

Zbl Arbeitsmed 2020 · 70:99–108
<https://doi.org/10.1007/s40664-019-00374-6>
 Online publiziert: 23. Oktober 2019
 © Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von
 Springer Nature 2019



Annegret Dorn · Annemarie Minow · Sabine Darius · Irina Böckelmann

Medizinische Fakultät, Bereich Arbeitsmedizin, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg, Deutschland

Auswirkungen von Aufmerksamkeitstests unterschiedlicher kognitiver Anforderungen auf die Auslenkung der HRV-Parameter

Der menschliche Organismus nutzt eine Vielzahl von ineinandergreifenden Regulationsmechanismen und -systemen, die bei bestimmten Belastungssituationen aktiviert werden können. Neben autonomen Regulationen, wie z. B. der Temperatur und Sauerstoffversorgung, sind besonders Regulationen der kognitiven Fähigkeiten individuell unterschiedlich und altersabhängig. Während Kinder in der Schule ihre Aufmerksamkeit oft nicht auf länger andauernde Prozesse (z. B. Unterrichtsstunde) ungeteilt richten können, so können Erwachsene meist stundenlang (z. B. bei der Bearbeitung einer Arbeitsaufgabe) hochkonzentriert verharren. Weiter ist spannend zu beobachten, wie selektiv die Aufmerksamkeit auf bestimmte Aspekte gerichtet werden kann – zu nennen ist an dieser Stelle das Phänomen der *Blindheit durch Nichtaufmerksamkeit* [19]. Jeder, der sich noch an seine Autofahrerfänge erinnern kann, hat mit Sicherheit eine Flut an Eindrücken und Schildern vor Augen. An diesen Einflüssen hat sich heute nichts verändert, nur man selbst hat mit der Zeit erlernt, unbewusst alle akustischen und visuellen Reize und Ablenkungen zu selektieren und zu filtern und somit seine Aufmerksamkeit nur auf herausragende Ereignisse zu richten. Solche und ähnliche Beispiele lassen sich

in allen Lebensbereichen finden. Für die Forschung von Interesse ist, ob und wie verschiedene Anforderungen bei Aufmerksamkeitstests mit Veränderungen physiologischer Beanspruchungsreaktionen einhergehen.

Hintergrund und Fragestellung

Haider [10] beschrieb in seinem Modell der Aktivierungsvorgänge [1] bereits verschiedene Aktivierungsstufen des Körpers, welche durch physiologische Anpassungsreaktionen ermöglicht werden:

- Schlaf-Wach-Regulierung,
- generelle, tonische Aktivierung und Desaktivierung,
- lokalisierte, phasische Aktivierung und Desaktivierung und
- differenzielle, selektive Aktivierung und Desaktivierung.

Während unter Ruhebedingungen die Regulationssysteme des Körpers überwiegend *Kontrollfunktionen* ausführen, so leiten diese bei Beanspruchung sog. Steuerungsprozesse ein und führen zur gewünschten Aktivierung des Organismus. Viele Forschungsansätze basieren auf dem Belastungs-Beanspruchungs-

Tab. 1 Darstellung der deskriptiven Ergebnisse aus verschiedenen Aufmerksamkeitsaufgaben (Prozentanteil richtiger Reaktionen und die Reaktionszeit)

Tests	Richtige Antworten (%) MW ± SD	Reaktionszeit (ms)
Geteilte Aufmerksamkeit	97,6 ± 2,93	526,3 ± 65,24
Daueraufmerksamkeit	82,6 ± 12,13	585,9 ± 77,39
Determinationstest	96,0 ± 3,74	687,5 ± 58,51
Interferenztest – Lesen	95,5 ± 2,16	890,4 ± 138,32
Interferenztest – Benennen	96,2 ± 2,41	727,3 ± 77,28

Tab. 2 Ergebnisse der Borg-Skala

Tests	MW ± SD	Median	Min	Max	pFriedman	pBonferroni-Korrektur
Geteilte Aufmerksamkeit (GA)	11,59 ± 1,96	12	6	16	<0,001	GA-DT (<0,001) GA-DA (<0,001)
Daueraufmerksamkeit (DA)	14,92 ± 2,02	15	8	18		DT-IT (0,011) DA-IT (<0,001)
Determinationstest (DT)	13,47 ± 2,36	13	9	18		
Interferenztest (IT)	12,16 ± 2,46	12	7	17		

Die Autoren Annegret Dorn und Annemarie Minow haben zu gleichen Teilen der Arbeit beigetragen.

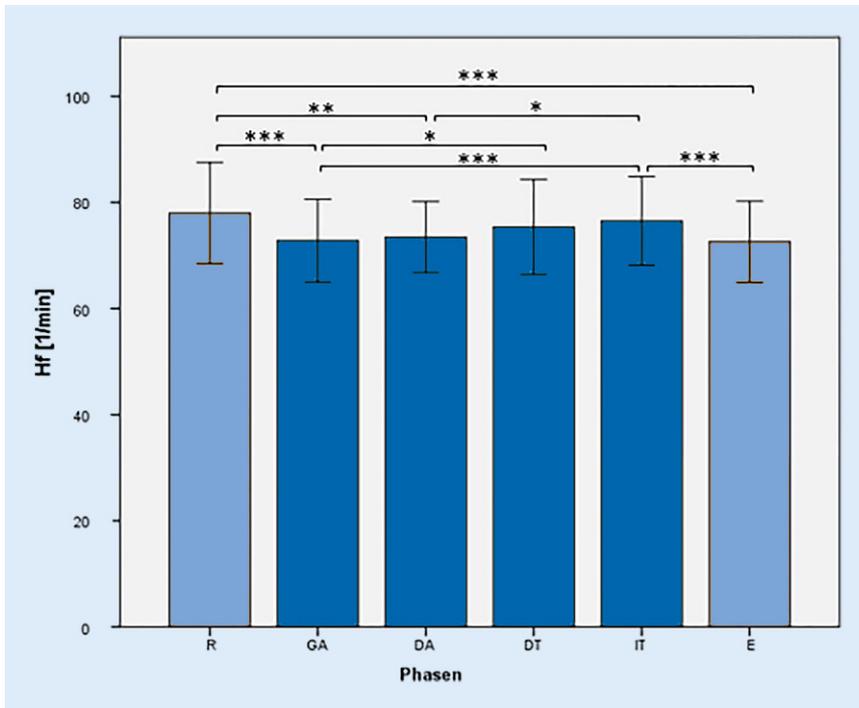


Abb. 1 ▲ Graphische Darstellung der Herzschlagfrequenz (Hf) in den einzelnen Versuchsphasen. R Ruhephase, GA geteilte Aufmerksamkeit, DA Daueraufmerksamkeit, DT Determinationstest, IT Interferenztest, E Erholungsphase

Konzept [14]. Dabei wird unter Belastung die Gesamtheit aller äußeren Einwirkungen definiert. Als Beanspruchung werden körperliche Reaktionen auf die stattgefunden Belastung betrachtet, die wiederum auf den Körper wie im Regelkreis zurückwirken können [17]. In den psychophysiologischen Untersuchungen erfolgt die Erfassung der Leistung und der Beanspruchung nach dem Mehrebenenkonzept nach Fahrenberg [8]. Entsprechend des Konzeptes werden objektive Leistungen (z. B. in den kognitiven Tests), objektive Beanspruchung anhand der physiologischen Parameter (z. B. Herzschlagfrequenz und Herzfrequenzvariabilität) und subjektives Erleben und Befinden analysiert.

