

Prozessbegleitende Messung physiologischer Parameter – Alternative on- und offline Analyseverfahren für Herzratenvariabilität im Vergleich

Dominic BLÄSING, Manfred BORNEWASSER

*Institut für Psychologie, Universität Greifswald
Franz-Mehring-Straße 47, D-17487 Greifswald*

Kurzfassung: Mit zunehmend kleiner werdender Sensorik und der Möglichkeit zur Integration in normale Arbeitskleidung, können physiologische Messungen prozessbegleitend am Arbeitsplatz eingesetzt werden. Über die Messung der Herzaktivität mittels EKG-Sensoren ist es möglich, Rückschlüsse auf die Aktivität des autonomen Nervensystems zu ziehen und Aussagen über die aktuelle Beanspruchungssituation der untersuchten Person zu treffen. Ebenso können Arbeitsabläufe angepasst werden, so dass das individuelle Beanspruchungserleben optimiert wird. Bestehende Gefährdungsanalysen könnten folglich um physiologische Parameter angereichert werden. Die kontinuierliche, mobile Datenerhebung liefert dabei einen mit herkömmlichen Methoden kaum zu analysierenden Datenstrom. Für eine solche Datenverarbeitung werden sowohl On- als auch Offline neue Darstellungs- und Auswertungsformen benötigt. An einem prototypischen EKG-Datensatz sollen verschiedene Analysemethoden basierend auf Herzfrequenz und Herzfrequenzvariabilität vorgestellt werden.

Schlüsselwörter: Belastung-Beanspruchung, Mental Workload, Wearables, Baselinemessung, Herzfrequenzvariabilität

1. Einleitung

Die objektive Erfassung des Beanspruchungserlebens der Mitarbeiter ist seit vielen Jahren Thema der Arbeitswissenschaften. Subjektive Bewertungsverfahren wie Fragebögen sind für eine Detailanalyse oftmals nicht einsetzbar oder bilden nur ein verzerrtes Bild der Realität ab. Durch immer kleinere, hochauflösende Messmethodik ist es möglich mittels noninvasiver Verfahren biophysiological Korrelate der Beanspruchung live am Arbeitsplatz zu messen, ohne dabei die Handlungs- und Bewegungsfreiheiten des Arbeitenden einzuschränken. Durch diese Erfassungsmethoden ergibt sich die Möglichkeit den Arbeitsprozess zu korrigieren, bzw. über Assistenzsysteme korrigierend und unterstützend/entlastend einzugreifen (Bornewasser et al. 2018; Bläsing & Bornewasser 2019).

2. Theorie

Beanspruchung wird dabei definiert als die subjektiv individuelle Reaktion auf einen von außen kommenden Reiz (Belastung). Gerade an Arbeitsplätzen, an denen verschiedene Beschäftigte arbeiten, bleibt die Belastung zwar konstant, die Beanspruchungsreaktion erfolgt jedoch aufgrund unterschiedlicher Konstitution, Erfah-

rung, Kompetenzen und Coping-Strategien in ganz unterschiedlichem Ausmaß. Ohne eine Belastung erfolgt keine Arbeit, da diese immer Resultat der Verarbeitung externer Reize vor dem Hintergrund der Verfügbarkeit interner Ressourcen des Beschäftigten ist (Hacker 2009). Über den Arbeitstag bleibt die Belastung nicht konstant, sondern unterliegt kontinuierlichen, z.T. non-zyklischen Schwankungen und erfordert immer wieder eine Adaption an sich verändernde Bedingungen.

