

## **Erfassung mentaler Beanspruchung mit dem Elektrokardiogramm in mentalen und emotionalen Belastungssituationen**

Elena WOLF, Barbara DEML

*Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation  
Karlsruher Institut für Technologie  
Kaiserstraße 12, D-76131 Karlsruhe*

**Kurzfassung:** Der Einfluss von Emotionen auf die Vorhersage der mentalen Beanspruchung mit kardialen Parametern wurde durch die getrennte und kombinierte Induktion mentaler und emotionaler Beanspruchung untersucht. Die Ergebnisse zeigen auf, dass eine reine Emotionsinduktion bereits eine Auswirkung auf die subjektive mentale Beanspruchung hat. Allerdings kann für diesen Fall kein Zusammenhang zwischen der subjektiven mentalen Beanspruchung und den kardialen Parametern festgestellt werden. Im Falle einer mentalen Beanspruchungsinduktion kann die subjektive mentale Beanspruchung durch die LF-Komponente der Herzratenvariabilität signifikant vorhergesagt werden.

**Schlüsselwörter:** Emotionen, mentale Beanspruchung, EKG, HRV

### **1. Theoretischer Hintergrund**

Die Entwicklung adaptiver Mensch-Maschine-Systeme hat in den letzten Jahrzehnten einen großen Interessens- und Forschungszuwachs erfahren. Ein Ziel solcher Systeme ist es, den psychischen Zustand des Nutzers anhand messbarer und valider Parameter zu erfassen und unterstützend in den Arbeits- bzw. Handlungsprozess einzugreifen. Ein in diesem Zusammenhang häufig untersuchtes Konstrukt ist die mentale Beanspruchung. Wickens et al. (2013) beschreiben die mentale Beanspruchung als einen von den kognitiven Ressourcen abhängigen Prozess. Demzufolge werden bei der Aufgabenbearbeitung Ressourcen aus der limitierten Informationsverarbeitungskapazität der Person verbraucht.

Zur Messung der mentalen Beanspruchung finden sich in der Empirie drei gängige Methoden: die subjektive, die physiologische und die leistungsorientierte Erfassung. Während die subjektive Erfassungsmethode – meist mithilfe eines Fragebogens wie dem NASA Task Load Index (NASA-TLX; Hart & Staveland, 1988) – eine Unterbrechung oder zumindest eine Störung des Arbeitsprozesses bedeutet, kann eine physiologische Messung kontinuierlich erfolgen. Eine in Bezug auf die mentale Beanspruchung bewährte Erfassungsmethode stellt das Elektrokardiogramm (EKG) dar. Im Fokus stehen dabei die Herzfrequenz – als die Anzahl der RR-Intervalle pro Minute – und die Herzratenvariabilität (HRV) – als die Veränderung des zeitlichen Abstandes zwischen den RR-Intervallen. Die HRV wird wiederum in einen oberen (HF), mittleren (LF) und unteren (VLF) Frequenzbereich unterteilt.

In der Literatur finden sich zahlreiche, teilweise divergente Ergebnisse zum Zusammenhang kardialer Parameter mit der mentalen Beanspruchung. So berichten z. B. Mulder et al. (2005) einen Abstieg der HRV bei steigender mentaler Beanspruchung, während Engström et al. (2005) keinen Zusammenhang finden. Eine mögliche Ursache solcher inkonsistenten Befunde ist in der mangelnden Diagnostizität kardialer Parameter (Manzey, 1998) zu vermuten. So finden sich in der Literatur

zahlreiche Belege für den Einfluss von Emotionen auf das kardiale System (z. B. Valenza et al., 2012). Zudem wirken sich Emotionen nicht nur auf das EKG-Signal, sondern auch auf die kognitive Verarbeitungskapazität und somit auf die mentale Beanspruchung aus (Hussain et al., 2014). Begründet wird dieser Effekt der emotionalen Interferenz mit der Annahme, dass aufgabenirrelevante emotionale Informationen durch die Rekrutierung von Aufmerksamkeitsressourcen einen begünstigten Zugang zum kognitiven System erhalten (Sabatinelli et al., 2005) und somit mit aufgabenrelevanten Informationen um kognitive Ressourcen konkurrieren. Die Konsequenz ist eine Verschlechterung der Aufgabenleistung (Dolcos & McCarthy, 2006).