Die Fragestellung der Pilotstudie war, inwieweit sich die Belastung bei Aufmerksamkeitsaufgaben in der Herzfrequenzvariabilität (HRV) als Beanspruchungsparameter widerspiegelt. Bei der Suche nach aussagekräftigen Beanspruchungsparametern bei kognitiven Anforderungen wurde weiterhin in dieser experimentellen Untersuchung geprüft, ob Zusammenhänge zwischen der kognitiven Leistung bei Aufmerksamkeits-

tests eines Probanden mit dessen objektiven Beanspruchungsparametern (Herzschlagfrequenz [Hf] und HRV-Parametern) sowie subjektiven Einschätzung seiner Beanspruchung bei der stattgefundenen kognitiven Belastung bestehen. Die betrachteten HRV-Parameter sind: zeitbezogene:

- Hf (1/min): mittlere Herzschlagfrequenz
- SDHf (ms): Standardabweichung der Herzschlagfrequenz
- NN (ms): Abstand zwischen zwei NN-Intervallen
- SDNN (ms): Standardabweichung der NN-Intervalle
- RMSSD (ms): Quadratwurzel des Mittelwertes der Summe aller quadrierten Differenzen zwischen benachbarten NN-Intervallen
- NN 50: Anzahl der Paare benachbarter NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen
- pNN 50 (%): Prozentsatz aufeinander folgender NN-Intervalle, die mehr als 50 ms voneinander abweichen

frequenzbezogene:

- Peak LF (Hz): Frequenzgipfel im Low-frequency-Band; Baroreflex-Peak
- Peak HF (Hz): Frequenzgipfel im High-frequency-Band; Respiratorischer Peak
- LF (ms^2): Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,04 bis 0,15 Hz
- HF (ms^2): Leistungsdichtespektrum im Frequenzbereich von 0,15 bis 0,40 Hz
- TP (ms^2): spektrale Gesamtleistung (Summe der Frequenzbänder VLF, LF und HF)

aus den nichtlinearen Analysen:

- SD1 (ms): Standardabweichung der Punktabstände zum Querdurchmesser
- SD2 (ms): Standardabweichung der Punktabstände zum Längsdurchmesser
- Lmean (beats): Mean line length
- Lmax (beats): Maximum line length
- REC (%): Recurrence rate
- DET (%): Determinism
- ShanEn: Shannon Entropy
- SampEn: Sample entropy, die die Regelmäßigkeit und Komplexität einer Zeitreihe misst
- DFA α_1 : wird häufig als nichtlinearer Parameter für kurze NN-Intervall-Daten genutzt
- DFA α_2 : wird häufig als nichtlinearer Parameter für NN-Intervalle längerer Aufzeichnungsdauer genutzt
- D2: Korrelationsdimension, die die minimale Anzahl von Variablen schätzt, die zum Erstellen eines Modells der Systemdynamik erforderlich sind

Auf Grundlage der aktuellen Studienlage wurden folgende Arbeitshypothesen formuliert und geprüft:

H1. Kognitive Belastung in Form von verschiedenen Aufmerksamkeitsstests führt zur signifikanten Zunahme der objektiven Beanspruchung im Vergleich zur Ruhe- bzw. Erholungsphase. Dies kann mit der Steigerung der Herzschlagfrequenz und der Reduzierung der HRV objektiv nachgewiesen werden.

A. Dorn · A. Minow · S. Darius · I. Böckelmann

Auswirkungen von Aufmerksamkeitstests unterschiedlicher kognitiver Anforderungen auf die Auslenkung der HRV-Parameter

Zusammenfassung

Hintergrund. Im Alltag eines Menschen strömt eine Vielzahl von Einflüssen auf jeden ein, doch nur durch eine gerichtete Aufmerksamkeit ist es möglich, seine Aufgaben zu bewältigen. Für die Forschung ist v. a. von Interesse, wie sich verschiedene Anforderungen bei Aufmerksamkeitstests auf physiologische Beanspruchungsreaktionen auswirken.

Ziel der Arbeit. Die vorliegende Pilotstudie untersucht die Veränderungen der Herzratenvariabilität (HRV) als physiologische Beanspruchungsreaktion des Körpers bei verschiedenen Aufmerksamkeitsanforderungen. Zudem soll geklärt werden, inwieweit sich die HRV als ein physiologischer Beanspruchungsparameter eignet, verschiedene Aufmerksamkeitsanforderungen zu bewerten.

Material und Methoden. Dazu wurden bei 51 freiwilligen Probanden neben dem objektiven Beanspruchungsparameter HRV die subjektive Beanspruchung mittels Borg-Skala sowie objektive Leistungsdaten bei der Absolvierung von vier verschiedenen Aufmerksamkeitstests erfasst.

Ergebnisse. Es werden zahlreiche signifikante Unterschiede zwischen den Tests der Aufmerksamkeitstestbatterie sowie besonders zur Erholungsphase bei den HRV-Daten festgestellt. Besonders auffällig war hierbei, dass sich parasympathisch beeinflusste HRV-Parameter des Zeitbereichs bei Belastung ausnahmslos reduzierten. Im Daueraufmerksamkeitstest und Interferenztest korrelieren die Parameter subjektiver Beanspruchung gleichgerichtet mit HRV-Parametern der nichtlinearen Analyse

und entgegengesetzt mit frequenzbezogenen Parametern. Zusammenhänge zwischen den Parametern konnten ermittelt werden.

Diskussion. Es zeigt sich eine erhöhte objektive und subjektive Beanspruchung bei der Absolvierung der Aufmerksamkeitstests. Diese wird von der Art des Aufmerksamkeitstests beeinflusst. Für weitere Studien wäre es interessant, die physiologischen Korrelate für die Aufmerksamkeit, wie z. B. EEG-Aktivität und die Parameter der Herzratenvariabilität, simultan zu untersuchen.

Schlüsselwörter

Beanspruchung · Herzratenvariabilität · Aufmerksamkeit · Borg-Skala · Kognitive Belastung

Impact of attention testing of different cognitive demands on the excursion of HRV parameters

Abstract

Background. A variety of influences affect people in everyday life but only by a directed attention is it possible to accomplish the tasks. For research it is of interest to find out how different requirements in attention tests affect physiological stress reactions.

Objective. The present pilot study examined the changes in heart rate variability (HRV) as a physiological stress response of the body to different attention requirements. In addition, the study aimed to clarify if the HRV is suitable as a physiological stress parameter to evaluate various attention requirements.

Material and methods. In addition to the objective stress parameter HRV, subjective stress

using a Borg scale and objective performance data were recorded in 51 volunteers who completed 4 different attention tests.

Results. Many significant differences were found between the tests of the attention test battery and especially in the recovery phase for the HRV data. It was particularly noticeable that parasympathetically influenced HRV parameters of the time domain were invariably reduced under stress. In the continuous attention test and interference test, the parameters of subjective stress directly correlated with HRV parameters of the non-linear analysis and inversely correlated with

frequency-related parameters. Correlations between the parameters could be determined.

Conclusion. There was an increased objective and subjective stress in the completion of the attention tests. This was influenced by the type of attention test. For further studies, it would be interesting to investigate the physiological correlates of attention, such as electroencephalograph (EEG) activity and HRV parameters simultaneously.

Keywords

Demand · Heart rate variability · Attention · Borg scale · Cognitive load

H2. Die objektive und subjektive Beanspruchung ist abhängig von der Art und dem Grad der kognitiven Anforderung bei verschiedenen Aufmerksamkeitstests.

H3. Es finden sich Zusammenhänge zwischen der erbrachten Leistung in Aufmerksamkeitstests und subjektiver Einschätzung der Anstrengung bei der kognitiven Belastung und der vegetativen Beanspruchungsreaktion darauf.