Mit einer immer stärkeren Fokussierung auf informationslastigere Arbeitsprozesse in vielen Arbeitsbereichen nimmt auch die Bedeutsamkeit mentaler Beanspruchungen zu. Mentale Beanspruchung wird als eine Relation von Angebot und Nachfrage kognitiver Ressourcen des Individuums wie beispielsweise des Arbeitsgedächtnisses betrachtet. Die dem Individuum zur Verfügung stehenden Verarbeitungskapazitäten treten in einen Konflikt mit der Menge der zu verarbeitenden Reize (Broadbent 1971; Wickens 2008). Sowohl Unter- als auch Überforderung gehen dabei mit Leistungseinbußen und steigenden Fehlerzahlen einher (Xie & Salvendy 2000). Bei Überforderung liegen die Gründe in Ablenkung, geteilter Aufmerksamkeit und mangelnder Zeit für adäquate Informationsverarbeitung, bei Unterforderung hingegen in geringerer Aufmerksamkeit und Wachsamkeit (Brookhuis & De Waard 2000). Wickens et al. (2013) zufolge kann einer Überlastung durch zu viele benötigte Ressourcen am Arbeitsplatz am besten durch die Automatisierung von Abläufen, die Umverteilung von Arbeit oder einer Restrukturierung des Arbeitsprozesses zu Gunsten serieller statt paralleler Abläufe erfolgen.

Aufgrund der Limitierung der kognitiven Ressourcen sowie des Bestrebens, Unter- und Überforderung zu vermeiden, wird im Red-Lines-Ansatz ein optimaler Leistungsbereich definiert, in dem das Verhältnis benötigter und verfügbarer Ressourcen im Hinblick auf die Performance am ausgewogensten ist (Young et al. 2015). Extremzustände außerhalb der Red-Lines sollten während des Arbeitsprozesses ausgespart bleiben.

Die Beanspruchung des Arbeitenden ist dabei nicht nur mittels objektiver Indikatoren wie Zeit und Fehlerraten messbar, sondern auch in der physiologisch über das autonome Nervensystem innervierten Stressreaktionen. So geht eine höhere Beanspruchung z.B. mit einem Anstieg der Herzfrequenz (HR), einem Absinken der Herzfrequenzvariabilität (HRV) oder einer Veränderung der Pupillengröße einher (Di Domenico & Nussbaum 2011). Probleme bei der Interpretation von physiologischen Daten im Feld liegen in der Regel vor allem im Bereich des Rauschens, der natürlich auftretenden Schwankungen und der Definition verschiedener voneinander abgrenzbarer Beanspruchungszustände.

In der Regel werden physiologische Daten immer in Relation zu einer Ruhemesung und über längere Zeiträume (>5 Minuten) betrachtet. Gerade die Möglichkeit der Live-Messung und Echtzeit-Auswertung von physiologischen Daten bietet jedoch, neben einigen Herausforderungen, ein großes Einsatzpotential im Hinblick auf digitale Assistenzsysteme und jegliche Prozessoptimierung (Bläsing & Bornewasser 2019). Um dieses Potenzial nutzbar zu machen, bedarf es alternativer Auswertungs- und Analyseverfahren.

Im Folgenden werden drei unterschiedliche Ansätze anhand eines prototypischen Datensatzes präsentiert. Ziel der kontinuierlichen Datenanalyse ist es, die Peaks (positiver und negativer Art) innerhalb des Datenstroms zu identifizieren, die Hinweis für eine potentielle Über- oder Unterforderung des Mitarbeitenden darstellen. Als Maß für die HRV wurde dabei der von Vollmer entwickelte Parameter rrHRV gewählt, welcher sich besonders robust gegen Ausreißer und Bewegungsartefakte zeigt

(Vollmer 2015). Die Grundannahmen der Ansätze werden dabei zusammengefasst und ihre Vor- und Nachteile kurz skizziert.

3. Methoden der On- und Offlineanalyse

Allen Ansätzen gemein ist, dass sie sich als Offlineanalyseverfahren eignen und unter Einschränkungen auch für eine Echtzeit-Analyse eignen. Ziel ist es dabei, jeweils unter Berücksichtigung statischer oder dynamischer Grenzwertziehungen Phasen der Überlastung, Unterforderung und der optimalen Leistungserbringung zu identifizieren bzw. Veränderungen der Zustände zu diagnostizieren. Nutzt man physiologische Messungen ergänzend zu einer Prozessanalyse, so können auch offline Analyseverfahren genutzt werden, um kritische Bereiche zu identifizieren. Der Vorteil dieser Variante ist, dass die temporale Auflösung der Analyse weniger grob sein kann und somit auch kurzphasige Anstiege identifizierbar werden.