Folglich ergibt sich die Fragestellung, ob eine Beanspruchungssituation mit emotionalen Belastungsfaktoren einen anderen Einfluss auf die Vorhersage der mentalen Beanspruchung durch kardiale Parameter hat als eine Situation mit mentalen Belastungsfaktoren. Zusätzlich ist zu klären, wie sich die mentale Beanspruchung sowie deren Prädiktion durch kardiale Parameter in Emotionssituationen ohne mentale Beanspruchungsfaktoren verhält.

## 2. Methode

### 2.1 Stichprobe

Das Experiment wurde mit 50 freiwilligen Probanden durchgeführt. Davon waren 70% männlich und 84% Studenten. Der Altersdurchschnitt lag bei  $M = 25.0$  ( $SD = 7.8$ ).

### 2.2 Versuchsdesign und Untersuchungsmaterial

Das quasiexperimentelle Versuchsdesign mit intraindividuellem Bedingungsvariation bestand aus drei Versuchsblöcken, die ihrerseits in drei bis vier Experimentalbedingungen unterteilt wurden. Alle Probanden durchliefen die Blöcke 1, 2 und 3 in aufsteigender Reihenfolge, wobei die Experimentalbedingungen innerhalb der Blöcke randomisiert vorgegeben wurden, um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden. Im Folgenden werden die einzelnen Blöcke näher erläutert.

*Block 1:* Im ersten Versuchsblock wurde die mentale Beanspruchung in Anlehnung an die multiple Ressourcentheorie von Wickens (2002) mithilfe einer Haupt- und einer Nebenaufgabe operationalisiert. Das Ziel der Hauptaufgabe bestand darin, einen sich zufällig über den Computerbildschirm bewegenden Ball mit dem Mauszeiger zu verfolgen und diesen zu treffen. Diese Balltrackingaufgabe wurde in drei Schwierigkeitsstufen unterteilt. Bei der leichten Schwierigkeitsstufe (Stufe 1) bewegte sich der Ball mit einer geringen Geschwindigkeit über den Bildschirm. Bei der mittleren Schwierigkeitsstufe (Stufe 2) musste die Orientierung des Mauszeigers mental rotiert werden, sodass bei einer Mausbewegung die Zeigerbewegung in die entgegengesetzte Richtung erfolgte. Bei der anspruchsvollsten Schwierigkeitsstufe (Stufe 3) wurde zusätzlich zur mentalen Rotation die Ballgeschwindigkeit um das Dreifache erhöht. Parallel zur Balltrackingaufgabe bearbeiteten die Probanden eine auditive Subtraktionsaufgabe, wobei die Antwort als Leistungsparameter mit erfasst wurde.

*Block 2:* Im zweiten Versuchsblock wurde das experimentelle Setting aus Block 1 um ein fingiertes Leistungsfeedback ergänzt. In Anlehnung an Kim et al. (2005) wurde mit dieser Operationalisierung eine emotionale Erregung und Valenz parallel zur mentalen Beanspruchung induziert. Ein positives Feedback erhielten die Probanden, sobald eine vorab definierte Trefferquote in der Balltrackingaufgabe erreicht wurde.

Ein gelber Bildschirmhintergrund signalisierte das Überschreiten der Trefferquote und somit einen monetären Gewinnzuwachs von 2 Euro. Beim Unterschreiten der Trefferquote wurde der Verlust von 2 Euro durch einen roten Bildschirmhintergrund als negatives Feedback angezeigt. Das Feedback wurde in den vier Experimentalbedingungen so manipuliert, dass jede Versuchsperson jeweils bei der Schwierigkeitsstufe 1 und 3 einmal gewonnen und einmal verloren hat.