Studiendesign und Untersuchungsmethoden

Die Pilotstudie wurde im psychophysiologischen Labor des Bereichs Arbeitsmedizin der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg von November 2017 bis November 2018 durchgeführt. Ein positives Votum der Ethikkommission (202/17) lag vor. An der Studie nahmen insgesamt 51 gesunde und freiwillige Probanden im Alter von $25,7 \pm 7,52$ Jahren (Min 21,

Max 61 Jahre) teil, wobei 29 Teilnehmer (57 %) männlich (Alter: $25,6 \pm 7,54$ Jahre) und 22 (43 %) weiblich (Alter: $25,8 \pm 7,66$ Jahre) waren. Zum größten Teil handelte es sich um Studierende der Medizinischen Fakultät der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg.

Die Testbatterie für die kognitive Belastung bestand aus vier verschiedenen Aufmerksamkeitstests. Die computergestützte psychometrische Testbatterie, deren Bearbeitung ca. 45 min dauerte, setzte sich aus vier unterschiedlich langen

Tab. 3 Herzfrequenz und zeitbezogene HRV-Parameter in den einzelnen Versuchsphasen

Parameter ^a	MW ± SD					pFriedman	pBonferroni-Korrektur
	GA	DA	DT	IT	E		
Hf (1/min)	72,8 ± 7,81	73,5 ± 6,7	75,3 ± 8,97	76,5 ± 8,35	72,6 ± 7,66	<0,001	GA-DT (0,032) GA-IT (<0,001) DA-IT (0,013) IT-E (<0,001)
SDHf (ms)	6,3 ± 1,71	5,6 ± 1,93	5,1 ± 1,63	5,7 ± 1,61	8,1 ± 1,97	<0,001	GA-DT (<0,001) DT-E (<0,001) DA-E (<0,001) IT-E (<0,001) GA-E (<0,001)
NN (ms)	840,1 ± 91,61	828,5 ± 73,88	812,3 ± 102,95	798,9 ± 95	846,7 ± 92,44	<0,001	DA-IT (<0,001) GA-IT (<0,001) GA-DT (0,001) IT-E (<0,001) DT-E (<0,001) DA-E (<0,001) GA-E (<0,001)
SDNN (ms)	71,3 ± 23,2	62,3 ± 23,04	56,1 ± 24,58	60,2 ± 21,88	93,0 ± 28,56	<0,001	GA-DT (<0,001) GA-DA (0,002) GA-IT (0,027)
RMSSD (ms)	47,2 ± 24,55	43,4 ± 21,35	39,6 ± 24,71	38,2 ± 22,22	52,9 ± 24,59	<0,001	GA-IT (<0,001) GA-DT (0,005) DT-E (<0,001) DA-E (0,001) IT-E (<0,001)
NN 50	83,3 ± 53,29	70,4 ± 47,46	58,1 ± 49,38	52,0 ± 42,77	88,7 ± 42,97	<0,001	GA-IT (<0,001) GA-DT (0,001) IT-E (<0,001) DT-E (<0,001) DA-E (0,017)
pNN 50 (%)	24,0 ± 16,68	19,9 ± 14,34	16,6 ± 15,38	14,5 ± 13,27	25,8 ± 14,09	<0,001	GA-IT (<0,001) GA-DT (0,009) IT-E (<0,001) DT-E (<0,001) DA-E (0,009)

Die Vergleiche zwischen der Erholungsphase E und den kognitiven Tests sind in der rechten Spalte *kursiv* markiert

GA geteilte Aufmerksamkeit, DA Daueraufmerksamkeit, DT Determinationstest, IT Interferenztest, E Erholungsphase

^aDie Abkürzung der HRV-Parameter siehe [16]

(jedoch mindestens 5 min) Tests zusammen. Die Einordnung der Tests in diese Testbatterie erfolgte in randomisierter Reihenfolge, um Reihenfolgeeffekte und Adaptionsreaktionen zu vermeiden. Der Determinationstest (DT) und der Interferenztest (IT) wurden mit Hilfe des Psychodiagnostiksystems „Wiener Testsystem“ (Fa. Schuhfried, Mödling, Österreich) sowie der Daueraufmerksamkeitstest (DA) und der Test zur geteilten Aufmerksamkeit (GA) mittels Testsystem zur Prüfung der Aufmerksamkeit (TAP; Fa. Psytest, Herzogenrath, Deutschland) durchgeführt [22].

Der Determinationstest ist ein komplexer Mehrfachreiz-Reaktionstest, bei dem Farb- und akustische Signale ausgegeben werden, auf die mit Tasten bzw. mit Fußpedalen zu reagieren ist [11]. Der Interferenztest nach Stroop ist ein sensomotorischer Test, der die schnelle Tempoleistung beim Lesen von Wörtern und der Benennung von Farben erfasst [13]. Der Daueraufmerksamkeitstest [22] verlangt dem Probanden eine 15-minütige Fokussierung auf verschiedene Reizdimensionen ab. Die Anforderung an den Probanden besteht darin, sich sowohl die Farbe als auch die Form (z. B. Kreis, Rechteck, Kreuz) von verschiede-

nen Objekten zu merken. Im Test zur geteilten Aufmerksamkeit müssen die Probanden auditive und visuelle Aufgaben gleichzeitig erledigen [22].

Die Tests waren alle computergesteuert, die Instruktion lag in einheitlicher elektronischer Version vor, und der Versuchsleiter wechselte nicht. Vor jeder Testphase wurde nach der Instruktion jeweils ein kleiner Demotest durchgeführt. Dadurch wurde eine hohe Durchführungsobjektivität gewährleistet. Darüber hinaus erfüllten alle Aufmerksamkeits-tests die Gütekriterien Reliabilität und Validität [18, 22].

Während die Probanden die kognitiven Aufgaben absolvierten, wurde bei ihnen eine EKG-Aufnahme mittels Holter-EKG medilog AR12plus (Fa. SCHILLER Medizintechnik GmbH, Obfelden, Schweiz) vorgenommen. Anschließend wurden mithilfe der Software medilog DARWIN2 (Fa. SCHILLER Medizintechnik GmbH) die Daten der EKG-Aufzeichnungen für die weitere Verwendung in der HRV-Analyse und ggf. auf klinische Auffälligkeiten durch medizinisches Fachpersonal geprüft. Anschließend erfolgte der Export der NN-Intervall-Reihe für die weitere HRV-Analyse, die mithilfe der Software Kubios HRV Version 2.0 (Biosignal Analysis and Medical Imaging Group, Universität Kuopio, Finnland) durchgeführt wurde. Nach internationalen und nationalen Empfehlungen [7, 15] zur HRV-Analyse erfolgte eine Artefaktkorrektur mit den Einstellungen custom und 0,3 ohne Veränderung der trend components. Für die Frequenzanalyse wurde eine Fast-Fourier-Transformation (FFT) mit einer Fensterbreite von 300s und 50% window overlap (Fensterüberlappung) für die 5-Minuten-Intervalle berechnet. Aufgrund der 5-Minuten-Phasen wurden die in **Tab. 4** dargestellten frequenzbezogenen Parameter verwendet.

Nach jedem kognitiven Test wurden die Probanden gebeten, anhand der Borg-Skala [5] ihre Anstrengung bei dieser Aufgabe einzuschätzen. Die Borg-Skala wurde ursprünglich für verschiedene Arten körperlicher Beanspruchung entwickelt, wird jedoch auch in einigen psychophysiologischen Beanspruchungsuntersuchungen eingesetzt [2, 12].