Die ersten beiden Ansätze beschreiben Verfahren, die in der Lage sind, Schwankungen im Beanspruchungserleben über bestimmte Grenzwerte hinaus zu identifizieren und diese graphisch rückzuspiegeln. Verfahren 1 generiert individuelle Beanspruchungsverläufe unter Berücksichtigung vordefinierter Perzentile über einen gewählten Analyseparameter. Dies kann im Nachhinein für einen bestimmten Erhebungszeitraum (offline) oder live während einer Messung passieren (online), wobei bei einer Live-Analyse die Grenzwerte der Perzentile bereits aus einer vorhergehenden Messung bekannt sein müssen. In der Visualisierung (Abb. 1) stehen Rote Bereiche für Zeitpunkte und Phasen einer potentiellen Überlastung (rrHRV über dem 75. Perzentil), grüne Bereiche für Entspannung (rrHRV unter dem 25. Perzentil).

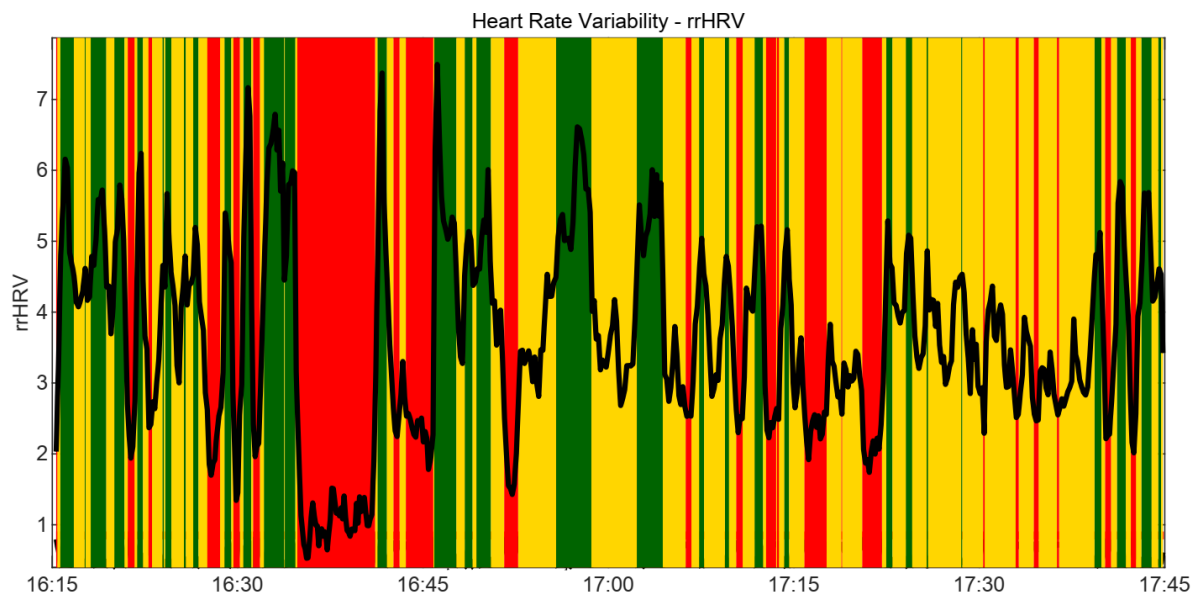


Abbildung 1: Vergleich der Verwendung unterschiedlicher Perzentile zur Differenzierung von Phasen von erhöhter und verminderter Beanspruchung

