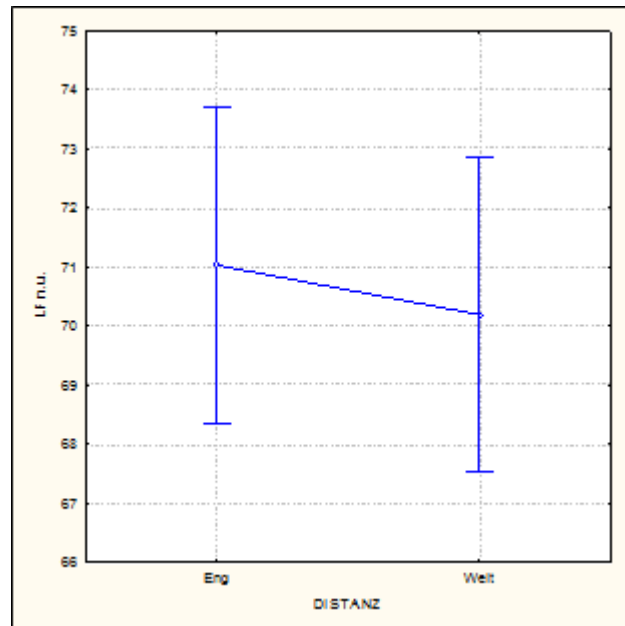


Abbildung 51: Mittelwerte für den Parameter LF n.u. im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.13 HF n.u.

Der t-Test zur Prüfung der Unterschiede zwischen den Bedingungen Eng ($MD = 29.801$, $SD = 14.778$) und Weit ($MD = 28.967$, $SD = 14.692$) des Parameters HF n.u. zeigt folgendes Ergebnis: $t(119) = -0.559$ und $p = 0.577$ und fällt somit nicht signifikant aus. Vergleiche hierzu Abbildung 52.

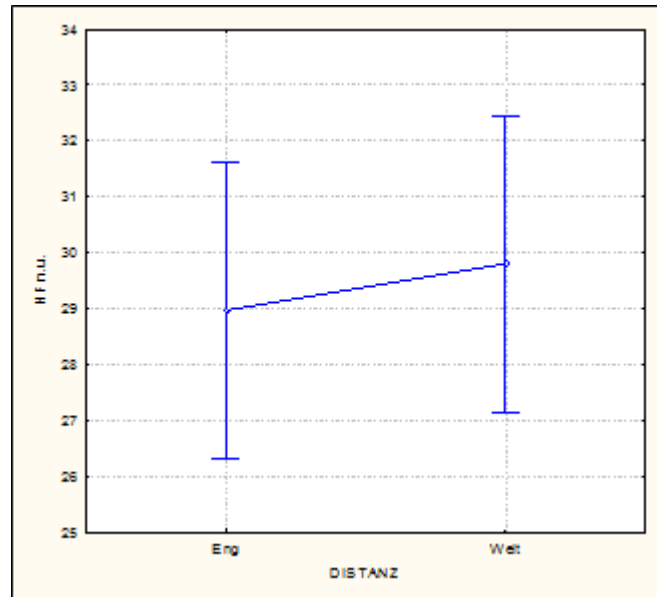


Abbildung 52: Mittelwerte für den Parameter HF n.u. im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

9.14 Anzahl der Spontanfluktuationen (Number of peaks)

Aufgrund der nicht normalverteilten Anzahl an Spontanfluktuationen wird der Wilcoxon-Rangtest zur Analyse herangezogen. Das Ergebnis ergibt mit einem $Z = 2.646$, bei einem zufallskritischen Niveau von $p = 0.008$, ein signifikantes Ergebnis. Abbildung 53 zeigt dieses graphisch.

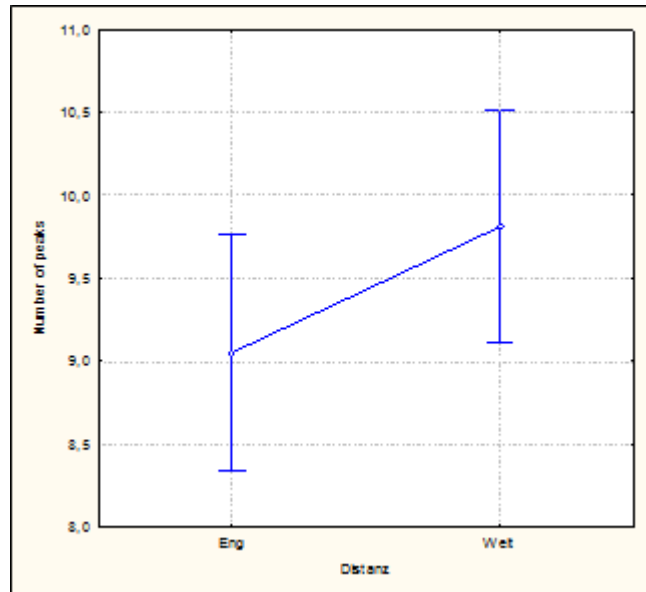


Abbildung 53: Mittelwerte für den Parameter Nop. im Task Liste. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall.

Tabelle 7 zeigt die beiden signifikanten Ergebnisse des Wilcoxon-Rangtests bezüglich des Kennwertes rMSSD und der elektrodermalen Aktivität.

Tabelle 7: signifikante Ergebnisse des Tasks Liste in den Parameter rMSSD und Nop.

<i>Parameter</i>	<i>N</i>	<i>T</i>	<i>Z</i>	<i>p</i>
<i>rMSSD</i>				
Eng und Weit	121	2852	2.169	0.030
<i>Nop</i>				
Eng und Weit	121	1914	2.646	0.008

9.15 Korrelationen zwischen dem NASA-TXL und der Psychophysiologie Task Liste

In der Bedingung Eng zeichnet sich eine Tendenz des Zusammenhanges zwischen der subjektiv eingeschätzten Leistungskomponente und der vegetativen Aktivität ab. Dabei besteht ein signifikanter negativer Zusammenhang zwischen der autonomen Erregung und der Einschätzung der Leistungsgüte. Der Parameter PNN50 steht darüber hinaus in negativem Zusammenhang mit der erlebten Frustration. Ähnlich gestaltet sich die Matrix für die Bedingung Weit. Der korrelative Zusammenhang zwischen der Leistungseinschätzung und der autonomen Erregung bildet sich hierbei jedoch vornehmlich in den relativen Kennwerten der frequenzbezogenen Maße ab. Im Anhang 0 ist eine numerische Darstellung der Korrelationen zu finden.

10 Ergebnisse des Tasks Pfeil

Zur statistischen Analyse des Tasks Pfeil wurde eine zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung durchgeführt. Die Angaben zur Normalverteilung erfolgen hierbei ausschließlich verbal, wobei für genaue statistische Ergebnisse auf den Anhang 16.3 verwiesen wird.

Design: 2 (mit Antizipation vs. ohne Antizipation) x 2 (großes Ziel vs. kleines Ziel)

10.1 Mittlere Herzrate

Die Mittelwerte der Herzrate sind in allen Bedingungen des Tasks Pfeil normalverteilt. Die beiden Haupteffekte, sowie die interaktive Wirkung der unabhängigen Variablen auf die mittlere Herzrate fallen nicht signifikant aus. Der Effekt der Antizipation ist hierbei durch ein $F(1, 120) = 2.165$, bei zufallskritischem Ereignis von $p = 0.144$ charakterisiert. Der Effekt der Größe des Zieles lässt sich durch $F(1, 120) = 0.223$ und $p = 0.638$ beschreiben. Des Weiteren hat auch die Interaktion der beiden Hauptfaktoren keinen signifikanten Effekt auf die mittlere Herzrate ($F(1, 120) = 1.161$, $p = 0.283$). Letzteres wird in Abbildung 54 deutlich.

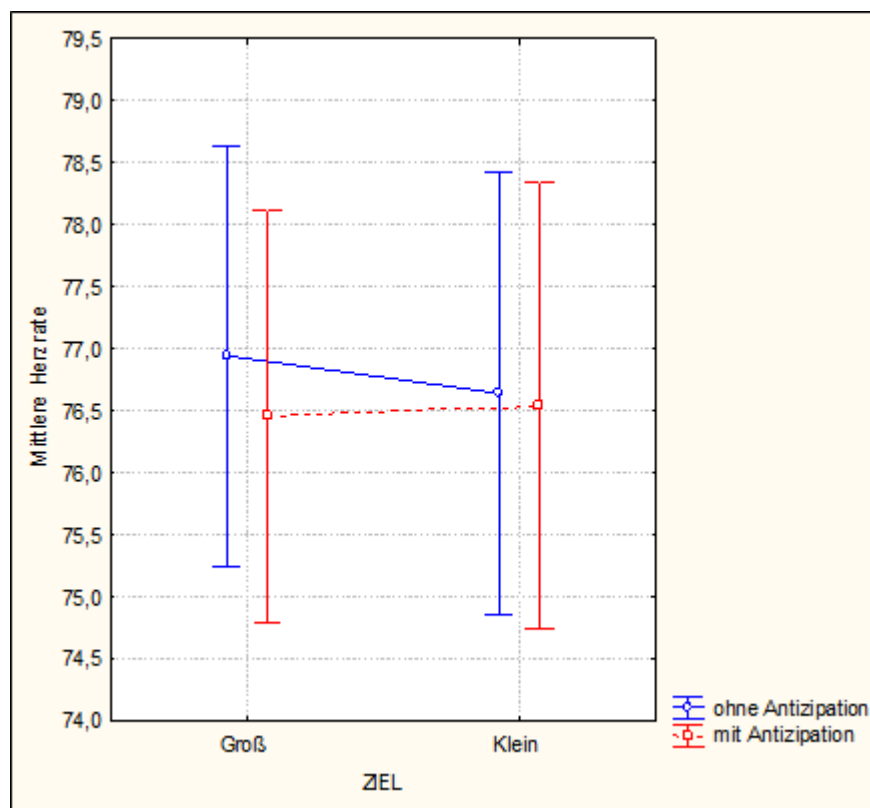


Abbildung 54: Mittlere Herzrate im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 120) = 1.161$, $p = 0.283$).

10.2 SDNN

Der Kolmogorov-Smirnov-Test zur statistischen Analyse der Verteilung des Kennwertes SDNN fällt signifikant aus. Die Variable Antizipation hat hingegen mit einem kleinen $F(1, 120) = 0.056$, bei einem zufallskritischen Wert von $p = 0.814$ keinen signifikanten Einfluss auf die Mittelwerte des Parameters SDNN. Auch die Größe des Zieles beeinflusst den Kennwert nicht signifikant ($F(1, 120) = 2.747, p = 0.1$). Darüber hinaus zeigt auch die Interaktion der beiden Haupteffekte keine signifikante Auswirkung auf SDNN ($F(1, 120) = 0.110, p = 0.741$). Abbildung 55 zeigt die Mittelwerte des Parameters SDNN und die zugehörigen Konfidenzintervalle.

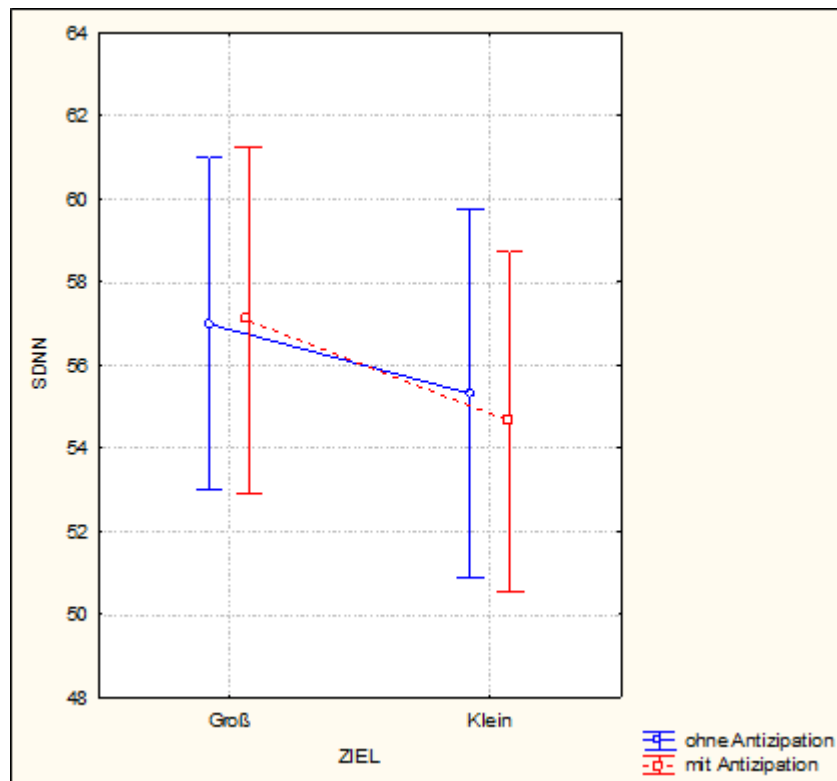


Abbildung 55: Mittlere Werte für den Parameter SDNN im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 120) = 0.110, p = 0.741$).

10.3 rMSSD

Es kann bezüglich des Parameters rMSSD keine Normalverteilung der Daten angenommen werden. Im Weiteren hat die Antizipation keinen signifikanten Einfluss auf rMSSD ($F(1, 120) = 3.710, p = 0.056$). Auch die Zielgröße zeigt keinen signifikanten Effekt ($F(1, 120) = 0.004, p = 0.948$). Darüber hinaus haben die Haupteffekte auch keinen signifikanten Effekt im Sinne einer Interaktion ($F(1, 120) = 0.146, p = 0.703$).

Abbildung 56 stellt dies graphisch dar.

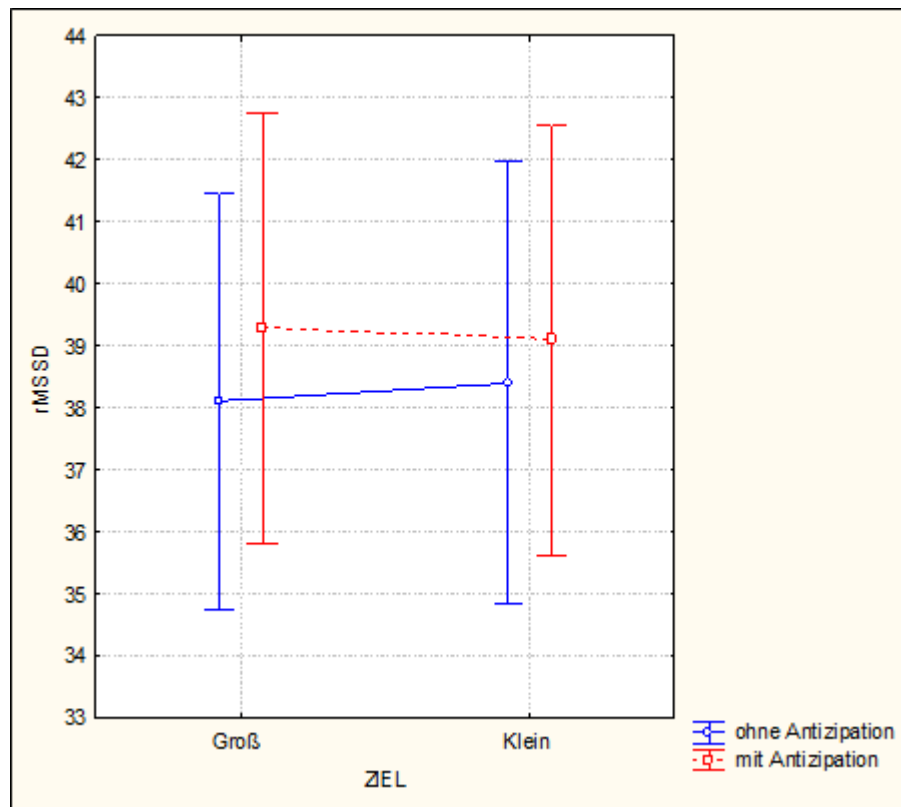


Abbildung 56: Mittlere Werte für den Parameter rMSSD im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation $F(1, 120) = 0.146, p = 0.703$.

10.4 PNN10

Der Parameter PNN10 gilt nicht in allen Bedingungen als normalverteilt. Keiner der beiden Haupteffekte zeigt einen signifikanten Effekt auf die abhängige Variable PNN10. Antizipation: $F(1, 119) = 2.086, p = 0.151$ und Zielgröße: $F(1, 119) = 1.913, p = 0.169$. In einer interagierenden Form beeinflussen die Hauptfaktoren den Parameter PNN10 ebenso wenig signifikant ($F(1, 119) = 2.562, p = 0.112$). Abbildung 57 zeigt diese Ergebnisse graphisch.

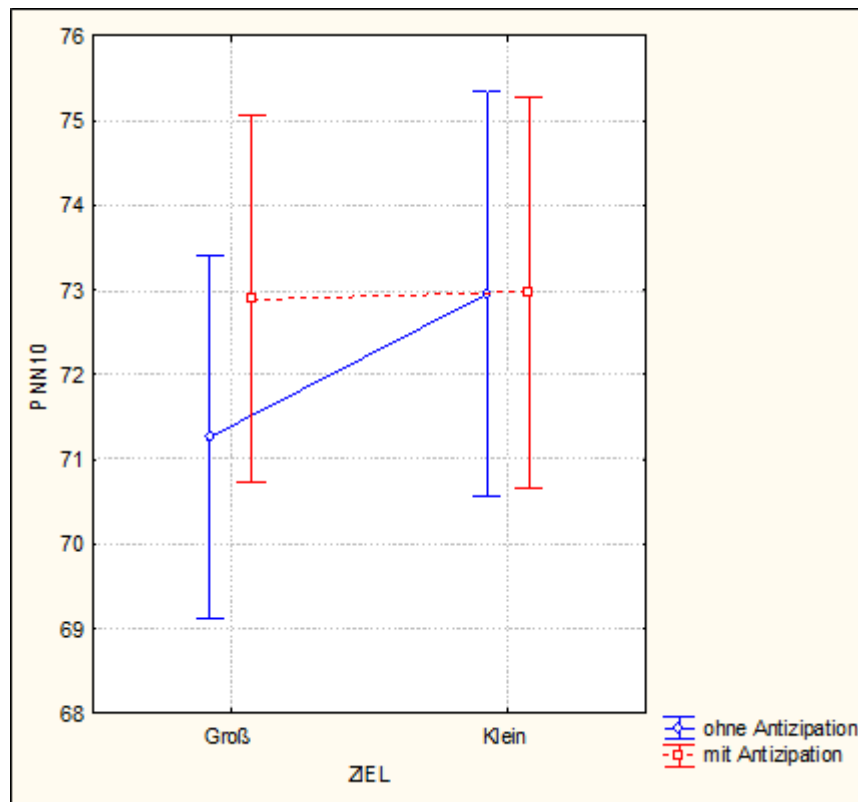


Abbildung 57: Mittlere Werte für den Parameter PNN10 im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation $F(1, 119) = 2.562, p = 0.112$.

10.5 PNN50

Die Werte des Parameters PNN50 zeigen keine normale Verteilung. Die zweifaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung verdeutlicht, dass beide Hauptfaktoren, als auch deren Wechselwirkung keinen signifikanten Effekt auf PNN50 haben: Zielgröße: $F(1, 120) = 0.029$, $p = 0.866$, Antizipation: $F(1, 120) = 1.779$, $p = 0.185$, sowie die Interaktion der Haupteffekte: $F(1, 120) = 0.252$, $p = 0.617$. Abbildung 58 stellt die Interaktion graphisch dar.

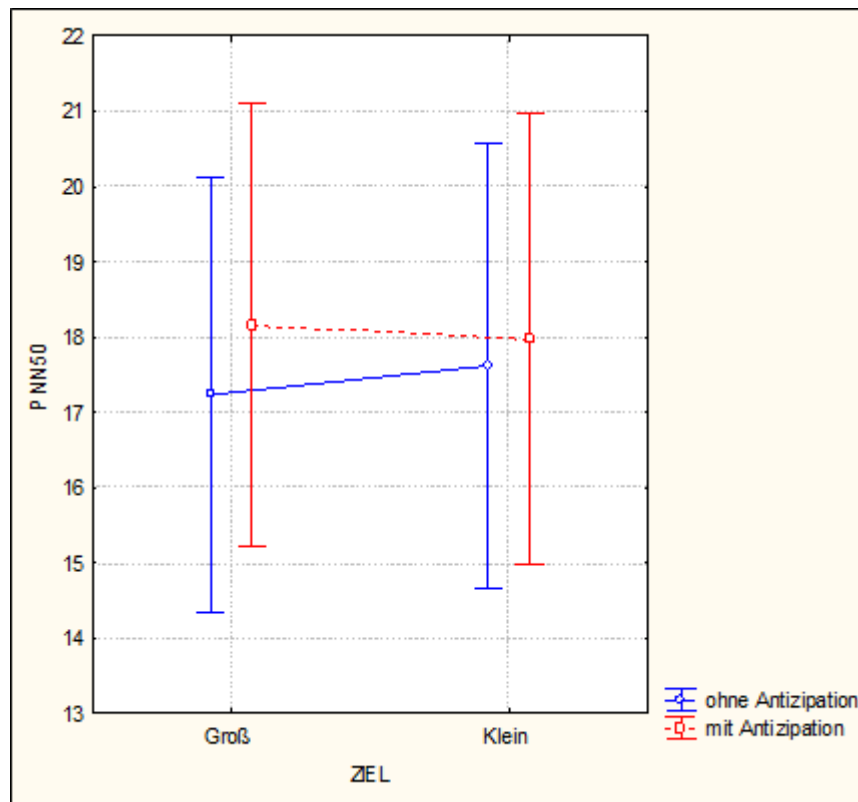


Abbildung 58: Mittlere Werte für den Parameter PNN50 im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 120) = 0.252$, $p = 0.617$).

10.6 LF

Die spektrale Dichte der HRV im niedrigen Frequenzbereich ist in den einzelnen Bedingungen des Tasks Pfeil nicht normalverteilt. Die Antizipation zeigt hingegen mit einem $F(1, 120) = 4.041$ und einem zufallskritischen Niveau von $p = 0.047$ einen signifikanten Effekt. Die unabhängige Variable Zielgröße hat keinen signifikanten Einfluss auf den niedrigen Frequenzbereich der HRV ($F(1, 120) = 0.460, p = 0.499$). Auch der Effekt der Wechselwirkung fällt nicht signifikant aus ($F(1, 120) = 0.022, p = 0.884$, siehe Abbildung 59).

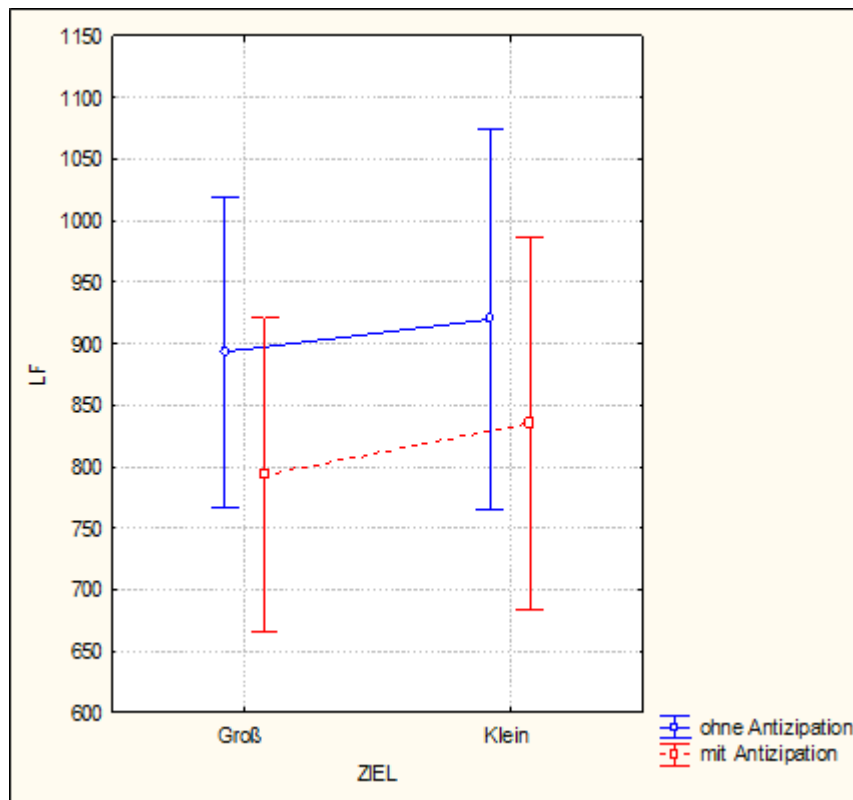


Abbildung 59: Mittlere Werte für den Parameter LF im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 120) = 0.022, p = 0.884$).

10.7 HF

Die spektrale Dichte der HRV im hohen Frequenzbereich fällt in allen Bedingungen des Tasks Pfeil nicht normalverteilt aus. Die Antizipation zeigt jedoch einen signifikanten Effekt auf die HF ($F(1, 120) = 4.501, p = 0.036$). Im Weiteren zeigt sich eine nicht signifikante Beeinflussung der HF durch die Zielgröße ($F(1, 120) = 0.185, p = 0.668$). Der Effekt der Interaktion auf diese unabhängige Variable fällt ebenfalls nicht signifikant aus ($F(1, 120) = 0.698, p = 0.405$). Abbildung 60 stellt diese Ergebnisse graphisch dar.

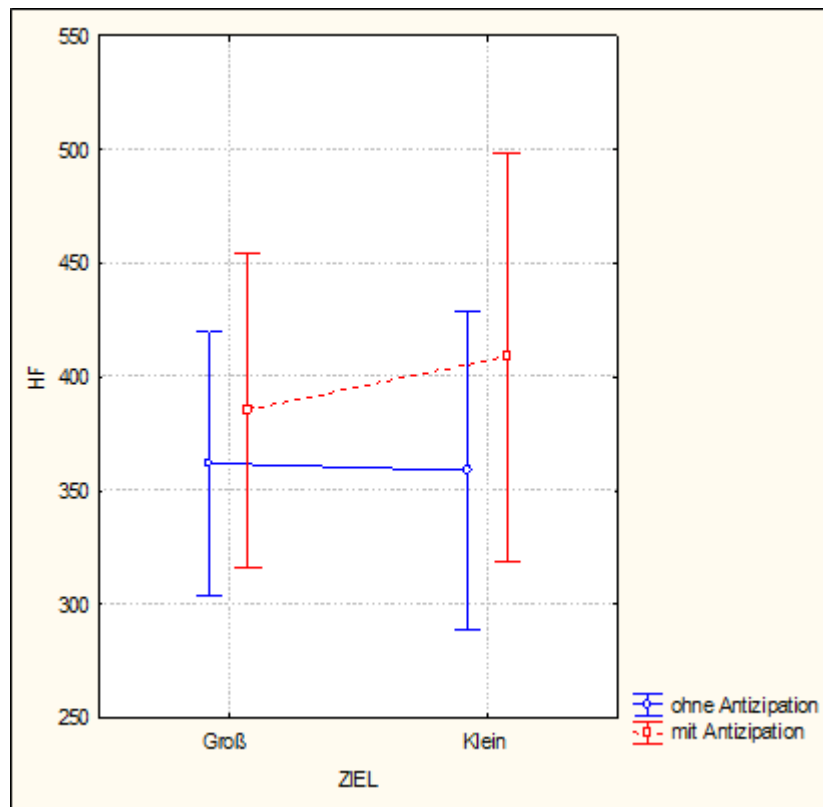


Abbildung 60: Mittlere Werte für den Parameter HF im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 120) = 0.698, p = 0.405$).

10.8 HRVtotal

Der Effekt der Antizipation auf die HRVtotal kann als nicht signifikant bezeichnet werden ($F(1, 120) = 2.035, p = 0.156$). Zusätzlich zeigt sich die HRV nicht signifikant beeinflusst von der Größe des Zielreizes ($F(1, 120) = 0.107, p = 0.744$). Auch der interagierende Effekt der beiden Hauptfaktoren zeigt keine signifikanten Auswirkungen auf die Herzratenvariabilität ($F(1, 120) = 0.467, p = 0.496$). Abbildung 61 dient zur graphischen Veranschaulichung.

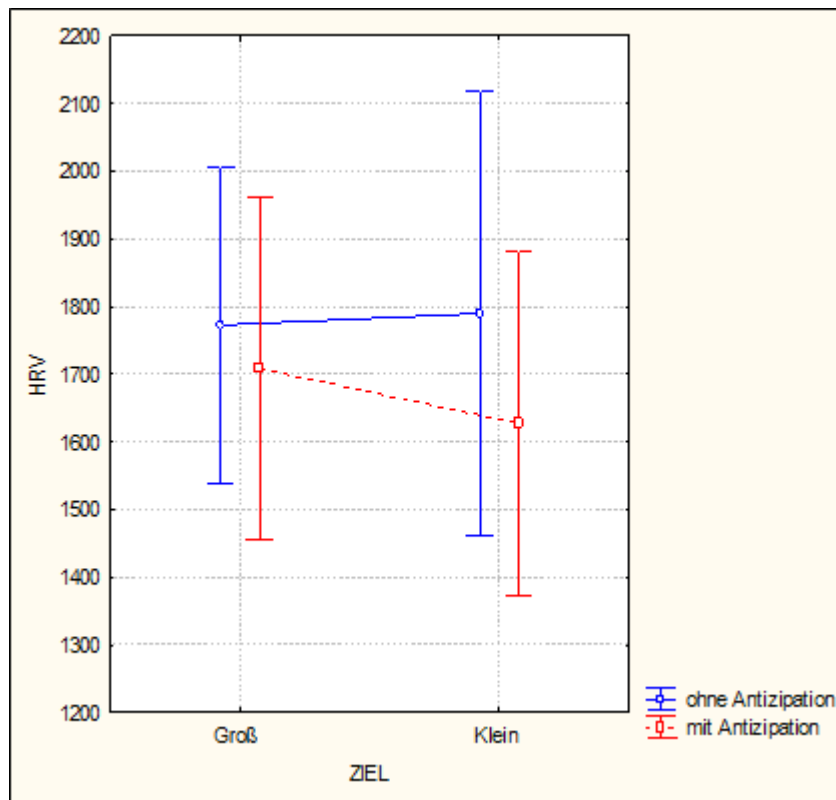


Abbildung 61: Mittlere Werte für den Parameter HRVtotal im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 120) = 0.467, p = 0.496$).

10.9 Log LF/HF

Das logarithmierte Verhältnis von LF zu HF zeigt sich in den Bedingungen des Tasks Pfeil normalverteilt. Außerdem wurde Log LF/HF hoch signifikant vom Faktor Antizipation beeinflusst ($F(1, 120) = 13.851, p = 0.000$). Im Weiteren zeigt sich der Hauptfaktor Zielgröße nicht signifikant ($F(1, 120) = 0.026, p = 0.873$) und ebenso hat die Wechselwirkung der Hauptfaktoren keinen signifikanten Effekt auf Log LF/HF ($F(1, 120) = 0.014, p = 0.907$). Zur graphischen Veranschaulichung dient Abbildung 62

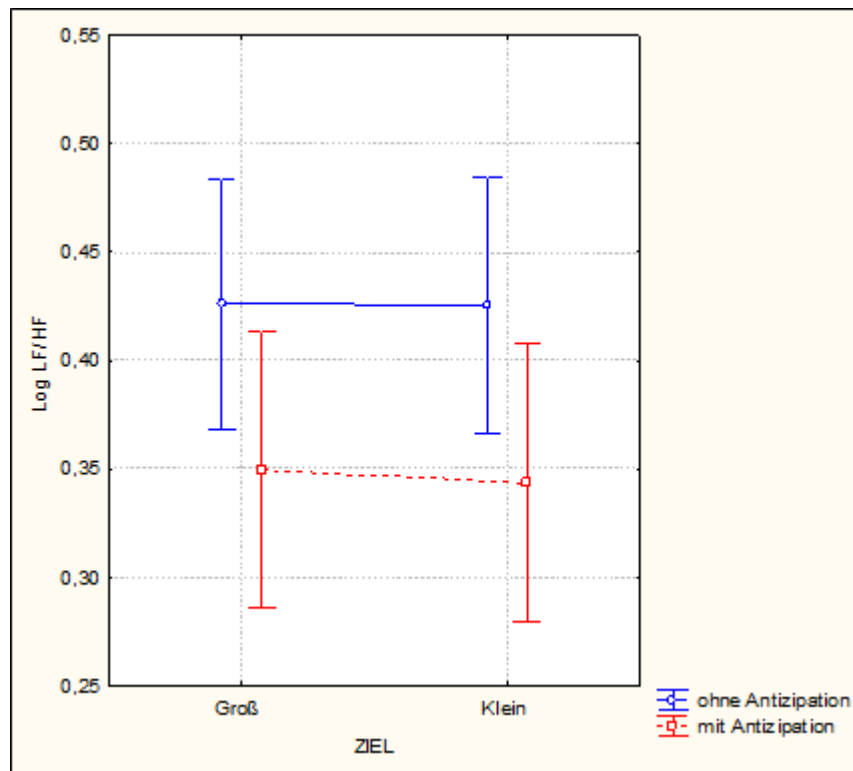


Abbildung 62: Mittlere Werte für den Parameter Log LF/HF im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 120) = 0.014, p = 0.907$).

10.10 LF%

Die Antizipation zeigt bei normalverteilten LF%-Werten einen signifikanten Effekt ($F(1, 119) = 6.178, p = 0.014$). Der Faktor Zielgröße hingegen wirkt sich nicht signifikant auf den niedrigen Frequenzbereich der Herzratenvariabilität aus ($F(1, 119) = 1.605, p = 0.208$). Ebenso wenig fällt der Effekt der Interaktion der beiden Haupteffekt auf die LF% aus ($F(1, 119) = 0.037, p = 0.847$). Graphisch sind die Mittelwerte in Abbildung 63 dargestellt.