Tab. 4 Frequenzbezogene HRV-Parameter in den einzelnen Versuchsphasen

Parameter ^a	MW ± SD					pFriedman	pBonferroni-Korrektur
	GA	DA	DT	IT	E		
Peak LF (Hz)	0,09 ± 0,025	0,09 ± 0,022	0,09 ± 0,022	0,09 ± 0,023	0,08 ± 0,023	>0,05	–
Peak HF (Hz)	0,25 ± 0,074	0,25 ± 0,083	0,25 ± 0,08	0,21 ± 0,070	0,21 ± 0,065	<0,001	–
LF (ms ²)	1751,7 ± 1332,19	1591,2 ± 1208,14	1246,9 ± 1230,43	1669,7 ± 1678,72	3298,7 ± 2176,91	<0,001	GA-DT (0,011) DT-E (<0,001) IT-E (<0,001) DA-E (<0,001) GA-E (<0,001)
HF (ms ²)	913,9 ± 918,48	707,6 ± 707,69	616,3 ± 820,18	548,2 ± 828,95	1088,3 ± 1151,1	<0,001	GA-IT (<0,001) GA-DT (0,001) IT-E (<0,001) DT-E (<0,001) DA-E (0,009)
TP (ms ²)	4766,4 ± 3919,97	3903,6 ± 2969,94	3363,3 ± 3393,23	3828,6 ± 3548,87	9060,8 ± 6020,01	<0,001	GA-DT (0,046) DT-E (<0,001) IT-E (<0,001) DA-E (<0,001) GA-E (<0,001)

Die Vergleiche zwischen der Erholungsphase E und den kognitiven Tests sind in der rechten Spalte *kursiv* markiert

GA geteilte Aufmerksamkeit, DA Daueraufmerksamkeit, DT Determinationstest, IF Interferenztest, E Erholungsphase

^aDie Abkürzung der HRV-Parameter siehe [16]

Zusätzlich wurden die Probanden aufgefordert, eine Ruhezeit von 10 min sowohl vor (Ruhephase) als auch nach der Aufmerksamkeitstestbatterie (Erholungsphase) einzuhalten, um eine Baseline für die kardiophysiologischen Parameter zu ermitteln.

Noch vor Beginn des Versuchs wurden die Probanden über das Ziel und den Ablauf der Pilotstudie informiert und gebeten, eine Einwilligungserklärung zu unterzeichnen. Sie erhielten die Möglichkeit, Fragen zur Untersuchung oder zum Datenschutz zu stellen. Weiter wurden sie darüber aufgeklärt, dass ihre Daten vertraulich behandelt und ausschließlich zu Forschungszwecken verwendet werden. Die Namen der Probanden wurden durch ein Pseudonym (institutsinterne 6-stellige Probandennummer) verschlüsselt und zur späteren Datenanalyse den Datenschutzbestimmungen entsprechend verwendet.

Zur statistischen Auswertung wurde IBM SPSS Statistics 24 genutzt. Die Überprüfung der intervallskalierten Daten auf Normalverteilung erfolgte mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test. Sowohl bei den

HRV-Parametern als auch bei den Leistungsdaten wiesen nur vereinzelte Parameter eine Normalverteilung auf, sodass sich generell für die Durchführung von nichtparametrischen Tests entschieden wurde. Zum paarweisen Vergleich der HRV-Parameter von mehreren Messwiederholungen kam der Friedman-Test zur Anwendung. Um α -Fehlerkumulierung zu vermeiden, wurde anschließend eine Bonferroni-Holm-Korrektur durchgeführt. Die Pearson-Korrelation kam zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen kardiovaskulärer Aktivität und Leistung bei den kognitiven Aufgaben zur Anwendung. Spearman-Rangordnungskorrelationskoeffizienten wurden verwendet, um die Beziehung zu Daten der Borg-Skala (ordinalskalierte Variablen) darzustellen. Bei allen Berechnungen wurde mit dem Signifikanzniveau von 5 % gearbeitet. Mittelwerte werden mit MW und Standardabweichungen mit SD abgekürzt.

Um statistische Unterschiede in den Abbildungen deutlich zu machen, werden folgende Zeichen verwendet:

- Signifikanter Unterschied $p < 0,05$: *
- Sehr signifikanter Unterschied $p < 0,01$: **
- Höchst signifikanter Unterschied $p < 0,001$: ***

Ergebnisse

Objektive Leistungsdaten

Aus der **Tab. 1** wird ersichtlich, dass die Reaktionszeiten bei den 4 Aufmerksamkeitsaufgaben sehr unterschiedlich sind, da diese Tests unterschiedliche kognitive Anforderungen aufweisen. Die kürzeste Reaktionszeit und damit schnellste Reaktion erzielten die Probanden im Durchschnitt im Test zur geteilten Aufmerksamkeit ($526,3 \pm 65,24$ ms), bei dem auf optische und akustische Reize reagiert werden muss, die langsamste Reaktion in der Testbatterie zeigte sich im Interferenztest – Lesen ($890,4 \pm 138,32$ ms) bei dem auf die Farbe und den Inhalt des geschriebenen Wortes reagiert wird. Die Reaktionszeiten können aufgrund der unterschiedlichen kognitiven Anforderungen der Aufmerksamkeitstests nicht direkt untereinander verglichen werden, jedoch sprechen längere Reaktionszeiten für eine längere Informationsverarbeitung und somit für eine schwierigere Aufgabe.

Subjektive Beanspruchungsdaten

Die Werte der Borg-Skala (**Tab. 2**) sind eine rein subjektive Einschätzung der Anstrengung und der Schwierigkeit der gerade bewältigten Aufgabe. Während der Test zur Daueraufmerksamkeit die höchste Anstrengung ($14,92 \pm 2,02$ Punkte) aufwies, so ist die niedrigste Anstrengung ($11,59 \pm 1,96$ Punkte) beim Test zur geteilten Aufmerksamkeit zu finden. Dieses Bild wird auch in den Median-Werten deutlich. Somit wird der Daueraufmerksamkeitstest von den Probanden im Durchschnitt als „anstrengender“ eingeschätzt. Dagegen wird der Test zur geteilten Aufmerksamkeit eher als „leicht“ bis „etwas anstrengend“ von den Probanden bewertet.

Signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) nach Bonferroni-Korrektur ergeben sich zwischen allen Tests außer zwischen dem

Tab. 5 Nichtlineare HRV-Parameter in den einzelnen Versuchsphasen

Parameter ^a	MW ± SD					pFriedman	pBonferroni-Korrektur
	GA	DA	DT	IT	E		
SD1 (ms)	33,3 ± 17,31	30,7 ± 15,12	28,1 ± 17,54	27,0 ± 15,7	37,2 ± 17,44	<0,001	GA-IT (<0,001) GA-DT (0,010) DA-E (0,001) IT-E (<0,001)
SD2 (ms)	93,7 ± 30,21	81,5 ± 30,09	73,5 ± 31,47	80,3 ± 27,83	125,4 ± 37,42	<0,001	GA-DT (0,001) GA-DA (0,025) DT-E (<0,001) DA-E (<0,001) IT-E (<0,001) GA-E (<0,001)
Lmean (beats)	11,9 ± 4,91	10,3 ± 3,15	11,4 ± 3,11	12,8 ± 3,87	11,8 ± 2,8	0,002	DA-IT (0,012) DA-E (0,038)
Lmax (beats)	232,7 ± 105,91	195,6 ± 104,21	211,0 ± 107,77	237,3 ± 108,69	266,8 ± 93,56	<0,001	DA-E (<0,001) DT-E (0,032)
REC (%)	33,9 ± 10,36	31,1 ± 7,83	33,0 ± 7,63	36,5 ± 8,38	33,9 ± 5,68	0,001	DA-IT (0,002)
DET (%)	98,0 ± 1,50	97,8 ± 1,26	98,0 ± 1,22	98,6 ± 1,04	98,7 ± 0,71	<0,001	DA-IT (0,005) DA-E (<0,001) DT-E (0,001) GA-E (0,004)
ShanEn	3,2 ± 0,35	3,1 ± 0,27	3,2 ± 0,28	3,3 ± 0,3	3,2 ± 0,23	0,003	DA-IT (0,019) DA-E (0,012)
SampEn	0,9 ± 0,18	0,8 ± 0,18	0,9 ± 0,21	0,9 ± 0,18	0,9 ± 0,18	<0,001	DA-E (0,027)
DFA α1	1,1 ± 0,08	1,2 ± 0,07	1,2 ± 0,08	1,1 ± 0,08	1,1 ± 0,08	<0,001	DT-IT (0,006)
DFA α2	1,5 ± 0,26	1,5 ± 0,24	1,6 ± 0,22	1,4 ± 0,24	1,3 ± 0,2	<0,001	DT-IT (0,020) IT-E (0,035) GA-E (<0,001) DA-E (<0,001) DT-E (<0,001)
D2	3,3 ± 1,01	3,2 ± 1,05	2,7 ± 1,28	2,7 ± 1,14	3,1 ± 0,76	<0,001	DA-IT (0,042) GA-IT (<0,001) GA-DT (0,004) GA-E (0,050)