*Block 3:* Im dritten Versuchsblock wurde die Emotionsinduktion mithilfe des International Affective Picture System (IAPS; Lang et al., 2008) durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden vier Bildersets anhand ihrer Ausprägung auf den Emotionsdimensionen Erregung ( $M = 4.8$ ,  $SD = 2.2$ ) und Valenz ( $M = 5.0$ ,  $SD = 1.6$ ) extrahiert: Bilder mit (a) einer hohen Ausprägung in der Erregung ( $M = 6.7$ ) und einer positiven Valenz ( $M = 7.0$ ), (b) hoher Erregung ( $M = 6.9$ ) und negativer Valenz ( $M = 2.1$ ), (c) geringer Erregung ( $M = 3.2$ ) und positiver Valenz ( $M = 6.5$ ) und (d) geringer Erregung ( $M = 4.1$ ) und negativer Valenz ( $M = 3.0$ ).

Jede Experimentalbedingung innerhalb eines Blocks dauerte 60 Sekunden. Nach jeder Bedingung wurde die subjektive mentale Beanspruchung mit dem NASA-TLX (ausgenommen der Skala „körperliche Anforderung“) erfasst. Neben der subjektiven Erfassung wurde eine kontinuierliche EKG-Messung mit dem Shimmer3 EKG Sensor (204,8 Hz Aufnahme Frequenz) durchgeführt. Die Parametrisierung in statistische und frequenzbezogene Kennwerte erfolgte für jede Experimentalbedingung gemäß den Empfehlungen von Malik et al. (1996). Um Extremwerte und Ausreißer aus der Analyse auszuschließen, wurden Werte, die größer oder kleiner als  $1.5 SD$  über dem Parameternittelwert lagen, entfernt.