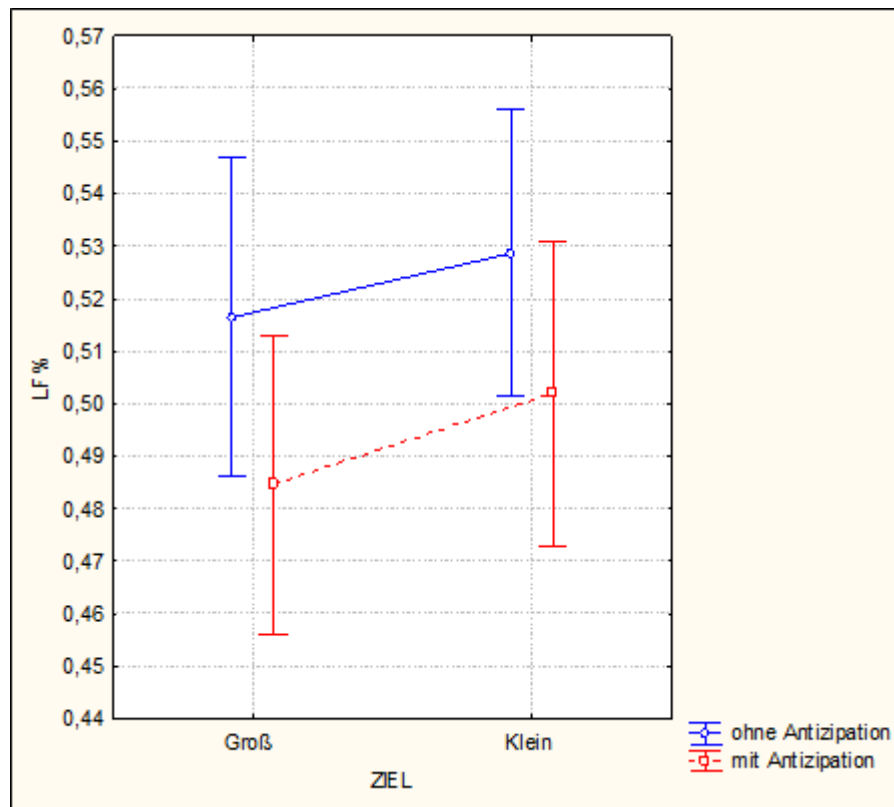


Abbildung 63: Mittlere Werte für den Parameter LF% im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 119) = 0.037, p = 0.847$).

10.11 HF%

Der Haupteffekt der Antizipation hat einen hoch signifikanten Effekt auf den prozentuellen Anteil der hohen Frequenzbereiche an der Gesamtvarianz der Herzrate ($F(1, 119) = 9.584, p = 0.002$). Dementgegen zeigt die Zielgröße keinen signifikanten Effekt auf die abhängige Variable HF% ($F(1, 119) = 1.043, p = 0.309$). Auch die Wechselwirkung im Sinne einer Interaktion der Hauptfaktoren erweist sich bei einem $F(1, 119) = 0.004$ und einem zufallskritischen Ereignis von $p = 0.949$ als nicht signifikant. Zur graphischen Darstellung vergleiche Abbildung 64. Zu beachten ist, dass die Werte des Parameters HF% nicht normalverteilt sind.

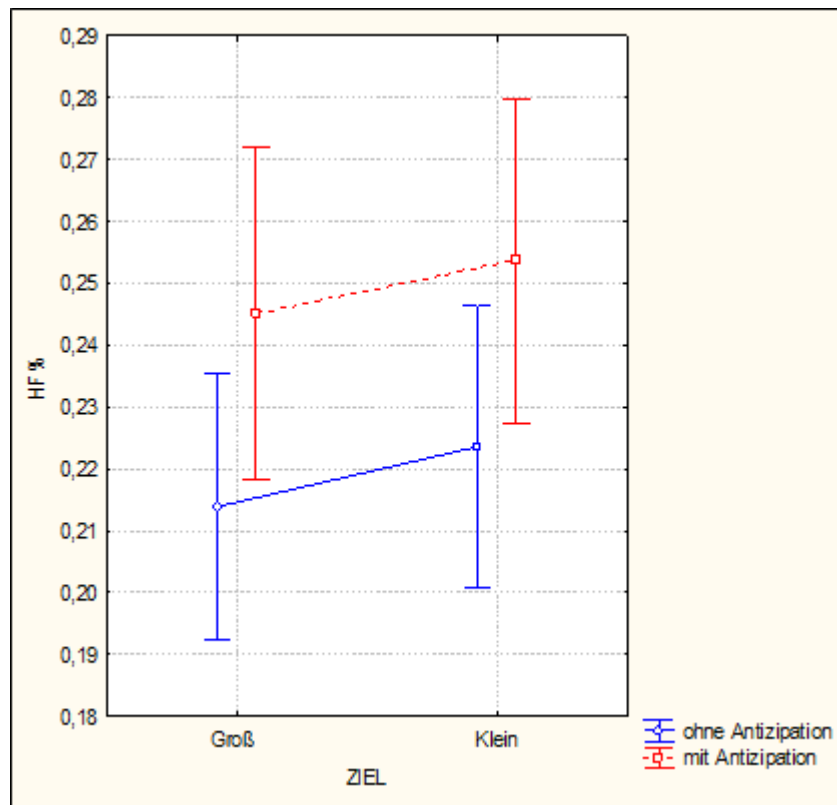


Abbildung 64: Mittlere Werte für den Parameter HF% im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 119) = 0.004, p = 0.949$).

10.12 LF n.u.

Die Normalverteilung der Daten kann angenommen werden. Der Haupteffekt Zielgröße zeigt keinen signifikanten Effekt auf die LF in normalisierten Einheiten ($F(1, 119) = 0.072, p = 0.789$). Die Antizipation hingegen wirkt sich in hoch signifikanter Weise auf die LF n.u. aus ($F(1, 119) = 13.437, p = 0.000$). Im Weiteren wird der Parameter LF n.u. nicht signifikant von der Interaktion der beiden Hauptfaktoren beeinflusst ($F(1, 119) = 0.035, p = 0.852$). Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 65 graphisch veranschaulicht.

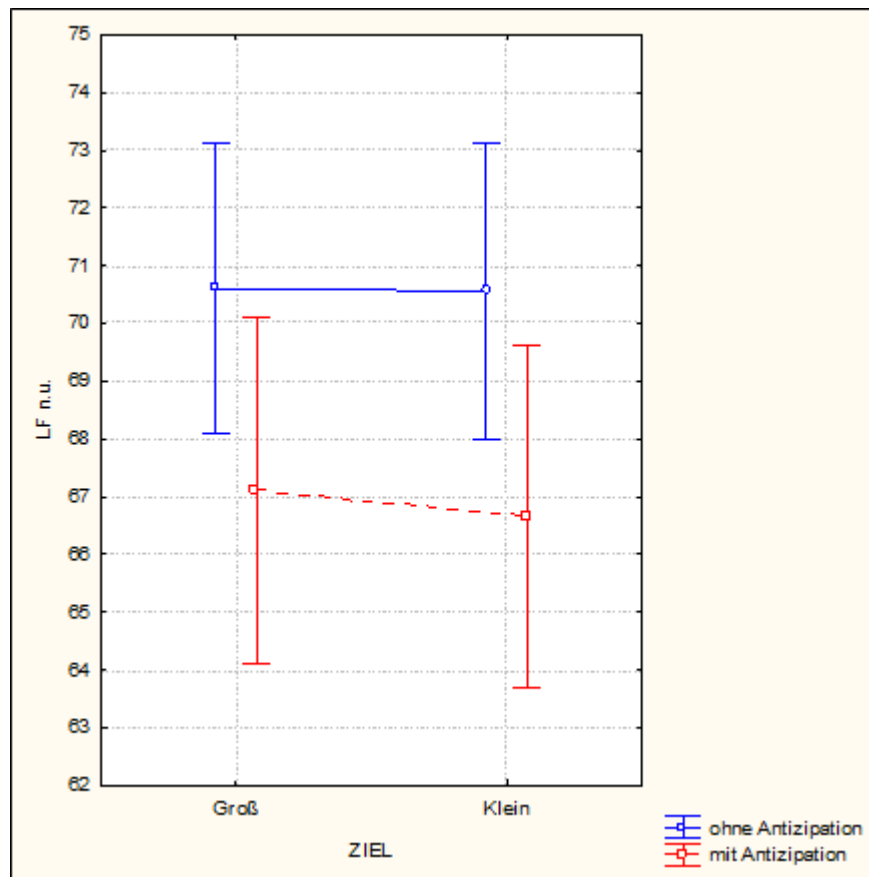


Abbildung 65: Mittlere Werte für den Parameter LF n.u. im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 119) = 0.035, p = 0.852$).

10.13 HF n.u.

Ähnlich wie bei der LF n.u. verhält sich der Parameter des normalisierten hohen Frequenzanteils. Die Antizipation hat einen signifikanten Effekt auf die Mittelwerte der HF n.u. ($F(1, 120) = 13.445, p = 0.000$). Die Effekte von Zielgröße ($F(1, 120) = 0.072, p = 0.789$) und Wechselwirkung ($F(1, 120) = 0.035, p = 0.852$) fallen hingegen nicht signifikant aus (siehe Abbildung 66). Die Ergebnisse gelten für nicht normalverteilte Daten.

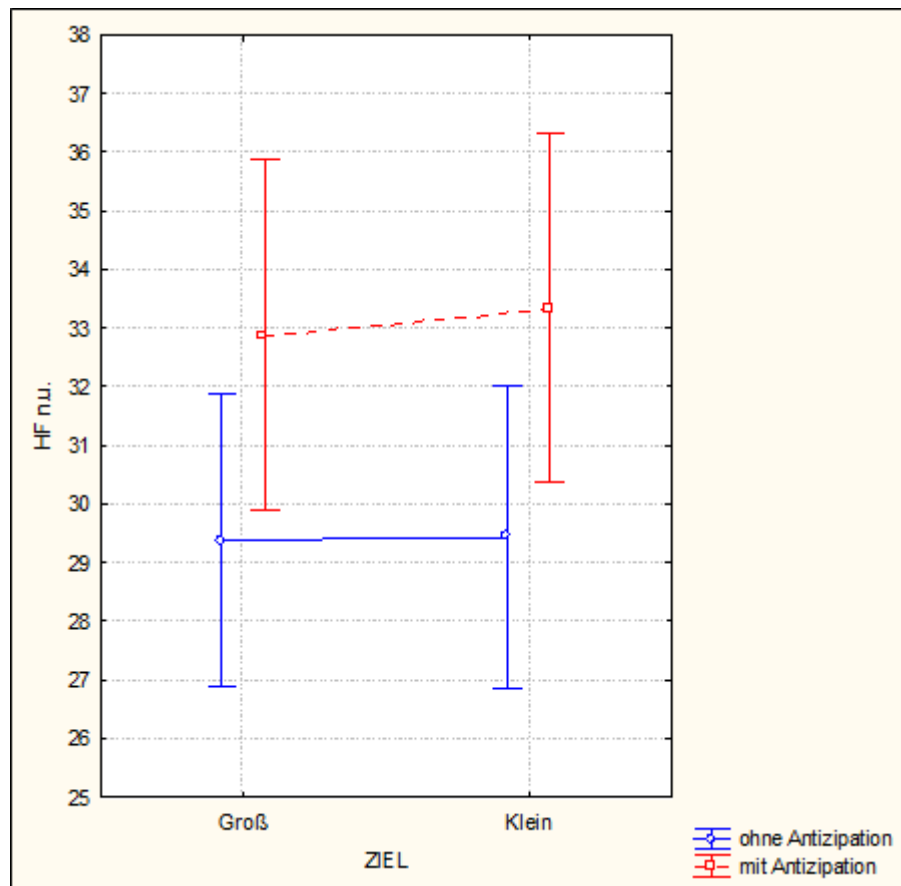


Abbildung 66: Mittlere Werte für den Parameter HF n.u. im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 120) = 0.035, p = 0.852$.)

10.14 Anzahl der Spontanfluktuationen (Number of peaks)

Die Anzahl der Spontanfluktuationen kann in den einzelnen Bedingungen des Tasks Pfeil nicht als normalverteilt angenommen werden. Der Haupteffekt Antizipation zeigt hierbei bei einem $F(1, 120) = 0.262$ und einem zufallskritischem Ereignis von $p = 0.606$ keinen signifikanten Effekt auf die Anzahl der spontanen Fluktuationen. Gleichzeitig fällt auch der zweite Haupteffekt, die Größe des Zieles, nicht signifikant aus ($F(1, 120) = 0.071, p = 0.790$). Darüber hinaus haben die beiden Haupteffekte in Form einer Interaktion keinen signifikanten Effekt auf die elektrodermale abhängige Variable ($F(1, 120) = 0.238, p = 0.627$).

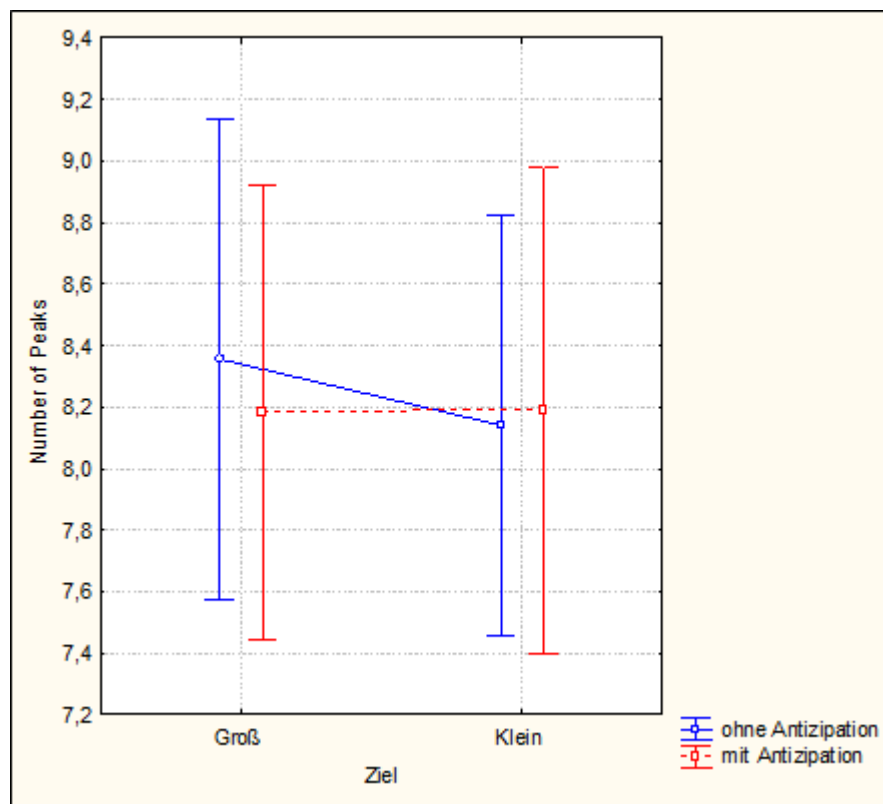


Abbildung 67: Mittlere Werte für den Parameter Nop. im Task Pfeil in den Bedingungen: Groß ohne Antizipation, groß mit Antizipation, klein mit Antizipation und klein ohne Antizipation. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Zielgröße*Antizipation ($F(1, 120) = 0.238, p = 0.627$).

Zusammenfassend soll Tabelle 8 einen Überblick über die signifikanten Ergebnisse des Tasks Pfeil geben.

Tabelle 8: Signifikante Effekte aller Parameter im Tasks Pfeil.

<i>Parameter</i>	<i>SQ</i>	<i>df</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>LF</i>					
Antizipation	1034113.34	1	1034113.34	4.041	0.047
Fehler	30708351.18	120	255902.93		
<i>HF</i>					
Antizipation	162981.03	1	162981.03	4.501	0.036
Fehler	4345202.35	120	36210.02		
<i>Log LF/HF</i>					
Antizipation	0.76	1	0.76	13.851	0.000
Fehler	6.58	120	0.05		
<i>LF%</i>					
Antizipation	0.10	1	0.10	6.178	0.014
Fehler	1.99	119	0.02		
<i>HF%</i>					
Antizipation	0.11	1	0.11	9.584	0.002
Fehler	1.40	119	0.01		
<i>LF n.u.</i>					
Antizipation	1646.75	1	1646.75	13.437	0.000
Fehler	14583.58	119	122.55		
<i>HF n.u.</i>					
Antizipation	1647.73	1	1647.73	13.445	0.000
Fehler	14584.14	119	122.56		

10.15 Korrelationen zwischen NASA-TXL und der Psychophysiologie im Task Pfeil

Anhang 17.3 zeigt die vollständigen Korrelationsmatrizen des Tasks Pfeil mit dem NASA-TXL. Die Beanspruchung während der Bearbeitung des Tasks Pfeil steht vornehmlich in Zusammenhang mit subjektiv empfundenem Zeitdruck, wobei signifikante Korrelationen verstärkt in den frequenzbezogenen Parametern zu finden sind. Außerdem steht die autonome Aktivität in Zusammenhang mit der subjektiv eingeschätzten Leistung. Auch hier zeigen sich signifikante Korrelationen verstärkt im Frequenzbereich. Bezeichnend ist außerdem, dass die Zeitdruck-Komponente vor allem in den Bedingungen mit großem Zielreiz in signifikantem Zusammenhang mit den physiologischen Kennwerten tritt. Die Leistungskomponente zeigt sich hingegen verstärkt in den Bedingungen mit kleinem Zielreiz.

11 Ergebnisse des Tasks Kreuz

Die statistische Analyse des Tasks Kreuz teilt sich in die Auswertung der Testphase und die Auswertung der Lernphase. Die Testphase des Tasks Kreuz wurde für all jene psychophysiologischen Parameter ausgewertet, welche auch schon in den anderen Tasks analysiert wurden. Hierbei fand eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung Verwendung:

3 (Analog vs. Digital vs. Silben) x 2 (kompatibel vs. inkompatibel) x 2 (1. vs. 2. Minute)

Die statistische Auswertung der Lernphasen wurde hingegen ausschließlich für den Parameter Log LF/HF durchgeführt und dient als exemplarische Darstellung der physiologischen Erregung. Hierfür wurde ein separater Datensatz generiert, indem die Daten in einer Weise angeordnet wurden, die eine mehrfaktorielle Varianzanalyse ohne Messwiederholung ermöglichte.

Aufgrund der Vielzahl an Kennwerten, soll in der folgenden Ergebnisdarstellung keine genauen statistischen Maße für die Normalverteilungsprüfung bzw. die Sphärizität gegeben werden. Die genauen Werte können jedoch im Anhang 16.4 in tabellarischer Form gefunden werden.

11.1 Ergebnisse der zweiminütigen Testphasen

11.1.1 Mittlere Herzrate

Für die weitestgehend normalverteilten Ergebnisse der Wechselwirkung Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster wurde die Huynh-Feldt-Korrektur herangezogen. ($G-G-\epsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.875, $H-F-\epsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.887).

Der Effekt der Repräsentationsform auf die mittlere Herzrate zeigt sich nicht signifikant ($F(2, 240) = 1.864, p = 0.157$). Hingegen hat der Faktor Reiz-Reaktionsmuster mit seinen zwei Faktorstufen einen hoch signifikanten Effekt auf die Herzrate ($F(1, 120) = 13.765, p = 0.000$). Die Herzrate bleibt jedoch unbeeinflusst durch den zeitlichen Faktor ($F(1, 120) = 1.524, p = 0.219$).

Der Effekt der Interaktionen zwischen den Hauptfaktoren auf die mittlere Herzrate gestaltet sich folgendermaßen:

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster: $F(1.774, 212,909) = 1.065, p = 0.340$

Repräsentationsform*Zeit: $F(2, 240) = 1.056, p = 0.349$

Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1, 120) = 2.889, p = 0.092$

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(2, 240) = 1.102, p = 0.334$

Hierbei lassen sich keine signifikanten Ergebnisse beschreiben (siehe Abbildung 69).

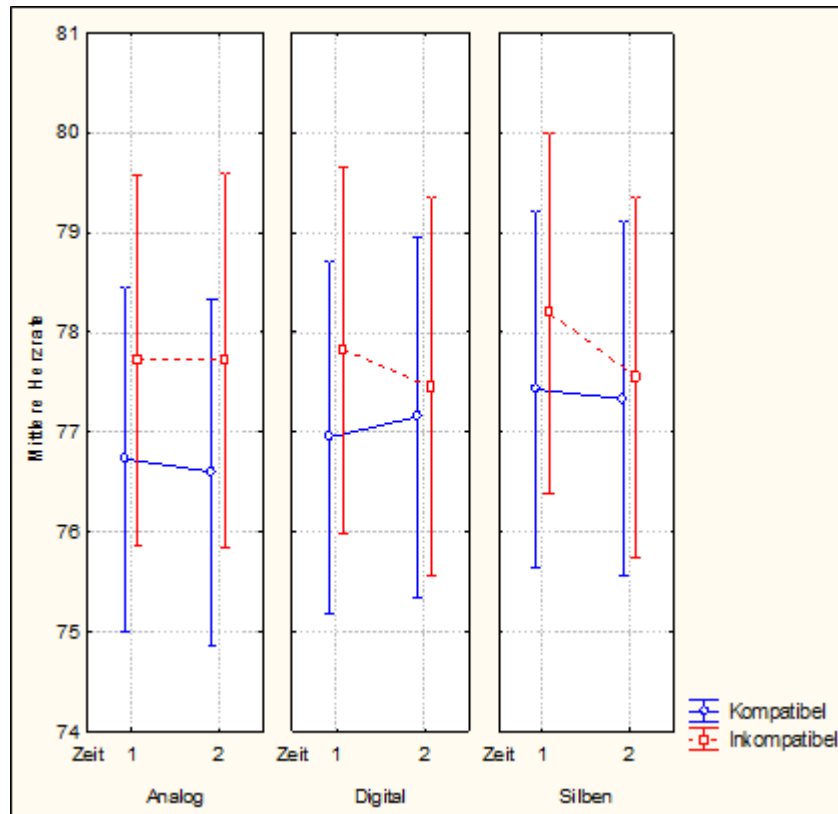


Abbildung 68: Mittlere Herzrate im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 1.102, p = 0.334$).

11.1.2 SDNN

Die Daten des Parameters SDNN sind in allen Testphasen des Tasks Kreuz nicht normalverteilt, außer in der Bedingung Analog_kompatibel_Testminute_1. Die Sphärizität des Effektes der Variablen Repräsentationsform und ihren Wechselwirkungen ist gegeben.

Der Haupteffekt Repräsentationsform zeigt keinen signifikanten Effekt ($F(2, 240) = 0.757, p = 0.470$). Der Hauptfaktor Reiz-Reaktionsmuster hat mit einem $F(1, 120) = 1.138$ und einem zufallskritischen Wert von $p = 0.288$ ebenfalls keinen signifikanten Einfluss auf den Parameter SDNN. Der dritte Hauptfaktor, die Zeit beeinflusst den abhängigen Parameter SDNN

ebenfalls in keinem signifikanten Maße ($F(1, 120) = 1.174, p = 0.281$). Die Interaktion zwischen Repräsentationsform und Reiz-Reaktionsmuster fällt mit einem kleinen $F(2, 240) = 0.621$ nicht signifikant aus ($p = 0.538$). Die Beeinflussung des Parameters SDNN durch die Wechselwirkung der beiden Faktoren Repräsentationsform und Zeit ist darüber hinaus ebenfalls als nicht signifikant zu bezeichnen ($F(2, 240) = 0.669, p = 0.513$). Desgleichen fällt der Effekt der Faktorenkombination von Reiz-Reaktionsmuster und Zeit nicht signifikant aus ($F(1,120) = 1.313, p = 0.254$). Die höchste Wechselwirkung aus allen drei Hauptfaktoren ist durch ein $F(2, 240) = 1.775$ und einen zufallskritischen Wert von $p = 0.172$ zu beschreiben. Diese Interaktion wird in Abbildung 69 dargestellt.

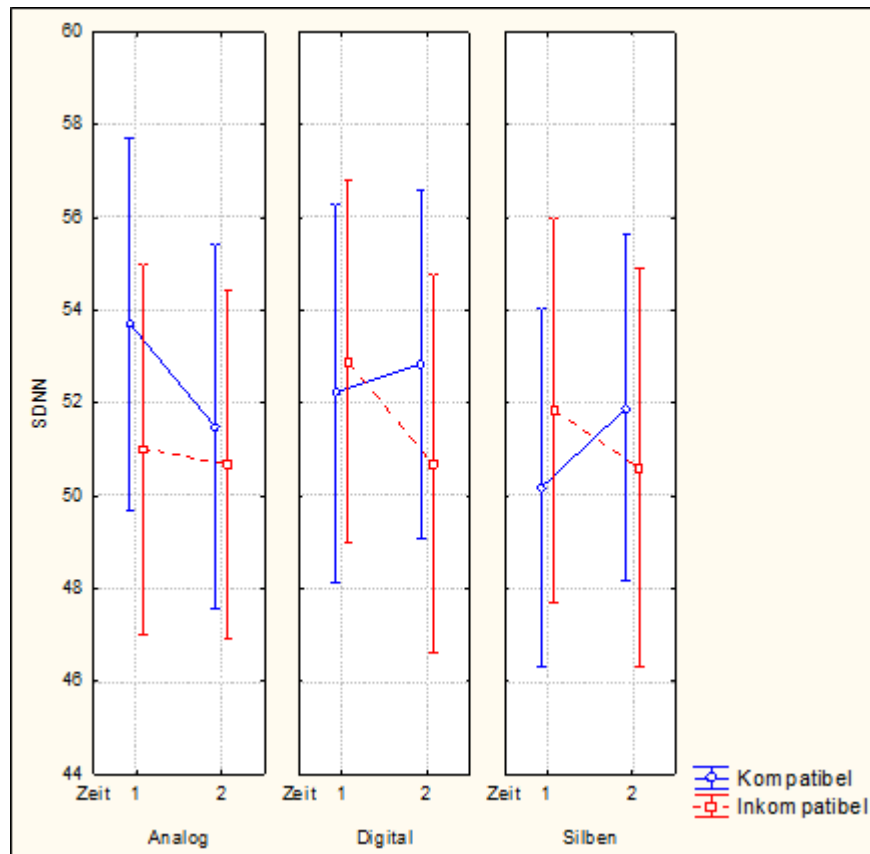


Abbildung 69: Mittelwerte des Parameters SDNN im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 1.775, p = 0.172$).

11.1.3 *rMSSD*

Die Normalverteilung der Daten ist laut Kolmogorov-Smirnov-Test nicht gegeben. Sphärizität bezüglich des Effektes des Hauptfaktors Repräsentationsform kann ausschließlich für die höchste Wechselwirkung Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit angenommen werden. Für die Variable Repräsentationsform und ihre Wechselwirkungen mit den Variablen Reiz-Reaktionsmuster und Zeit werden daher die Werte der Huynh-Feldt-Korrektur angegeben ($G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform = 0.857, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform = 0.858, $G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.907, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.920, $G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Zeit = 0.945, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Zeit = 0.960).

Zusammenfassend ist zu berichten, dass keiner der drei Haupteffekte einen signifikanten Einfluss auf den Parameter *rMSSD* zeigt. Der Effekt der Variablen Repräsentationsform ist durch ein $F(1.694, 203.266) = 0.815$, bei zufallskritischem Ereignis von $p = 0.426$ zu charakterisieren. Der Effekt der Reiz-Reaktionsmuster ist ebenfalls durch ein sehr kleines $F(1,120) = 0.052$, und ein $p = 0.931$ zu beschreiben. Der Haupteffekt der Zeit hat darüber hinaus auch keinen signifikanten Effekt ($F(1,120) = 0.052$, $p = 0.820$). Die Effekte der Wechselwirkungen sind folgendermaßen zu beschreiben:

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster: $F(1.814, 220.823) = 0.321$, $p = 0.708$

Repräsentationsform*Zeit: $F(1.920, 230.421) = 0.610$, $p = 0.538$

Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1,120) = 0.184$, $p = 0.668$

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(2, 240) = 2.713$, $p = 0.068$

Die Abbildung 70 zeigt die Mittelwerte des Parameters und deren 95%-Konfidenzintervalle.

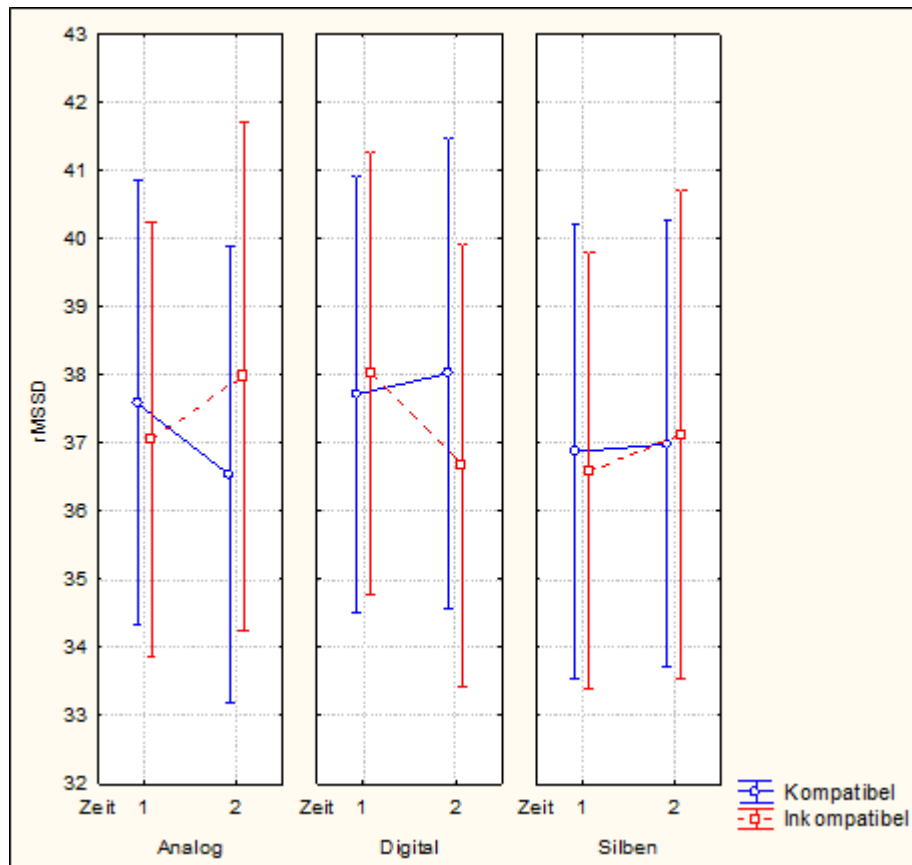


Abbildung 70: Mittelwerte des Parameters rMSSD im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 2.713, p = 0.068$).

11.1.4 PNN10

Die Sphärizität des Faktors Repräsentationsform kann als gegeben angesehen werden, die Normalverteilung der Daten hingegen nicht. Der Haupteffekt der Repräsentationsform erweist sich als nicht signifikant ($F(2, 238) = 1.679, p = 0.189$). PNN10 ist auch durch die unabhängige Variable Reiz-Reaktionsmuster nicht signifikant beeinflusst ($F(1, 119) = 1.444, p = 0.232$). Des Weiteren hat der Testzeitpunkt keinen signifikanten Einfluss auf diesen psychophysiologischen Parameter ($F(1, 119) = 0.494, p = 0.483$).

Darüber hinaus sind alle möglichen Interaktionen als nicht signifikant zu beschreiben:

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster: $F(2, 238) = 0.033, p = 0.968$

Repräsentationsform*Zeit: $F(2, 238) = 0.351, p = 0.705$

Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1, 119) = 0.001, p = 0.972$

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(2, 238) = 0.827, p = 0.439$

Abbildung 71 stellt die höchste Wechselwirkung dar.

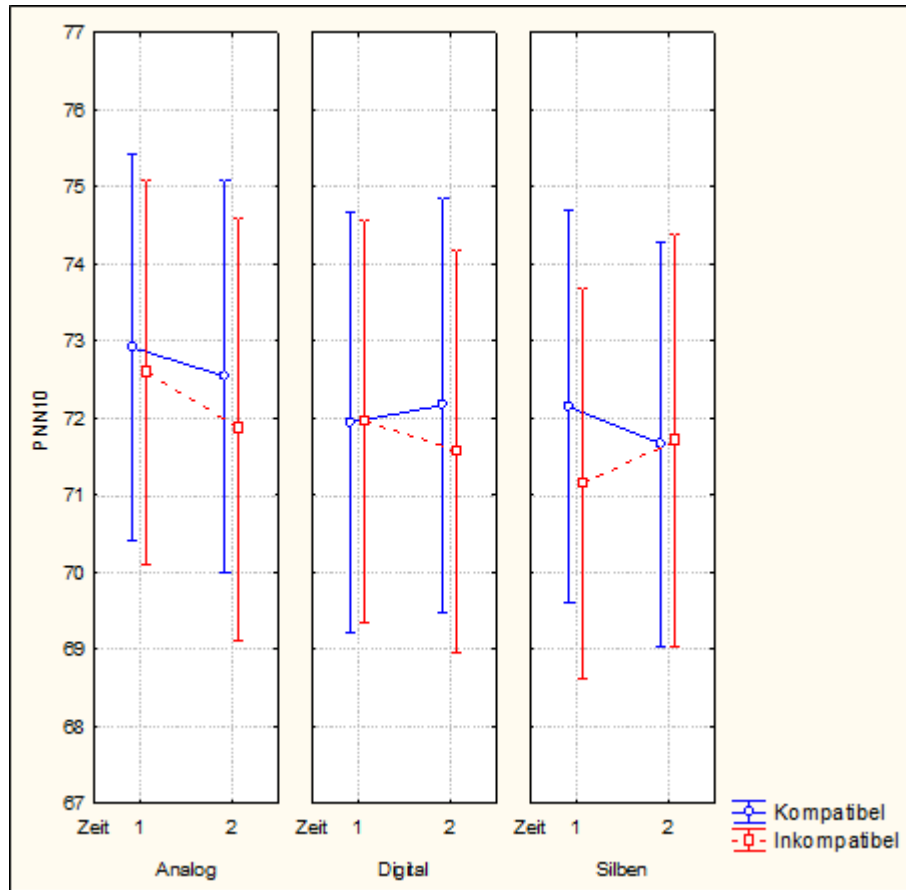


Abbildung 71: Mittelwerte des Parameters PNN10 im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 238) = 0.827, p = 0.439$).

11.1.5 PNN50

Abbildung 72 zeigt die Ergebnisse des Tasks Kreuz im Parameter PNN50. Die Normalverteilung der Daten ist in keiner der Bedingungen gegeben. Sphärizität der Daten ist für den Hauptfaktor Repräsentationsform, sowie dessen Interaktion mit dem Reiz-Reaktionsmuster nicht anzunehmen. Zur Analyse der Effekte wird deshalb die Huynh-Feldt-Korrektur herangezogen ($G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform = 0.89, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform = 0.902, $G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.907, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.920).

Die Art der Repräsentationsform hat demnach keinen Effekt auf den Parameter PNN50 ($F(1.805, 216.605) = 0.312, p = 0.710$). Zusätzlich zeigt sich PNN50 durch den Faktor Reiz-Reaktionsmuster bzw. den Testzeitpunkt unbeeinflusst (Reiz-Reaktionsmuster: $F(1,120) = 1.011, p = 0.317$, Testzeitpunkt: $F(1,120) = 1.432, p = 0.234$).