Die Vergleiche zwischen der Erholungsphase E und den kognitiven Tests sind in der rechten Spalte *kursiv* markiert

GA geteilte Aufmerksamkeit, DA Daueraufmerksamkeit, DT Determinationstest, IT Interferenzttest, E Erholungsphase

^aDie Abkürzung der HRV-Parameter siehe [16]

Test zur geteilten Aufmerksamkeit und dem Interferenzttest sowie dem Daueraufmerksamkeitstest und dem Determinationstest.

Objektive Beanspruchungsdaten

Die niedrigste durchschnittliche Herzschlagfrequenz (Hf) findet sich in der Erholungsphase (E; $72,6 \pm 7,66$ 1/min; vgl. **Abb. 1**) und damit verbunden signifikante Unterschiede ($p < 0,001$) im Vergleich zur Ruhephase (R) und dem Interferenzttest (IT). Auch die Hf

im geteilten Aufmerksamkeitstest (GA; $72,8 \pm 23,2$ 1/min) ist sehr niedrig. Hier können nach Post-hoc-Analyse nicht nur statistisch signifikante Unterschiede zur Ruhephase und zum Interferenzttest festgestellt werden, sondern ebenfalls zum Determinationstest (DT) ($p = 0,032$). Unter den randomisierten Aufmerksamkeitstests weist der Interferenzttest die höchste Hf ($76,5 \pm 8,35$ 1/min) und damit die höchste Beanspruchung auf.

Insgesamt betrachtet, findet sich jedoch die höchste Hf ($78,0 \pm 9,54$ 1/min) in der Ruhephase, d.h. vor dem Beginn

der Testung. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass die Probanden zu Beginn des Versuchs aufgeregt sind. Für die folgenden Darstellungen wird als Vergleichswert zu den Aufmerksamkeitstests daher die Erholungsphase (E) verwendet.

Tab. 3, 4 und 5 zeigen die Hf und die HRV-Parameter im zeitbezogenen, frequenzbezogenen und nichtlinearen Bereich für die einzelnen Aufmerksamkeitstest und die Erholungsphase im Vergleich.

In den zeitbezogenen HRV-Parametern (**Tab. 3**) konnten zwischen den Tests besonders häufig Unterschiede zwischen dem Test zur geteilten Aufmerksamkeit und dem Determinationstest und zwischen dem Test zur geteilten Aufmerksamkeit und dem Interferenzttest ermittelt werden (jeweils 6). Zweimal konnte ein Unterschied zwischen dem Interferenzttest und dem Daueraufmerksamkeitstest und einmal zwischen dem Test zur geteilten Aufmerksamkeit und dem Daueraufmerksamkeitstest gezeigt werden. Signifikante Unterschiede zwischen der Erholungsphase und dem Interferenzttest zeigen sich 7-mal sowie Erholung zum Daueraufmerksamkeitstest und Erholung zum Determinationstest jeweils 5-mal. Ein signifikanter Unterschied ist zwischen der Erholung und dem Test zur geteilten Aufmerksamkeit zu erkennen.

Die zeitbezogenen Parameter zeigen überall eine geringere Beanspruchung in der Erholungsphase als in den Phasen der Aufmerksamkeitstests. Der Test zur geteilten Aufmerksamkeit zeigt überall die geringste Beanspruchung und geht damit Hand in Hand mit den subjektiven Einschätzungen mithilfe der Borg-Skala. Zwei Parameter (SDHf und SDNN) zeigen die höchste Beanspruchung im Determinationstest, alle weiteren Parameter zeigen die höchste Beanspruchung im Interferenzttest. Diese Ergebnisse stimmen nicht mit den subjektiven Einschätzungen überein. Mithilfe der Borg-Skala wurde der Daueraufmerksamkeitstest als besonders beanspruchend bewertet.

Für die frequenzbezogenen HRV-Parameter (**Tab. 4**) sind zwischen den Aufmerksamkeitstests 4 Unterschiede erkennbar (3× zwischen GA und DT, 1× zwischen GA und IT). Die 4 Tests

		E - GA	E - DA	E - DT	E - IT
Zeitbezogene Parameter	Hf (1/min)				
	SDHf (ms)				
	NN (ms)				
	SDNN (ms)				
	RMSSD (ms)				
	NN 50				
	pNN 50 (%)				
Frequenzbezogene Parameter	Peak LF (Hz)				
	Peak HF (Hz)				
	LF (ms ²)				
	HF (ms ²)				
	TP (ms ²)				
Nichtlineare Parameter	SD1 (ms)				
	SD2 (ms)				
	Lmean (beats)				
	Lmax (beats)				
	REC (%)				
	DET (%)				
	ShanEn				
	SampEn				
	DFA α1				
	DFA α2				
	D2				
	gesamt	35 % (8/23)	70 % (16/23)	52 % (12/23)	52 % (12/23)

Abb. 2 ◀ Häufigkeiten signifikanter Unterschiede (schwarz hinterlegt) zwischen den Aufmerksamkeits- und der Erholungsphase. GA geteilte Aufmerksamkeit, DA Daueraufmerksamkeit, DT Determinationstest, IF Interferenztest, E Erholungsphase

unterscheiden sich alle signifikant von der Erholungsphase (zu DT 3×, zu DA 3×, zu IT 3×, zu GA 2×). LF und HF zeigen die geringste Beanspruchung und TP die höchste Gesamtenergie in der Erholungsphase. LF und HF verdeutlichen die geringste objektive Beanspruchung im Test zur geteilten Aufmerksamkeit. Der Determinationstest und der Interferenztest zeigen die höchsten Beanspruchungswerte. Das Ergebnis zum Test der geteilten Aufmerksamkeit ist damit ähnlich zur subjektiven Einschätzung mithilfe der Borg-Skala. Die Ergebnisse zu den stärker beanspruchenden Tests finden sich in dieser Form nicht in der subjektiven Einschätzung wieder.

In den nichtlinearen Parametern (Tab. 5) existieren 5 signifikante Unterschiede zwischen dem Daueraufmerksamkeitstest und dem Interferenztest, 3 Unterschiede zwischen dem Test zur geteilten Aufmerksamkeit und dem Interferenztest, jeweils 2 zwischen dem Determinationstest und dem Interferenztest sowie dem Test zur geteilten Aufmerksamkeit und dem Interferenztest. Außerdem konnte ein signifikanter Unterschied zwischen dem Test zur geteilten Aufmerksamkeit und dem Daueraufmerksamkeitstest gefunden werden.