Der Vorteil des Verfahrens ist, dass innerhalb des Aufzeichnungszeitraumes schnell sichtbar wird, zu welchen Zeitpunkten die Werte sehr hoch oder sehr gering waren und über die Balkenbreite auch eine Information über die Dauer der Zustandsänderung geliefert wird. Nachteilig ist jedoch, dass je nach verwendetem Aus-

gangsdatenmaterial die roten und grünen Phasen nicht zwingend einer Überschreitung der Red-Lines bedeuten würden, sondern nur in diesem Zeitfenster auffällig hoch oder niedrig sind. Die Festlegung der Perzentile muss hierbei je nach Anforderungsbereich und Analyseverfahren gewählt werden. Integriert man diesen Ansatz in ein lernendes System und sammelt über Tage, Wochen oder Monate Daten, so steigt die Wahrscheinlichkeit, dass man mittels der richtig gewählten Perzentile Zeiträume von Überlastung (rot) und Unterforderung (grün) valide und während der Messung vorhersagen kann.

Ein Alternativverfahren bestünde darin, eine Baselinemessung durchzuführen, um dem System zu vermitteln, welche Muster bei kompletter Entspannung (Unterforderung) und totaler mentaler Überlastung zu erwarten sind. In diesem Fall müsste vor der Messung die untersuchte Person Aufgaben erledigen, die sie an ihre mentalen Leistungsgrenzen bringt. Dies kann sowohl auf allgemeinem als auch auf aufgabenspezifischem Niveau passieren. Variante 1 setzt demnach auf dynamisch variable Grenzwerte, während Variante 2 sich auf statische Grenzwerte stützt. Während Variante 1 erst nach Erhebung einer größeren Datenmenge für den online-Einsatz geeignet ist, kann Variante 2 bereits nach erfolgreicher Baselinemessung und Auswertung derselben auch im Feld zum Einsatz kommen und eine einfach zu interpretierende Verlaufskurve des Beanspruchungsgrades aufzeichnen (exemplarisch Abb. 2). Die rrHRV Werte wurden hierfür an minimal und maximalen Werten normiert und zur besseren Interpretierbarkeit invertiert, die Red-Lines bei je 15% und 85% festgesetzt. Je höher die Werte in diesem Fall liegen, desto beanspruchter ist die untersuchte Person.