Die Interaktionen der Faktoren sind durch folgende nicht signifikante *F*-Werte gekennzeichnet:

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster: $F(1.840, 220.837) = 0.793, p = 0.444$

Repräsentationsform*Zeit: $F(2, 240) = 0.789, p = 0.456$

Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1, 120) = 0.685, p = 0.410$

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(2, 240) = 0.335, p = 0.716$

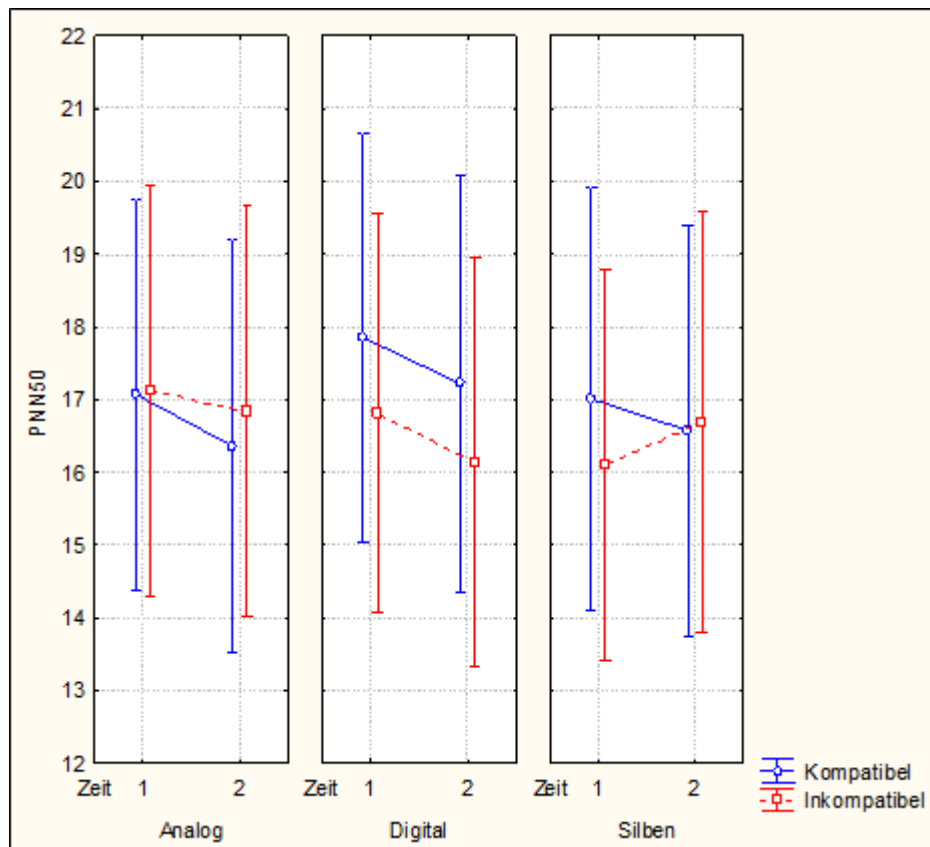


Abbildung 72: Mittelwerte des Parameters PNN50 im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 0.335, p = 0.716$).

11.1.6 LF

Für den Effekt der Variablen Repräsentationsform und ihrer Interaktion mit den Variablen Reiz-Reaktionsmuster, sowie den beiden Variablen Zeit und Reiz-Reaktionsmuster sind im Folgenden die Huynh-Feldt korrigierten Werte angegeben ($G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform = 0.941, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform = 0.956, $G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.927, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.941, $G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit = 0.931, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit = 0.945. Die Daten sind nicht normalverteilt.

Die Art der Repräsentationsform hat keinen signifikanten Einfluss auf den niedrigen Frequenzbereich der Herzratenvariabilität ($F(1,913, 229.551) = 0.049, p = 0.946$). Ähnlich verhält es sich mit der Variablen Reiz-Reaktionsmuster, welche ebenfalls nicht signifikant ausfällt ($F(1,120) = 1.206, p = 0.274$). Darüber hinaus hat der Zeitfaktor mit einem $F(1,120) = 1.529$ bei einem zufallskritischen Ereignis von $p = 0.219$ keinen signifikanten Einfluss auf den niedrigen Frequenzbereich der HRV.

Die Interaktionen der Hauptfaktoren gestalten sich in ihrer Wirkung auf die LF folgendermaßen:

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster: $F(1,913, 225.763) = 1.161, p = 0.313$

Repräsentationsform*Zeit: $F(2, 240) = 0.296, p = 0.744$

Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1, 120) = F(1,120) = 0.738, p = 0.392$

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1.890, 226.809) = 0.0004, p = 0.999$ (siehe Abbildung 73).

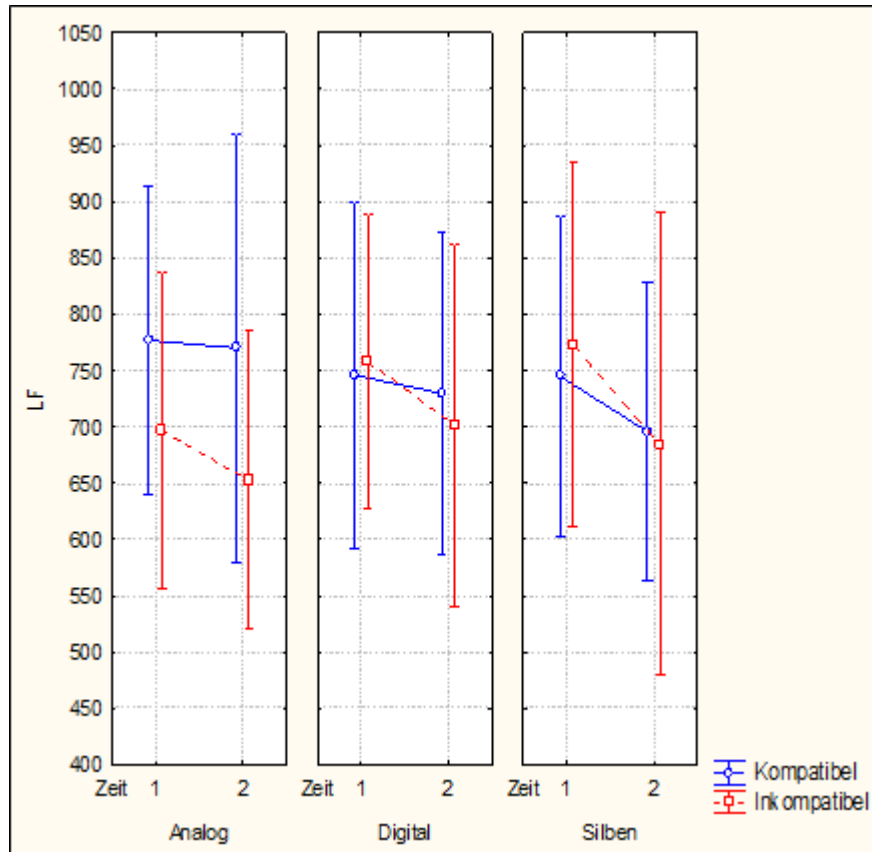


Abbildung 73: Mittelwerte des Parameters LF im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(1.890, 226.809) = 0.0004, p = 0.999$).

11.1.7 HF

Für den Haupteffekt Repräsentationsform, sowie den in Klammer angeführten Interaktionen wird in der folgenden Analyse die Huynh-Feldt-Korrektur verwendet ($G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform = 0.832, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform = 0.842, $G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.870, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.882, $G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit = 0.839, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit = 0.849).

Die Repräsentationsform beeinflusst den Parameter HF in keiner signifikanten Weise ($F(1.685, 202.787) = 0.981, p = 0.663$). Der Haupteffekt (Reiz-Reaktionsmuster) fällt hierbei ebenso wenig signifikant aus ($F(1, 120) = 0.012, p = 0.913$). Hingegen wird der hohe Frequenzbereich der Herzratenvariabilität hoch signifikant durch den zeitlichen Aspekt beeinflusst ($F(1, 120) = 9.818, p = 0.002$).

Die folgenden Wechselwirkungseffekte gelten alle als nicht signifikant:

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster: $F(1.765, 211.787) = 0.981, p = 0.368$

Repräsentationsform*Zeit: $F(2, 240) = 0.135, p = 0.874$

Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1, 120) = 3.251, p = 0.074$

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1.699, 203.835) = 0.7426, p = 0.457$

(siehe Abbildung 74). Die Ergebnisse gelten für nicht normalverteilte Werte.

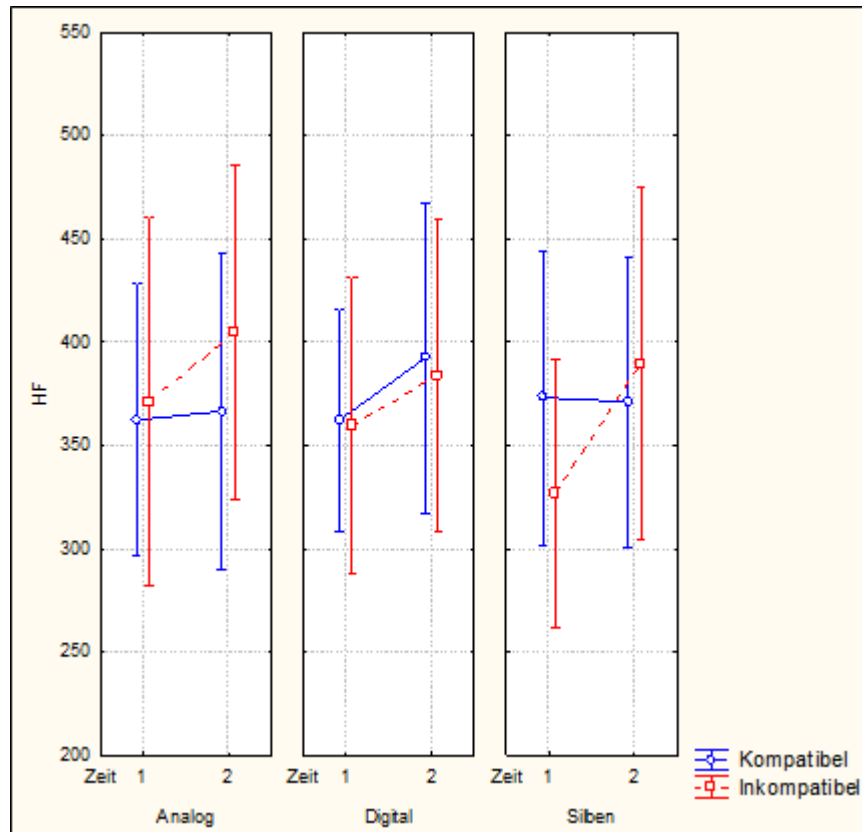


Abbildung 74: Mittelwerte des Parameters HF im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(1.699, 203.835) = 0.7426, p = 0.457$).

11.1.8 *HRVtotal*

Abbildung 75 zeigt die mittleren Werte der Herzratenvariabilität im Task Kreuz. Der Effekt der Wechselwirkung zwischen den Faktoren Repräsentationsform und Reiz-Reaktionsmuster ist im Folgenden anhand Huynh-Feldt korrigiert ($G-G-\epsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.934, $H-F-\epsilon$ -Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster = 0.949). Die Daten zeigen sich nicht normalverteilt.

Die Art der Reizdarbietung hat in dieser Analyse keinen signifikanten Effekt auf die Herzratenvariabilität ($F(2, 240) = 0.239, p = 0.787$). Ebenso wenig zeigten sich die Effekte der Reiz-Reaktionsmuster bzw. des Zeitfaktors signifikant ($F(1, 120) = 1.768, p = 0.186, F(1, 120) = 1.296, p = 0.257$)

Die nicht signifikanten Interaktionen der Hauptfaktoren gestalten sich wie folgt:

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster: $F(1.897, 227.677) = 0.511, p = 0.591$

Repräsentationsform*Zeit: $F(2, 240) = 1.291, p = 0.277$

Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1, 120) = 1.021, p = 0.314$

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(2, 240) = 0.224, p = 0.799$

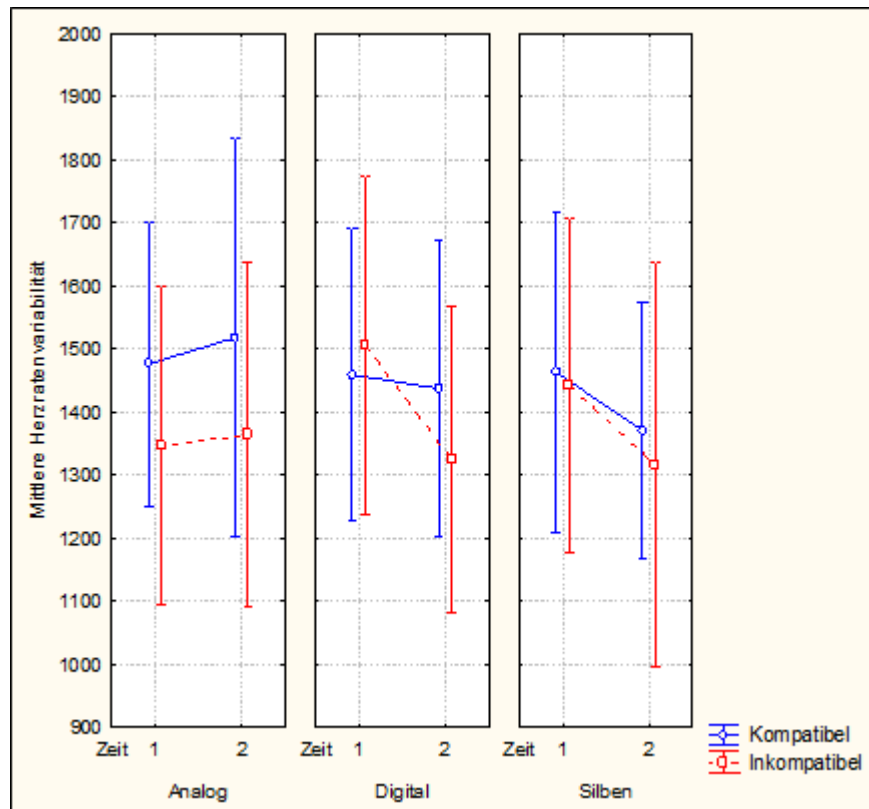


Abbildung 75: Mittelwerte des Parameters HRVtotal im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 0.224, p = 0.799$).

11.1.9 Log LF/HF

Die Werte des Parameter Log LF/HF sind in allen Bedingungen des Tasks Kreuz normalverteilt. Die Sphärizität der Daten kann im Kennwert Log LF/HF angenommen werden.

Die Faktoren Repräsentationsform ($F(2, 240) = 0.618, p = 0.540$) und Reiz-Reaktionsmuster ($F(1, 120) = 1.963, p = 0.164$) beeinflussen das logarithmierte Verhältnis des niedrigen Frequenzbereiches zur HF nicht signifikant. Hingegen hat der Hauptfaktor Zeit einen hoch signifikanten Effekt auf diesen psychophysiologischen Parameter ($F(1,120) = 20.588, p = 0.000$). Die Interaktion Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster zeigt keinen signifikanten Effekt auf Log LF/HF ($F(2, 240) = 7.447, p = 0.001$). Ebenso nicht signifikant fällt der Einfluss der höchsten Wechselwirkung auf die abhängige Variable aus (Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(2, 240) = 0.350, p = 0.705$). Die Faktorenkombination Repräsentationsform und Reiz-Reaktionsmuster hat jedoch einen signifikanten Effekt auf Log LF/HF ($F(2, 240) = 7.447, p = 0.001$). Zusätzlich zeigt die Wechselwirkung Reiz-Reaktionsmuster*Zeit einen signifikanten Effekt ($F(1, 120) = 10.701, p = 0.001$). Zusammenfassend können die Mittelwerte des Parameters Log LF/HF in Abbildung 76 gefunden werden.

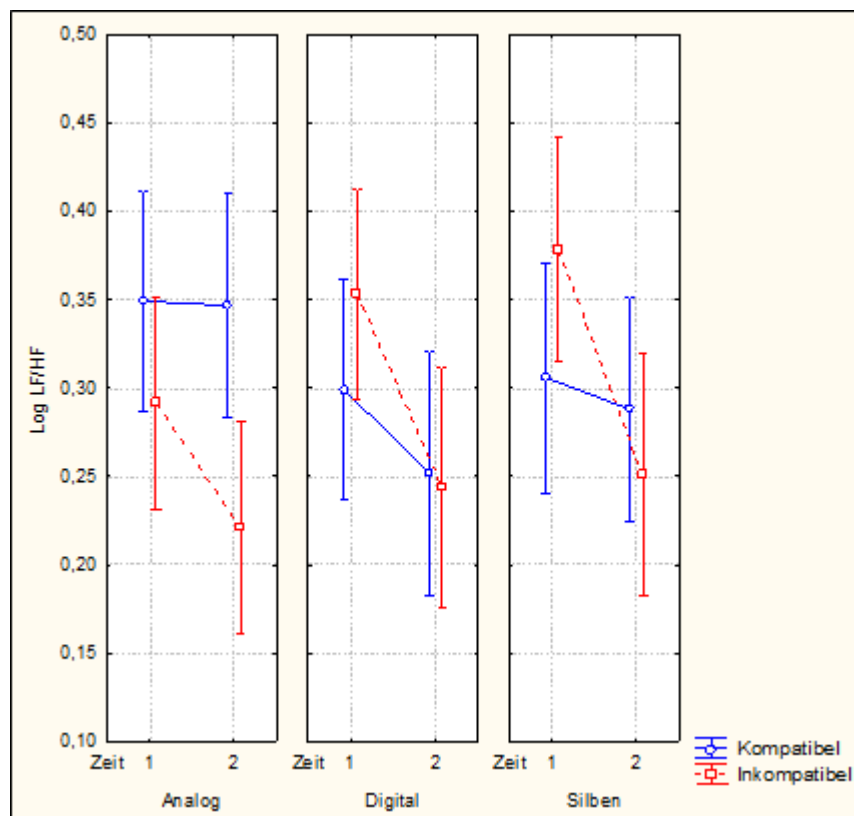


Abbildung 76: Mittelwerte des Parameters Log LF/HF im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 0.350, p = 0.705$).

11.1.10 LF%

Der Parameter LF% ist nicht konsistent in allen Bedingungen des Tasks Kreuz normalverteilt. Die Sphärizität der Daten kann im den prozentuellen Anteil des niedrigen Frequenzbereiches an der Gesamtvariabilität der Herzrate angenommen werden.

Die LF% zeigt sich nicht signifikant beeinflusst durch die Variable Repräsentationsform ($F(2, 238) = 0.594, p = 0.553$). Zusätzlich hat die unabhängige Variable Reiz-Reaktionsmuster keinen signifikanten Effekt auf die LF%. Der Zeitfaktor hingegen, zeigt eine hoch signifikante Beeinflussung der LF% ($F(1, 119) = 9.966, p = 0.002$).

Des Weiteren zeigt keine der Wechselwirkungen einen signifikanten Effekt auf den Parameter LF%:

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster: $F(2, 238) = 3.002, p = 0.052$

Repräsentationsform*Zeit: $F(2, 238) = 0.408, p = 0.666$

Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1, 119) = 0.526, p = 0.470$

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(2, 238) = 0.076, p = 0.927$. (siehe Abbildung 77).

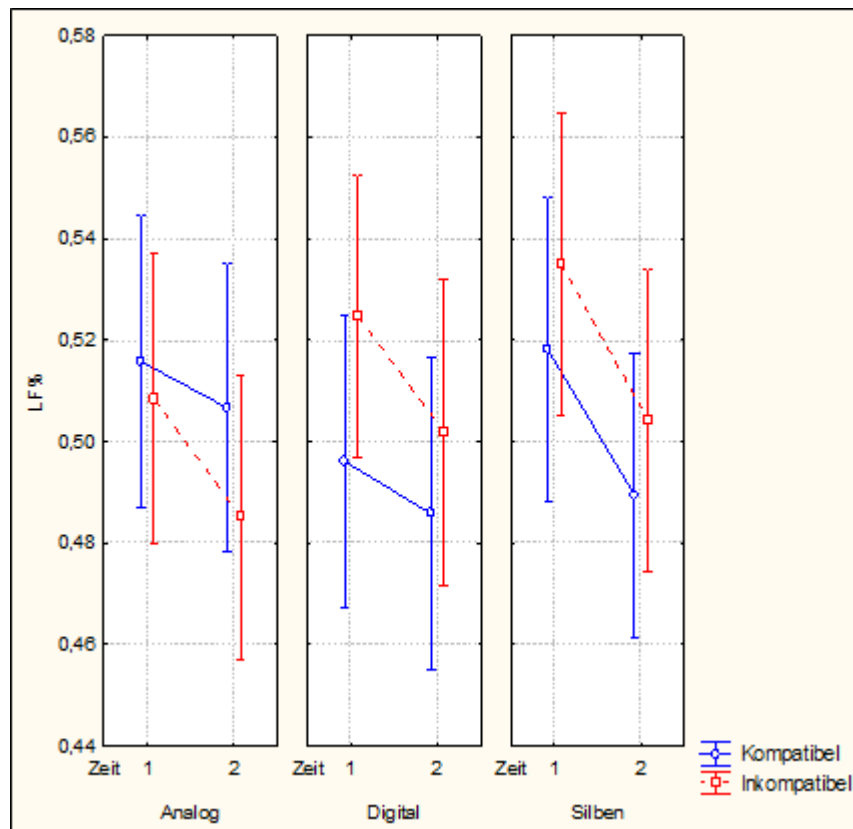


Abbildung 77: Mittelwerte des Parameters LF% im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 238) = 0.076, p = 0.927$).

11.1.11 HF%

Für die Analyse der Wechselwirkung Repräsentationsform*Zeit wurde die Huynh-Feldt-Korrektur herangezogen. ($G-G-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Zeit = 0.944, $H-F-\varepsilon$ -Repräsentationsform*Zeit = 0.958). Die Normalverteilung kann nicht angenommen werden. Der Faktor Repräsentationsform hat keinen signifikanten Einfluss, auf den prozentuellen Anteil des hohen Frequenzbereiches an der Gesamtvariabilität der Herzfrequenz ($F(2, 238) = 0.439, p = 0.645$). Die Variable Reiz-Reaktionsmuster jedoch zeigt einen signifikanten Effekt auf HF% ($F(1, 119) = 4.927, p = 0.028$). Hoch signifikant fällt der Effekt des Zeitfaktors mit $F(1, 119) = 18.452$ und einem zufallskritischen Ereignis von $p = 0.000$ aus. Der Parameter HF% wird darüber hinaus hoch signifikant durch die Interaktion von Repräsentationsform und Reiz-Reaktionsmuster bestimmt ($F(2, 238) = 6.636, p = 0.002$). Ebenso hoch signifikant fällt die Beeinflussung durch die Wechselwirkung Reiz-Reaktionsmuster*Zeit aus ($F(1, 119) = 13.791, p = 0.000$). Die Interaktion aus zwischen Stimulus und Zeit fällt demgegenüber jedoch nicht signifikant aus ($F(2, 228) = 1.187, p = 0.306$). Die höchste Wechselwirkung Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit wirkt sich hingegen nicht signifikant auf HF% aus ($F(2, 238) = 0.444, p = 0.642$), was in Abbildung 78 ersichtlich wird.

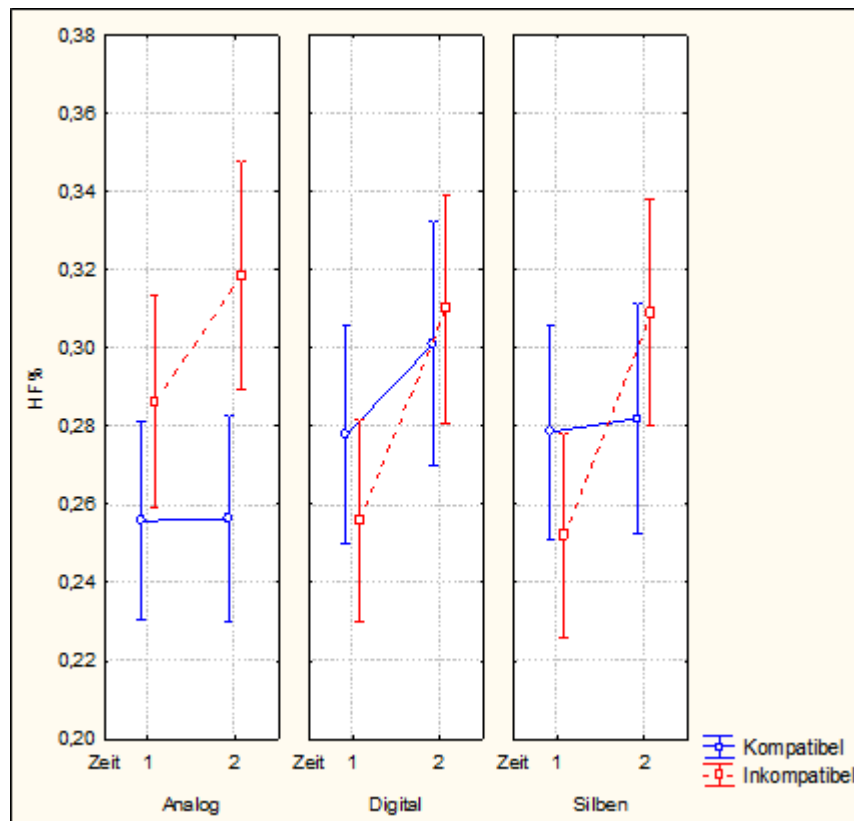


Abbildung 78: Mittelwerte des Parameters HF% im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 238) = 0.444, p = 0.642$).

11.1.12 LF n.u.

Die Sphärizität der Daten kann angenommen werden. Der Hauptfaktor Repräsentationsform zeigt mit $F(2, 240) = 0.441$ und einem zufallskritischen Wert von $p = 0.663$ keinen signifikanten Effekt. Ähnlich verhält es sich mit dem Faktor Reiz-Reaktionsmuster: $F(1, 120) = 2.424$, $p = 0.122$. Die zeitliche Komponente zeigt jedoch einen hoch signifikanten Einfluss auf die normalisierten Werte des niedrigen Frequenzbereiches ($F(1, 120) = 20.203$, $p = 0.000$).

Repräsentationsform und Reiz-Reaktionsmuster beeinflussen den Parameter LF n.u. signifikant in Form einer Wechselwirkung ($F(2, 240) = 6.088$, $p = 0.003$). Ebenso hoch signifikant ist der Effekt der Interaktion Reiz-Reaktionsmuster*Zeit auf die unabhängige Variable ($F(1,120) = 12.391$, $p = 0.001$). Repräsentationsform*Zeit ($F(2, 240) = 0.910$, $p = 0.404$) und Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 0.309$, $p = 0.734$) sind hingegen durch eine nicht signifikante Einflussnahme zu beschreiben. Abbildung 79 zeigt die mittleren Werte des Parameters LF n.u. mit deren 95%-Konfidenzintervall.

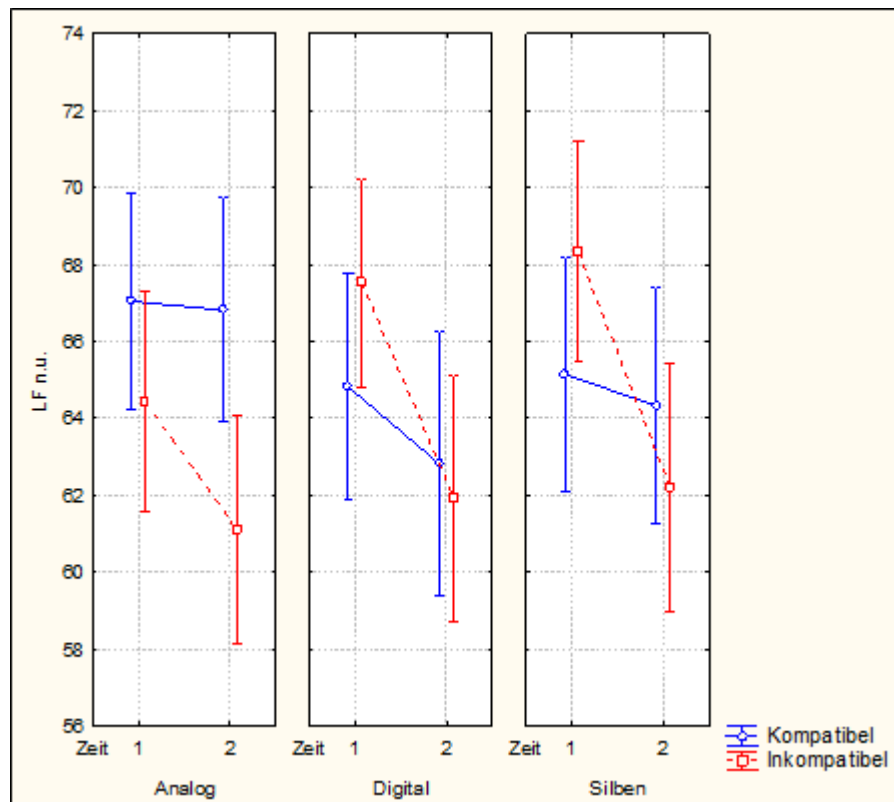


Abbildung 79: Mittelwerte des Parameters LF n.u. im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 0.309$, $p = 0.734$).

11.1.13 HF n.u.

Die Sphärizität kann als gegeben angenommen werden. Die Art der Reizdarbietung hat keinen signifikanten Einfluss auf die normalisierten Werte des hohen Frequenzbereiches ($F(2, 240) = 0.736, p = 0.480$). Ebenso wenig hatte die Variable Reiz-Reaktionsmuster einen signifikanten Effekt auf den Parameter HF n.u. ($F(1, 120) = 1.686, p = 0.197$). Der zeitliche Faktor zeigt hingegen eine hoch signifikante Beeinflussung von HF n.u. ($F(1, 120) = 21.634, p = 0.000$). Auch die Wechselwirkung zwischen Repräsentationsform und Reiz-Reaktionsmuster ist als hoch signifikant zu bezeichnen ($F(2, 240) = 7.138, p = 0.001$). Zugleich ist der Effekt der Interaktion zwischen Zeit und Reiz-Reaktionsmuster als hoch signifikant zu beschreiben ($F(1,120) = 11.085, p = 0.001$). Die Interaktion Repräsentationsform*Zeit ($F(2, 240) = 1.230, p = 0.294$) und Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 0.409, p = 0.664$) fallen indessen nicht signifikant aus. Abbildung 80 zeigt diesen Sachverhalt.

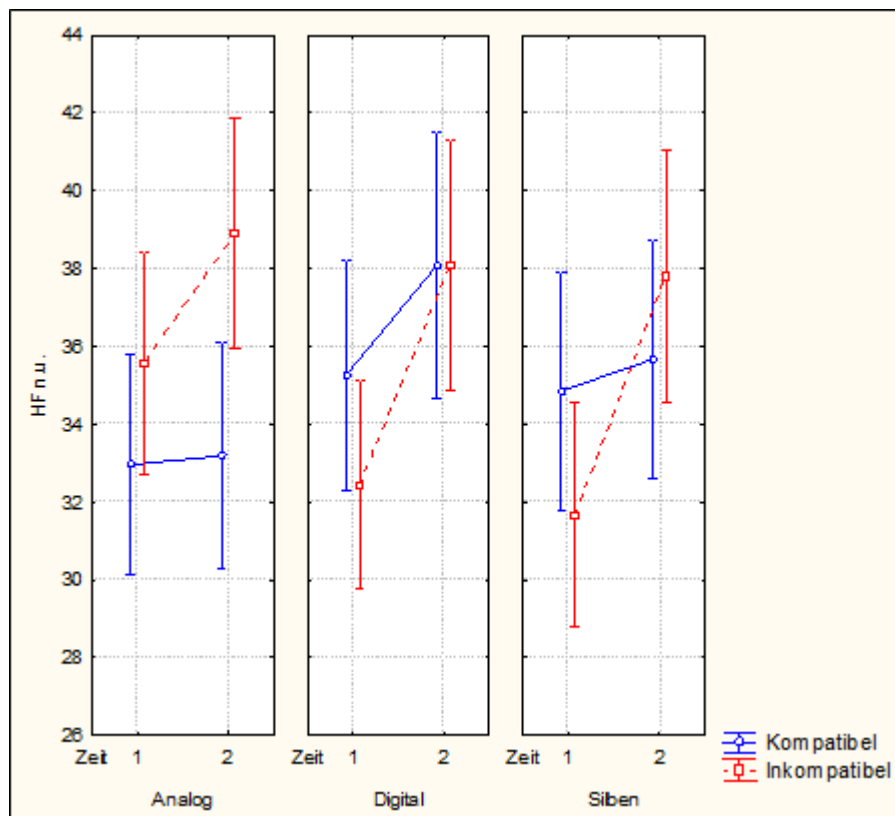


Abbildung 80: Mittelwerte des Parameters HF n.u. im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 0.409, p = 0.664$).

11.1.14 Anzahl der Spontanfluktuationen

Der Effekt des Hauptfaktors wird im folgenden Huynh-Feldt korrigiert dargestellt, da die Sphärizität als verletzt gilt ($G-G-\epsilon$ -Repräsentationsform = 0.886, $H-F-\epsilon$ -Repräsentationsform = 0.898). Die Daten gelten als nicht normalverteilt. Die Variablen Repräsentationsform ($F(1.796, 215.474) = 1.281, p = 0.278$), Reiz-Reaktionsmuster ($F(1, 120) = 1.667, p = 0.199$) und Zeit ($F(1, 120) = 0.035, p = 0.852$) haben keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Fluktuationen. Allerdings zeigt die Wechselwirkung zwischen Repräsentationsform und Reiz-Reaktionsmuster einen signifikanten Effekt ($F(2, 240) = 3.897, p = 0.022$). Alle weiteren Interaktionen haben keinen signifikanten Einfluss:

Repräsentationsform*Zeit: $F(2, 240) = 2.808, p = 0.062$

Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(1, 120) = 0.136, p = 0.713$

Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(2, 240) = 0.757, p = 0.470$ (siehe Abbildung 81).