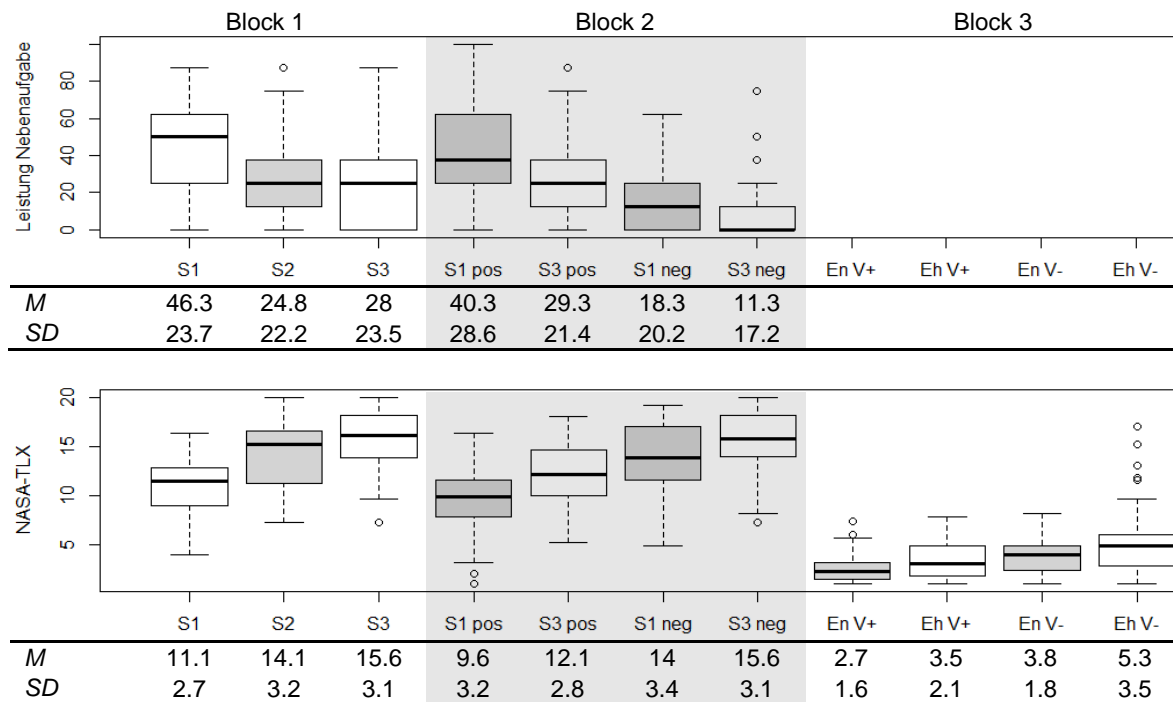
### 3. Ergebnisse

Die Datenauswertung ist in zwei Abschnitte gegliedert. Im ersten Abschnitt wird anhand der subjektiven Daten aus dem NASA-TLX Fragebogen und der Leistungsdaten überprüft, ob die Induktion der mentalen und emotionalen Beanspruchung in den einzelnen Blöcken gelungen ist. Im zweiten Abschnitt werden die extrahierten EKG-Parameter untersucht. Für die statistische Auswertung der vorab z-standardisierten Daten wurden Mehrebenenanalysen mit Zufallseffekten auf der Personenebene durchgeführt.

#### 3.1 Subjektive Daten und Manipulationscheck

*Block 1:* Im ersten Versuchsblock zeigt sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Schwierigkeitsstufen der Balltrackingaufgabe jeweils für die subjektive mentale Beanspruchung im NASA-TLX ( $\chi^2(1) = 96.25$ ,  $p < .001$ ) und die Leistung in der Nebenaufgabe ( $\chi^2(1) = 37.76$ ,  $p < .001$ ). Die Kontrastanalyse zeigt auf, dass mit zunehmender Schwierigkeitsstufe (S) die subjektive Einschätzung im NASA-TLX signifikant steigt ( $b_{S2-S1} = .53$ ,  $t(150) = 8.2$ ,  $p < .001$ ;  $b_{S3-S1} = .80$ ,  $t(150) = 12.5$ ,  $p < .001$ ;  $b_{S3-S2} = .27$ ,  $t(150) = 4.2$ ,  $p < .001$ ) und die Aufgabenleistung bedeutsam sinkt ( $b_{S2-S1} = -.83$ ,  $t(150) = -6.3$ ,  $p < .001$ ;  $b_{S3-S1} = -.70$ ,  $t(150) = -5.3$ ,  $p < .001$ ;  $b_{S3-S2} = .12$ ,  $t(150) = .9$ ,  $p = .347$ ). Abbildung 1 Block 1 veranschaulicht die beschriebenen Unterschiede zwischen den Experimentalbedingungen.

*Block 2:* Für den zweiten Versuchsblock kann sowohl ein signifikanter Haupteffekt der Schwierigkeitsstufe als auch des emotionalen Feedbacks auf den NASA-TLX ( $\chi^2(2) = 123.98$ ,  $p < .001$ ) und die Aufgabenleistung ( $\chi^2(2) = 59.65$ ,  $p < .001$ ) festgestellt werden (siehe Abbildung 1 Block 2). Im Einklang mit den Ergebnissen in Block