Wie in den frequenzbezogenen Parametern, unterscheiden sich alle 4 Tests signifikant von der Erholungsphase (zu DT 5×, zu DA 9×, zu GA 5×, zu IT 3×). Die geringste Beanspruchung zeigt sich in der Erholungsphase (durch SD1 und SD2). Diese zwei nichtlinearen Parameter beschreiben auch, dass der Test zur geteilten Aufmerksamkeit – bezogen auf die HRV – am wenigsten beanspruchend war. Der Determinationstest und der Interferenztest zeigen die höchste Beanspruchung. Die Ergebnisse lassen sich damit nur teilweise in der Borg-Skala wiederfinden.

Abb. 2 zeigt eine zusammenfassende Darstellung der Häufigkeiten signifikanter Unterschiede zwischen den Aufmerksamkeits- und der Erholungsphase anhand der HRV-Parameter. Hier ist zu erkennen, dass im Vergleich der Erholungsphase und des Daueraufmerksamkeitstestes (DA) 70 % der HRV-Parameter signifikante Unterschiede aufweisen, bei dem Test zur geteilten Aufmerksamkeit (GA) sind es lediglich 35 %.

Tab. 6, 7 und 8 zeigen die Differenzwerte der HRV-Parameter.

In allen zeitbezogenen Parametern (Tab. 6) findet sich die geringste Auslenkung beim Test zur geteilten Aufmerksamkeit. Die größten Auslenkun-

gen sind im Interferenztest zu erkennen. Die geringe Beanspruchung im Test zur geteilten Aufmerksamkeit findet sich auch in der Borg-Skala wieder. Die großen Auslenkungen im Interferenztest und die damit einhergehende höhere Beanspruchung spiegelt sich jedoch durch die Angaben in der Borg-Skala nicht wider.

In den frequenzbezogenen Variablen (Tab. 7) zeigen sich beim Determinationstest die höheren Auslenkungen. Signifikante Unterschiede zeigen sich insbesondere zum Test der geteilten Aufmerksamkeit mit den niedrigsten Beanspruchungswerten. Dies bildet sich auch mithilfe der Borg-Skala ab.

Die nichtlinearen Parameter (Tab. 8) verdeutlichen ebenfalls hohe Auslenkungen besonders für den Interferenztest und den Determinationstest. Es finden sich jeweils 4 Unterschiede zwischen dem Test zur geteilten Aufmerksamkeit und dem Determinationstest sowie dem Daueraufmerksamkeitstest und dem Determinationstest. Zudem finden jeweils 2 Unterschiede zwischen dem Test zur geteilten Aufmerksamkeit und dem Interferenztest sowie dem Daueraufmerksamkeitstest und dem Interferenztest. Drei Unterschiede werden zwischen dem Interferenztest und dem Determinationstest deutlich.

Zusammenhänge zwischen den Parametern mittels Korrelationsanalysen

Tab. 9 veranschaulicht die Zusammenhänge zwischen den HRV-Parametern, den Leistungsdaten und den subjektiven Einschätzungen. Die Übereinstimmung der objektiven und subjektiven Beanspruchung ist für den Daueraufmerksamkeitstest am besten.

Bei der erbrachten Leistung sind Korrelationen für den Daueraufmerksamkeitstest, den Test zur geteilten Aufmerksamkeit und den Interferenztest (Lesen) vorzufinden.

Diskussion und Ausblick

Neben der leichten körperlichen Belastung bei der Absolvierung einiger psychomentaler Aufgaben, bei denen Re-

Tab. 6 Hf und zeitbezogene HRV-Parameter (Differenzwerte E – GA, E – DA, E – DT, E – IT)

Parameter ^a	MW ± SD				pFriedman	pBonferroni-Korrektur
	E – GA	E – DA	E – DT	E – IT		
Hf (1/min)	-0,2 ± 4,55	-0,9 ± 4,21	-2,8 ± 5,13	-3,9 ± 4,37	<0,001	IT-DA (0,001) IT-GA (0,001) DT-GA (0,002)
SDHf (ms)	1,8 ± 1,80	2,5 ± 1,88	3,0 ± 2,10	2,4 ± 1,85	<0,001	GA-IT (0,032) GA-DA (0,009) GA-DT (<0,001) IT-DT (0,002) DA-DT (0,009)
NN (ms)	6,6 ± 47,86	18,3 ± 50,82	34,4 ± 54,97	47,9 ± 50,72	<0,001	GA-DT (0,001) GA-IT (<0,001) DA-IT (0,001)
SDNN (ms)	21,7 ± 21,15	30,7 ± 21,67	36,9 ± 24,84	32,8 ± 22,32	<0,001	GA-IT (0,001) GA-DA (<0,001) GA-DT (<0,001) IT-DT (0,035)
RMSSD (ms)	5,7 ± 15,32	9,5 ± 15,92	13,3 ± 18,06	14,7 ± 15,98	<0,001	GA-DT (<0,001) GA-IT (<0,001) DA-IT (0,014)
NN 50	5,4 ± 35,90	18,3 ± 32,98	30,7 ± 42,36	36,7 ± 37,14	<0,001	GA-DA (0,013) GA-DT (<0,001) GA-IT (<0,001)
pNN 50 (%)	1,8 ± 11,26	5,9 ± 10,61	9,2 ± 12,85	11,3 ± 11,37	<0,001	GA-DT (0,003) GA-IT (<0,001) DA-IT (0,049)

GA geteilte Aufmerksamkeit, DA Daueraufmerksamkeit, DT Determinationstest, IF Interferenztest, E Erholungsphase

^aDie Abkürzung der HRV-Parameter siehe [16]

Tab. 7 Frequenzbezogene HRV-Parameter (Differenzwerte E – GA, E – DA, E – DT, E – IT)

Parameter ^a	MW ± SD				pFriedman	pBonferroni-Korrektur
	E – GA	E – DA	E – DT	E – IT		
Peak LF (Hz)	-0,0029 ± 0,03353	-0,0033 ± 0,03226	-0,0061 ± 0,03091	-0,0044 ± 0,02905	>0,05	–
Peak HF (Hz)	-0,0418 ± 0,08557	-0,0354 ± 0,09122	-0,0405 ± 0,09251	0,0035 ± 0,08369	>0,05	–
LF (ms ²)	1547,0 ± 1549,04	1707,6 ± 1643,49	2051,8 ± 2053,77	1629,0 ± 1890,99	0,001	GA-DT (0,001) DA-DT (0,017)
HF (ms ²)	174,4 ± 766,62	380,7 ± 775,30	471,9 ± 870,21	539,9 ± 859,64	<0,001	GA-DT (<0,001) GA-IT (<0,001)
TP (ms ²)	4294,4 ± 4419,24	5157,2 ± 4335,67	5697,6 ± 4764,24	5232,2 ± 4140,34	0,006	GA-DT (0,003)

GA geteilte Aufmerksamkeit, DA Daueraufmerksamkeit, DT Determinationstest, IF Interferenztest, E Erholungsphase

^aDie Abkürzung der HRV-Parameter siehe [16]

aktionszeiten erfasst werden, führt auch die psychomente, kognitive Belastung zu einer Beanspruchungsreaktion. Diese ist oft mit dem Anstieg der Herzschlagfrequenz verbunden. Eine Reihe psychophysiologischer Parameter wurde als Beanspruchungsparameter in den Studien bei der Analyse psychomentaler Belastungen eingesetzt [3, 4, 21].