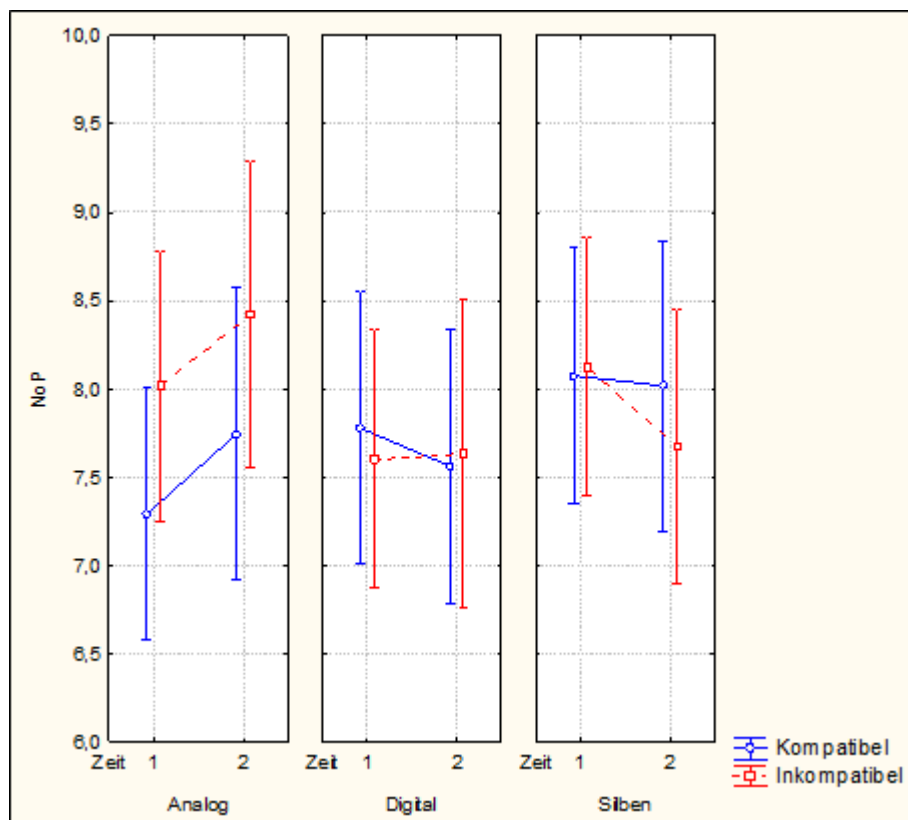


Abbildung 81: Mittelwerte des Parameters Nop im Task Kreuz in den Bedingungen: Analog kompatibel, Analog inkompatibel, Digital kompatibel, Digital inkompatibel, Silben kompatibel, Silben inkompatibel. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(2, 240) = 0.757, p = 0.470$).

11.2 Ergebnisse der Lernphasen

11.2.1 Log LF/HF

Die Lernphasen bewältigte jede Testperson in einem individuell langen Zeitintervall. Dies bedeutet, dass nicht für jede Testperson gleich viele einminütige Intervalle in den einzelnen psychophysiologischen Parametern rausgespielt werden konnten. Letzteres führt im statistischen Auswertungsprogramm zu Unvollständigkeit im Sinne fehlender Zellen. Für die exemplarische statistische Analyse des Parameters Log LF/HF konnten alle Faktoren des Tasks Kreuz für insgesamt fünf 1-Minuten-Intervalle geschätzt werden (der Faktor Zeit bezieht sich demnach auf die Anzahl der 1-Minuten-Intervalle, welche zur Generierung der kardiovaskulären Parameter herausgespielt wurden). Dies führt zu folgendem Design:

3 (Analog vs. Digital vs. Silben) x 2 (kompatibel vs. inkompatibel) x 5 (1.-5. Minute)

Für diese varianzanalytische Auswertung ohne Messwiederholung wurde speziell der Parameter Log LF/HF gewählt, da dieser in der Auswertung mit Messwiederholung den höchsten *F*-Wert ($F = 20,588$) aufweist.

Es ergeben sich folgende Ergebnisse, wobei die Homogenität der Varianzen in den einzelnen Bedingungen als gegeben angesehen werden kann (Levene-Test: Repräsentationsform: $F(2, 1135) = 0.965, p = 0.381$, Reiz-Reaktionsmuster: $F(1, 1136) = 0.016, p = 0.898$, Lernzeit: $F(4, 1133) = 0.808, p = 0.520$).

Die Variable Repräsentationsform hat keinen signifikanten Effekt auf den Parameter Log LF/HF ($F(2, 1108) = 0.080, p = 0.923$). Ebenso zeigt sich keine signifikante Beeinflussung durch den Faktor Reiz-Reaktionsmuster ($F(1, 1108) = 2.123, p = 0.145$). Der Faktor Zeit hingegen hat einen signifikanten Einfluss auf Log LF/HF ($F(4, 1108) = 2.580, p = 0.036$).

Im Weiteren zeigt keine der Wechselwirkungen einen signifikanten Effekt.
 Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster: $F(2, 1108) = 1.995, p = 0.137$
 Repräsentationsform*Zeit: $F(8, 1108) = 0.752, p = 0.645$
 Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(4, 1108) = 0.485, p = 0.747$
 Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit: $F(8, 1108) = 0.397, p = 0.923$.

Abbildung 82 veranschaulicht die mittleren Werte des Parameters Log LF/HF graphisch, wobei das 95%-Konfidenzintervall ebenfalls angegeben wird.

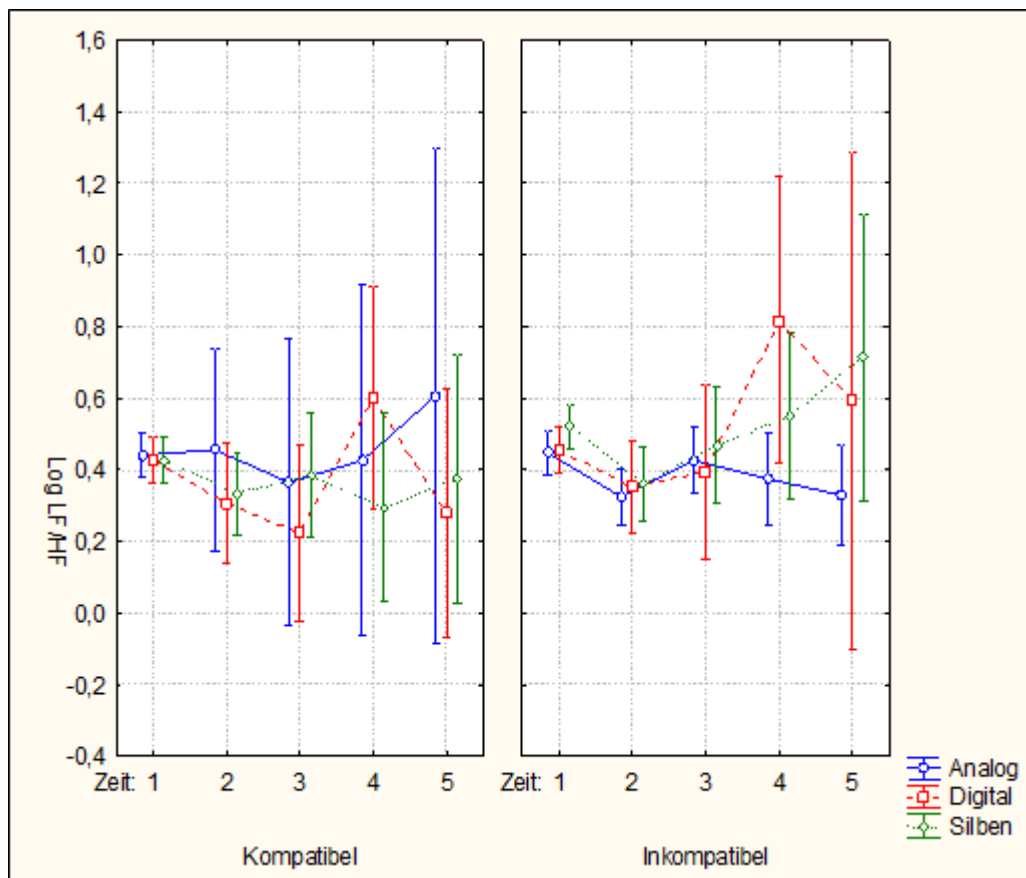


Abbildung 82: Mittelwerte des Parameters Log LF/HF im Task Kreuz in den ersten fünf 1-Minuten-Intervallen der Lernphase. Die vertikalen Linien verdeutlichen das 95%-Konfidenzintervall. Dargestellter Effekt: Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster*Zeit ($F(8, 1108) = 0.397, p = 0.923$).

Zusätzlich zeigt Abbildung 83 den Median des Parameters Log LF/HF in den einzelnen Bedingungen. Dies dient zur genaueren graphischen Analyse der Bedingung Digital, welche im Vergleich mit den Bedingungen Analog und Silben, vor allem in der inkompatiblen Versuchsanordnung, auffällig hoch ausfällt. Der Median zeigt sich im Vergleich zum Mittelwert gegen Ausreißer robuster (Fieldt, 2005, S.22). Die Abbildung 83, welche den Median und den höchsten bzw. niedrigsten Wert des Parameters Log LF/HF pro Bedingung abbildet, zeigt jedoch ebenfalls in der Bedingung Digital inkompatibel eine Erhöhung des Parameters Log LF/HF. Tabelle 9 zeigt die Stichprobengröße in den einzelnen Bedingungen des Tasks Kreuz vom ersten 1-Minuten-Intervall bis zum fünften.

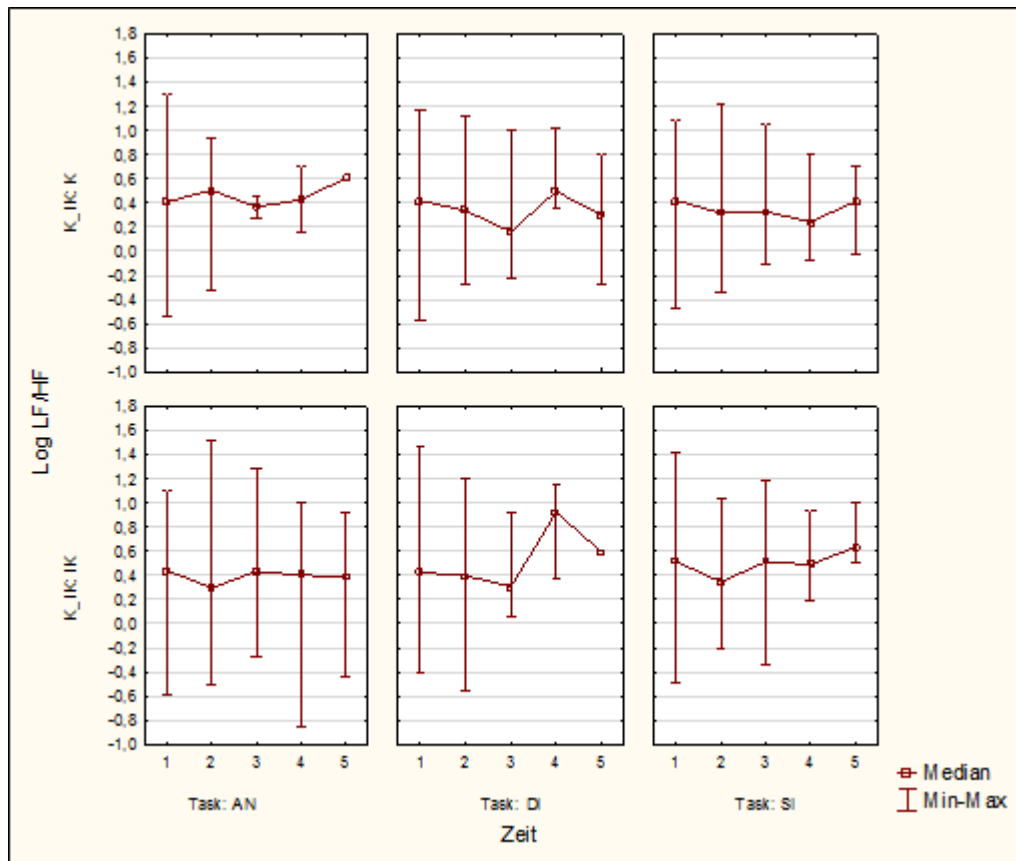


Abbildung 83: Median des Parameters Log LF/HF in den Bedingungen des Tasks Kreuz. Angegeben werden die ersten fünf Minuten der Lernphasen. Die vertikalen Linien verdeutlichen die höchste und niedrigste Ausprägung von Log LF/HF in den einzelnen Bedingungen. Reiz-Reaktionsmuster: IK = Inkompatibel, K = Kompatibel; Repräsentationsform: AN = Analog, DI = Digital, SI = Silben; Zeit: 1-5 = 1.-5. Minute.

Tabelle 9: Stichprobengröße pro Minute in den einzelnen Bedingungen im Task Kreuz.

Stichprobengröße <i>n</i>	1. Minute	2. Minute	3. Minute	4. Minute	5. Minute
Analog, Kompatibel	123	6	3	2	1
Analog, Inkompatibel	123	76	54	30	24
Digital, Kompatibel	121	17	8	5	4
Digital, Inkompatibel	121	29	8	3	1
Silben, Kompatibel	121	36	16	7	4
Silben, Inkompatibel	121	44	18	9	3

Tabelle 10 fasst die signifikanten Ergebnisse im Task Kreuz anschaulich zusammen.

Tabelle 10: Signifikante Ergebnisse der zweiminütigen Testphase (und 5-minütigen Lernphase im Parameter Log LF/HF) des Tasks Kreuz in den entsprechenden Parametern.

<i>Parameter</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p</i>
<i>BpM</i>					
Reiz-Reaktionsmuster	182.95	1	182.95	13.765	0.000
Fehler	1594.87	120	13.29		
<i>HF</i>					
Zeit	236275.41	1	236275.41	9.818	0.002
Fehler	2887825.3	120	24065.21		
<i>Log LF/HF within-subject (2-minütige Testphase)</i>					
Zeit	1.42	1	1.42	20.588	0.000
Fehler	8.26	120	0.07		
Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster	1.01	2	0.51	7.447	0.001
Fehler	16.31	240	0.07		
Reiz-Reaktionsmuster*Zeit	0.58	1	0.58	10.701	0.001
Fehler	6.46	120	0.05		
<i>Log LF/HF between-subject (Lernphase)</i>					
Zeit	1.287	4	0.322	2.580	0.036
<i>LF%</i>					
Zeit	0.16	1	0.16	9.966	0.002
Fehler	1.87	119	0.02		
<i>HF%</i>					
Zeit	0.291	1	0.291	18.452	0.000
Fehler	1.880	119	0.016		
Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster	0.2	2	0.1	6.636	0.002
Fehler	3.54	238	0.01		
Reiz-Reaktionsmuster*Zeit	0.14	1	0.14	13.791	0.000
Fehler	1.17	119	0.01		
<i>LF n.u.</i>					
Zeit	3314.73	1	3314.73	20.203	0.000
Fehler	19688.16	120	164.07		
Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster	1925.42	2	962.71	6.088	0.003
Fehler	37950.52	240	158.13		
Reiz-Reaktionsmuster*Zeit	1457.22	1	1457.22	12.391	0.001
Fehler	14111.87	120	117.6		
<i>HF n.u.</i>					
Zeit	3637.77	1	3637.77	21.634	0.000
Fehler	20177.61	120	168.15		
Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster	2171.97	2	1085.98	7.138	0.001
Fehler	36515.95	240	152.15		
Reiz-Reaktionsmuster*Zeit	1278.67	1	1278.67	11.085	0.001
Fehler	13841.93	120	115.35		
<i>NoP</i>					
Repräsentationsform*Reiz-Reaktionsmuster	52.65	2	26.33	3.897	0.022
Fehler	1621.35	240	6.76		

11.3 Korrelationen zwischen dem NASA-TXL und der Psychophysiologie im Task Kreuz

Bei der Berechnung der Korrelationen zwischen 2-minütiger Testphase bzw. den darauffolgenden Lernphasen mit dem NASA-TXL ist zu beachten, dass während der Testung der NASA-TXL immer nach einem Bedingungsblock vorgegeben wurde. Dies bedeutet, dass die Testpersonen die Lernphase als auch die Testphase jeder Bedingung durchliefen, bevor sie den NASA-TXL ausfüllten. Die vollständige Darstellung der Korrelationen ist in Kapitel 17.4.1 und Kapitel 17.4.2 zu finden.

2-minütige Testphasen:

Signifikante Korrelationen zwischen physiologischen Kennwerten und subjektiver Beanspruchung lassen sich in allen Bedingungen verstärkt mit der investierten Anstrengung finden. Dabei fallen vornehmlich die positiven Zusammenhänge mit den Parameter rMSSD und PNN50 signifikant auf. Aus dem Frequenzbereich zeigen sich hierbei die LF, HF und HRVtotal signifikant. Korrelationen mit dem subjektiven Maß an Frustration sind in den Bedingungen des Tasks Kreuz mit den zeitbezogenen Parametern PNN10 und den relativen Kennwerten des Frequenzbereiches zu finden. Das subjektiv empfundene Gefühl, zeitlich unter Druck zu stehen, lässt sich ebenfalls verstärkt durch die frequenzbezogenen Parameter abbilden (vor allem in der Bedingung digital, inkompatibel).

Lernphasen

Zur korrelativen Analyse der Lernphasen wurde für die kompatiblen Bedingungen jeweils das erste 1-Minuten-Intervall herangezogen. Für die inkompatiblen Bedingungen wurden das erste, zweite, als auch das fünfte 1-Minuten-Intervall korreliert.

In den Korrelationen mit den Minutenintervallen der Lernphasen zeichnet sich ein ähnliches Bild, wie in den Testphasen ab. Zusätzlich scheinen neben Korrelationen mit den Subskalen Anstrengung (signifikant in den Parametern rMSSD und PNN50) und Frustration (signifikante Korrelationen mit fast allen Parametern: rMSSD, PNN10, PNN50, HRVtotal, LF, HF, Log LF/HF, HF n.u), die Leistungskomponente von Bedeutung. Signifikante Korrelationen zeigen sich hierbei vornehmlich in den relativen Parametern des Frequenzbereiches.

D DISKUSSION

In der folgenden Diskussion sollen die Ergebnisse zuerst für jedes Task intern diskutiert werden. Abschließend sollen die interpretierten Ergebnisse in Bezug zueinander gesetzt werden und die Relevanz, als auch kritische Punkte der Studie angeführt werden. Der Fokus der Interpretation soll auf den Parametern liegen, welche kognitive Belastungsunterschiede abbilden.

12 Interpretation

12.1 Visuelles Suchen

Haapalainen et al. (2010) konnten anhand der Herzratenvariabilität das Ausmaß der mentalen Belastung in visuellen Suchaufgaben mit unterschiedlich vielen Distraktoren abbilden. Dies ist in der vorliegenden Diplomarbeit nicht gelungen. Die Wechselwirkung des Faktors Muster und der Anzahl der Distraktoren hat jedoch einen signifikanten Einfluss auf den Parameter SDNN. Dieser Kennwert repräsentiert laut Task Force (1996) die zyklischen Komponenten, welche für die Veränderungen der Herzrate über die gesamte Aufzeichnungsdauer verantwortlich sind. Dementsprechend korreliert SDNN mit der Herzratenvariabilität. Abhängig von der Art des Musters hatte die Anzahl der Distraktoren einen signifikant unterschiedlichen Effekt auf SDNN. Ergänzend konnten positive Korrelationen zwischen den Parametern SDNN bzw. HRVtotal und der empfundenen geistigen Anforderung in den Versuchsanordnungen mit 50 Distraktoren gefunden werden (siehe auch Veltman & Gaillard, 1998). Zusammenfassend scheint der Parameter SDNN signifikant beeinflusst durch unterschiedlich hohe Belastungsgrade der visuellen Aufmerksamkeit zu sein, und bildet geistige Anforderung im Sinne von visuell-perzeptueller Schnelligkeit ab. Letztere Annahme ist durch die *Speed-Komponente* des Tasks zu begründen, da die Schwierigkeit in einer schnellen und korrekten Bearbeitung der Suchbilder lag. Zusätzlich scheinen die signifikanten Korrelationen der Subskala Zeitdruck im NASA-TXL und den frequenzbezogenen Parametern zu belegen, dass Speed als Belastungskomponente einen Einfluss auf die Taskbearbeitung hatte.

Der Parameter PNN10, zeigte sich hingegen signifikant beeinflusst durch die Anzahl der Distraktoren (in der Bedingung Buchstaben). Laut Task Force (1996) stehen die so genannten PNNxx-Kennwerte in Zusammenhang mit dem hohen Frequenzbereich der Herzratenvariabilität. Analog zu Berntson, Cacioppo und Quigley (1993) bedeutet dies, dass sich die

parasympathische Aktivität bei der Bearbeitung von Suchbildern mit 50 Distraktoren signifikant reduziert. PNNxx-Parameter mit einem $x < 20$ bilden hierbei relativ kleine Veränderungen der Herzrate ab (Mietus, Peng, Henry, Goldsmith & Goldberger, 2002). Interessant ist außerdem die Studie von Trimmel (2011). Die Autorin konnte anhand einer Feldstudie eine höhere Effektstärke des Parameters PNN10 im Vergleich mit dem Kennwert PNN50 und den frequenzbezogenen Parametern HF, LF, LFn.u., LF/HF und HRVtotal feststellen. Zusammenfassend könnte es sich in der vorliegenden Studie um relativ feine Herzratenveränderungen handeln, welche sich anhand des Parameters der HRVtotal nicht abbilden lassen.

Darüber hinaus zeigt sich die Herzrate signifikant von der Art des Musters in den Suchbildern beeinflusst. Es wird in einer allgemeinen Weise deutlich, dass Suchbilder mit divergierender perzeptueller Komplexität einen Einfluss auf die Höhe der Herzrate zeigen, wobei eine hohe Herzrate mit einem erhöhten Stresslevel in Verbindung gebracht werden kann (Trimmel et al. 2003).

Miyake et al. (2004) untersuchten die Reaktivität des Hautpotentiallevels in Situationen hoher und niedriger mentaler Belastung in einem Kontext der Mensch-Computer-Interaktion. Sie konnten demonstrieren, dass sich dieses elektrodermale Maß unter mentaler Belastung erhöhte. Im Task Visuelles Suchen zeigte sich, dass die visuelle Gestaltung einer Reizumgebung in Bezug zu einem Zielreiz einen signifikanten Einfluss auf die elektrodermale Aktivität hat. Dies wurde anhand der signifikanten Effekte des Faktors Muster und der Wechselwirkung zwischen Muster und Anzahl der Distraktoren deutlich. Inhaltlich weist dies darauf hin, dass die Anzahl der Spontanfluktuationen ein sensibler Kennwert ist, um Mensch-Computer-Schnittstellen, welche ein unterschiedlich hohes Maß an perzeptueller Aufmerksamkeit für das Auffinden einer Zielfunktion voraussetzen, zu differenzieren.

Interessant gestalten sich außerdem die Ergebnisse der Effekte im Frequenzbereich. Bezüglich des Kennwertes LF n.u. hatte ausschließlich die Wechselwirkung zwischen den Suchbildmustern und der Anzahl der Distraktoren einen signifikanten Einfluss. Der Parameter LF% und der absolute Kennwert des niedrigen Frequenzbereiches blieben unbeeinflusst. Dies könnte im Sinne von Jorna (1992) interpretiert werden, die davon ausgeht, dass die LF nur sehr große Unterschiede der kognitiven Belastung abbilden kann. Hingegen zeigen sich die Parameter HF, HF%, als auch HF n.u. signifikant durch die Art der Stimuli (Muster) in den Suchbildern beeinflusst. Analog dazu fanden Fairclough und Houston (2004) einen signifi-

kanten Effekt unterschiedlicher Belastungslevel in Form von Aufmerksamkeits- und Reaktionsaufgaben auf den Parameter HF. Daraus schlussfolgernd zeigt sich der hohe Frequenzbereich der Herzratenvariabilität als ein geeignetes Maß, um zwischen unterschiedlichen visuell-perzeptiven Belastungsgraden zu unterscheiden. Das Zusammenwirken von LF und HF wird im Task Visuelles Suchen anhand des Parameters Log LF/HF deutlich. Dieser zeigt sich signifikant durch die Interaktion der beiden Hauptfaktoren beeinflusst. Überdies steht das individuelle Level an Frustration in positiver Beziehung zu den relativen Kennwerten der LF und in negativem Zusammenhang mit jenen der HF. Inhaltlich könnte dies, anhand eines reziproken Modelles bedeuten, dass erhöhte Frustration durch eine verstärkte sympathische Aktivität bei gleichzeitiger Inhibierung des Parasympathikus einhergeht (Delaney & Brodie, 2000, Malliani et al. 1991).

Zusammenfassend könnte anhand der tendenziell feinen Unterschiede der mentalen Belastung in den Stufen der Faktoren Muster_Buchstaben und Muster_Formen die Vermutung aufgestellt werden, die signifikant beeinflussten Parameter zeichnen sich durch eine hohe Sensitivität aus.

Bezüglich der korrelativen Zusammenhänge gilt es im Task Visuelles Suchen zu beachten, dass sich neben den genannten Korrelationen auch signifikante Zusammenhänge mit der Subskala körperliche Anstrengung zeigten. Diese Skala stellt eine Kontrollvariable zur Überprüfung der Aussagekräftigkeit der Antwortmuster im NASA-TXL dar. Körperlich anstrengend war jedoch keines der Tasks, weshalb daran gezweifelt werden muss, ob die Ergebnisse des NASA-TXL im Task Visuelles Suchen als repräsentativ gelten können.

12.2 Liste

Im Generellen war das Tasks Liste durch einen tendenziell hohen Schwierigkeitsgrad charakterisiert, wobei auch die ursprünglich als leicht kategorisierte Bedingung Eng, nur mittelmäßig gut gelöst werden konnte ($MW = 6.66$ der 12 Items, $SD = 4.082$). Dem gegenüber lag der Durchschnitt richtig gelöster Items in der Bedingung Weit bei $MW = 4.82$ ($SD = 3.63$). Die folgende Interpretation soll diesen Sachverhalt berücksichtigen.

Anhand der durchschnittlich geringeren Werte des Parameters rMSSD in der Bedingung Weit, verglichen mit Eng, zeigt sich eine signifikante Hemmung der parasympathischen Aktivität (Task Force, 1996). Anlehnend an die Ergebnisse von Denaley und Brodie (2000) lassen sich kurzweilige mentale Belastungen anhand des Parameters rMSSD abbilden. Auffällig sind hierbei die nicht signifikanten zeitbezogenen Parameter PNN10 und PNN50, welche laut Task Force (1996) mit dem Kennwert rMSSD in Zusammenhang stehen und ebenfalls vagale Aktivitäten abbilden. Dementgegen stehen PNN10 und PNN50 neben rMSSD in einem signifikanten negativen Zusammenhang mit der Selbsteinschätzung der eigenen Leistung. Zu beachten ist, dass hohe Werte in der NASA-Subskala Leistung auf eine schlechte subjektiv empfundene Leistungseinschätzung hindeuten. Inhaltlich würde dies auf eine hohe empfundene Leistungsqualität bei hoher parasympathischer Aktivität hindeuten. Dieser Zusammenhang lässt sich auch mittels der Leistungsdichte im niedrigen als auch hohen Frequenzbereich (und deren relativen Kennwerten), sowie anhand des Parameters HRVtotal zeigen. Diese Ergebnisse zeigen sich divergent zu den Forschungsergebnis von Duschek et al. (2009), sowie Fairclough und Houston (2004). Die genannten Autoren wiesen einen negativen Zusammenhang zwischen HF und objektiven Leistungsparametern (Anzahl der Fehler) nach. Es könnte an dieser Stelle argumentiert werden, dass aufgrund des vergleichsweise hohen Anstrengungsniveaus im Task Liste, die Versuchspersonen dazu neigten, aufzugeben und die Aufgabe nicht mehr aktiv zu lösen versuchten. Ein Verlust an Engagement könnte demnach eine erhöhte vagale Aktivität erklären. Inhaltlich entsprechend der Ergebnisse von Duschek et al. (2009) und Fairclough und Houston (2004) gestaltet sich hingegen der negative Zusammenhang zwischen der Anzahl der Spontanfluktuationen und der empfundenen Fehlerhaftigkeit (Subskala Leistung). Je höher die Anzahl der Spontanfluktuationen desto besser die subjektiv empfundene Leistung. Dementsprechend zeichnen sich zusammenfassend zwei Trends ab. Zum einen ein Verlust an Engagement, aufgrund der hohen Aufgabenschwierigkeit bei erhöhter parasympathischer Aktivität. Zum anderen eine erhöhte sympathische Aktivität bei guter empfundener Leistung.

Zusätzlich wird die Belastungsreaktion im Task Liste durch die erhöhte Anzahl an Spontanfluktuationen in der weiten Versuchsanordnung deutlich. Dies deutet auf eine erhöhte sympathische Aktivität hin (Gramann & Schandry, 2009, S. 71). Dieses Ergebnis zeigt sich analog zu den Studienerkenntnissen von Wilson (2002).

Zusammenfassend deuten die beiden signifikanten Parameter auf die Annahme hin, bei mentaler Beanspruchung handle es sich um eine Arousal-Defense-Reaktion (Mulder et al. 2000, S. 147) und ferner, entgegen der Schlussfolgerungen von Reyes del Paso (2013), um eine reziproke Innervierung (Berntson et al. 1991).

Überdies könnte die geringe Anzahl jener Parameter, welche signifikant zwischen Eng und Weit unterscheiden, durch das tendenziell hohe Schwierigkeitsniveau der Aufgabe zu erklären sein. Die Bedingungen Eng und Weit waren beide durch ein hohes Maß an kognitiver Anstrengung gekennzeichnet. Diese Annahme wird anhand der Interpretation der Korrelationen zwischen der subjektiv empfundenen Leistung mit den kardiovaskulären Parametern, im Sinne eines Verlustes des Engagements, bekräftigt. Es könnte anhand dieser Studienergebnisse also geschlussfolgert werden, dass sich die Parameter rMSSD sowie Nop als besonders geeignet erweisen, um unterschiedliche Beanspruchungsgrade auf prinzipiell hohem Belastungsniveau darzustellen.

12.3 Pfeil

Von den beiden Hauptfaktoren Antizipation und Zielgröße hatte ausschließlich die Antizipation einen signifikanten Effekt auf die autonome Aktivität. Dieser Effekt zeigt sich im hohen und niedrigen Frequenzbereich, als auch in deren relativen und normalisierten Maßen, sowie im Verhältnis LF zu HF.

Die Vorbereitung bzw. Antizipation auf eine visuell-motorische Reaktionsaufgabe, initiiert im Allgemeinen einen gerichteten Aufmerksamkeitsprozess, welcher potentielle Distraktoren und alternative Handlungsmöglichkeiten ausblendet (Jennings & van der Molen, 2002). Zur Antizipation eines Ereignisses ist eine zentrale kognitive Informationsverarbeitung ausschlaggebend (Jennings & van der Molen, 2002). Dies bedeutet, dass sich die Testperson vor der Darbietung des richtungsweisenden Reizes in einem aktivierten Zustand befindet, in dem sie ihre Handlung durch Inhibierung kontrolliert. Letzteres geht mit einer verringerten Herzrate einher (Jennings & van der Molen 2002). Bezüglich der Ergebnisse der vorliegenden Stu-

die, zeigte der Faktor Antizipation jedoch keinen signifikanten Effekt auf die Herzrate. Die von Soga et al. (2007) postulierten elektrodermalen Korrelate antizipierter Anspannung konnten ebenfalls nicht gezeigt werden.

Deutlich wird der Unterschied der mentalen Belastung durch die Reaktionsaufgaben mit bzw. ohne Antizipation jedoch durch den Parameter HF. Dieser fällt in den Bedingungen mit Antizipation deutlich erhöht aus, was vor allem durch den prozentuellen Anteil an der Gesamtvarianz und den normalisierten Werten deutlich wird. Die Aufgaben mit antizipierter visuomotorischer Reaktion führen zu signifikant erhöhter parasympathischer Aktivität. Demnach lässt sich anhand der HF-Komponente, entsprechend den Ergebnissen von Duschek et al. (2009), zwischen mental beanspruchenden Mensch-Computer-Schnittstellen und Bedingungen, welche weniger kognitive Ressourcen in Anspruch nehmen, differenzieren.

Als interessant erweisen sich ferner die Ergebnisse bezüglich der niedrigen Frequenz. Eine deutliche Reduktion des prozentuellen Anteils der Leistung des niedrigen Frequenzbereiches an der Gesamtvarianz der Herzrate zeigt sich in den Aufgaben mit antizipierter Reaktionsrichtung. Dieser Effekt wird im Weiteren durch die normalisierten Werte des Parameters LF deutlich. Ein signifikanter Effekt des Faktors Antizipation spiegelt sich außerdem in den absoluten Werten der LF wider. Deutlich wird hierbei die Tendenz des Kennwertes, hohe Ausprägungen in den Versuchsbedingungen ohne Antizipation zu zeigen. Dieses Ergebnis kann als analog zu einer Studie aus dem Review-Artikel von Malliani et al. (1991) betrachtet werden. In dieser Studie führte mentale Belastung in Form von Rechenaufgaben zu einer allgemeinen Reduktion der totalen Leistungsdichte der Herzratenvariabilität und zu einer Erhöhung der Leistungsdichte im hohen Frequenzbereich. Dementgegen zeigen die Ergebnisse von Veltman und Gaillard (1996) hohe Leistungsdichten im niedrigen Frequenzbereich in einer Phase beginnender Erholung, nach Beendigung von simulierten Flugmanövern. Hingegen führen Reyes del Paso et al. (2013) in ihrem Review-Artikel eine Vielzahl an Studien auf, welche mentale Belastung mit einer Reduktion der Herzratenschwingungen im Bereich der zentralen Frequenz von 0.1 Hz in Verbindung bringen. Letzteres aufgreifend, gilt es zu beachten, dass ein Item des Tasks Peil auf dem PC-Bildschirm fünf Sekunden lang dargeboten wurde. Die durchschnittliche Reaktionsgeschwindigkeit in den Bedingungen ohne Antizipation lag bei $MW = 1136.12$ ($SD = 194.42$) Millisekunden und mit Antizipation bei $MW = 1063.16$ ($SD = 212.52$) Millisekunden. Nach einer korrekten Reaktion ergab sich demnach eine Wartezeit von mindestens 3.86 Sekunden, bis das nächste Item gestartet wurde. Dieser Sachverhalt könnte zu einer ungewollten Vermischung aus Belastungs- und Ruhephase ge-

führt haben. Folglich könnte eine Minderung des erwarteten Anstrengungsgrades in den Bedingungen ohne Antizipation stattgefunden haben. Dies hätte generell zu einer Erhöhung der Herzratenvariabilität geführt und somit auch zu einer Vergrößerung der Leistungsdichte im niedrigen Frequenzbereich (Malliani, Montano & Pagani, 1997). Deshalb erscheint es an dieser Stelle am sinnvollsten die Ergebnisse bezüglich der normalized units in den Fokus der Interpretation zu rücken. Diese spiegeln laut Delaney und Brodie (2000) die Balance des autonomen Nervensystems am deutlichsten wider und minimieren die Effekte der Herzratenvariabilität. Diese Vorgehensweise wird durch den signifikanten Effekt des Verhältnisses LF zu HF bestärkt. Analog zu den Ergebnissen von Garden und Laursen (2002) zeigt sich der Parameter Log LF/HF in der Bedingung ohne Antizipation signifikant erhöht. Dies führt zur Annahme, dass die spektrale Dichte im niedrigen Frequenzbereich im Vergleich zur HF in der mental anstrengenderen Bedingung (ohne Antizipation), trotz Systemwartezeiten von einigen Sekunden erhöht war.