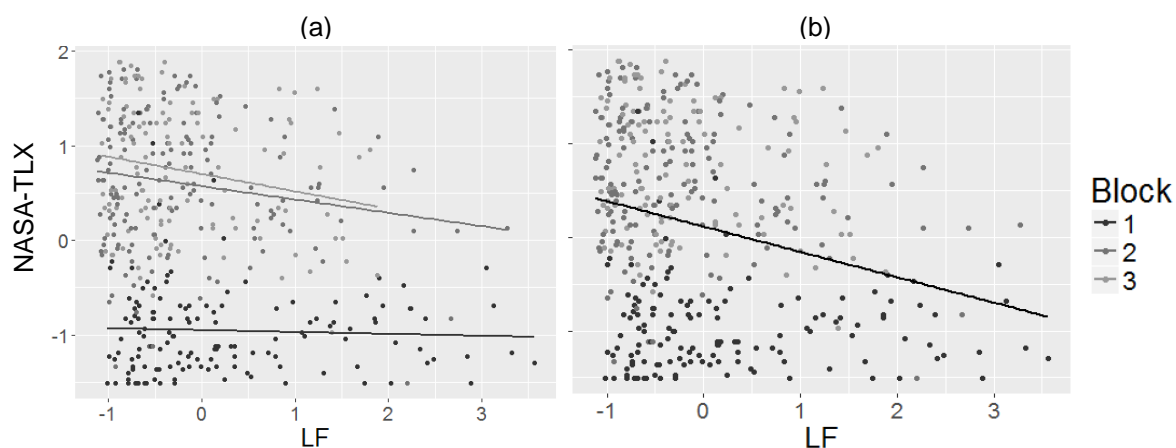
**Abbildung 1:** Box-Plots mit *M* und *SD* für den NASA-TLX Fragebogen und die Leistung in der Nebenaufgabe gruppiert nach Block und Experimentalbedingung (*S* = Schwierigkeitsstufe 1 bis 3; *pos/neg* = positives/negatives Feedback; *En/h* = niedrige/hohe Erregung; *V-/+* = negative/positive Valenz).

1 sowie den bisherigen Befunden zur emotionalen Interferenz zeigt sich, dass bei einem hohen Schwierigkeitsgrad und negativem Feedback die subjektive mentale Beanspruchung im NASA-TLX steigt ( $b_{S3-S1} = .36$ ,  $t(200) = 7.1$ ,  $p < .001$ ;  $b_{neg-pos} = .70$ ,  $t(200) = 13.9$ ,  $p < .001$ ) und die Leistung in der Nebenaufgabe sinkt ( $b_{S3-S1} = -.35$ ,  $t(200) = 3.8$ ,  $p < .001$ ;  $b_{neg-pos} = -.77$ ,  $t(200) = 8.6$ ,  $p < .001$ ). Damit kann der Einfluss der Emotionen nicht nur auf die Aufgabenleistung, sondern auch auf die subjektive Einschätzung im NASA-TLX bestätigt werden.

**Block 3:** Für den dritten Versuchsblock zeigen sich signifikante Haupteffekte der Emotionsdimensionen Valenz (*V*) und Erregung (*E*) auf den NASA-TLX ( $\chi^2(2) = 19.31$ ,  $p < .001$ ). Wie in Abbildung 1 Block 3 veranschaulicht, steigt die subjektive Einschätzung im NASA-TLX bei der Betrachtung von Bildern mit negativer Valenz ( $b_{Vn-Vp} = .26$ ,  $t(200) = 5.5$ ,  $p < .001$ ) und bei Bildern mit hoher emotionaler Erregung ( $b_{Eh-En} = .21$ ,  $t(200) = 4.5$ ,  $p < .001$ ). Ergebnisse bezüglich der Aufgabenleistung können für den dritten Versuchsblock nicht berichtet werden, da hier die Induktion von Emotionen ohne mentale Beanspruchung im Fokus stand. Konform der Operationalisierung fallen die NASA-TLX Werte in Block (B) 3 signifikant geringer aus als in Block 1 und 2 ( $\chi^2(1) = 800.32$ ,  $p < .001$ ;  $b_{B1-B2} = -1.71$ ,  $t(650) = -35.6$ ,  $p < .001$ ;  $b_{B1-B3} = -1.62$ ,  $t(650) = -33.9$ ,  $p < .001$ ). Während die NASA-TLX Werte in Block 1 und 2 im oberen Bereich der Skala stark überlappen ( $b_{B2-B3} = -.08$ ,  $t(650) = -1.7$ ,  $p = .103$ ), sind die Werte in Block 3 im unteren Bereich der Skala lokalisiert.