Die vorliegende Pilotstudie untersuchte die Veränderungen der Herzratenvariabilität (HRV) als physiologische Beanspruchungsreaktion des Körpers bei verschiedenen Aufmerksamkeitsanforderungen. Zudem sollte geklärt werden, inwieweit sich die HRV als ein physiologischer Beanspruchungsparameter eignet, verschiedene Aufmerksamkeitsanforde-

rungen zu bewerten. Auf Grundlage der dargestellten Ergebnisse wird abschließend die Überprüfung der Hypothesen zusammengefasst.

Dass kognitive Belastung in Form von verschiedenen Aufmerksamkeits-tests zur signifikanten Zunahme der objektiven Beanspruchung, d.h. zur Steigerung der Herzschlagfrequenz und der Reduzierung der HRV im Vergleich zur Ruhe- bzw. Erholungsphase, führt (Hypothese 1) kann bestätigt werden, da in nahezu allen HRV-Parametern signifikante Unterschiede zwischen der Beanspruchung in der Erholungsphase und der Beanspruchung während der kognitiven Belastung in Form von verschiedenen Aufmerksamkeits-tests gefunden wurde. Die objektive Beanspruchung während der Erledigung der Aufmerksamkeits-tests war höher als während der Erholungsphase. Zudem zeigen einige HRV-Parameter deutliche Auslenkungen, die überwiegend mit der subjektiv eingeschätzten Schwierigkeit korrespondieren. Die Erholungsphase am Ende des Versuchs erlaubt zudem zuverlässigere Aussagen als die Ruhephase zu Beginn und eignet sich besser als Referenzwert, da die psychische Voraktivierung in der Ruhephase vor dem Test bei den Probanden hoch ist und mitunter eine Verzerrung der Ergebnisse herbeiführt.

Die Annahme, dass die objektive und subjektive Beanspruchung abhängig von der Art und dem Grad der kognitiven Anforderung bei verschiedenen Aufmerksamkeits-tests ist (Hypothese 2), kann ebenfalls bestätigt werden. Mithilfe der Borg-Skala zeigen sich signifikante Unterschiede im subjektiven Beanspruchungsempfinden zwischen den kognitiven Tests. Hier wird der Daueraufmerksamkeitstest als besonders anstrengend und der Test zur geteilten Aufmerksamkeit als eher leicht durch die Probanden eingeschätzt. In den HRV-Daten zeigt sich ebenfalls, dass der Test zur geteilten Aufmerksamkeit, verglichen mit den anderen drei Tests, die geringste Beanspruchung erzeugt. Der Determinationstest und der Interferenztest rufen die höchste objektive Beanspruchung bei den Aufmerksamkeits-tests hervor. Angemerkt

Tab. 8 Nichtlineare HRV-Parameter (Differenzwerte E – GA, E – DA, E – DT, E – IT)

Parameter ^a	MW ± SD				pFriedman	pBonferroni-Korrektur
	E – GA	E – DA	E – DT	E – IT		
SD1 (ms)	3,9 ± 10,68	3,9 ± 10,68	9,1 ± 12,93	10,3 ± 11,31	<0,001	GA-DT (0,004) GA-IT (<0,001) DA-DT (0,004) DA-IT (<0,001)
SD2 (ms)	31,7 ± 28,87	31,7 ± 28,87	51,9 ± 33,87	45,2 ± 29,81	<0,001	GA-DT (<0,001) DA-DT (<0,001)
Lmean (beats)	-0,1 ± 4,49	-0,1 ± 4,49	0,4 ± 3,77	-1,1 ± 4,42	>0,05	-
Lmax (beats)	34,0 ± 99,96	34,0 ± 99,96	55,7 ± 116,14	29,4 ± 113,44	>0,05	-
REC (%)	0,0008 ± 9,28444	0,0008 ± 9,28444	0,8275 ± 8,26406	-2,6361 ± 8,56457	0,029	-
DET (%)	0,7 ± 1,20	0,7 ± 1,20	0,7 ± 1,15	0,2 ± 0,90	0,009	IT-DT (0,027)
ShanEn	0,0476 ± 0,34599	0,0476 ± 0,34599	0,0566 ± 0,34147	-0,0585 ± 0,35551	>0,05	-
SampEn	0,05 ± 0,228	0,05 ± 0,228	0,05 ± 0,262	0,07 ± 0,236	>0,05	-
DFA α1	-0,06 ± 0,091	-0,06 ± 0,091	-0,10 ± 0,107	-0,05 ± 0,100	0,001	GA-DT (0,039) DT-DA (0,039) DT-IT (0,002)
DFA α2	-0,2 ± 0,25	-0,2 ± 0,25	-0,3 ± 0,29	-0,1 ± 0,25	0,001	DT-IT (0,001)
D2	-0,2 ± 1,02	-0,2 ± 1,02	0,4 ± 1,46	0,4 ± 1,32	<0,001	GA-DT (<0,001) GA-IT (<0,001) DA-DT (<0,001) DA-IT (<0,001)

GA geteilte Aufmerksamkeit, DA Daueraufmerksamkeit, DT Determinationstest, IF Interferenztest, E Erholungsphase

^aDie Abkürzung der HRV-Parameter siehe [16]

Tab. 9 Übersicht der signifikanten Ergebnisse der Korrelationsanalyse zwischen HRV-Differenzwerten für den jeweiligen Test und der erbrachten Leistung (mit Korrelationskoeffizient nach Pearson) bzw. der subjektiven Beanspruchung (mit Korrelationskoeffizient nach Spearman)

Auslenkung des Parameters bei dem jeweiligen Test (Differenzwerte)	Erbrachte Leistung		Borg-Skala
	Richtige Antworten (%)	Reaktionszeit (ms)	
Hf (1/min)	-	GA (r = -0,332, p = 0,020) DA (r = -0,391, p = 0,005)	-
NN (ms)	-	GA (r = 0,356, p = 0,012) DA (r = 0,446, p = 0,001)	-
<i>Zeitbezogene Parameter</i>			
RMSSD (ms)	-	DA (r = 0,337, p = 0,017)	-
<i>Frequenzbezogene Parameter</i>			
Peak LF (Hz)	-	-	DA (r = -0,290, p = 0,039)
Peak HF (Hz)	IT (Lesen) (r = -0,338, p = 0,015)	GA (r = 0,288, p = 0,045) IT (Lesen) (r = 0,338, p = 0,015)	-
HF (ms ²)	GA (r = -0,301, p = 0,036)	DA (r = 0,403, p = 0,004)	DA (r = -0,421, p = 0,002)
<i>Nichtlineare Parameter</i>			
SD2 (ms)	-	DA (r = 0,295, p = 0,038)	DA (r = -0,277, p = 0,049)

GA geteilte Aufmerksamkeit, DA Daueraufmerksamkeit, DT Determinationstest, IF Interferenztest, E Erholungsphase

werden muss erneut, dass die Reaktionszeiten aufgrund der unterschiedlichen kognitiven Anforderungen der hier angewendeten Aufmerksamkeitstests nicht direkt untereinander vergleichbar sind.

Hypothese 3 kann bestätigt werden, da sich Zusammenhänge zwischen der erbrachten Leistung in den Aufmerksam-

keitstests und subjektiver Einschätzung der Anstrengung bei der kognitiven Belastung und vegetativer Beanspruchungsreaktion darauf finden lassen. Zusammenhänge zwischen der objektiven und subjektiven Beanspruchung konnten nur beim Daueraufmerksamkeitstest und damit dem Test mit der längsten Dauer

(15 min) gefunden werden. Zu beachten bleibt, dass sich hier nur geringe Korrelationen zeigen.