Darüber hinaus spielen während der Bearbeitung des Tasks Pfeil zwei maßgebliche subjektiv empfundene Belastungskomponenten eine Rolle. Zum einen zeigten sich signifikante Korrelationen der frequenzbezogenen HRV-Parameter mit dem subjektiv empfundenen Zeitdruck in der Faktorkombination großes Ziel ohne Antizipation. Zum anderen korrelierten diese Parameter mit der eigenen Leistungseinschätzung in der Bedingung kleines Ziel ohne Antizipation. Dieses Ergebnis lässt Spekulationen bezüglich des Faktors Zielgröße zu: Es ist zu vermuten, dass bei großem Zielreiz, der Fokus der Testpersonen auf einer schnellen Reaktion lag. Je höher der empfundene Zeitdruck, desto niedriger der vagale Einfluss, und desto größer das Verhältnis von LF zu HF. Nickel et al. (2002), sowie Nickel und Nachreiner (2003), vertreten die Annahme, der niedrige Frequenzbereich der Herzratenvariabilität stehe in Zusammenhang mit objektiv und subjektiv empfundenem Zeitdruck. Bezugnehmend auf die in der vorliegenden Studie gefundenen Korrelationen, kann dies nur bedingt bestätigt werden. Die Leistungsdichte des niedrigen Frequenzbereiches korrelierte ausschließlich in normalisierten Werten mit dem empfundenen Zeitdruck. Ferner waren die Testpersonen während der Bearbeitung der Reaktionsaufgaben in der Bedingung kleines Ziel ohne Antizipation verstärkt darauf bedacht, korrekt zu agieren. Diese Annahme lässt sich durch die signifikanten Korrelationen mit der individuell eingeschätzten Leistungsgüte bekräftigen. Analog zum Task Liste, zeigt sich hierbei jedoch eine hohe parasympathische Aktivität in Zusammenhang mit einer erhöhten subjektiv empfundenen Leistungsgüte. Im Vergleich mit den anderen drei Bedingungen ist die Bedingung kleines Ziel ohne Antizipation im Task Pfeil durch das größte

Ausmaß an mentaler Belastung zu charakterisieren. Demnach könnte die vorliegenden Ergebnisse ebenfalls im Sinne eines Verlustes an Engagement interpretiert werden.

12.4 Kreuz

Shiu und Chan (2006) beschrieben, anhand von kompatiblen und inkompatiblen Stimulus-Reaktions-Aufgaben, einen negativen Transfer von elaborierten Wissensinhalten in eine Situation des Umlernens. Die Testpersonen wurden aufgefordert, anhand von visuomotorischen Reaktionsaufgaben, Reiz-Reaktionsmuster zu lernen. In einer darauffolgenden Versuchsbedingung mussten neue Reiz-Reaktionskombinationen memoriert werden. Hierbei zeigten sich deutlich erhöhte Reaktionszeiten. Interessant ist an dieser Stelle, dass sich diese jedoch nach vermehrter Übungszeit wieder verringerten. Merriënboer und Sweller (2005) erklären dies anhand der Interferenz durch erlernte und automatisierte Schemata, welche in einer Situation des Umlernens zu erhöhter Fehleranzahl und längeren Reaktionszeiten führt. Durch andauernde Übung können neue Schemata jedoch ebenfalls automatisiert werden.

Analog zu einer Erhöhung der Reaktionszeiten während einer Umlern-Aufgabe, zeigte sich während der zwei-minütigen Testphasen im Task Kreuz ein signifikanter Effekt des Reiz-Reaktionsmusters (kompatibel, inkompatibel) auf die mittlere Herzrate. In den drei Repräsentationsformen (Analog, Digital, Silben) unterschieden sich die kompatiblen und inkompatiblen Anordnungen, im Sinne unterschiedlicher Herzfrequenzen, voneinander. Die Herzrate zeigt sich dabei in der inkompatiblen Anordnung tendenziell erhöht. Finsen et al. (2001) demonstrierten eine erhöhte Herzfrequenz während der Bearbeitung von Gedächtnisaufgaben. Fairclough et al. (2005) konnten in ihrer Studie zeigen, dass die Herzrate generell durch den Schwierigkeitsgrad einer Aufgabe signifikant beeinflusst wird. Zusätzlich zeigten die Autoren, dass der Faktor Zeit (engl. *time on task*) jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Herzrate hatte. Letzteres konnte auch durch die vorliegende Studie eruiert werden. Diese Ergebnisse liefern Befunde, welche in der Human-Computer-Interaktion genutzt werden könnten. Bei der Bedienung einer neuen Software, oder einer Software mit geänderter Benutzungsschnittstelle spielt die so genannte *Erwartungskonformität* des/der BenutzerIn eine wichtige Rolle. Hierbei handelt es sich um Erwartungen bezüglich der Softwarenutzung, welche auf Erfahrungen des/der NutzerIn mit ähnlichen Softwares basieren (Dahm, 2006, S. 234). Die Ergebnisse des Tasks Kreuz zeigen durch eine signifikant erhöhte Herzrate bei inkompatiblen Reiz-Reaktionsmustern, dass das Umlernen von elaborierten Reiz-Reaktionsmustern zu einer Stressreaktion (Trimmel et al. 2003) führen kann. Dahm (2006, S.

235) bezeichnet dies im Kontext der Mensch-Computer-Interaktion als das Prinzip der leidvollen Aneignung.

Im Weiteren zeigt der zeitliche Faktor interessante Effekte auf den Frequenzbereich der Herzratenvariabilität. Der Parameter HF wird signifikant vom Faktor time-on-task während der zwei-minütigen Testphase beeinflusst. Hierbei fällt der parasympathische Einfluss in der zweiten Testminute überwiegend höher aus. Dieses Ergebnis wird vor allem in den relativen Parametern des hohen Frequenzbereiches der Herzratenvariabilität ersichtlich. Die Kennwerte LF% und LF n.u. zeigen sich in der zweiten Testminute signifikant reduziert. Fairclough et al. (2005) erfassten eine signifikante Zunahme der absoluten Werte im Bereich der 0.1 Hz-Komponente über einen zeitlichen Verlauf von ca. einer Stunde hinweg. Die Autoren interpretieren diese Tendenz durch eine Reduktion der mentalen Belastung im Verlauf der Bearbeitungsdauer. Vor dem theoretischen Hintergrund nach Merriënboer und Sweller (2005) könnte es sich hierbei auch um die physiologischen Korrelate von Lernprozessen handeln. Zu beachten gilt, dass zwischen dem von Fairclough et al. (2005) analysierten Zeitintervall und dem im Task Kreuz vorliegenden zeitlichen Rahmenbedingungen eine erhebliche Divergenz besteht. Deshalb können die Ergebnisse nicht uneingeschränkt in Bezug gesetzt werden. Das Verhältnis des niedrigen zum hohen Frequenzbereich bekräftigt die genannten Ergebnisse zusätzlich, da die Relation der LF zur HF zwischen erster und zweiter Testminute abnimmt.

Letztgenannte Resultate ergänzend, zeigt die dreifaktorielle Varianzanalyse ohne Messwiederholung des Parameters Log LF/HF ebenfalls einen signifikanten Haupteffekt der Zeit. Hierbei zeigt eine Interpretation der Interaktionsgraphen eine Verringerung des Kennwertes in der zweiten Minute (Delaney & Brodie, 2000, Malliani et al., 1997). Bemerkenswert ist der rapide Anstieg von Log LF/HF zwischen der dritten und vierten Lernminute. Die graphische Darstellung der Mittelwerte zeigt einen deutlichen Anstieg des Parameters Log LF/HF in der Bedingung Digital, inkompatibel in der vierten Minute. Auch unter Berücksichtigung des Medians, der gegenüber Ausreißern robuster ausfällt (Fieldt, 2005, S.22), bleibt dieser Effekt bestehen. Inhaltlich könnte dieses Ergebnis in Bezug zur Stichprobengröße folgendermaßen interpretiert werden: Von insgesamt 121 Testpersonen konnten für drei Personen vier Lernminuten in der Bedingung Digital Inkompatibel zur Erfassung der kardiovaskulären Aktivität analysiert (herausgespielt) werden. Diese drei Personen haben demnach im Vergleich zu den 118 anderen Testpersonen relativ lange lernen müssen, um in die Testphase zu kommen. Der Anstieg des Parameters Log LF/HF deutet darauf hin, dass diese drei Perso-

nen in der vierten Lernminute verstärkt kognitive Energie mobilisierten, um die Items der Lernphase richtig zu beantworten. Dies wird besonders in Hinblick auf die Anzahl der Testpersonen deutlich, für welche eine fünfte Lernminute rausgespielt werden konnte. Zwei der drei Personen konnten nach verstärkter mentaler Anstrengung die Lernphase verlassen, und ausschließlich eine Person erreichte das Leistungskriterium der Lernphase zu diesem Zeitpunkt noch nicht. Ein erhöhtes Maß an kognitivem Energieaufwand in einer Lernsituation kann dementsprechend durch eine Erhöhung des Parameters Log LF/HF abgebildet werden.

Kontrovers gestalten sich hingegen die Zusammenhänge zwischen subjektiven Belastungsratings und psychophysiologischen Parametern. In den Test und Lernphasen zeigen sich (konstant in fast allen Bedingungen) positive Zusammenhänge zwischen dem Parameter rMSSD als auch PNN50 und der empfundenen Anstrengung. Inhaltlich würde dies auf eine erhöhte Anstrengung bei hoher parasympathischer Aktivität hindeuten. Dieses Ergebnis steht, in eindeutigen Kontrast zu den Resultaten von Muth et al. (2011), welche eine negative Korrelation aufzeigen. Der subjektiv empfundene Zeitdruck zeigt negative Korrelationen mit der HRVtotal und in den Bedingungen vereinzelte signifikante Korrelationen mit der LF und ihren relativen Kennwerten (Nickel & Nachreiner, 2003). Darüber hinaus zeigten sich eine Reihe signifikanter Korrelationen zwischen empfundener Frustration und dem Frequenzbereich der Herzratenvariabilität. Entsprechend dem Task Visuelles Suchen könnte dies auf ein erhöhtes Frustlevel, bei hoher sympathischer und niedriger parasympathischer Aktivität hindeuten.

12.5 Übergreifende Interpretation und Zusammenfassung

Die vorliegende Studie untersuchte die autonomen Korrelate mental belastender Mensch-Computer-Schnittstellen im Vergleich zu Benutzeroberflächen, welche als wenig kognitiv beanspruchend gelten. Es konnte gezeigt werden, dass kardiovaskuläre, als auch elektrodermale Parameter durch unterschiedliche Belastungslevel, im Sinne einer Defense-Arousal-Reaktion, signifikant beeinflusst werden. Außerdem zeigten sich signifikante Korrelationen zwischen den Subskalen des NASA-TXL und kardiovaskulären bzw. elektrodermalen Kennwerten.

Die mittlere Herzrate zeigte sich durch Aufgaben mit unterschiedlicher visueller Aufmerksamkeitsbelastung, als auch durch inkompatible Reiz-Reaktionsmuster im Vergleich zu kompatiblen Stimulus-Response-Sets signifikant verändert. In Bedingungen erhöhter mentaler Belastung konnte eine erhöhte Herzfrequenz nach Trimmel et al. (2003), als ein erhöhtes

Stresslevel interpretiert werden. Dementgegen zeigte sich die mittlere Herzrate unbeeinflusst durch antizipatorische Inhibierung (Jennings & van der Molen, 2002).

Darüber hinaus zeigten sich zeitbezogenen als auch frequenzbezogene Parameter der Herzratenvariabilität sensibel für unterschiedliche Ausprägungen mentaler Belastung. Anhand der Parameter SDNN und PNN10 war es möglich, Unterschiede in der mentalen Beanspruchung durch visuell-perzeptuelle Aufmerksamkeit in visuomotorischen Reaktionsaufgaben abzubilden. Der Parameter rMSSD erwies sich als besonders geeignet, um Unterschiede in einer Situation mit generell hohem visuell-perzeptuellem Belastungsniveau aufzuzeigen. Im Weiteren erwies sich der Kennwert HF insgesamt als ein geeignetes kardiovaskuläres Maß, um zwischen belastenden und wenig mentaler Ressourcen beanspruchenden Situationen zu unterscheiden. Deutlich wird auch, dass vor allem die relativen Maße, LF% und LF n.u. Belastungsunterschiede anschaulich abbilden. Besonders anhand des Verhältnisses zwischen LF und HF konnten die unterschiedlichen Belastungslevel signifikant aufgezeigt werden. Als interessant erweist sich hierbei, dass anhand des Parameters Log LF/HF eine Mobilisierung kognitiver Energie in einer Lernsituation sichtbar gemacht werden konnte. Der Parameter LF zeigte sich überwiegend unsensibel in Bezug auf unterschiedliche Grade kognitiver Belastung. Ausschließlich der Faktor Antizipation hatte einen signifikanten Einfluss auf die absoluten Werte des Parameters LF. Dies könnte im Sinne von Jorna (1992) als eine generelle Insensibilität des Kennwertes LF, gegenüber unterschiedlicher Ausmaße mentaler Belastung, interpretiert werden. Zusätzlich verweisen Veltman und Gaillard (1998) auf eine mögliche Beeinflussung der Leistungsdichte im niedrigen Frequenzbereich durch Überlagerungen der Atmung. Letzteres wird auch in der Studie von Althaus et al. (1998) deutlich, welche eine Kontrolle der Atmung bei der Interpretation von LF und HF vorschlagen. Es ist jedoch zu beachten, dass sich die relativen Maße des niedrigen Frequenzbereiches in den Tasks durchaus signifikant beeinflusst zeigen. Analog zu Denaley und Brodie (2000) erscheinen die relativen Maße der frequenzbezogenen Parameter am aussagekräftigsten. Der von Nickel und Nachreiner (2003) postulierte Zusammenhang zwischen LF und subjektivem bzw. objektivem Zeitdruck konnte eher nicht bestätigt werden.

Eine erhöhte sympathische Aktivität ließ sich mittels elektrodermalen Aktivität in visuomotorischen Suchaufgaben und Aufgaben mit hoher mentaler Belastung feststellen. Darüber hinaus konnte anhand der Anzahl der Spontanfluktuationen zwischen unterschiedlichen

Beanspruchungsgraden auf einem insgesamt hohen kognitiven Belastungsniveau unterschieden werden.

Entgegen der Studienergebnisse von Haapalainen et al. (2010), Hjortskov et al. (2004), Izsò und Lang (2000), sowie Veltman und Gaillard (1993) war der Parameter HRVtotal nicht signifikant durch unterschiedliche kognitive Belastungsgrade beeinflusst.

13 Kritik und Ausblick

Statistisch kritisch zu betrachten ist die Tatsache, dass varianzanalytische Statistiken trotz nicht normalverteilter Daten berechnet wurden. Field (2009, S. 155, 360) diskutiert diesen Sachverhalt jedoch und führt eine relative Robustheit der F-Statistik gegenüber nicht normalverteilten Daten an. Darüber hinaus ist es kritisch zu bewerten, dass keine Bonferroni-Korrekturen zur Kontrolle der Alphafehler-Kumulierung berechnet wurden. Zusätzlich ist zu bemängeln, dass für die Tasks Visuelles Suchen als auch Kreuz, keine Post-hoc Vergleiche durchgeführt wurden. Die beiden letzteren Kritikpunkte lassen sich jedoch durch den deskriptiv-exploratorischen Ansatz zur Untersuchung der Daten rechtfertigen. Ziel war es Muster und Trends in den Daten aufzuzeigen und nicht hypothesengeleitet vorzugehen.

Bezüglich des Versuchsaufbaues ist zu bemerken, dass sich eine Itemrepräsentationszeit von fünf Sekunden als zu lange herausstellte. Die Bearbeitung der eigentlichen Aufgaben beanspruchte, vor allem in den Tasks Visuelles Suchen und Pfeil, nur einen Bruchteil der angesetzten Zeit. Dies könnte dazu geführt haben, dass sich in Phasen mentaler Belastung, Momente der Entspannung, aufgrund der Systemwartezeiten mischten. Dies könnte in Folge auch zum Verlust der Motivation unter den TestteilnehmerInnen geführt haben.

Zusätzlich sind die Korrelationen bezüglich des Tasks Kreuz in den Lernphasen in Bezug zur Stichprobengröße zu setzen. Nicht alle Testpersonen benötigten dasselbe Zeitintervall, um die Reiz-Reaktionsmuster zu memorieren. Deshalb ergibt sich bei steigender Dauer der Lernphasen eine reduzierte Stichprobengröße. Bezüglich der Korrelationen ist außerdem kritisch zu erwähnen, dass die Effektgrößen nach Pearson (Fieldt, 2009, S. 192) überwiegend als kleine Effekte einzustufen sind.

Überdies muss angenommen werden, dass die zu bearbeitenden Tasks, entgegen der Aufgaben in der Studie von Veltman und Gaillard (1993), einen tendenziell geringen Attrak-

tivitätsfaktor für die TestteilnehmerInnen darstellten. Die Autorin dieser Diplomarbeit begründet dies, durch die gehäuft auftretenden Systemwartezeiten, die insgesamt lang andauernde Testung und die verpflichtende Teilnahme an der Studie, im Rahmen einer Vorlesung. Folglich muss in Betracht gezogen werden, dass es den Testpersonen an Motivation und Engagement gemangelt haben könnte.

Die pragmatische Relevanz dieser Studienergebnisse zeigt sich im Bereich der kognitiven Ergonomie in Zusammenspiel mit dem *psychophysiological Engineering* (Backs & Boucsein, 2000, Hollnagel 1997). Das Ziel der kognitiven Ergonomie liegt in der Beschreibung des Zusammenhanges zwischen kognitiven Ressourcen bzw. den generellen mentalen Fähigkeiten von NutzerInnen und arbeitsrelevanten Technologien. Dies impliziert, dass ein fundiertes Wissen über die Interaktion zwischen Mensch und Maschine, und den dabei stattfindenden kognitiven Prozessen für das Design von Hardware und Software unabdingbar ist (Hollnagel, 1997). Laut Dahm (2006, S. 23) trägt die Software-Ergonomie maßgeblich zur Zufriedenheit, Effektivität und Effizienz der Anwender bei. Unter letzterem ist eine schnelle Zielerreichung bei minimalem kognitivem Energieaufwand und wenig systembedingter mentaler Beanspruchung zu verstehen. Die dargelegten Ergebnisse demonstrieren anschaulich, anhand allgemeinspsychologischer Paradigmen, und mit Hilfe objektiver Verfahren, wie durch gutes Interfacedesign zu hoher Effizienz beigetragen werden kann. Für zukünftige Studien könnte besonders die Untersuchung des kognitiven Lernens und Umlernens von Interesse sein. Vor allem in Hinblick auf die Erwartungskonformität bezüglich eines benutzerfreundlichen Design von Softwares und anderen Benutzeroberflächen.

14 Zusammenfassung

Diese Studie untersuchte die autonomen Korrelate mentaler Belastung im Kontext der Mensch-Computer-Interaktion. Verwendet wurde ein Computerprogramm mit vier verschiedenen Aufgaben, welche jeweils aus Items mit hohem mentalem Belastungsgrad im Vergleich zu kognitiv weniger belastenden Items bestanden. 121 StudentInnen der Universität Wien nahmen an der Testung teil, wobei kardiovaskuläre und elektrodermale Aktivität, als auch das subjektiv empfundenen Ausmaß an Belastung während der Bearbeitung des Computerprogrammes erhoben wurde. Die psychophysiologischen Daten wurden für jede Programmaufgabe separat, anhand mehrfaktorieller Varianzanalysen mit Messwiederholung analysiert. Zusätzlich wurden Korrelationen zwischen den subjektiven Beanspruchungsratings und den physiologischen Parametern analysiert. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass es sich bei mentaler Belastung im Kontext der Mensch-Computer-Interaktion um eine Defense-Arousal-Reaktion handelt (Mulder et al. 2000). Die Herzrate, als auch die elektrodermale Aktivität zeigen sich signifikant von unterschiedlichen Graden mentaler Belastung durch visuell-perzeptuelle Aufmerksamkeit beeinflusst. Darüber hinaus lassen sich die Parameter der Herzratenvariabilität des zeitbezogenen, als auch frequenzbezogenen Bereiches als sensible Korrelate mentaler Belastung beschreiben. Letztere weisen verstärkt in ihren relativen Maßen auf Unterschiede kognitiver Anforderung hin. Im Weiteren konnten anhand der spektralen Leistungsdichte im hohen Frequenzbereich kognitive Belastungsunterschiede sichtbar gemacht werden. Anhand des Parameters $\log LF/HF$ ließ sich das Verhältnis von LF zu HF zu unterschiedlichen Lernzeitpunkten und während der Mobilisierung kognitiver Ressourcen in einer Lernsituation abbilden. Beeinflussbar durch Belastungsunterschiede bei grundsätzlich hohem Anforderungslevel, zeigte sich der Parameter rMSSD. Der Parameter HRVtotal stellte sich hingegen als ein nicht sensibles Maß heraus, um zwischen unterschiedlichen Belastungsgraden zu differenzieren.

15 Abstract

The aim of the study was to investigate autonomic correlates of mental workload in a human-computer interaction setting. We used a software with four different tasks to confront the subjects with different levels of mental strain. 121 healthy students of the University of Vienna performed each of those tasks while cardiac and electrodermal reactivity as well as subjective responses to high and low cognitive demands were recorded. The psychophysiological data was analysed, using a within-subject-design for each task separately and there were correlations calculated between the subjective workload ratings and the physiological parameters. Further the results were interpreted in a descriptive way, searching for trends in the data. The main results indicate a defense-arousal-reaction while coping with mentally demanding software designs. Analysis showed that during visual perception tasks heart rate and electrodermal activity were significantly affected by different levels of cognitive load. Frequency and time domain parameters of heart rate variability were also sensitive to differing amounts of mental load. Especially in normalized units and percentages the parameters LF and HF showed significant differences in human mental workload. The parameter Log LF/HF was affected by time-on-task and represented cognitive resource mobilisation during a learning task. Further rMSSD pictured workload differences in a generally high demanding Human-Computer-Interaction.

E LITERATUR

- Akselrod, S., Gordon, D., Ubel, F. A., Shannon, D. C., Barger, A. C. & Cohen, R. J. (1981). Power spectrum analysis of heart rate fluctuations: A quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control. *Science*, 213, 220-222.
- Althaus, M., Mulder, L. J. M., Mulder, G., van Roon, A. M. & Minderaa, R. B. (1998). Influence of respiratory activity on the cardiac response pattern to mental effort. *Psychophysiology*, 35, 420-430.
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., Nagaraja, H. N., Porges, S. W., Saul, J. P., Stone, P. H. & Van der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability: Origins, methods and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34, 623-648.
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T., Quigley, K. S. & Fabro, V. T. (1991). Autonomic space and psychophysiological response. *Psychophysiology*, 31 (1), 44-61.
- Berntson, G. G., Cacioppo, J. T. & Quigley, K. (1993). Respiratory sinus arrhythmia: Autonomic origins, physiological mechanisms, and psychophysiological implications, *Psychophysiology*, 30, 183-196.
- Boucsein, W. (1991). Arbeitspsychologische Beanspruchungsforschung heute: Eine Herausforderung an die Psychophysiologie. *Psychologische Rundschau*, 42 (3), 129-174.
- Boucsein, W. & Backs, W. B. (2000). Engineering psychophysiology as a discipline: Historical and theoretical aspects. In R. W Backs & W. Boucsein (Eds.), *Engineering Psychophysiology: Issues and applications* (pp. 3-30). Mahwah: Erlbaum.
- Dahm, M. (2006). *Grundlagen der Mensch-Computer-Interaktion*. München: Pearson.
- Delaney, J. P. A. & Brodie, D. A. (2000). Effect of short term psychological stress on the time and frequency domains of heart rate variability. *Perceptual and Motor Skills*, 91, 515-524.
- Duschek, S., Muckenthaler, M., Werner, N. & Reyes del Paso, G. A. (2009). Relation between features of autonomic cardiovascular control and cognitive performance. *Biological Psychology*, 81, 110-117.
- Eggemeier und O'Donnell (1982. a). Conceptual framework for development of a workload assessment methodology. In *American Association Annual Meeting* (1-12). [online]. URL: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA289489> [29.01.2013].
- Fairclough, S. H. & Houston, K. (2004). A metabolic measure of mental effort. *Biological Psychology*, 66 (2), 177-190.
- 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.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3rd ed.). London: Sage.

- Finsen, L., Søgaaard, K., Jensen, C., Borg, V. & Christensen, H. (2001). Muscle activity and cardiovascular response during computer-mouse work with and without memory demands. *Ergonomics*, 44 (14), 1312-1329. doi:10.1080/00140130110099065
- Fitts, P. M., & Deininger, R. L. (1954). SR compatibility: Correspondence among paired elements within stimulus and response codes. *Journal of Experimental Psychology*, 48 (6), 483-492.
- Fitts, P. M. (2005). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. In N. Moray (Ed.), *Ergonomics, skill, display, controls and mental workload* (Vol. 2) (S.50-65). New York: Taylor & Francis.
- Forman, A. K. & Piswanger, K. (1979). *Wiener Matrizen-Test*. Göttingen: Beltz Test GmbH.
- Gaillard, A. W. K. (1993). Comparing the concepts of mental load and stress. *Ergonomics*, 36 (9), 991-1005.
- Garde, A., Laursen, B., Jørgensen, A. & Jensen, B. (2002). Effects of mental and physical demands on heart rate variability during computer work. *European Journal of Applied Physiology*, 87 (4), 456-461.
- Gopher, D. & Donchin, E. (1986). Workload: An examination of the concept. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*. (Vol. 2) (pp. 41.1-41.49). New York: Wiley.
- Gopher, D. & Sanders, A. F. (1984). S-oh-r: Oh stages oh resources. In W. Prinz & A. F. Sanders (Eds.), *Cognition and motor processes* (pp. 231-253). Heidelberg: Springer.
- Gramann, K. & Schandry, R. (2009). *Psychophysiologie: Körperliche Indikatoren psychischen Geschehens*. Weinheim: Beltz.
- Hancock, P. A. & Meshkati, N. (1988). *Human mental workload*. New York: Elsevier.
- Hancock, A. P. & Warm, J. S. (1989). A dynamic model of stress and sustained attention. *Human Factors*, 31 (5), 519-537.
- Hart, S. & Lowell, E. S. (2005). Development of NASA-Task load Index: Results of empirical and theoretical research. In N. Moray (Ed.), *Ergonomics, skill, display, controls and mental workload* (Vol. 2) (S. 50-65). New York: Taylor & Francis.
- Hjortskov, N., Rissén, D., Blangsted, A. K., Fallentin, N., Lundberg, U. & Søgaaard, K. (2004). The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 84-89.
- Hockey, G. R. J. (1997). Compensatory control in the regulation of human performance under stress and high workload: A cognitive-energetical framework. *Biological Psychology*, 45 (1), 73-93.
- Hollnagel, E. (1997). Cognitive ergonomics: It's all in the mind. *Ergonomics*, 40 (10), 1170-1182. doi:10.1080/001401397187685
- Izsó, L. & Láng, E. (2000). Heart rate period variability as mental effort monitor in human computer interaction. *Behaviour and Information Technology*, 19 (4), 297-306.

- Jennings, R. & van der Molen, M. (2002). Cardiac timing and the central regulation of action. *Psychological Research*, 66 (4), 337-349. doi:10.1007/s00426-002-0106-5
- Jex, H.R. (1988). Measuring mental workload: Problems, progress, and promises. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload* (pp. 5-38). New York: Elsevier
- Johanssen, G. (1979). Workload and workload measurement. In N. Moray (Ed.), *Mental workload: Its theory and measurement* (pp. 3-11). New York: Plenum Press.
- Johanssen, G., Moray, N., Pew, R., Rasmussen, J., Sanders, A. & Wickens, C. (1979). Final report of experimental psychology group. In N. Moray (Ed.), *Mental workload: Its theory and measurement* (pp. 101-114). New York: Plenum Press.
- Jorna, P. G. A. M. (1992). Spectral analysis of heart rate and psychological state: A review of its validity as a workload index. *Biological Psychology*, 34, 237-257.
- Julien, C. (2006). The enigma of Mayer waves: Facts and models. *Cardiovascular Research*, 70 (1), 12-21.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Kalyuga, S. (2009). Instructional designs for the development of transferable knowledge and skills: A cognitive load perspective. *Computers in Human Behavior*, 25 (2), 332-338.
- Kobayashi, H., Ishibashi, K. & Noguchi, H. (1999). Heart rate variability: An index for monitoring and analyzing human autonomic activities. *Applied Human Science*, 18 (2), 53-59.
- Malliani, A., Montano, N. & Pagani, M. (1998). Physiological background of heart rate variability. *Cardiac Electrophysiology Review*, 3, 343-346.
- Malliani, A., Pagani, M., Lombardi, F. & Cerutti, S. (1991). Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation*, 84, 482-492.
- Manzey, D. (1998). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie: Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie* (Bd. 5) (S. 799-864). Göttingen: Hogrefe.
- Merriënboer, J. J. G. & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17 (2), 147-177. doi:10.1007/s10648-005-3951-0
- Mehler, B., Reimer, B. & Coughlin, J. F. (2012). Sensitivity of physiological measures for detecting systematic variations in cognitive demand from a working memory task: An on-road study across three age groups. *Human Factors*, 54 (3), 396-412.
- Meshkati, N. (1988a). Toward development of a cohesive model of workload. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload* (pp. 305-314). New York: Elsevier.
- Meshkati, N. (1988b). Heart rate variability and mental workload assessment. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload* (pp. 101-115). New York: Elsevier.
- Mietus, J. E., Peng, C. K., Henry, I., Goldsmith, R. L. & Goldberger, A. L. (2002). The PNNx files: Re-examining a widely used heart rate variability measure. *Heart*, 88, 378-380.

- Miyake, S., Hashimoto, M., Watanabe, T., Takae, Y., & Shiraishi, Y. (2004). Human responses to a workload change. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 48 (19), 2344-2348. doi:10.1177/154193120404801930
- 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
- Moray, N. (1979). Models and measures of mental workload. In N. Moray (Ed.), *Mental workload: Its theory and measurement* (pp. 13-21). New York: Plenum Press.
- Mulder, L. J. M. (1992). Measurement and analysis methods of heart rate and respiration for use in applied environments. *Biological Psychology*, 34, 205-236.
- Mulder, G., Mulder, L. J. M., Meijman, T. F., Veldman, J. B. P. & van Roon, A. M. (2000). A psychophysiological approach to working conditions. In R. W Backs & W. Boucsein (Eds.), *Engineering Psychophysiology: Issues and applications* (pp. 139-159). Mahwah: Erlbaum.
- Muth, E. R., Moss, J. D., Rosopa, P. J., Salley, J. N. & Walker, A. D. (2012). Respiratory sinus arrhythmia as a measure of cognitive workload. *International Journal of Psychophysiology*, 83, 96-101.
- Nachreiner, F., Nickel, P. & Seehase, L. (2002). Zur Reliabilität, Validität, Sensitivität und Diagnostizität von Herzfrequenz- und Herzfrequenzvariabilitätsmassen als Indikatoren psychischer Beanspruchung. *Wissenschaft*, 56, 22-35.
- Nachreiner, F. & Nickel, P. (2003). Sensitivity and diagnosticity of the 0.1 Hz component of heart rate variability as an indicator of mental workload. *Human Factors*, 45 (4), 575-590.
- Navon, D. & Gopher, D. (1979). On the economy of the human processing system. *Psychological Review*, 86 (3), 214-255.
- O'Donnell, C. R. D & Eggemeier, F. T. (1986). Workload assessment methodology. In K. R. Boff, L. Kaufman & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance*. (Vol. 2) (pp. 42.1-42.49). New York: Wiley.
- Pagani, M., Lombardi, F., Guzzetti, S., Rimoldi, O., Furlan, R., Pizzinelli, P., Sandrone, G., Malfatto, G., Dell'Orto, S. & Piccaluga, E. (1986). Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog. *Circulation Research*, 59, 178-193.
- Park, B. (2009). Psychophysiology as a tool for HCI research: Promises and pitfalls. In J. A. Jacko (Ed.), *Human-Computer Interaction*, (pp. 141-148). Springer: Heidelberg.
- Pomeranz, B., Macaulay, R. J.; Caudill; M. A., Kutz, I., Adam, D., Gordon, D., Kilborn, K. M., Barger, A. C., Shannon, D. C., Cohen, R. J. & Benson, H. (1985). Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis. *American Journal of Physiology*, 248, 151-153.

- Pribram K. H. & McGuinness, D. (1975). Arousal, activation, and effort in control of attention. *Psychological Review*, 82 (2), 116-149.
- Reyes del Paso, G. A., Langewitz, W., Mulder, L. J. M., van Roon, A., & Duschek, S. (2013). The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology*, 50 (5), 477-487. doi:10.1111/psyp.12027
- Sanders, A. F. (1983). Towards a model of stress and human performance. *Acta Psychologica*, 53 (1), 61-97.
- Schmidtke, H. (1993). Mentale Beanspruchung durch informatorische Belastung. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (S. 143-160). München: Hanser.
- Schmidtke, H. & Bubbs, H. (1993). Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In H. Schmidtke (Hrsg.), *Ergonomie* (S. 116-120). München: Hanser.
- Shiu, L. & Chan, T. (2006). Unlearning a stimulus-response association. *Psychological Research*, 70 (3), 193-199.
- Soga, C., Miyake, S. & Wada, C. (2007). Recovery patterns in the physiological responses of the autonomic nervous system induced by mental workload. In *SICE, 2007 annual conference* (pp. 1366-1371). [online]. URL: http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4421195 [10.04.2013].
- Task force of the European society of cardiology and the north American society of pacing and electrophysiology (1996). Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *European Heart Journal*, 17, 354-381.
- Treisman, A. M. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12 (1), 97-136.
- Trimmel, K. (2011). Sensitivity of HRV parameters including pNNxx proven by short-term exposure to 2700 m altitude. *Physiological Measurement*, 32, 275-285.
- Trimmel, M. & Koller, M. (2012). *Computerprogramm*. Unveröff. Universität, Wien.
- 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.
- Tsang, P. S. & Vidulich, M. A. (2006). Mental workload and situation awareness. In G. Salvendy (Ed.), *Handbook of human factors and ergonomics* (3rd ed.) (pp. 243-268). New Jersey: Wiley.
- Van Roon, A. M., Mulder, L. J. M., Althaus, M. & Mulder, G. (2004). Introducing a baroreflex model for studying cardiovascular effects of mental workload. *Psychophysiology*, 41 (6), 961-981.
- Veltman, J. A. & Gaillard, A. W. K. (1993). Indices of mental workload in a complex task environment. *Neuropsychobiology*, 28, 72-75.