### 3.2 Vorhersage der mentalen Beanspruchung mit kardialen Parametern

In einem ersten Schritt wird die Vorhersagegüte der EKG-Parameter innerhalb der Versuchsblöcke 1, 2 und 3 bestimmt. Durch die Hinzunahme des Interaktionseffekts Block×EKG-Parameter wird untersucht, ob sich die Vorhersagegüte zwischen den



**Abbildung 2:** Regression des NASA-TLX auf die LF (a) innerhalb der Blöcke und (b) über alle Blöcke hinweg.

Blöcken unterscheidet. Im Folgenden sollen nur kardiale Parameter mit signifikanten Effekten auf den NASA-TLX berichtet werden. Für die Leistung in der Nebenaufgabe konnten keine signifikanten Einflüsse festgestellt werden.

Die Mehrebenenanalyse deckt auf, dass nur die LF Komponente der HRV eine signifikante Devianzreduktion im Modell bewirkt ( $\chi^2(2) = 15.56, p = .001$ ). Bei Betrachtung der Regressionsgewichte ist ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen LF und Block 2 ( $b_{LF \times B2} = -.13, t(420) = -2.0, p = .044$ ) und ein marginal signifikanter Interaktionseffekt zwischen LF und Block 1 ( $b_{LF \times B1} = -.14, t(420) = -1.9, p = .063$ ) zu erkennen. Eine Simple-Slope-Analyse der in Abbildung 2.a dargestellten Interaktionseffekte zeigt, dass mit zunehmender subjektiver mentaler Beanspruchung die LF in Block 1 signifikant ( $b_{B1} = -.18, t(420) = 2.12, p = .034$ ) und in Block 2 marginal signifikant sinkt ( $b_{B2} = -.17, t(420) = 1.8, p = .072$ ). Dagegen ist für den Emotionsblock 3 kein statistisch aussagekräftiger Trend zu erkennen ( $b_{B3} = .10, t(420) = 1.1, p = .296$ ).

In einem letzten Mehrebenenmodell gehen die Daten aus allen drei Blöcken gemeinsam in die Analyse mit ein, wodurch der gesamte Bereich der NASA-TLX Skala abgedeckt wird (siehe Abbildung 2.b). Im Vergleich zum vorigen Modell, welches eine Vorhersage innerhalb der Blöcke trifft, findet sich in diesem Modell eine deutliche Zunahme in der Modellgüte,  $\chi^2(1) = 37.10, p < .001$ , sowie im Regressionskoeffizienten der LF Komponente ( $b_{LF} = -.33, t(420) = -6.4, p < .001$ ).

#### 4. Diskussion

Analog zu den bisherigen Forschungsbefunden zeigt sich auch bei der vorliegenden Studie, dass die Applikation von negativen Emotionen zu einer Verschlechterung der Aufgabenleistung führt. Dieser Effekt der emotionalen Interferenz kann zudem auf die subjektive Bewertung der mentalen Beanspruchung nachgewiesen werden. Darüber hinaus kann festgestellt werden, dass negative Emotionen bereits ausreichen, um einen Anstieg in der mentalen Beanspruchung hervorzurufen.

In Bezug auf die Vorhersage der mentalen Beanspruchung mit kardialen Parametern kann nur für die LF Komponente der HRV ein statistisch bedeutsamer Zusammenhang mit der subjektiven mentalen Beanspruchung festgestellt werden. Dieser Zusammenhang findet sich allerdings nur dann, sofern eine mentale Aktivität der Person gefordert wird. Liegt keine mentale, sondern eine rein emotionale Belastungssi-

tuation vor, dann findet sich kein bedeutsamer Zusammenhang zwischen der LF Komponente und der subjektiven mentalen Beanspruchung. Des Weiteren findet sich eine deutliche Steigerung in der Vorhersagegüte der LF Komponente, wenn die mentalen und emotionalen Belastungssituationen gemeinsam in die Analyse aufgenommen werden. Dieser Gütezuwachs kann damit begründet werden, dass bei einer gemeinsamen Betrachtung der Wertebereich des NASA-TLX um sehr hohe bzw. sehr niedrige Werte erweitert wird und somit auch große Beanspruchungsunterschiede in die Analyse einbezogen werden.