Als Ergebnis dieser Studie können für zukünftige Belastungs- und Beanspruchungsmessungen bei kognitiven Aufgaben die HRV-Parameter aus dem Zeitbereich empfohlen werden, da sie

sich, im Gegensatz zu den Parametern des Frequenzbereichs, bei Aufmerksamkeitsbeanspruchung signifikant und trotz verschiedener Aufmerksamkeitsarten deutlich reduzieren. Möglicherweise spiegeln auch Parameter der nichtlinearen HRV-Analyse den Grad der Beanspruchung wider. Weil sich jedoch auch einige Parameter der nichtlinearen Analyse zwischen dem geteilten Aufmerksamkeitstest und subjektiv gleich eingeschätzten anspruchsvollen Interferenztest signifikant unterscheiden, scheinen weitere Faktoren, wie z. B. die Art der Aufmerksamkeit (selektive Aufmerksamkeit, Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus, Daueraufmerksamkeit, Alertness oder geteilte Aufmerksamkeit) eine Rolle zu spielen und sollte in Folgeuntersuchungen mit einbezogen werden. Aus Studien ist bekannt, dass Aufmerksamkeit die Informationsverarbeitung verstärkt und sich dies in einer Steigerung der neuronalen Antwort zeigt [9] sowie dass zwischen präfrontalem Kortex und Herzfrequenz enge Zusammenhänge bestehen [20]. Der orbitofrontale Bereich des präfrontalen Cortex ist z. B. an der Regulation kardiovaskulärer Prozesse beteiligt. Schädigungen im orbitofrontalen Anteil führen zu sympathisch vermittelter Myokardschädigung und Arrhythmien [6].

Aufgrund dessen wäre es interessant, die physiologischen Korrelate für die Aufmerksamkeit, wie z. B. EEG-Aktivität und die Parameter der Herzratenvariabilität, simultan zu untersuchen. Kritisch sollte jedoch angemerkt werden, dass die physiologische Interpretation und Anwendungsszenarien der HRV-Parameter in der arbeitsmedizinischen Praxis bislang noch unzureichend dargestellt sind.

Später können diese ermittelten Parameter in Belastungs-Beanspruchungs-Analysen verwendet werden, um die Beanspruchung bei der Nutzung digitaler Assistenzsysteme genauer zu beschreiben und zu einer Arbeitsplatzoptimierung beizutragen.

Fazit für die Praxis

- Es wird deutlich, dass eine multimodale Erfassung der Beanspruchung (subjektiv und objektiv) nötig ist, um

ein detailliertes Bild der Gesamtbeanspruchung zu erlangen.

- Zusammenhänge zwischen objektiver und subjektiver Beanspruchung zeigen sich deutlicher in Aufmerksamkeitstest mit höherer Dauer (>10 min).
- Verschiedene Arten der Aufmerksamkeitstests rufen unterschiedliche Beanspruchungsreaktionen hervor.

Korrespondenzadresse



Annemarie Minow, M. A.
Medizinische Fakultät,
Bereich Arbeitsmedizin, Otto-
von-Guericke-Universität
Magdeburg
Leipziger Str. 44,
39120 Magdeburg,
Deutschland
annemarie.minow@
med.ovgu.de

Förderung. Das Forschungs- und Entwicklungsprojekt ArdiAS wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. A. Dorn, A. Minow, S. Darius und I. Böckelmann geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Alle beschriebenen Untersuchungen am Menschen wurden mit Zustimmung der zuständigen Ethik-Kommission, im Einklang mit nationalem Recht sowie gemäß der Deklaration von Helsinki von 1975 (in der aktuellen, überarbeiteten Fassung) durchgeführt. Von allen beteiligten Probanden liegt eine Einverständniserklärung vor.

Literatur

- Birbaumer N (1975) Physiologische Psychologie, Eine Einführung an ausgewählten Themen. Für Studenten der Psychologie, Medizin und Zoologie. Springer, Berlin, Heidelberg
- Böckelmann I, Peter B, Pfister EA (2006) Beanspruchungsreaktionen bei mentalen Provokationsaufgaben im Labor und arbeitsplatzbezogene Stressverarbeitung männlicher Akademiker einer Universität. Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 41(4):197–209
- Böckelmann I, Pfister E (1995) Issledovanie napyazhennosti u rabotnikov umstvennogo truda, zanimayuschikhsya komputernoi deyatelnost'yu, s pomoshch'yu psikhofiziologitsheskoj sistemy testirovaniya "COMBITEST 4". Med Tr Prom Ekol 7:12–17
- Böckelmann I, Pfister E (1999) Issledovanie napyazhennosti i vosstanovleniya iskhodnogo funkcionalnogo sostoyaniya serdetsjno-sosudistoi sistemy v zavisimosti ot "vegetativnogo tonusnogo lagerya". Med Tr Prom Ekol 7:15–20
- Borg G (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc 14(5):377–381
- Eller-Berndt D (2015) Herzratenvariabilität. Verlagshaus der Ärzte, Wien
- ESC, NASPE (1996) Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force for the European Society of Pacing and Electrophysiology Circulation, S1043–1065
- Fahrenberg J (1969) Die Bedeutung individueller Unterschiede für die Methodik der Aktivierungsforschung. In: Schönplflug W (Hrsg) Methoden der Aktivierungsforschung. Huber, Bern., S95–122
- Goldstein E, Irtel H (2011) Wahrnehmungspsychologie, Der Grundkurs, 7. Aufl. Spektrum Akad. Verl, Berlin
- Haider M (1969) Elektrophysiologische Indikatoren der Aktiviertheit. In: Schönplflug W (Hrsg) Methoden der Aktivierungsforschung. Huber, Bern., S125–129
- Neuwirth W, Benesch M (2013) MANUAL Determinationstest, Version 35. Dr. G. Schuhfried Ges.m.b.H., Mödling
- Pfister E, Böckelmann I, Darius S, Ferl Th, Schreier M (1997) Evaluierung der arbeitsphysiologischen Beanspruchungsbewertung durch die Berücksichtigung des Ruhetonus und individuellen Erholungsgeschehens. Z Arb Wiss 51((23 NF)/3):179–186
- Puhr U, Wagner M (2012) MANUAL Interferenztest nach Stroop, Version 25. Dr. G. Schuhfried Ges.m.b.H., Mödling
- Rohmert W, Rutenfranz J (1975) Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn
- Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klussmann A, Weippert M, Böckelmann I (2015) Guideline for the application of heart rate variability in occupational medicine and occupational sciences. ASU (International Edition)
- Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klussmann A, Weippert M, Böckelmann I (2014) Leitlinie Nutzung der Herzschlagfrequenz und der Herzfrequenzvariabilität in der Arbeitsmedizin und der Arbeitswissenschaft. https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/002-0421_S2k_Herzschlagfrequenz_Herzfrequenzvariabilit%C3%A4t_2014-07.pdf. Zugegriffen: 19. Sept. 2019
- Scheuch K, Schröder H (1990) Mensch unter Belastung. Stress als ein humanwissenschaftliches Integrationskonzept. Deutscher Verlag der Wissenschaft, Berlin
- Schuhfried G (2000) Wiener Testsystem, Computergestützte psychologische Diagnostik. Mödling
- Simons DJ, Chabris CF (1999) Gorillas in our midst: sustained inattention blindness for dynamic events. Perception 28:1059–1074
- Thayer J, Lane R (2009) Claude Bernard and the heart-brain connection: further elaboration of a model of neurovisceral integration. Neurosci Biobehav Rev 33(2):81–88
- Weippert M, Thielmann B, Stoll R, Pfister EA, Böckelmann I (2009) Sympatho-vagale Balance und kardiale Reaktionen bei standardisierten psychomentalen Belastungen. Biomed Tech 54:197–203
- Zimmermann P, Fimm B (2007) Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung, Version 2.1. Psytest, Herzogenrath