- Veltman, J. A. & Gaillard, A. W. K. (1996). Physiological indices of workload in a simulated flight task. *Biological Psychology*, 42 (3), 323-342.
- Veltman, J. A. & Gaillard, A. W. K. (1998). Physiological workload reactions to increasing levels of task difficulty. *Ergonomics*, 41 (5), 656-669. doi:10.1080/001401398186829
- Wickens, C. D. (1979). Measures of workload, stress and secondary task. In N. Moray (Ed.), *Mental workload: Its theory and measurement*. (pp.79-99). New York: Plenum Press.
- Wickens, C. D. (2002). Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 3 (2), 159–177.
- Wickens, C. D. (2008). Multiple resources and mental workload. *Human Factors*, 50 (3), 449-455.
- Wieland-Eckelmann, R. (1992). *Kognition, Emotion und psychische Beanspruchung*. Göttingen: Hogrefe.
- Wilson, G. F. (2002). An analysis of mental workload in pilots during flight using multiple psychophysiological measures. *The International Journal of Aviation Psychology*, 12 (1), 3-18.
- Yeh, Y. & Wickens, C.D. (1988). Dissociation of performance and subjective measures of workload. *Human Factors*, 30 (1), 111-120.

F ANHANG

16 Deskriptive Statistik

16.1 Visuelles Suchen

16.1.1 Kolmogorov-Smirnov-Test¹²

<i>HR</i>	<i>df</i>	6 Distraktoren			50 Distraktoren			6 Distraktoren			50 Distraktoren		
		SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ
Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	121	0.046	0.045	0.04	0.06	0.065	0.059	0.06	0.06	0.054	0.06	0.08	0.061
Asymp. Signifi- kanz (2-seitig)		0.200*	0.200*	0.200*	0.200*	0.200*	0.200*	0.200*	0.200*	0.200*	0.200*	0.08	0.200*

<i>rMSSD</i>	<i>df</i>	6 Distraktoren			50 Distraktoren			6 Distraktoren			50 Distraktoren		
		SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ
Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	121	0.106	0.153	0.112	0.107	0.131	0.126	0.13	0.15	0.127	0.12	0.14	0.122
Asymp. Signifi- kanz (2-seitig)		0.002	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

¹² Für alle Tabellen gilt folgende Zusatzinformation:

Zielreiz: SK = schwarzer Kreis; OQ = oranges Quadrat; T = Buchstabe T,

Distraktoren: WK = weißer Kreis; SQ = Schwarzes Quadrat; BQ = blaues Quadrat; OG = Buchstaben O und G;

IY=Buchstaben I und Y.

^a Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

* Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz

[illegible]

LF	6 Distraktoren				50 Distraktoren			6 Distraktoren			50 Distraktoren		
	<i>df</i>	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.176	0.185	0.204	0.17	0.192	0.17	0.18	0.16	0.14	0.24	0.207	0.151
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

HF	6 Distraktoren				50 Distraktoren			6 Distraktoren			50 Distraktoren		
	<i>df</i>	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.216	0.196	0.209	0.18	0.223	0.185	0.21	0.21	0.183	0.216	0.225	0.205
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

HRV_{total}	6 Distraktoren				50 Distraktoren			6 Distraktoren			50 Distraktoren		
	<i>df</i>	SK_SQ	OQ_BQ	T _{OG}	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.193	0.183	0.178	0.135	0.209	0.18	0.18	0.16	0.165	0.186	0.223	0.126
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Log LF/HF	6 Distraktoren				50 Distraktoren			6 Distraktoren			50 Distraktoren		
	<i>df</i>	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.061	0.06	0.075	0.05	0.035	0.047	0.06	0.04	0.04	0.043	0.05	0.044
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.200*	0.200*	0.094	0.200*	0.200*	0.200*	0.200	0.200*	0.200*	0.200*	0.200*	0.200*

LF%	<i>df</i>	6 Distraktoren			50 Distraktoren			6 Distraktoren			50 Distraktoren		
		SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ
Kolmog.-Smirnov Z ^a	119	.076	.072	.061	.053	.067	.071	.046	.055	.057	.043	.049	.086
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.095	0.088	0.193	0.200*	0.200*	0.200*	0.200	0.200	0.200*	0.200	0.200	0.200

HF%	<i>df</i>	6 Distraktoren			50 Distraktoren			6 Distraktoren			50 Distraktoren		
		SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ
Kolmog.-Smirnov Z ^a	119	0.086	0.120	0.125	0.093	0.129	0.149	0.106	0.094	0.093	0.096	0.089	0.095
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.031	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.002	0.011	0.014	0.009	0.021	0.010

Nop	<i>df</i>	6 Distraktoren			50 Distraktoren			6 Distraktoren			50 Distraktoren		
		SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	SK_SQ	OQ_BQ	T_OG	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ	T_IY	T_IZ	SK_WK_SQ
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.1	0.087	0.099	0.86	0.97	0.085	0.11	0.100	0.116	0.116	0.112	0.115
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.005	0.027	0.005	0.029	0.007	0.032	0.001	0.003	0.000	0.000	0.001	0.001

16.1.2 Mauchly-Test

<i>Parameter</i>	<i>W</i>	χ^2	<i>df</i>	<i>p</i>
<i>Muster_Formen</i>				
HR	0.904	12.003	2	0.002
SDNN	0.999	0.084	2	0.959
rMSSD	0.953	5.718	2	0.057
PNN10	0.998	0.232	2	0.890
PNN50	0.958	5.116	2	0.077
LF	0.926	9.181	2	0.010
HF	0.878	15.546	2	0.000
HRV	0.935	7.941	2	0.019
Log LF/HF	0.977	2.794	2	0.247
LF%	0.982	2.166	2	0.339
HF%	0.945	6.646	2	0.036
LF n.u.	0.962	4.620	2	0.099
HF n.u.	0.962	4.612	2	0.100
Nop	0.986	1.723	2	0.422
<i>Muster_Buchstaben</i>				
HR	0.96	4.778	2	0.092
SDNN	0.955	5.421	2	0.066
rMSSD	0.962	4.618	2	0.099
PNN10	0.972	3.379	2	0.185
PNN50	0.976	2.897	2	0.235
LF	0.941	7.262	2	0.026
HF	0.987	1.550	2	0.461
HRV	0.977	2.826	2	0.243
Log LF/HF	0.994	0.680	2	0.712
LF%	0.989	1.279	2	0.528
HF%	0.998	0.190	2	0.910
LF n.u.	0.989	1.335	2	0.513
HF n.u.	0.989	1.344	2	0.511
Nop	0.949	6.227	2	0.044

16.2 Liste

16.2.1 Kolmogorov-Smirnov-Test¹³

Nop	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.140	0.129
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000

SDNN	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.092	0.107
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.013	0.002

PNN10	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	120	0.091	0.122
Asymp0. Signifikanz (2-seitig)		0.017	0.000

LF	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.211	0.170
Asymp0. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000

HRVtotal	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.194	0.150
Asymp0. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000

LF%	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	120	0.078	0.042
Asymp0. Signifikanz (2-seitig)		0.073	0.200*

HR	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.055	0.051
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.200*	0.200*

rMSSD	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.148	0.161
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000

PNN50	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.130	0.168
Asymp0. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000

HF	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.198	0.193
Asymp0. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000

Log LF/HF	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.061	0.040
Asymp0. Signifikanz (2-seitig)		0.200*	0.200*

HF%	df	Eng	Weit
Kolmog.-Smirnov Z ^a	120	0.081	0.098
Asymp0. Signifikanz (2-seitig)		0.053	0.007

¹³ Für die Ergebnisse gelten folgende Zusatzinformationen:

^a Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

* Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz

16.3 Pfeil

16.3.1 Kolmogorov-Smirnov-Test¹⁴

HR	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.044	0.048	0.048	0.054
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.200*	0.200*	0.200*	0.200*

rMSSD	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.117	0.122	0.148	0.161
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000	0.000	0.000

PNN10	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	120	0.069	0.079	0.074	0.063
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		.200*	0.062	0.156	.200*

HF	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.164	0.186	0.191	0.221
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000	0.000	0.000

Log LF/HF	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.044	0.064	0.066	0.048
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.200*	0.200*	0.200*	0.200*

LF%	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	120	0.069	0.076	0.039	0.065
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.978	0.976	0.989	0.979

SDNN	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.114	0.104	0.117	0.122
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.008	0.001	0.003

LF	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.140	0.160	0.184	0.195
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000	0.000	0.000

PNN50	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.144	0.148	0.169	0.147
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000	0.000	0.000

HRVtotal	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.137	0.157	0.200	0.158
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.000	0.000	0.000	0.000

Nop	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	121	0.109	0.086	0.085	0.131
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.001	0.029	0.033	0.000

HF%	df	G_OA	G_MA	K_OA	K_MA
Kolmog.-Smirnov Z ^a	120	0.100	0.111	0.109	0.109
Asymp. Signifikanz (2-seitig)		0.005	0.001	0.001	0.001

¹⁴ Für diese Ergebnisse gilt folgende Zusatzinformation:

^a Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

* Dies ist eine untere Grenze der echten Signifikanz

G = großes Ziel, K = kleines Ziel, OA = ohne Antizipation, MA = mit Antizipation.

16.4 Kreuz

16.4.1 Kolmogorov-Smirnov-Test¹⁵

<i>Mittlere Herzrate</i>	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signi- fikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	121	0.055	0.200*
	Analog_K_t2	121	0.058	0.200*
	Analog_IK_t1	121	0.075	0.089
	Analog_IK_t2	121	0.068	0.200*
	Digital_K_t1	121	0.073	0.175
	Digital_K_t2	121	0.060	0.200*
	Digital_IK_t1	121	0.081	0.048
	Digital_IK_t2	121	0.064	0.200*
	Silben_K_t1	121	0.080	0.056
	Silben_K_t2	121	0.067	0.200*
	Silben_IK_t1	121	0.069	0.200*
	Silben_IK_t2	121	0.063	0.200*

<i>SDNN</i>	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signi- fikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	120	0.080	0.052
	Analog_K_t2	120	0.135	0.000
	Analog_IK_t1	120	0.126	0.000
	Analog_IK_t2	120	0.084	0.036
	Digital_K_t1	120	0.109	0.001
	Digital_K_t2	120	0.108	0.001
	Digital_IK_t1	120	0.112	0.001
	Digital_IK_t2	120	0.142	0.000
	Silben_K_t1	120	0.088	0.022
	Silben_K_t2	120	0.096	0.008
	Silben_IK_t1	120	0.112	0.001
	Silben_IK_t2	120	0.129	0.000

¹⁵ Für die Interpretation der Tabellen gilt folgende Zusatzinformation:
 K = Kompatibel; IK = Inkompatibel
 a Signifikanzkorrektur nach Lilliefors

<i>rMSSD</i>	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signi- fikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	121	0.114	0.001
	Analog_K_t2	121	0.136	0.000
	Analog_IK_t1	121	0.107	0.002
	Analog_IK_t2	121	0.121	0.000
	Digital_K_t1	121	0.098	0.006
	Digital_K_t2	121	0.109	0.001
	Digital_IK_t1	121	0.118	0.000
	Digital_IK_t2	121	0.105	0.002
	Silben_K_t1	121	0.110	0.001
	Silben_K_t2	121	0.106	0.002
	Silben_IK_t1	121	0.101	0.004
	Silben_IK_t2	121	0.111	0.001

<i>PNN10</i>	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signi- fikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	120	0.138	0.000
	Analog_K_t2	120	0.077	0.080
	Analog_IK_t1	120	0.089	0.020
	Analog_IK_t2	120	0.125	0.000
	Digital_K_t1	120	0.130	0.000
	Digital_K_t2	120	0.084	0.035
	Digital_IK_t1	120	0.123	0.000
	Digital_IK_t2	120	0.103	0.003
	Silben_K_t1	120	0.075	0.093
	Silben_K_t2	120	0.116	0.000
	Silben_IK_t1	120	0.083	0.043
	Silben_IK_t2	120	0.089	0.021

LF	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signi- fikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	121	0.233	0.000
	Analog_K_t2	121	0.247	0.000
	Analog_IK_t1	121	0.201	0.000
	Analog_IK_t2	121	0.197	0.000
	Digital_K_t1	121	0.221	0.000
	Digital_K_t2	121	0.200	0.000
	Digital_IK_t1	121	0.173	0.000
	Digital_IK_t2	121	0.233	0.000
	Silben_K_t1	121	0.201	0.000
	Silben_K_t2	121	0.206	0.000
	Silben_IK_t1	121	0.210	0.000
	Silben_IK_t2	121	0.168	0.000

HF	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signi- fikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	121	0.181	0.000
	Analog_K_t2	121	0.208	0.000
	Analog_IK_t1	121	0.234	0.000
	Analog_IK_t2	121	0.190	0.000
	Digital_K_t1	121	0.126	0.000
	Digital_K_t2	121	0.196	0.000
	Digital_IK_t1	121	0.191	0.000
	Digital_IK_t2	121	0.192	0.000
	Silben_K_t1	121	0.182	0.000
	Silben_K_t2	121	0.179	0.000
	Silben_IK_t1	121	0.193	0.000
	Silben_IK_t2	121	0.212	0.000

HRVtotal	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signi- fikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	121	0.168	0.000
	Analog_K_t2	121	0.225	0.000
	Analog_IK_t1	121	0.182	0.000
	Analog_IK_t2	121	0.199	0.000
	Digital_K_t1	121	0.178	0.000
	Digital_K_t2	121	0.166	0.000
	Digital_IK_t1	121	0.193	0.000
	Digital_IK_t2	121	0.216	0.000
	Silben_K_t1	121	0.195	0.000
	Silben_K_t2	121	0.154	0.000
	Silben_IK_t1	121	0.208	0.000
	Silben_IK_t2	121	0.247	0.000

Log LF/HF	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signi- fikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	121	0.060	0.200*
	Analog_K_t2	121	0.044	0.200*
	Analog_IK_t1	121	0.052	0.200*
	Analog_IK_t2	121	0.092	0.014
	Digital_K_t1	121	0.053	0.200*
	Digital_K_t2	121	0.048	0.200*
	Digital_IK_t1	121	0.050	0.200*
	Digital_IK_t2	121	0.056	0.200*
	Silben_K_t1	121	0.048	0.200*
	Silben_K_t2	121	0.059	0.200*
	Silben_IK_t1	121	0.030	0.200*
	Silben_IK_t2	121	0.052	0.200*

LF %	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signi- fikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	120	0.063	0.200*
	Analog_K_t2	120	0.089	0.021
	Analog_IK_t1	120	0.064	0.200*
	Analog_IK_t2	120	0.071	0.200*
	Digital_K_t1	120	0.035	0.200*
	Digital_K_t2	120	0.042	0.200*
	Digital_IK_t1	120	0.054	0.200*
	Digital_IK_t2	120	0.076	0.084
	Silben_K_t1	120	0.060	0.200*
	Silben_K_t2	120	0.057	0.200*
	Silben_IK_t1	120	0.088	0.024
	Silben_IK_t2	120	0.046	0.200*

HF%	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signi- fikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	120	0.143	0.000
	Analog_K_t2	120	0.111	0.001
	Analog_IK_t1	120	0.075	0.092
	Analog_IK_t2	120	0.080	0.058
	Digital_K_t1	120	0.111	0.001
	Digital_K_t2	120	0.106	0.002
	Digital_IK_t1	120	0.091	0.017
	Digital_IK_t2	120	0.084	0.035
	Silben_K_t1	120	0.090	0.019
	Silben_K_t2	120	0.113	0.001
	Silben_IK_t1	120	0.106	0.002
	Silben_IK_t2	120	0.096	0.009

<i>Nop</i>	Bedingung	<i>df</i>	Kolmog.-Smirnov <i>Z</i> ^a	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)
<i>Testphase: t1 und t2</i>				
	Analog_K_t1	121	0.122	0.000
	Analog_K_t2	121	0.092	0.014
	Analog_IK_t1	121	0.128	0.000
	Analog_IK_t2	121	0.102	0.003
	Digital_K_t1	121	0.111	0.001
	Digital_K_t2	121	0.076	0.079
	Digital_IK_t1	121	0.087	0.026
	Digital_IK_t2	121	0.128	0.000
	Silben_K_t1	121	0.122	0.000
	Silben_K_t2	121	0.099	0.006
	Silben_IK_t1	121	0.114	0.001
	Silben_IK_t2	121	0.077	0.077

17 Ergebnisse der Korrelationen zwischen subjektiven Beanspruchungsratings und psychophysiologischen Parametern

17.1 Visuelles Suchen¹⁶

VISUELLES SUCHEN, SK vs. SQ, Dist. 06	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=119 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_VISU_L_06_SK_SQ	0,03	0,04	0,08	-0,10	0,13	0,15	0,07
v14_1_SDNN_ms_VISU_L_06_SK_SQ_F	-0,12	-0,07	0,03	0,02	-0,06	-0,00	-0,04
v15_1_rMSSD_ms_VISU_L_06_SK_SQ	-0,07	-0,06	-0,11	0,14	-0,08	-0,10	-0,06
v17_1_pNN10_VISU_L_06_SK_SQ_FF	-0,07	-0,03	-0,01	0,12	-0,04	-0,13	-0,03
v22_1_pNN50_VISU_L_06_SK_SQ_FF	-0,08	-0,04	-0,10	0,15	-0,12	-0,08	-0,06
v39_1_LF_VISU_L_06_SK_SQ_FFT_1	-0,13	-0,09	0,03	0,08	0,01	0,01	-0,01
v40_1_HF_VISU_L_06_SK_SQ_FFT_1	-0,07	-0,07	-0,10	0,15	-0,13	-0,11	-0,07
v41_1_Total_VISU_L_06_SK_SQ_FFT	-0,20	-0,14	0,02	0,00	0,04	-0,06	-0,07
v42_1_logLF_HF_VISU_L_06_SK_SQ_F	-0,08	-0,09	0,06	-0,14	0,13	0,08	-0,01
v45_1_LF%_VISU_L_06_SK_SQ_FFT_1	0,10	0,01	0,01	0,07	0,15	0,12	0,11
v46_1_HF%_VISU_L_06_SK_SQ_FFT_1	0,09	0,06	-0,05	0,19	-0,13	-0,06	0,03
LFnu_Visu_06_SK_SQ	-0,05	-0,06	0,07	-0,13	0,15	0,09	0,02
HFnu_Visu_06_SK_SQ	0,05	0,06	-0,07	0,13	-0,15	-0,09	-0,02
v7_1_NumPeaks_VISU_L_06_T_OG_FFT	-0,17	-0,10	0,04	-0,07	0,02	0,03	-0,06

¹⁶ Die Subskala Leistung des NASA-TXL wird in dieser tabellarischen Darstellung der Korrelationen aufgrund ihrer Polung in Fehlerhafte Leistung umgewandelt.

VISUELLES SUCHEN, OQ vs. BQ, Dist. 06	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_VISU_L_06_OQ_BQ_	0,07	0,05	0,10	-0,15	0,07	0,11	0,05
v14_1_SDNN_ms_VISU_L_06_OQ_BQ_F	-0,07	-0,09	-0,11	0,09	-0,03	-0,07	-0,06
v15_1_rMSSD_ms_VISU_L_06_OQ_BQ_	0,03	-0,02	-0,08	0,19	-0,00	-0,05	0,02
v17_1_pNN10_VISU_L_06_OQ_BQ_FF	0,00	0,02	-0,04	0,17	-0,03	-0,09	0,02
v22_1_pNN50_VISU_L_06_OQ_BQ_FF	0,03	-0,01	-0,11	0,20	-0,04	-0,04	0,02
v39_1_LF_VISU_L_06_OQ_BQ_FFT_1	0,06	0,05	-0,05	0,06	0,10	0,03	0,06
v40_1_HF_VISU_L_06_OQ_BQ_FFT_1	0,03	-0,05	-0,13	0,16	-0,02	-0,04	-0,01
v41_1_Total_VISU_L_06_OQ_BQ_FFT_	-0,01	-0,04	-0,13	0,15	0,02	-0,03	-0,00
v42_1_logLF_HF_VISU_L_06_OQ_BQ_F	-0,07	-0,03	-0,02	-0,03	-0,06	0,02	-0,05
v45_1_LF%_VISU_L_06_OQ_BQ_FFT_1	0,13	0,11	0,12	0,07	-0,03	0,07	0,11
v46_1_HF%_VISU_L_06_OQ_BQ_FFT_1	0,12	0,07	0,06	0,05	0,04	-0,01	0,08
LFnu_Visu_06_OQ_BQ	-0,05	-0,01	-0,00	-0,02	-0,07	0,03	-0,03
HFnu_Visu_06_OQ_BQ	0,05	0,01	0,00	0,02	0,07	-0,03	0,03
v7_1_NumPeaks_VISU_L_06_OQ_BQ_FF	-0,18	-0,08	-0,04	-0,11	0,04	-0,01	-0,09

VISUELLES SUCHEN, SK vs. WK, SQ, Dist. 06	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_VISU_S_06_SK_WK_SQ	0,03	-0,09	0,05	-0,15	0,14	0,08	0,01
v14_1_SDNN_ms_VISU_S_06_SK_WK_SQ	-0,20	-0,06	-0,16	-0,01	-0,13	-0,09	-0,15
v15_1_rMSSD_ms_VISU_S_06_SK_WK_SQ	-0,09	0,03	-0,09	0,16	-0,11	-0,07	-0,03
v17_1_pNN10_VISU_S_06_SK_WK_SQ	-0,05	0,06	-0,13	0,10	-0,13	-0,10	-0,06
v22_1_pNN50_VISU_S_06_SK_WK_SQ	-0,06	0,07	-0,09	0,15	-0,11	-0,03	-0,01
v39_1_LF_VISU_S_06_SK_WK_SQ_FFT	-0,07	0,03	-0,07	0,10	-0,03	-0,10	-0,03
v40_1_HF_VISU_S_06_SK_WK_SQ_FFT	-0,11	0,01	-0,11	0,10	-0,14	-0,07	-0,07
v41_1_Total_VISU_S_06_SK_WK_SQ_F	-0,11	-0,02	-0,12	0,10	-0,05	-0,09	-0,06
v42_1_logLF_HF_VISU_S_06_SK_WK_SQ	-0,00	0,03	0,05	-0,00	0,16	0,12	0,08
v45_1_LF%_VISU_S_06_SK_WK_SQ_FFT	0,08	0,13	0,19	0,08	0,10	0,13	0,16
v46_1_HF%_VISU_S_06_SK_WK_SQ_FFT	0,03	-0,00	-0,01	-0,02	-0,13	-0,10	-0,05
LFnu_Visu_06_SK_WK_SQ	-0,01	0,04	0,06	0,02	0,15	0,10	0,08
HFnu_06_SK_WK_SQ	0,01	-0,04	-0,06	-0,02	-0,15	-0,10	-0,08
v7_1_NumPeaks_VISU_S_06_SK_WK_SQ	-0,06	0,02	0,05	-0,08	0,20	0,07	0,04

VISUELLES SUCHEN, SK vs. SQ, Dist. 50	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_VISU_L_50_SK_SQ_	0,07	0,03	0,12	-0,15	0,13	0,14	0,07
v14_1_SDNN_ms_VISU_L_50_SK_SQ_F	-0,06	-0,05	-0,01	0,16	-0,20	-0,09	-0,05
v15_1_rMSSD_ms_VISU_L_50_SK_SQ_	-0,01	-0,00	-0,06	0,16	-0,11	-0,13	-0,03
v17_1_pNN10_VISU_L_50_SK_SQ_FF	0,01	0,02	-0,09	0,11	-0,04	-0,09	-0,02
v22_1_pNN50_VISU_L_50_SK_SQ_FF	0,01	-0,00	-0,10	0,16	-0,16	-0,15	-0,05
v39_1_LF_VISU_L_50_SK_SQ_FFT_1	0,02	-0,00	0,10	0,17	-0,10	-0,04	0,04
v40_1_HF_VISU_L_50_SK_SQ_FFT_1	0,01	-0,01	-0,11	0,15	-0,18	-0,13	-0,05
v41_1_Total_VISU_L_50_SK_SQ_FFT_	-0,06	-0,05	-0,02	0,17	-0,16	-0,10	-0,04
v42_1_logLF_HF_VISU_L_50_SK_SQ_F	-0,08	-0,11	0,12	-0,02	-0,02	0,08	-0,01
v45_1_LF%_VISU_L_50_SK_SQ_FFT_1	0,04	-0,04	0,17	0,02	-0,03	0,07	0,05
v46_1_HF%_VISU_L_50_SK_SQ_FFT_1	0,15	0,12	-0,08	0,02	0,05	-0,04	0,05
LFnu_Visu_50_SK_SQ	-0,09	-0,11	0,12	-0,02	-0,02	0,07	-0,01
HFnu_Visu_50_SK_SQ	0,09	0,11	-0,12	0,02	0,02	-0,07	0,01
v7_1_NumPeaks_VISU_L_50_T_OG_FFT	-0,02	-0,02	0,08	0,05	0,17	0,05	0,07

VISUELLES SUCHEN, OQ vs. BQ, Dist. 50	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_VISU_L_50_OQ_BQ_	0,07	0,02	0,07	-0,07	0,10	0,05	0,05
v14_1_SDNN_ms_VISU_L_50_OQ_BQ_F	0,00	0,03	0,09	0,13	-0,04	0,11	0,08
v15_1_rMSSD_ms_VISU_L_50_OQ_BQ_	-0,02	-0,00	0,01	0,14	-0,07	-0,02	0,01
v17_1_pNN10_VISU_L_50_OQ_BQ_FF	-0,00	0,06	0,02	0,04	-0,04	-0,01	0,02
v22_1_pNN50_VISU_L_50_OQ_BQ_FF	0,02	0,02	-0,02	0,07	-0,09	0,01	0,00
v39_1_LF_VISU_L_50_OQ_BQ_FFT_1	0,01	0,07	0,03	0,19	-0,06	-0,01	0,06
v40_1_HF_VISU_L_50_OQ_BQ_FFT_1	0,00	-0,02	-0,06	0,15	-0,12	-0,03	-0,01
v41_1_Total_VISU_L_50_OQ_BQ_FFT_	0,03	0,08	0,02	0,21	-0,09	0,05	0,07
v42_1_logLF_HF_VISU_L_50_OQ_BQ_F	-0,03	0,00	0,12	0,01	0,04	0,02	0,04
v45_1_LF%_VISU_L_50_OQ_BQ_FFT_1	0,03	0,03	0,12	0,04	0,04	-0,05	0,05
v46_1_HF%_VISU_L_50_OQ_BQ_FFT_1	0,07	0,04	-0,10	-0,00	-0,09	-0,07	-0,04
LFnu_Visu_50_OQ_BQ	-0,02	0,01	0,15	0,02	0,08	0,04	0,06
HFnu_Visu_50_OQ_BQ	0,02	-0,01	-0,15	-0,02	-0,08	-0,04	-0,06
v7_1_NumPeaks_VISU_L_50_OQ_BQ_FF	-0,08	-0,12	0,04	-0,04	0,20	0,09	0,02

VISUELLES SUCHEN, SK vs. WK, SQ, Dist. 50	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_VISU_S_50_SK_WK_WK	0,05	0,01	0,08	-0,17	0,07	0,10	0,02
v14_1_SDNN_ms_VISU_S_50_SK_WK_SQ	-0,13	-0,11	-0,11	0,04	-0,11	-0,03	-0,10
v15_1_rMSSD_ms_VISU_S_50_SK_WK_SQ	-0,01	-0,08	-0,16	0,17	-0,12	-0,14	-0,07
v17_1_pNN10_VISU_S_50_SK_WK_SQ	0,02	-0,02	-0,09	0,13	-0,07	-0,12	-0,03
v22_1_pNN50_VISU_S_50_SK_WK_SQ	0,01	-0,06	-0,15	0,16	-0,13	-0,12	-0,06
v39_1_LF_VISU_S_50_SK_WK_SQ_FFT	-0,10	-0,07	-0,07	0,11	-0,11	-0,06	-0,06
v40_1_HF_VISU_S_50_SK_WK_SQ_FFT	-0,09	-0,19	-0,23	0,11	-0,19	-0,13	-0,15
v41_1_Total_VISU_S_50_SK_WK_SQ_F	-0,18	-0,14	-0,19	0,04	-0,16	-0,10	-0,16
v42_1_logLF_HF_VISU_S_50_SK_WK_SQ	-0,01	0,11	0,17	-0,02	0,11	0,12	0,10
v45_1_LF%_VISU_S_50_SK_WK_SQ_FFT	0,16	0,14	0,19	0,11	0,10	0,14	0,19
v46_1_HF%_VISU_S_50_SK_WK_SQ_FFT	0,10	-0,08	-0,14	0,06	-0,11	-0,11	-0,06
LFnu_Visu_50_SK_WK_SQ	-0,10	-0,07	-0,07	0,11	-0,11	-0,06	-0,06
HFnu_Visu_50_SK_WK_SQ	-0,01	-0,11	-0,19	0,01	-0,13	-0,15	-0,13
v7_1_NumPeaks_VISU_S_50_T_IZ_FFT	-0,13	-0,06	-0,15	-0,07	-0,08	-0,06	-0,12

VISUELLES SUCHEN, T vs. OG, Dist. 06	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_VISU_L_06_T_OG_F	0,13	0,08	0,09	-0,11	0,11	0,13	0,09
v14_1_SDNN_ms_VISU_L_06_T_OG_FF	-0,05	0,01	-0,08	0,10	-0,08	0,07	-0,01
v15_1_rMSSD_ms_VISU_L_06_T_OG_F	-0,10	-0,09	-0,16	0,14	-0,06	-0,08	-0,08
v17_1_pNN10_VISU_L_06_T_OG_FFT	-0,14	-0,07	-0,12	0,01	-0,15	-0,14	-0,14
v22_1_pNN50_VISU_L_06_T_OG_FFT	-0,07	-0,05	-0,15	0,15	-0,10	-0,07	-0,06
v39_1_LF_VISU_L_06_T_OG_FFT_1	-0,04	0,00	-0,01	0,03	-0,00	0,05	0,01
v40_1_HF_VISU_L_06_T_OG_FFT_1	-0,12	-0,09	-0,14	0,11	-0,19	-0,08	-0,11
v41_1_Total_VISU_L_06_T_OG_FFT_1	-0,14	-0,06	-0,09	0,03	-0,05	0,01	-0,07
v42_1_logLF_HF_VISU_L_06_T_OG_FF	-0,01	-0,02	0,09	-0,04	0,10	0,13	0,06
v45_1_LF%_VISU_L_06_T_OG_FFT_1	0,09	0,00	0,14	0,03	0,06	0,14	0,11
v46_1_HF%_VISU_L_06_T_OG_FFT_1	-0,01	-0,03	-0,11	0,02	-0,14	-0,14	-0,09
LFnu_Visu_06_T_OG	0,02	0,00	0,11	-0,02	0,12	0,14	0,09
HFnu_Visu_06_T_OG	-0,01	-0,00	-0,11	0,02	-0,11	-0,14	-0,08
v7_1_NumPeaks_VISU_L_06_T_OG_FFT	-0,08	-0,05	0,00	-0,01	0,07	0,06	-0,00

VISUELLES SUCHEN, T vs. IY, Dist. 06	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_VISU_S_06_T_IY_F	0,03	-0,04	-0,01	-0,14	0,14	0,09	0,01
v14_1_SDNN_ms_VISU_S_06_T_IY_FF	-0,02	-0,05	-0,04	0,13	-0,15	-0,05	-0,04
v15_1_rMSSD_ms_VISU_S_06_T_IY_F	0,04	0,01	-0,03	0,19	-0,13	-0,05	0,02
v17_1_pNN10_VISU_S_06_T_IY_FFT	-0,00	0,07	-0,00	0,08	-0,06	-0,06	0,01
v22_1_pNN50_VISU_S_06_T_IY_FFT	0,07	0,06	-0,03	0,18	-0,18	-0,00	0,03
v39_1_LF_VISU_S_06_T_IY_FFT_1	-0,03	0,00	0,02	0,17	-0,13	0,05	0,02
v40_1_HF_VISU_S_06_T_IY_FFT_1	0,05	-0,05	-0,09	0,17	-0,16	-0,08	-0,03
v41_1_Total_VISU_S_06_T_IY_FFT_1	-0,04	-0,06	-0,06	0,22	-0,17	-0,06	-0,03
v42_1_logLF_HF_VISU_S_06_T_IY_FF	-0,07	0,03	0,10	-0,01	0,01	0,04	0,02
v45_1_LF%_VISU_S_06_T_IY_FFT_1	-0,01	0,11	0,18	-0,03	0,02	0,19	0,10
v46_1_HF%_VISU_S_06_T_IY_FFT_1	0,07	0,01	-0,05	-0,06	-0,00	0,03	-0,01
LFnu_Visu_06_T_IY	-0,07	0,04	0,09	-0,01	0,04	0,06	0,03
HFnu_Visu_06_T_IY	0,07	-0,04	-0,09	0,01	-0,04	-0,06	-0,03
v7_1_NumPeaks_VISU_S_06_T_IY_FFT	-0,16	-0,20	-0,03	-0,06	-0,01	-0,12	-0,13