Zusammenfassend lässt sich schlussfolgern, dass der kardiale Parameter LF in mentalen Beanspruchungssituationen einen signifikanten Prädiktor für die subjektive mentale Beanspruchung darstellt und dass die Prädiktion umso zuverlässiger gelingt, je größer die Unterschiede in der mentalen Beanspruchung ausfallen.

## 5. Literatur

- Dolcos, F. & McCarthy, G. (2006): Brain systems mediating cognitive interference by emotional distraction. In: *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience* 26 (7), S. 2072–2079.
- Engström, J., Johansson, E. & Östlund, J. (2005): Effects of visual and cognitive load in real and simulated motorway driving. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 8 (2), S. 97–120.
- Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988): Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: N. Meshkati und P. A. Hancock (Hrsg.): *Human Mental Workload*, Bd. 52. (1. Aufl.). Elsevier textbooks (Advances in Psychology, v. 52), S. 139–183.
- Hussain, M. S., Calvo, R. A. & Chen, F. (2014): Automatic Cognitive Load Detection from Face, Physiology, Task Performance and Fusion During Affective Interference. In: *Interacting with Computers* 26 (3), S. 256–268.
- Kim, J., André, E., Rehm, M., Vogt, T. & Wagner, J. (2005): Integrating information from speech and physiological signals to achieve emotional sensitivity. In: *INTERSPEECH 2005*, Lisbon, Portugal, S. 809–812.
- Lang, P. J., Bradley, M. M. & Cuthbert, B. N. (2008). International affective picture system (IAPS): Affective ratings of pictures and instruction manual. Technical Report A-8. University of Florida, Gainesville, FL.
- Manzey, D. (1998). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Hrsg.), *Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie. Enzyklopädie der Psychologie Bd. C/1/7* (S. 799-864). Göttingen: Hogrefe.
- Mulder, L., Waard, D. de & Brookhuis, K. (2005): Estimating Mental Effort Using Heart Rate and Heart Rate Variability. In: Neville Stanton (Ed.): *Handbook of human factors and ergonomics methods*. Boca Raton: CRC Press, 20-1-20-8.
- Sabatinelli, D., Bradley, M. M., Fitzsimmons, J. R. & Lang, P. J. (2005): Parallel amygdala and inferotemporal activation reflect emotional intensity and fear relevance. In: *NeuroImage* 24 (4), S. 1265–1270.
- Valenza, G., Allegrini, P., Lanata, A. & Scilingo, E. P. (2012): Dominant Lyapunov exponent and approximate entropy in heart rate variability during emotional visual elicitation. In: *Frontiers in neuroengineering* 5, S. 3.
- Wickens, C. D. (2002): Multiple resources and performance prediction. In: *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 3 (2), S. 159–177.
- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S. & Parasuraman, R. (2013): *Engineering psychology and human performance*. (4. Aufl.). Boston: Pearson.

**Danksagung:** Diese Arbeit wurde im Rahmen des BMBF geförderten Projekts „Kontextsensitive Assistenz im aufmerksamen OP: KonsensOP“ durchgeführt. Die Autoren bedanken sich für die Förderung sowie für die Unterstützung der Projektpartner und der wissenschaftlichen Hilfskräfte.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft**

63. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

---

**GfA Press**

---

**Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017**

**FHNW Brugg-Windisch, Schweiz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

**Screen design und Umsetzung**

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)