VISUELLES SUCHEN, T vs. IZ, Dist. 06	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_VISU_S_06_T_IZ_	0,06	-0,02	0,02	-0,10	0,07	0,04	0,01
v14_1_SDNN_ms_VISU_S_06_T_IZ_FF	-0,12	0,10	0,06	0,08	-0,13	0,05	0,01
v15_1_rMSSD_ms_VISU_S_06_T_IZ_F	-0,06	0,02	-0,05	0,17	-0,11	-0,01	-0,00
v17_1_pNN10_VISU_S_06_T_IZ_FFT	-0,02	0,10	-0,05	0,13	0,01	0,02	0,05
v22_1_pNN50_VISU_S_06_T_IZ_FFT	-0,06	0,01	-0,06	0,15	-0,12	-0,01	-0,02
v39_1_LF_VISU_S_06_T_IZ_FFT_1	0,01	0,06	0,09	0,08	-0,09	-0,01	0,04
v40_1_HF_VISU_S_06_T_IZ_FFT_1	-0,05	-0,04	-0,07	0,15	-0,14	-0,04	-0,04
v41_1_Total_VISU_S_06_T_IZ_FFT_1	-0,04	0,00	0,04	0,09	-0,12	-0,05	-0,01
v42_1_logLF_HF_VISU_S_06_T_IZ_FF	0,03	0,04	0,18	-0,05	0,07	-0,03	0,05
v45_1_LF%_VISU_S_06_T_IZ_FFT_1	0,05	0,06	0,06	0,01	0,02	0,01	0,05
v46_1_HF%_VISU_S_06_T_IZ_FFT_1	0,01	0,01	-0,17	0,07	-0,06	0,09	-0,01
LFnu_Visu_06_T_IZ	0,01	0,02	0,17	-0,05	0,06	-0,05	0,04
HFnu_Visu_06_T_IZ	-0,01	-0,03	-0,17	0,05	-0,06	0,05	-0,04
v7_1_NumPeaks_VISU_S_06_T_IZ_FFT	-0,14	-0,02	0,07	-0,06	0,08	0,03	-0,01

	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
VISUELLES SUCHEN, T vs. OG, Dist. 50							
v11_1_Mean_BpM__VISU_L_50_T_OC	0,05	0,05	0,10	-0,08	0,10	0,06	0,06
v14_1_SDNN_ms__VISU_L_50_T_OG_	-0,13	-0,09	0,04	0,06	-0,07	-0,08	-0,06
v15_1_rMSSD_ms__VISU_L_50_T_OG	-0,06	-0,04	-0,08	0,11	-0,05	-0,09	-0,04
v17_1_pNN10____VISU_L_50_T_OG_FI	0,03	0,01	-0,01	0,11	-0,04	-0,08	0,01
v22_1_pNN50____VISU_L_50_T_OG_FI	-0,05	-0,04	-0,12	0,05	-0,05	-0,07	-0,06
v39_1_LF_VISU_L_50_T_OG_FFT_1	-0,03	-0,02	0,08	0,12	0,01	0,02	0,05
v40_1_HF_VISU_L_50_T_OG_FFT_1	-0,01	-0,00	-0,03	0,15	-0,04	-0,02	0,02
v41_1_Total_VISU_L_50_T_OG_FFT_1	-0,07	-0,05	0,05	0,13	-0,05	-0,01	0,01
v42_1_logLF_HF_VISU_L_50_T_OG_F	-0,16	-0,14	0,12	-0,10	-0,03	0,02	-0,07
v45_1_LF%_VISU_L_50_T_OG_FFT_1	-0,03	-0,05	0,08	0,01	-0,01	-0,03	-0,00
v46_1_HF%_VISU_L_50_T_OG_FFT_1	0,18	0,16	-0,10	0,11	0,05	-0,01	0,09
LFnu_Visu_50_T_OG	-0,17	-0,15	0,11	-0,10	-0,03	0,01	-0,08
HFnu_Visu_50_T_OG	0,17	0,15	-0,11	0,10	0,03	-0,01	0,08
v7_1_NumPeaks VISU L 50 T OG FI	-0,07	-0,06	0,05	-0,05	0,13	0,04	0,01

	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Leistung	Frustration	Summe
VISUELLES SUCHEN, T vs. IY, Dist. 50							
v11_1_Mean_BpM_VISU_S_50_T_IY_F	0,06	-0,01	-0,00	-0,14	0,02	0,04	-0,01
v14_1_SDNN_ms_VISU_S_50_T_IY_FF	-0,07	-0,04	-0,04	0,02	-0,07	-0,01	-0,05
v15_1_rMSSD_ms_VISU_S_50_T_IY_F	0,07	-0,05	-0,01	0,17	-0,10	-0,05	0,01
v17_1_pNN10_VISU_S_50_T_IY_FFT	-0,01	-0,06	-0,07	0,08	-0,01	-0,10	-0,04
v22_1_pNN50_VISU_S_50_T_IY_FFT	0,02	-0,08	-0,03	0,14	-0,13	-0,07	-0,03
v39_1_LF_VISU_S_50_T_IY_FFT_1	-0,02	-0,05	-0,00	0,06	-0,10	0,01	-0,02
v40_1_HF_VISU_S_50_T_IY_FFT_1	0,06	-0,06	-0,04	0,08	-0,13	-0,07	-0,03
v41_1_Total_VISU_S_50_T_IY_FFT_1	-0,02	-0,02	-0,01	0,08	-0,13	-0,02	-0,02
v42_1_logLF_HF_VISU_S_50_T_IY_FF	0,01	0,15	0,20	0,07	0,12	0,22	0,17
v45_1_LF%_VISU_S_50_T_IY_FFT_1	0,08	0,10	0,15	0,07	0,14	0,23	0,17
v46_1_HF%_VISU_S_50_T_IY_FFT_1	0,04	-0,14	-0,17	-0,05	-0,10	-0,18	-0,14
LFnu_Visu_50_T_IY	0,01	0,16	0,20	0,08	0,13	0,23	0,18
HFnu_Visu_50_T_IY	-0,01	-0,16	-0,20	-0,08	-0,13	-0,23	-0,18
v7_1_NumPeaks_VISU_S_50_T_IY_FFT	-0,02	0,05	0,08	0,00	0,10	-0,02	0,04

VISUELLES SUCHEN, T vs. IZ, Dist. 50	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_VISU_S_50_T_IZ_F	-0,09	-0,04	-0,07	-0,23	-0,04	-0,01	-0,11
v14_1_SDNN_ms_VISU_S_50_T_IZ_FF	-0,05	-0,11	-0,11	0,01	-0,13	-0,10	-0,11
v15_1_rMSSD_ms_VISU_S_50_T_IZ_F	0,10	-0,11	-0,11	0,16	-0,14	-0,07	-0,04
v17_1_pNN10_VISU_S_50_T_IZ_FFT	0,08	0,01	-0,00	0,15	-0,04	0,00	0,04
v22_1_pNN50_VISU_S_50_T_IZ_FFT	0,10	-0,12	-0,11	0,16	-0,17	-0,12	-0,06
v39_1_LF_VISU_S_50_T_IZ_FFT_1	0,16	-0,02	0,00	0,12	-0,05	-0,01	0,04
v40_1_HF_VISU_S_50_T_IZ_FFT_1	0,15	-0,07	-0,12	0,18	-0,13	-0,06	-0,01
v41_1_Total_VISU_S_50_T_IZ_FFT_1	0,09	-0,04	-0,07	0,08	-0,04	-0,03	-0,00
v42_1_logLF_HF_VISU_S_50_T_IZ_FF	0,02	0,06	0,20	-0,07	0,13	0,10	0,10
v45_1_LF%_VISU_S_50_T_IZ_FFT_1	0,20	0,11	0,25	0,14	0,05	0,11	0,19
v46_1_HF%_VISU_S_50_T_IZ_FFT_1	0,13	-0,01	-0,10	0,17	-0,16	-0,09	-0,01
LFnu_Visu_50_T_IZ	0,03	0,08	0,21	-0,05	0,16	0,11	0,12
HFnu_Visu_50_T_IZ	-0,03	-0,08	-0,21	0,05	-0,16	-0,11	-0,11
v7_1_NumPeaks_VISU_S_50_T_IZ_FFT	-0,06	0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,03	-0,02

17.2 Liste

LISTE, Eng	Markierte Korr. signifikant für p < ,05000 N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_LISTE_ENG_FFT_1	0,14	-0,07	0,07	-0,08	0,13	0,14	0,08
v14_1_SDNN_ms_LISTE_ENG_FFT_1	-0,11	0,02	0,04	-0,07	-0,20	-0,08	-0,09
v15_1_rMSSD_ms_LISTE_ENG_FFT_1	-0,10	0,05	-0,02	-0,02	-0,34	-0,17	-0,14
v17_1_pNN10_LISTE_ENG_FFT_1	-0,05	0,08	0,01	0,06	-0,32	-0,15	-0,09
v22_1_pNN50_LISTE_ENG_FFT_1	-0,11	-0,00	-0,05	-0,03	-0,35	-0,22	-0,18
v39_1_LF_LISTE_ENG_FFT_1	-0,14	-0,03	-0,05	-0,04	-0,27	-0,12	-0,15
v40_1_HF_LISTE_ENG_FFT_1	-0,04	0,11	0,05	-0,02	-0,21	-0,09	-0,05
v41_1_Total_LISTE_ENG_FFT_1	-0,13	0,03	-0,02	-0,04	-0,24	-0,09	-0,12
v42_1_logLF_HF_LISTE_ENG_FFT_1	0,08	-0,06	0,07	0,10	0,04	0,09	0,07
v45_1_LF%_LISTE_ENG_FFT_1	0,08	-0,03	0,02	0,07	-0,09	0,02	0,01
v46_1_HF%_LISTE_ENG_FFT_1	-0,05	0,02	-0,08	-0,10	-0,12	-0,13	-0,11
LFnu_Liste_eng	0,10	-0,02	0,09	0,11	0,05	0,12	0,10
HFnu_Liste_Eng	-0,10	0,02	-0,09	-0,11	-0,05	-0,12	-0,10
v7_1_NumPeaks_LISTE_ENG_FFT_1	0,03	-0,08	-0,03	0,01	-0,26	-0,01	-0,08

LISTE, Weit	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_LISTE_WEIT_FFT_1	0,03	-0,00	-0,07	-0,12	-0,15	0,10	-0,04
v14_1_SDNN_ms_LISTE_WEIT_FFT_1	-0,06	-0,10	-0,01	-0,06	-0,06	-0,09	-0,09
v15_1_rMSSD_ms_LISTE_WEIT_FFT_1	-0,01	0,03	0,02	0,05	-0,13	-0,10	-0,04
v17_1_pNN10_LISTE_WEIT_FFT_1	-0,00	-0,00	-0,00	0,08	-0,05	-0,10	-0,02
v22_1_pNN50_LISTE_WEIT_FFT_1	-0,06	0,01	-0,01	0,03	-0,13	-0,10	-0,07
v39_1_LF_LISTE_WEIT_FFT_1	-0,08	-0,07	0,01	-0,10	0,07	0,00	-0,04
v40_1_HF_LISTE_WEIT_FFT_1	-0,11	-0,02	-0,04	-0,10	-0,11	-0,15	-0,12
v41_1_Total_LISTE_WEIT_FFT_1	-0,09	-0,07	0,02	-0,14	0,06	-0,07	-0,07
v42_1_logLF_HF_LISTE_WEIT_FFT_1	0,00	-0,05	0,08	-0,02	0,26	0,13	0,10
v45_1_LF%_LISTE_WEIT_FFT_1	0,01	-0,07	-0,03	-0,03	0,15	0,09	0,03
v46_1_HF%_LISTE_WEIT_FFT_1	-0,02	-0,01	-0,09	0,01	-0,23	-0,20	-0,14
LFnu_Liste_weit	0,01	-0,03	0,08	-0,02	0,26	0,17	0,12
HFnu_Liste_Weit	-0,01	0,03	-0,08	0,02	-0,26	-0,17	-0,12
v7_1_NumPeaks_LISTE_WEIT_FFT_1	0,02	0,10	0,01	-0,01	-0,14	0,09	0,02

17.3 Pfeil

PFEIL, großes Ziel, ohne Antizipation	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_PFEIL_L_OA_FFT	0,04	0,02	0,10	-0,14	0,11	0,03	0,03
v14_1_SDNN_ms_PFEIL_L_OA_FFT	-0,04	0,01	-0,12	-0,01	-0,09	0,02	-0,05
v15_1_rMSSD_ms_PFEIL_L_OA_FFT	-0,03	-0,02	-0,15	0,12	-0,08	-0,01	-0,03
v17_1_pNN10_PFEIL_L_OA_FFT_1	0,04	0,06	-0,07	0,07	-0,03	-0,01	0,02
v22_1_pNN50_PFEIL_L_OA_FFT_1	-0,02	-0,00	-0,15	0,11	-0,11	0,00	-0,03
v39_1_LF_PFEIL_L_OA_FFT_1	-0,00	0,10	-0,06	0,11	-0,00	-0,00	0,03
v40_1_HF_PFEIL_L_OA_FFT_1	-0,06	-0,00	-0,22	0,09	-0,14	0,01	-0,07
v41_1_Total_PFEIL_L_OA_FFT_1	0,02	0,07	-0,07	0,10	-0,12	0,03	0,01
v42_1_logLF_HF_PFEIL_L_OA_FFT_1	0,09	0,08	0,26	0,05	0,08	0,06	0,13
v45_1_LF%_PFEIL_L_OA_FFT_1	0,04	0,09	0,11	0,07	0,14	0,09	0,12
v46_1_HF%_PFEIL_L_OA_FFT_1	-0,04	-0,02	-0,22	0,02	-0,02	-0,01	-0,06
LFnu_Pfeil_L_OA	0,06	0,06	0,22	0,02	0,07	0,04	0,10
HFnu_Pfeil_L_OA	-0,06	-0,06	-0,22	-0,02	-0,07	-0,04	-0,10
v7_1_NumPeaks_PFEIL_L_OA_FFT_1	-0,09	-0,01	0,00	-0,04	0,06	-0,02	-0,02

PFEIL, großes Ziel, mit Antizipation	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_PFEIL_L_MA_FFT_1	-0,00	0,08	0,14	-0,08	0,13	0,12	0,08
v14_1_SDNN_ms_PFEIL_L_MA_FFT_1	-0,08	-0,00	-0,16	-0,03	-0,19	-0,08	-0,12
v15_1_rMSSD_ms_PFEIL_L_MA_FFT_1	-0,05	-0,03	-0,20	0,07	-0,13	-0,07	-0,09
v17_1_pNN10_PFEIL_L_MA_FFT_1	0,07	0,05	-0,10	0,05	-0,05	-0,10	-0,02
v22_1_pNN50_PFEIL_L_MA_FFT_1	0,04	0,05	-0,16	0,07	-0,12	-0,06	-0,04
v39_1_LF_PFEIL_L_MA_FFT_1	-0,04	0,02	0,00	-0,09	-0,06	-0,04	-0,05
v40_1_HF_PFEIL_L_MA_FFT_1	0,03	-0,00	-0,09	0,12	-0,11	-0,03	-0,01
v41_1_Total_PFEIL_L_MA_FFT_1	-0,01	0,05	-0,02	-0,01	-0,15	0,02	-0,03
v42_1_logLF_HF_PFEIL_L_MA_FFT_1	-0,08	-0,03	0,04	-0,13	0,06	0,02	-0,03
v45_1_LF%_PFEIL_L_MA_FFT_1	-0,02	-0,03	0,08	-0,09	0,15	-0,04	0,01
v46_1_HF%_PFEIL_L_MA_FFT_1	0,11	0,04	0,00	0,14	0,01	-0,02	0,07
LFnu_Pfeil_L_MA	-0,09	-0,03	0,04	-0,15	0,05	0,02	-0,04
HFnu_Pfeil_L_MA	0,09	0,03	-0,04	0,15	-0,05	-0,02	0,04
v7_1_NumPeaks_PFEIL_L_MA_FFT_1	-0,15	-0,07	-0,08	-0,07	-0,06	-0,05	-0,11

PFEIL, keines Ziel, ohne Antizipation	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_PFEIL_S_OA_FFT_1	0,05	0,00	0,07	-0,14	0,07	-0,01	0,01
v14_1_SDNN_ms_PFEIL_S_OA_FFT_1	-0,14	-0,05	-0,05	0,08	-0,11	0,06	-0,04
v15_1_rMSSD_ms_PFEIL_S_OA_FFT_1	-0,08	0,02	-0,08	0,18	-0,15	-0,01	-0,02
v17_1_pNN10_PFEIL_S_OA_FFT_1	-0,03	0,07	0,02	0,15	-0,10	-0,05	0,01
v22_1_pNN50_PFEIL_S_OA_FFT_1	-0,03	0,10	-0,03	0,18	-0,14	0,01	0,02
v39_1_LF_PFEIL_S_OA_FFT_1	-0,10	-0,03	0,01	0,09	-0,02	0,05	0,00
v40_1_HF_PFEIL_S_OA_FFT_1	-0,12	-0,03	-0,12	0,14	-0,20	-0,01	-0,07
v41_1_Total_PFEIL_S_OA_FFT_1	-0,11	-0,04	-0,02	0,16	-0,13	0,02	-0,02
v42_1_logLF_HF_PFEIL_S_OA_FFT_1	-0,00	0,00	0,10	-0,04	0,21	0,15	0,09
v45_1_LF%_PFEIL_S_OA_FFT_1	0,02	0,05	0,06	-0,07	0,20	0,11	0,08
v46_1_HF%_PFEIL_S_OA_FFT_1	-0,00	-0,03	-0,10	-0,00	-0,18	-0,14	-0,10
LFnu_Pfeil_S_OA	-0,01	0,01	0,11	-0,05	0,22	0,16	0,10
HFnu_Pfeil_S_OA	0,01	-0,01	-0,11	0,05	-0,22	-0,16	-0,10
v7_1_NumPeaks_LISTE_ENG_FFT_1	-0,09	-0,05	-0,05	-0,01	0,04	-0,02	-0,04

PFEIL, keines Ziel, mit Antizipation	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
v11_1_Mean_BpM_PFEIL_S_MA_FFT_1	0,06	0,03	0,08	-0,12	0,08	0,01	0,03
v14_1_SDNN_ms_PFEIL_S_MA_FFT_1	-0,05	0,03	0,03	0,10	-0,05	0,01	0,02
v15_1_rMSSD_ms_PFEIL_S_MA_FFT_1	-0,02	0,04	-0,07	0,11	-0,11	-0,04	-0,01
v17_1_pNN10_PFEIL_S_MA_FFT_1	0,05	0,13	0,02	0,10	-0,03	-0,01	0,06
v22_1_pNN50_PFEIL_S_MA_FFT_1	0,01	0,07	-0,05	0,08	-0,10	-0,03	0,00
v39_1_LF_PFEIL_S_MA_FFT_1	-0,01	-0,01	0,06	0,07	0,01	0,08	0,05
v40_1_HF_PFEIL_S_MA_FFT_1	-0,03	0,02	-0,09	0,17	-0,16	-0,06	-0,03
v41_1_Total_PFEIL_S_MA_FFT_1	-0,04	-0,01	0,00	0,16	-0,07	0,01	0,02
v42_1_logLF_HF_PFEIL_S_MA_FFT_1	-0,04	-0,13	0,14	-0,00	0,16	0,13	0,06
v45_1_LF_PFEIL_S_MA_FFT_1	0,02	-0,06	0,12	-0,05	0,15	0,16	0,07
v46_1_HF_PFEIL_S_MA_FFT_1	0,10	0,13	-0,07	0,01	-0,16	-0,07	-0,01
LFnu_Pfeil_S_MA	-0,06	-0,13	0,12	-0,03	0,18	0,12	0,04
HFnu_Pfeil_S_OA	0,06	0,13	-0,12	0,03	-0,18	-0,12	-0,04
v7_1_NumPeaks_PFEIL_S_MA_FFT_1	-0,03	-0,00	0,06	-0,03	0,04	-0,09	-0,01

17.4 Kreuz

17.4.1 Testphasen

Analog, Kompatibel (Testphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=123 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,07	0,01	0,09	-0,10	0,18	0,13	0,09
BpM_2	0,11	0,05	0,11	-0,08	0,18	0,15	0,12
SDNN_1	-0,12	-0,02	-0,14	0,02	-0,18	-0,11	-0,12
SDNN_2	-0,05	-0,05	-0,20	0,12	-0,12	-0,13	-0,09
rMSSD_1	-0,07	0,03	-0,12	0,16	-0,13	-0,16	-0,07
rMSSD_2	-0,05	0,05	-0,13	0,20	-0,10	-0,15	-0,04
pNN10_1	-0,01	0,07	-0,02	0,06	-0,09	-0,17	-0,04
pNN10_2	-0,04	0,01	-0,09	0,04	-0,09	-0,23	-0,09
pNN50_1	-0,03	0,09	-0,09	0,14	-0,09	-0,14	-0,03
pNN50_2	-0,02	0,11	-0,15	0,19	-0,09	-0,13	-0,02
LF_1	-0,01	0,02	-0,15	0,02	-0,10	0,03	-0,04
LF_2	-0,11	-0,08	-0,15	0,20	-0,13	-0,13	-0,08
HF_1	0,02	0,08	-0,14	0,21	-0,11	-0,17	-0,03
HF_2	-0,05	0,02	-0,19	0,19	-0,05	-0,15	-0,05
HRV_total_1	-0,07	0,00	-0,18	0,06	-0,18	-0,07	-0,10
HRV_total_2	-0,09	-0,09	-0,19	0,15	-0,09	-0,12	-0,10
logLF/HF_1	-0,06	-0,08	-0,03	-0,10	0,04	0,21	-0,00
logLF/HF_2	-0,09	-0,10	0,04	-0,05	-0,04	0,09	-0,03
LF%_1	0,08	0,02	-0,03	0,08	0,15	0,22	0,12
LF%_2	-0,09	-0,06	0,02	0,02	-0,13	-0,07	-0,07
HF%_1	0,12	0,11	0,02	0,16	0,01	-0,15	0,06
HF%_2	0,02	0,08	-0,09	0,04	-0,06	-0,17	-0,05
LFnu_1	-0,05	-0,06	-0,02	-0,09	0,06	0,19	0,01
LFnu_2	-0,09	-0,12	0,04	-0,06	-0,03	0,09	-0,03
HFnu_1	0,05	0,06	0,02	0,09	-0,06	-0,19	-0,01
HFnu_2	0,09	0,12	-0,04	0,06	0,03	-0,09	0,03
NoP_1	-0,05	-0,14	-0,05	-0,04	0,04	-0,00	-0,05
NoP_2	-0,01	-0,04	-0,02	0,00	0,07	0,01	0,00

Analog, Inkompatibel (Testphase)	Markierte Korr. signifikant für p < ,05000 N=121 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,03	0,08	0,08	-0,09	0,02	0,10	0,05
BpM_2	0,01	0,10	0,09	-0,11	0,05	0,10	0,06
SDNN_1	-0,01	-0,06	-0,11	0,06	-0,15	-0,12	-0,09
SDNN_2	0,03	-0,05	-0,08	0,10	-0,14	-0,03	-0,04
rMSSD_1	0,10	-0,06	-0,07	0,15	-0,12	-0,05	-0,02
rMSSD_2	0,16	-0,02	-0,04	0,22	-0,11	0,04	0,06
pNN10_1	0,00	-0,06	-0,03	0,03	-0,10	-0,10	-0,06
pNN10_2	0,03	-0,03	-0,00	0,10	0,01	0,02	0,03
pNN50_1	0,11	-0,07	-0,05	0,17	-0,11	-0,01	0,01
pNN50_2	0,15	-0,00	-0,04	0,24	-0,10	0,04	0,07
LF_1	0,05	0,08	-0,07	0,16	-0,16	-0,04	-0,00
LF_2	0,04	0,01	-0,13	0,10	-0,10	-0,07	-0,04
HF_1	0,09	-0,02	-0,13	0,15	-0,14	-0,06	-0,03
HF_2	0,18	0,02	-0,10	0,22	-0,09	0,04	0,06
HRV_total_1	0,03	0,01	-0,13	0,12	-0,20	-0,07	-0,06
HRV_total_2	0,07	-0,03	-0,14	0,13	-0,10	-0,06	-0,03
logLF/HF_1	-0,01	0,12	0,02	0,00	-0,02	0,03	0,03
logLF/HF_2	-0,11	0,09	0,06	-0,13	0,02	-0,10	-0,04
LF%_1	0,07	0,11	0,01	0,07	0,03	0,04	0,08
LF%_2	-0,10	0,15	0,07	-0,09	-0,02	-0,04	-0,01
HF%_1	0,09	-0,09	-0,03	0,06	-0,01	-0,02	0,00
HF%_2	0,13	-0,03	-0,05	0,13	-0,03	0,12	0,07
LFnu_1	-0,02	0,12	0,03	0,01	-0,01	0,03	0,04
LFnu_2	-0,13	0,09	0,06	-0,13	0,02	-0,10	-0,05
HFnu_1	0,02	-0,12	-0,03	-0,01	0,01	-0,03	-0,04
HFnu_2	0,13	-0,09	-0,06	0,13	-0,02	0,10	0,05
NoP_1	0,01	0,05	0,18	0,11	-0,07	0,08	0,08
NoP_2	0,05	-0,01	0,12	0,06	-0,02	0,11	0,07

Digital, Kompatibel (Testphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,06	-0,01	0,03	-0,18	0,06	0,04	-0,00
BpM_2	0,10	-0,01	0,03	-0,12	0,07	0,03	0,02
SDNN_1	-0,20	-0,12	-0,15	0,07	-0,01	-0,08	-0,11
SDNN_2	-0,07	0,03	-0,03	0,10	-0,04	0,00	0,00
rMSSD_1	-0,04	-0,04	-0,11	0,18	-0,02	-0,05	-0,01
rMSSD_2	-0,01	0,03	-0,09	0,20	-0,03	0,03	0,04
pNN10_1	-0,05	-0,00	-0,08	0,12	0,03	-0,10	-0,01
pNN10_2	-0,03	0,06	-0,07	0,10	0,01	-0,03	0,01
pNN50_1	-0,06	-0,03	-0,14	0,19	-0,05	-0,07	-0,03
pNN50_2	-0,00	0,07	-0,10	0,23	-0,05	0,04	0,05
LF_1	-0,06	-0,00	-0,09	0,13	0,06	-0,01	0,01
LF_2	-0,04	0,04	-0,02	0,18	0,01	0,02	0,05
HF_1	-0,03	0,02	-0,14	0,24	-0,03	-0,03	0,01
HF_2	-0,03	-0,02	-0,16	0,23	0,02	-0,02	0,01
HRV_total_1	-0,14	-0,07	-0,17	0,08	0,00	-0,06	-0,08
HRV_total_2	-0,11	-0,02	-0,09	0,12	-0,01	0,01	-0,02
logLF/HF_1	-0,01	-0,04	0,07	-0,04	0,04	0,05	0,02
logLF/HF_2	-0,03	0,04	0,18	-0,04	0,00	0,08	0,05
LF%_1	0,15	0,12	0,17	0,15	0,10	0,11	0,18
LF%_2	0,12	0,10	0,21	0,14	0,04	0,06	0,15
HF%_1	0,09	0,09	-0,06	0,16	-0,03	-0,04	0,05
HF%_2	0,08	-0,03	-0,17	0,14	0,01	-0,10	-0,01
LFnu_1	-0,02	-0,03	0,10	-0,04	0,05	0,06	0,03
LFnu_2	-0,01	0,05	0,20	-0,04	0,01	0,10	0,07
HFnu_1	0,02	0,03	-0,10	0,04	-0,05	-0,06	-0,03
HFnu_2	0,01	-0,05	-0,20	0,04	-0,01	-0,10	-0,07
NoP_1	-0,12	-0,14	0,01	-0,11	-0,12	-0,08	-0,13
NoP_2	0,04	0,12	0,10	0,03	0,09	0,13	0,11

Digital, Inkompatibel (Testphase)	Markierte Korr. signifikant für p < ,05000 N=121 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,08	0,02	0,02	-0,07	0,06	0,02	0,03
BpM_2	0,06	0,03	0,01	-0,06	0,07	0,03	0,03
SDNN_1	0,02	0,03	0,12	0,09	-0,15	0,01	0,03
SDNN_2	0,06	0,04	0,05	0,13	-0,11	0,04	0,05
rMSSD_1	0,01	-0,01	0,01	0,16	-0,13	-0,06	-0,00
rMSSD_2	0,04	-0,03	-0,03	0,15	-0,13	-0,05	-0,01
pNN10_1	-0,09	-0,10	-0,08	-0,01	-0,09	-0,09	-0,10
pNN10_2	-0,06	-0,05	-0,03	0,01	-0,09	-0,09	-0,07
pNN50_1	-0,01	-0,00	-0,01	0,15	-0,12	-0,06	-0,01
pNN50_2	0,01	-0,01	-0,05	0,14	-0,13	-0,02	-0,01
LF_1	0,13	0,18	0,19	0,25	-0,05	0,05	0,17
LF_2	0,15	-0,03	0,10	0,11	-0,09	0,02	0,06
HF_1	0,11	0,00	-0,02	0,20	-0,13	-0,10	0,02
HF_2	0,09	-0,04	-0,04	0,16	-0,16	-0,10	-0,02
HRV_total_1	0,01	0,18	0,16	0,20	-0,08	0,05	0,11
HRV_total_2	0,10	-0,06	0,04	0,09	-0,13	-0,01	0,01
logLF/HF_1	0,11	0,16	0,28	0,04	0,12	0,19	0,20
logLF/HF_2	0,04	0,08	0,22	-0,07	0,04	0,22	0,12
LF%_1	0,23	0,12	0,18	0,12	0,09	0,11	0,19
LF%_2	0,14	0,13	0,23	0,06	0,01	0,20	0,17
HF%_1	-0,08	-0,14	-0,24	-0,01	-0,14	-0,23	-0,19
HF%_2	-0,02	-0,06	-0,21	0,10	-0,06	-0,22	-0,10
LFnu_1	0,13	0,19	0,29	0,05	0,14	0,21	0,23
LFnu_2	0,06	0,08	0,23	-0,06	0,03	0,22	0,12
HFnu_1	-0,14	-0,19	-0,29	-0,05	-0,14	-0,21	-0,23
HFnu_2	-0,06	-0,08	-0,23	0,06	-0,03	-0,22	-0,12
NoP_1	0,08	0,04	0,10	0,08	-0,06	0,07	0,07
NoP_2	0,14	0,13	0,18	0,13	0,03	0,20	0,18

Silben, Kompatibel (Testphase)	Markierte Korr. signifikant für p < ,05000 N=121 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,07	0,02	0,06	-0,16	0,07	0,16	0,04
Mean_BpM_2	0,05	0,05	0,03	-0,17	0,06	0,12	0,03
SDNN_1	-0,05	-0,02	-0,02	0,16	-0,11	-0,07	-0,02
SDNN_2	-0,06	0,02	0,03	0,15	-0,09	-0,08	-0,00
rMSSD_1	-0,06	-0,02	-0,08	0,23	-0,13	-0,16	-0,05
rMSSD_2	-0,03	-0,05	-0,00	0,22	-0,05	-0,04	0,01
pNN10_1	-0,05	-0,03	-0,09	0,15	-0,09	-0,21	-0,07
pNN10_2	0,01	0,01	0,01	0,15	0,01	-0,08	0,03
pNN50_1	-0,03	-0,04	-0,07	0,22	-0,12	-0,16	-0,04
pNN50_2	-0,02	-0,07	-0,07	0,18	-0,14	-0,14	-0,05
LF_1	-0,08	0,12	0,08	0,19	-0,11	-0,07	0,03
LF_2	-0,01	0,03	0,06	0,13	-0,05	-0,05	0,03
HF_1	-0,13	-0,07	-0,08	0,17	-0,19	-0,17	-0,10
HF_2	-0,00	0,01	-0,05	0,17	-0,13	-0,12	-0,03
HRV_total_1	-0,07	0,06	0,02	0,20	-0,17	-0,08	-0,01
HRV_total_2	-0,02	0,02	0,02	0,14	-0,11	-0,10	-0,01
logLF/HF_1	0,03	0,15	0,14	0,06	0,09	0,18	0,14
logLF/HF_2	-0,02	0,05	0,13	-0,04	0,12	0,15	0,09
LF%_1	0,00	0,17	0,14	0,02	0,09	0,07	0,10
LF%_2	0,02	0,12	0,16	0,03	0,09	0,10	0,11
HF%_1	-0,04	-0,14	-0,10	-0,09	-0,07	-0,18	-0,14
HF%_2	0,04	-0,04	-0,10	0,05	-0,13	-0,13	-0,07
LFnu_1	0,04	0,17	0,16	0,07	0,09	0,18	0,16
LFnu_2	-0,02	0,06	0,13	-0,04	0,12	0,15	0,09
HFnu_1	-0,04	-0,17	-0,16	-0,07	-0,09	-0,18	-0,16
HFnu_2	0,02	-0,06	-0,13	0,04	-0,12	-0,15	-0,09
NoP_2	0,10	-0,03	0,15	0,04	-0,02	0,07	0,07
NoP_1	-0,09	0,01	0,09	-0,10	-0,12	0,00	-0,05

Silben, Inkompatibel (Testphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=121 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,03	0,08	0,01	-0,07	0,05	0,05	0,03
BpM_2	0,03	0,07	0,03	-0,10	0,02	0,06	0,02
SDNN_1	-0,02	-0,13	-0,01	0,09	-0,08	-0,03	-0,04
SDNN_2	0,03	-0,04	-0,01	0,13	-0,12	-0,03	-0,00
rMSSD_1	-0,00	-0,08	-0,04	0,19	-0,15	-0,05	-0,03
rMSSD_2	0,02	-0,02	-0,01	0,22	-0,09	-0,03	0,02
pNN10_1	-0,09	-0,13	-0,11	0,01	-0,22	-0,18	-0,16
pNN10_2	-0,09	-0,02	-0,05	0,05	-0,11	-0,12	-0,08
pNN50_1	-0,01	-0,08	-0,08	0,16	-0,15	-0,10	-0,06
pNN50_2	0,01	-0,06	-0,05	0,17	-0,08	-0,06	-0,01
LF_1	0,06	-0,07	0,07	0,14	-0,01	-0,03	0,04
LF_2	0,05	-0,04	-0,03	0,18	-0,01	-0,05	0,03
HF_1	-0,00	-0,08	-0,07	0,19	-0,10	-0,11	-0,04
HF_2	0,02	-0,10	-0,12	0,19	-0,10	-0,14	-0,05
HRV_total_1	0,04	-0,08	0,04	0,12	-0,05	-0,04	0,01
HRV_total_2	0,04	-0,05	-0,04	0,19	-0,03	-0,06	0,01
logLF/HF_1	0,03	0,03	0,15	-0,10	0,09	0,16	0,08
logLF/HF_2	0,04	0,07	0,14	0,00	0,16	0,21	0,14
LF%_1	0,07	-0,01	0,05	-0,03	0,03	0,00	0,03
LF%_2	0,04	0,06	0,10	-0,01	0,08	0,15	0,10
HF%_1	-0,03	-0,04	-0,16	0,10	-0,11	-0,21	-0,11
HF%_2	-0,01	-0,07	-0,15	0,04	-0,17	-0,22	-0,13
LFnu_1	0,04	0,03	0,16	-0,09	0,10	0,17	0,09
LFnu_2	0,03	0,08	0,15	-0,01	0,16	0,21	0,14
HFnu_1	-0,04	-0,03	-0,16	0,09	-0,10	-0,17	-0,09
HFnu_2	-0,03	-0,08	-0,15	0,01	-0,16	-0,21	-0,14
NoP_1	0,16	0,08	0,13	0,09	0,05	0,08	0,13
NoP_2	0,05	0,05	0,03	0,03	-0,06	0,10	0,05

17.4.2 Lernphase

Analog, Kompatibel, 1. Minute (Lernphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=123 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,03	0,00	0,11	-0,16	0,16	0,12	0,06
SDNN_1	-0,01	-0,01	-0,12	0,10	-0,20	-0,10	-0,08
rMSSD_1	-0,02	0,02	-0,12	0,21	-0,15	-0,15	-0,05
pNN10_1	0,02	0,04	-0,15	0,07	-0,20	-0,23	-0,11
pNN50_1	-0,02	0,04	-0,14	0,18	-0,14	-0,13	-0,05
LF_1	-0,05	-0,05	-0,07	0,08	-0,22	-0,10	-0,09
HF_1	-0,06	-0,03	-0,14	0,17	-0,16	-0,17	-0,09
HRV_total_1	-0,10	-0,04	-0,11	0,07	-0,18	-0,15	-0,11
logLF/HF_1	-0,02	-0,08	0,05	-0,04	-0,03	0,12	0,00
LF%_1	0,05	0,01	0,06	-0,05	-0,03	0,07	0,02
HF%_1	0,03	0,09	-0,03	-0,00	-0,04	-0,14	-0,03
LFnu_1	0,00	-0,06	0,07	-0,02	0,00	0,13	0,03
HFnu_1	-0,00	0,06	-0,07	0,02	-0,00	-0,13	-0,03
NoP_1	0,08	0,01	0,10	-0,07	0,03	0,07	0,05

Analog, Inkompatibel, 1. Minute (Lernphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=121 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	-0,04	-0,01	0,01	-0,16	-0,01	0,07	-0,03
SDNN_1	-0,00	-0,02	0,01	0,09	-0,19	-0,07	-0,04
rMSSD_1	0,06	0,00	-0,01	0,17	-0,11	-0,02	0,02
pNN10_1	0,03	0,04	0,07	0,11	-0,08	-0,04	0,03
pNN50_1	0,05	0,03	0,01	0,19	-0,12	-0,02	0,03
LF_1	0,05	-0,01	-0,05	0,11	-0,09	-0,04	-0,01
HF_1	0,09	-0,06	-0,12	0,18	-0,10	-0,04	-0,01
HRV_total_1	0,01	-0,06	-0,08	0,10	-0,15	-0,12	-0,07
logLF/HF_1	-0,02	0,06	0,05	-0,10	0,00	0,00	-0,00
LF%_1	0,11	0,14	0,00	0,03	0,09	0,13	0,12
HF%_1	0,08	-0,01	-0,05	0,12	0,11	0,11	0,09
LFnu_1	-0,01	0,09	0,06	-0,09	-0,01	-0,00	0,01
HFnu_1	0,01	-0,09	-0,06	0,09	0,01	0,00	-0,01
NoP_1	0,04	-0,02	0,21	0,05	-0,10	0,02	0,05

Analog, Inkompatibel, 2. Minute (Lernphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=74 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_2	-0,07	0,15	0,07	-0,13	-0,01	0,08	0,03
SDNN_2	-0,01	-0,05	0,00	0,06	-0,15	0,03	-0,03
rMSSD_2	0,18	-0,10	0,03	0,21	-0,15	-0,01	0,03
pNN10_2	0,12	-0,12	0,02	0,13	-0,13	-0,06	-0,01
pNN50_2	0,18	-0,10	0,02	0,23	-0,15	0,03	0,05
LF_2	0,08	0,03	0,15	0,00	-0,01	0,09	0,08
HF_2	0,09	-0,04	0,00	0,14	-0,15	0,02	0,01
HRV total_2	-0,03	0,01	0,10	0,09	-0,00	0,15	0,08
logLF/HF_2	-0,06	0,03	0,05	-0,08	0,13	0,01	0,03
LF%_2	0,14	0,11	0,16	-0,08	0,03	-0,11	0,06
HF%_2	0,10	0,00	-0,04	0,01	-0,20	-0,11	-0,07
LFnu_2	-0,04	0,04	0,11	-0,10	0,14	0,01	0,04
HFnu_2	0,04	-0,04	-0,11	0,10	-0,14	-0,01	-0,04
NoP_2	0,01	-0,11	0,03	0,06	-0,08	0,08	-0,00

Analog, Inkompatibel 5. Minute (Lernphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=22 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_5	0,00	-0,04	-0,25	-0,12	0,00	0,05	-0,14
SDNN_5	0,20	-0,13	0,13	-0,01	-0,05	0,34	0,13
rMSSD_5	0,20	0,00	0,24	0,11	-0,24	0,23	0,16
pNN10_5	0,04	0,07	0,21	0,04	-0,10	0,14	0,14
pNN50_5	0,12	-0,11	0,28	0,14	-0,33	0,13	0,06
LF_5	0,07	-0,04	0,02	-0,30	0,16	0,32	0,06
HF_5	0,19	0,03	0,32	0,03	-0,14	0,25	0,22
HRV_total_5	-0,02	-0,13	0,01	-0,35	0,14	0,44	0,01
logLF/HF_5	0,03	-0,14	0,27	-0,33	-0,09	-0,13	-0,11
LF%_5	0,21	0,13	0,05	-0,02	0,07	0,08	0,16
HF%_5	0,06	0,10	0,21	0,17	-0,39	-0,23	-0,02
LFnu_5	-0,02	-0,06	-0,14	-0,16	0,34	0,24	0,05
HFnu_5	0,02	0,06	0,14	0,16	-0,34	-0,24	-0,05
NoP_5	0,40	-0,04	0,32	0,02	-0,15	0,22	0,23

Digital, Kompatibel, 1. Minute (Lernphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=121 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,12	0,04	0,03	-0,10	0,12	0,07	0,06
SDNN_1	-0,12	0,00	-0,04	0,11	-0,09	-0,02	-0,03
rMSSD_1	-0,06	-0,02	-0,08	0,17	-0,08	-0,05	-0,02
pNN10_1	-0,16	-0,07	-0,11	0,06	-0,14	-0,15	-0,12
pNN50_1	-0,07	-0,03	-0,11	0,16	-0,10	-0,05	-0,04
LF_1	-0,04	0,08	0,09	0,09	-0,00	0,03	0,06
HF_1	-0,06	0,01	-0,12	0,22	-0,11	-0,07	-0,02
HRV_total_1	-0,09	0,02	-0,00	0,05	-0,03	0,03	-0,00
logLF/HF_1	0,04	0,04	0,23	-0,03	0,06	0,11	0,10
LF%_1	0,06	0,11	0,16	0,08	0,07	0,08	0,13
HF%_1	-0,06	-0,06	-0,23	0,05	-0,09	-0,13	-0,12
LFnu_1	0,06	0,08	0,22	-0,02	0,07	0,11	0,11
HFnu_1	-0,06	-0,08	-0,22	0,02	-0,07	-0,11	-0,11
NoP_1	-0,08	-0,05	0,02	0,02	-0,15	-0,05	-0,06

Digital, Inkompatibel 1. Minute (Lernphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=29 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,11	0,19	0,22	-0,21	0,12	0,13	0,13
SDNN_1	-0,18	-0,13	-0,10	-0,00	-0,35	-0,27	-0,24
rMSSD_1	-0,07	-0,27	-0,13	0,22	-0,30	-0,44	-0,23
pNN10_1	-0,16	-0,34	-0,19	0,15	-0,27	-0,33	-0,26
pNN50_1	-0,06	-0,21	-0,14	0,23	-0,26	-0,40	-0,19
LF_1	-0,21	-0,28	-0,16	0,01	-0,16	-0,04	-0,20
HF_1	-0,11	-0,15	-0,18	0,16	-0,31	-0,34	-0,22
HRV_total_1	-0,09	-0,23	-0,24	0,13	-0,28	-0,16	-0,21
logLF/HF_1	0,02	0,08	0,09	-0,08	0,13	0,32	0,13
LF%_1	-0,22	-0,07	0,02	-0,20	0,01	0,16	-0,07
HF%_1	-0,10	-0,11	-0,05	-0,01	-0,04	-0,22	-0,12
LFnu_1	0,02	0,10	0,11	-0,08	0,07	0,27	0,11
HFnu_1	-0,12	-0,10	-0,17	0,09	-0,09	-0,40	-0,18
NoP_1	0,28	0,19	0,28	0,23	-0,07	0,20	0,26

Digital, Inkompatibel, 2. Minute (Lernphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=8 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_2	0,61	0,27	0,42	0,39	0,18	0,34	0,52
SDNN_2	-0,63	-0,38	-0,22	-0,19	-0,16	-0,01	-0,35
rMSSD_2	-0,61	-0,51	-0,50	-0,15	-0,22	-0,43	-0,59
pNN10_2	-0,58	-0,69	-0,63	0,02	-0,16	-0,39	-0,57
pNN50_2	-0,52	-0,38	-0,40	-0,19	-0,20	-0,46	-0,53
LF_2	-0,18	-0,12	0,14	0,07	0,43	0,58	0,31
HF_2	-0,47	-0,13	-0,13	-0,20	-0,47	-0,39	-0,47
HRV total_2	-0,32	-0,18	0,07	-0,01	0,32	0,46	0,16
logLF/HF_2	0,42	0,17	0,44	0,28	0,58	0,71	0,69
LF%_2	0,41	0,06	0,34	0,35	0,39	0,44	0,51
HF%_2	-0,59	-0,22	-0,43	-0,40	-0,66	-0,66	-0,76
LFnu_2	0,57	0,26	0,50	0,38	0,57	0,65	0,75
HFnu_2	0,01	0,11	-0,04	0,02	-0,10	-0,07	-0,03
NoP_2	-0,54	-0,33	-0,02	-0,03	-0,27	0,19	-0,21

Silben, Kompatibel, 1. Minute (Lernphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=121 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,01	-0,08	-0,07	-0,21	0,00	0,01	-0,07
SDNN_1	-0,15	-0,04	-0,10	0,16	-0,20	-0,20	-0,12
rMSSD_1	-0,03	-0,01	0,00	0,26	-0,10	-0,09	0,01
pNN10_1	-0,02	-0,04	-0,03	0,16	-0,07	-0,13	-0,03
pNN50_1	-0,02	0,04	-0,00	0,23	-0,12	-0,09	0,01
LF_1	-0,14	-0,06	-0,13	0,12	-0,21	-0,23	-0,14
HF_1	-0,09	-0,02	-0,09	0,20	-0,25	-0,22	-0,10
HRV_total_1	-0,12	-0,02	-0,05	0,21	-0,20	-0,21	-0,09
logLF/HF_1	-0,09	-0,15	-0,05	-0,08	-0,05	-0,03	-0,10
LF%_1	-0,12	-0,14	-0,20	-0,13	-0,12	-0,14	-0,19
HF%_1	0,06	0,10	-0,03	0,02	-0,05	-0,03	0,01
LFnu_1	-0,10	-0,17	-0,07	-0,09	-0,04	-0,04	-0,11
HFnu_1	0,10	0,17	0,07	0,09	0,04	0,04	0,11
NoP_1	-0,11	-0,03	0,00	-0,06	-0,10	-0,07	-0,08

Silben, Inkompatibel, 1. Minute (Lernphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=120 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhafte Leistung	Frustration	Summe
BpM_1	0,01	0,05	-0,06	-0,07	-0,05	0,01	-0,03
SDNN_1	0,02	-0,04	0,08	0,13	-0,07	-0,01	0,03
rMSSD_1	0,01	-0,08	0,01	0,17	-0,06	-0,05	0,00
pNN10_1	-0,11	-0,07	-0,03	0,05	-0,08	-0,06	-0,07
pNN50_1	-0,03	-0,07	-0,00	0,15	-0,05	-0,06	-0,01
LF_1	0,10	-0,05	0,10	0,17	-0,04	-0,05	0,06
HF_1	-0,02	-0,07	-0,07	0,15	-0,02	-0,08	-0,02
HRV_total_1	0,02	-0,10	0,00	0,12	-0,06	-0,09	-0,02
logLF/HF_1	0,20	0,08	0,23	0,06	0,00	0,12	0,16
LF%_1	0,21	0,09	0,22	0,14	0,02	0,09	0,18
HF%_1	-0,11	-0,06	-0,18	-0,05	-0,03	-0,13	-0,13
LFnu_1	0,16	0,08	0,22	0,06	0,01	0,12	0,15
HFnu_1	-0,16	-0,08	-0,22	-0,06	-0,01	-0,12	-0,15
NoP_1	0,11	0,09	0,04	0,03	-0,11	-0,03	0,03

Silben, Inkompatibel 2. Minute (Lernphase)	Markierte Korr. signifikant für $p < ,05000$ N=43 (Fallweiser Ausschluss von MD)						
	Geistige Anforderung	Körperliche Anforderung	Zeitdruck	Anstrengung	Fehlerhaft Leistung	Frustration	Summe
BpM_2	0,08	0,09	0,11	0,10	0,05	-0,01	0,09
SDNN_2	-0,08	-0,00	0,04	0,15	-0,08	-0,03	0,00
rMSSD_2	-0,14	-0,15	-0,10	0,03	-0,18	-0,10	-0,14
pNN10_2	-0,07	-0,08	-0,06	0,03	-0,12	-0,07	-0,08
pNN50_2	-0,15	-0,17	-0,13	-0,02	-0,12	-0,13	-0,16
LF_2	0,04	-0,06	0,14	0,14	-0,02	-0,09	0,04
HF_2	-0,26	-0,20	-0,23	-0,11	-0,12	-0,11	-0,23
HRV total_2	-0,00	-0,06	0,08	0,13	-0,00	-0,07	0,01
logLF/HF_2	0,38	0,20	0,40	0,35	0,15	0,13	0,35
LF%_2	0,18	0,12	0,30	0,13	0,12	0,13	0,22
HF%_2	-0,44	-0,27	-0,37	-0,39	-0,17	-0,13	-0,38
LFnu_2	0,37	0,23	0,38	0,33	0,15	0,17	0,36
HFnu_2	-0,37	-0,23	-0,39	-0,33	-0,15	-0,17	-0,36
NoP_2	0,19	0,22	0,07	0,32	0,03	-0,01	0,18

18 Ergebnisse der multivariaten Statistik

<i>Effekt</i>	<i>Wert</i>	<i>F</i>	<i>df</i>	<i>df (Fehler)</i>	<i>p</i>
<i>Visuelles Suchen</i>					
Konstante	0,275	19,795	14	105	0,000
Bedingung					
<i>Pfeil</i>					
Konstante	0,013	580,000	14	106	0,000
Bedingung	0,000	4788200,000	42	78	0,000
<i>Liste</i>					
Konstante	0,006	1213,402	14	106	0,000
Bedingung	0,004	2045,740	14	106	0,000
<i>Kreuz (Testphasen)</i>					
Konstante	0,290	18,529	14	106	0,000
Bedingung					

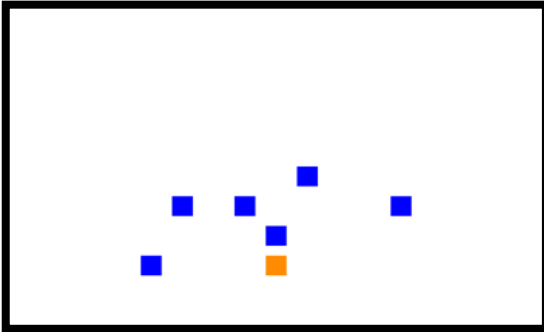
19 Das Computerprogramm

19.1 Graphische Beschreibung der Tasks

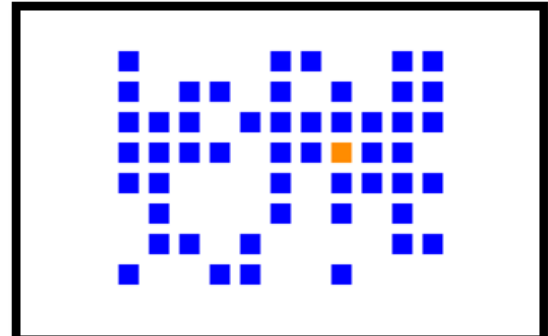
19.1.1 Visuelles Suchen

Anzahl der Distraktoren: 06

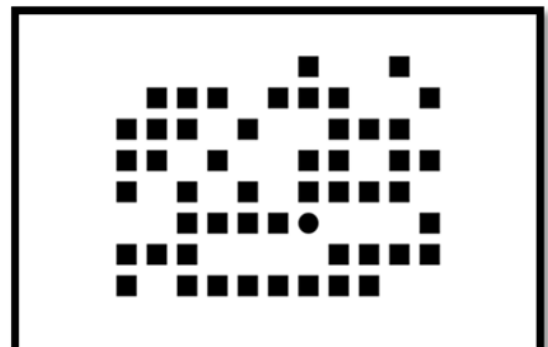
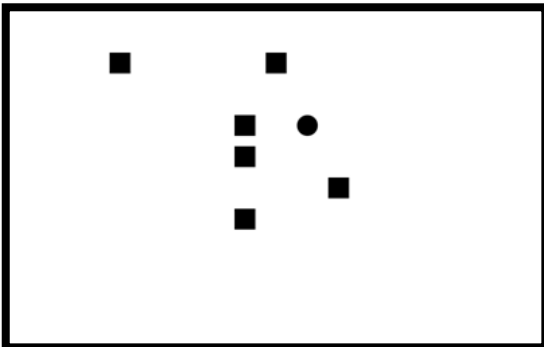
Oranges Quadrat vs. blaues Quadrat



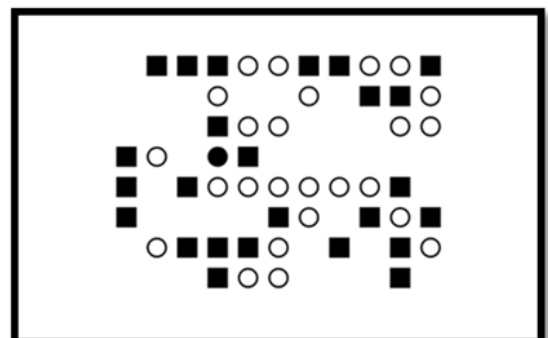
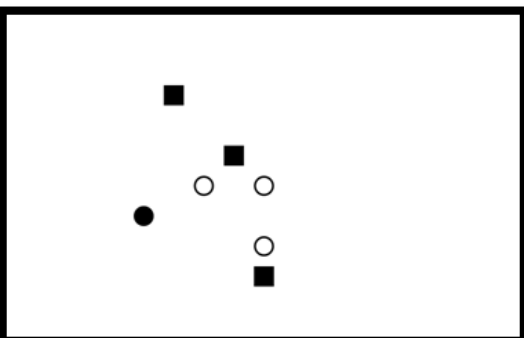
Anzahl der Distraktoren: 50



Schwarzer Kreis vs. schwarzes Quadrat



*Schwarzer Kreis vs. schwarzes Quadrat
und weißer Kreis*



T vs. O und G

A diagram showing the arrangement of atoms in a crystal lattice. The atoms are represented by letters: G, O, and T. The arrangement is as follows: G is at the top left, O is at the top center, T is at the top right, G is in the middle left, G is in the middle center, O is in the middle right, G is at the bottom left, and O is at the bottom right.

```

      G      O O O
        G O O O G O
    O O O G      G      O      O
  O G O G G O O O      O O
  G      O G      O G      G
  G      G      G G      G
  O O T G O G      G G G
  G      G O      G

```

T vs. I und Y

I Y T Y Y Y
 I I Y Y
 Y Y Y I Y I
 Y I Y I I I I
 I Y I I I Y
 I I I Y Y Y Y I
 Y Y I I Y I I Y I
 Y Y I I Y

T vs. I und Z

```

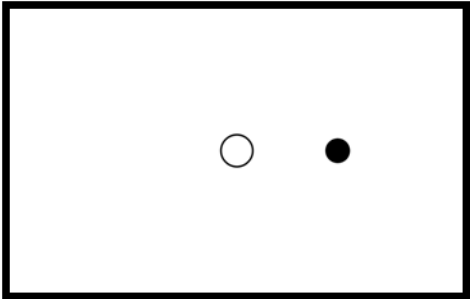
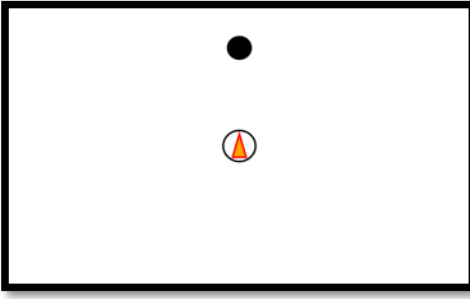
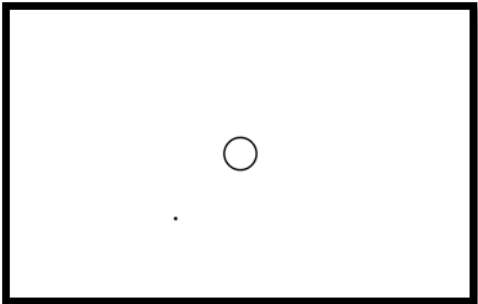
      Z |      | |      |
Z |      Z      |      |
  |      |      Z Z Z      | Z
Z      Z |      Z Z | |
  Z | Z |      Z Z |
Z |      | Z Z      Z Z Z
  |      Z      T Z      | |
      | Z Z      | | |

```

19.1.2 Liste

<u>Eng</u>	<u>Weit</u>
18	60
46	50
59	67
5	83
47	54
12	88
15	81
21	0
7	26
62	17
42	79
39	64
39	79
20	8
4	2
36	98
26	15
16	79
25	72
35	32
37	12
93	2
81	26
98	1
11	35

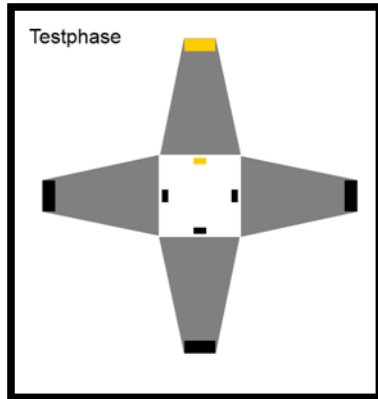
19.1.3 Pfeil

<u>Ohne Antizipation</u>	<u>Mit Antizipation</u>
<i>Großes Ziel</i> 	
<i>Kleines Ziel</i> 	

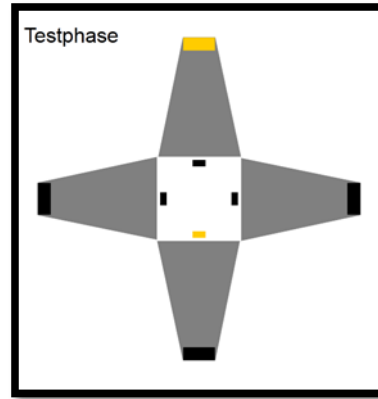
19.1.4 Kreuz

Kompatibel

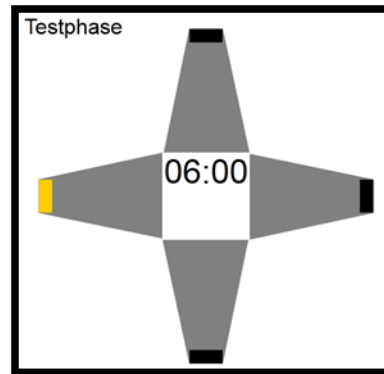
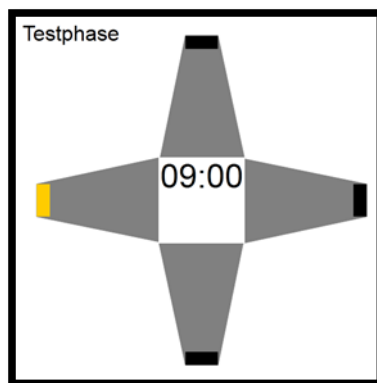
Analog



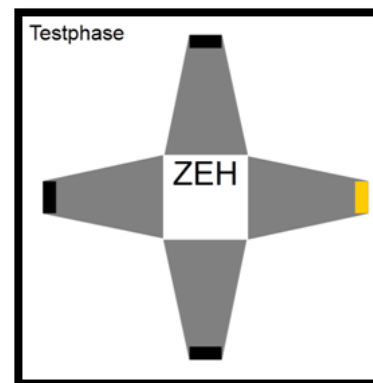
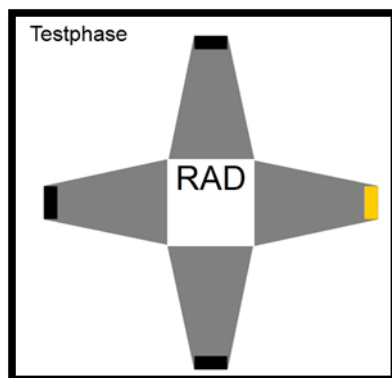
Inkompatibel



Digital



Silben



19.2 Instruktionen im Computerprogramm

19.2.1 *Einleitung*

Liebe Teilnehmerinnen, liebe Teilnehmer!

Im folgenden werden Aufgaben zur Mensch-Computer-Interaktion gegeben.

Die Teilnahme ist nicht anonym, aber selbstverständlich werden die Daten vertraulich behandelt. Ihr Code dient lediglich zur Zusammenführung verschiedener Datensätze.

Das Programm wird Sie durch die Testung führen. Bei Fragen wenden Sie sich bitte an Ihre Testleiterin oder Ihren Testleiter.

Wir danken für Ihre Mitarbeit!

Klicken Sie auf den Weiter-Button um fortzufahren.

19.2.2 *Visuelles Suchen*

Suchbilder

Suchen Sie das Ziel so schnell wie möglich!

Ihre Aufgabe ist es, das gesuchte Objekt so schnell wie möglich anzuklicken.

Bei einem korrekten Klick ändert das Ziel seine Farbe. Ein falsches Objekt wird sich beim Klick nicht farblich verändern. In diesem Fall suchen Sie bitte weiter nach dem echten Ziel.

Die Zeit ist auf wenige Sekunden begrenzt. Arbeiten Sie so schnell und korrekt wie möglich!

19.2.3 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!

19.2.4 Pfeil

Reaktionstest

Klicken Sie so schnell wie möglich auf den schwarz ausgefüllten Zielpunkt.

Manchmal wird die Richtung des Zielpunktes durch einen Pfeil in der Bildschirmmitte angekündigt werden.

ACHTUNG: Die Maus wird IMMER in die Mitte gesetzt, bevor der Zielpunkt erscheint!

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

19.2.5 Kreuz

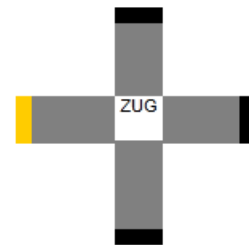
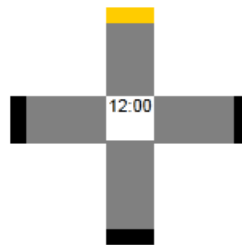
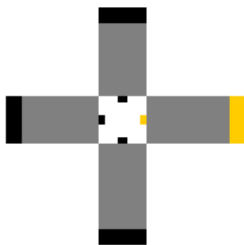
Richtungstest

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!



19.3 Permutation der Tasks und ihren Bedingungen

VERSION		1. TASK: KREUZ					2. TASK: VISU		3. TASK: HERD				4. TASK: LIS-TE		5. TASK: PFEIL			
01	AN_K	AN_IK	DI_K	DI_IK	SI_K	SI_IK	Leicht	Schwer	Eng	Weit	Gut	Abw.	Eng	Weit	L_OA	L_MA	S_OA	S_MA
VORG.NR.	1		2		3		1	2	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4
02	AN_K	AN_IK	DI_K	DI_IK	SI_K	SI_IK	Leicht	Schwer	Eng	Weit	Gut	Abw.	Eng	Weit	L_OA	L_MA	S_OA	S_MA
VORG.NR.	1		2		3		2	1	2	1	3	4	2	1	2	1	4	3
03	AN_K	AN_IK	DI_K	DI_IK	SI_K	SI_IK	Leicht	Schwer	Eng	Weit	Gut	Abw.	Eng	Weit	L_OA	L_MA	S_OA	S_MA
VORG.NR.	1		3		2		1	2	2	3	1	4	1	2	3	4	1	2
04	AN_K	AN_IK	DI_K	DI_IK	SI_K	SI_IK	Leicht	Schwer	Eng	Weit	Gut	Abw.	Eng	Weit	L_OA	L_MA	S_OA	S_MA
VORG.NR.	3		1		2		2	1	3	2	1	4	2	1	4	3	2	1

VERSION	1. TASK: VISU			2. TASK: HERD			3. TASK: LISTE			4. TASK: PFEIL				5. TASK: KREUZ				
05	Leicht	Schwer	Eng	Weit	Gut	Abw.	Eng	Weit	L_OA	L_MA	S_OA	S_MA	AN_K	AN_IK	DI_K	DI_IK	SI_K	SI_IK
VORG.NR.	1	2	1	2	3	4	1	2	1	2	3	4	2		1		3	
06	Leicht	Schwer	Eng	Weit	Gut	Abw.	Eng	Weit	L_OA	L_MA	S_OA	S_MA	AN_K	AN_IK	DI_K	DI_IK	SI_K	SI_IK
VORG.NR.	2	1	2	1	3	4	2	1	2	1	4	3	2		3		1	
07	Leicht	Schwer	Eng	Weit	Gut	Abw.	Eng	Weit	L_OA	L_MA	S_OA	S_MA	AN_K	AN_IK	DI_K	DI_IK	SI_K	SI_IK
VORG.NR.	1	2	2	3	1	4	1	2	3	4	1	2	3		2		1	
08	Leicht	Schwer	Eng	Weit	Gut	Abw.	Eng	Weit	L_OA	L_MA	S_OA	S_MA	AN_K	AN_IK	DI_K	DI_IK	SI_K	SI_IK
VORG.NR.	2	1	3	2	1	4	2	1	4	3	2	1	3		2		1	

VERSION: Insgesamt wurden 8 Programmversionen vorgegeben, welche sich in der Reihenfolge der einzelnen Tasks und der Bedingungen innerhalb der Tasks (Vorgabenummer der Bedingungen) unterscheiden.

VORG.NR. = Vorgabenummer: Gibt an, an welcher Stelle im Programmverlauf die einzelne Bedingung innerhalb eines Tasks bearbeitet werden musste.

VISUELLES SUCHEN: Leicht: SK vs. SQ, OQ vs. BQ und T vs. OG; Schwer: T vs. IY, T vs. IZ, SK vs. WK, SQ

20 Der Fragebogen zur Erhebung der soziodemographischen Daten

HCI STUDIE

Erster Buchstabe des Nachnamens	Erster Buchstabe des Vornamens	Matrikelnummer

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

Geschlecht	☐ männlich ☐ weiblich
Alter: _____ Jahre _____ Monate	
Was ist Ihre dominante Hand?	☐ rechte Hand ☐ linke Hand
Benötigen Sie eine Sehhilfe (Brille, Kontaktlinsen)?	☐ 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.) ☐ Doktor
Momentaner Familienstand	☐ Single ☐ In einer Beziehung ☐ Verheiratet ☐ Geschieden ☐ Verwitwet ☐ Sonstiges

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 Morgen (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 Symptome folgender Art?

- ☐ Kopfschmerzen
- ☐ Bauchschmerzen
- ☐ Gliederschmerzen
- ☐ Rückenschmerzen
- ☐ Zahnschmerzen
- ☐ tränende Augen
- ☐ trockene Augen
- ☐ laufende Nase
- ☐ verstopfte Nase

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Diplomarbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Ich versichere, dass ich keine andere, als die angegebene Literatur benutzt habe und jene Wörter oder Stellen, die dem Sinn nach oder direkt und indirekt auf diesen benutzten Quellen beruhen, als solche kenntlich gemacht zu haben.

Curriculum Vitae

Hannah Eberle

Email: HannahEberle@googlemail.com

Persönliche Information

Geboren: 03.08.1985 in Mühlacker

Familienstand: ledig

Staatsangehörigkeit: **Deutsch**

Ausbildung

2009 - 2013

Regelmäßige Mitbelegung an **der medizinischen Universität Wien**

Seit Okt. 2007

Studium der **Psychologie** an der Hauptuniversität Wien

22.06.2005

Abitur

2002-2005

Theodor-Heuss-Gymnasium Mühlacker

1996-2002

Progymnasium Maulbronn

1992-1996

Grund-und-Hauptschule Maulbronn

Sprachkenntnisse

Englisch in Wort und Schrift fließend

Spanisch in Wort und Schrift

Berufserfahrung und Praktika

Seit Mai 2012

Sozialpädagogische **Einrichtung St. Benedikt**, ein Wohnheim für Kinder mit Behinderung.

Seit Dez. 2009

Freizeitassistent in der **WG Kondor**, einer Wohneinrichtung der Caritas für junge Erwachsene mit Behinderung.

Nov. 2008-
Sept. 2009

Betreuerin in der **WG Kondor**

2008-2011

Mitglied bei **achtung°liebe**, einer Unterorganisation der Austrian Medical Students' Associa-

	tion, zur Sexualaufklärung in Schulen, im Raum Wien und Umgebung.
Sept. 2011- Dez. 2011	Psychologisches Praktikum in der Ambulanz für Strahlentherapie im Allgemeinen Krankenhaus Wien.
Apr. 2007- Juni 2007	Voluntariat im Holy Cross Centre Trust , einer Tagesstätte für psychisch kranke Menschen und AsylwerberInnen in London.
Jan. 2007- März 2007	Praktikum in der reintegrativen Einrichtung Thomas-Breit-Zentrum , in Augsburg.
Okt. 2006- Dez. 2006	Praktikum im Seniorenheim Haus Tabor , in Maulbronn.
Sept. 2005- März 2006	Voluntariat als Lehrassistentin im Projekt Camino Seguro in Guatemala.
Juli 2005- Aug. 2005	Pflegehilfskraft im Seniorenheim Haus Tabor in Maulbronn.