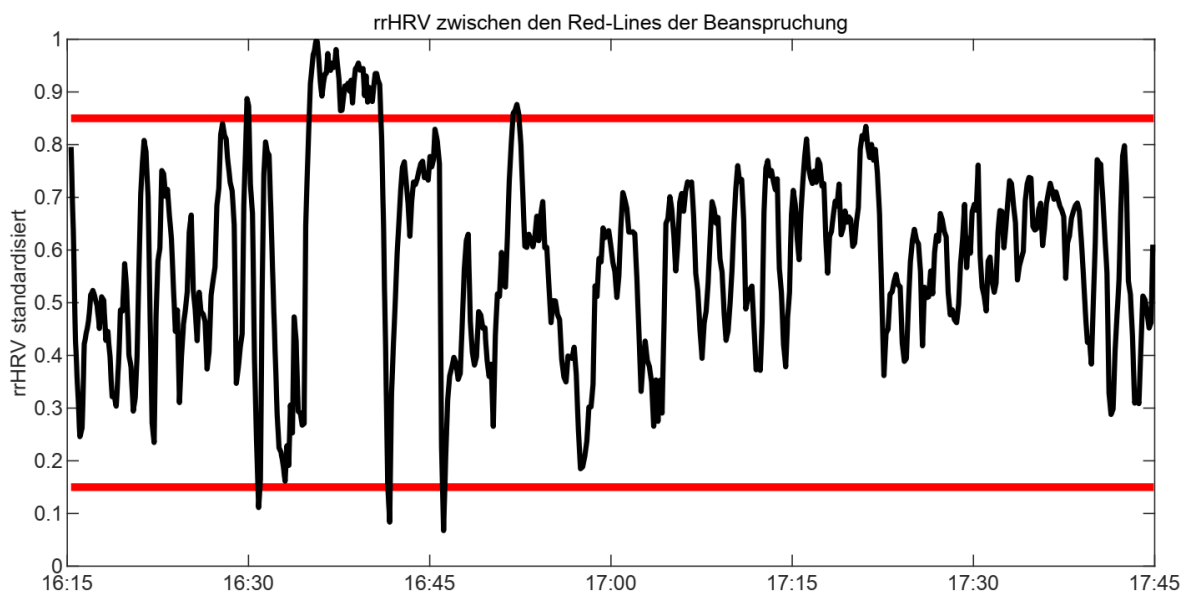


Abbildung 2: Leistungsprofil unter Berücksichtigung von Red-Lines (15% über Ruhe- und 15% unter Maximallastmessung)

Ein dritter Ansatz wurde von Hoover et al. (2012) entwickelt und basiert auf der Annahme, dass verschiedene mentale Zustände sich durch unterschiedliche Signal-Statistiken (wie Mittelwert, Streuung etc.) auszeichnen und somit voneinander unterscheidbar sind. Die Trennung in distinkte Zustände geschieht anhand des Vergleiches zweier benachbarter Histogramme und derer Sub-Gaussian Verteilungsfunktionen. Hierzu werden alle Daten, die seit der Detektion der letzten Zustandsänderung

erhoben wurden, in einen Datenpuffer geschrieben und dieser nach dem Punkt durchsucht, an dem die beiden Verteilungen maximal verschieden sind. Die beiden so entstandenen Verteilungen werden hinsichtlich ihrer Überlappung untersucht. Bei auffälligen Unterschieden wird an dieser Stelle eine Zustandsänderung (Mental Change Point) diagnostiziert (exemplarisch Abb. 3). Sollte es nicht zu einer Identifikation einer Zustandsänderung gekommen sein, so werden fortlaufend neue Daten in den Puffer geschrieben. Die Analyse startet dann erneut. Dies geht solange, bis ein Veränderungspunkt gefunden wurde. Dann wird am Punkt der Zustandsänderung die Analyse neu begonnen.

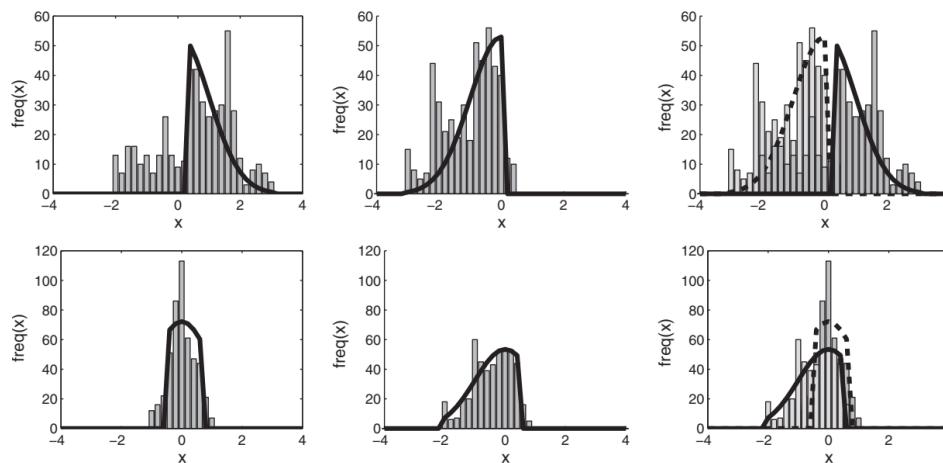


Abbildung 3: Detektion von Mental Change Points über den Vergleich von Histogrammen (oben Identifikation von Mental Change Point, unten keine Veränderung). Abbildung aus Hoover et al. 2012 Seite 338.

Das Verfahren eignet sich ideal zur live-Vorhersage, da es in der Lage ist, mit einem Versatz von ca. 60 Sekunden Veränderungen des mentalen Zustandes zu detektieren, solange diese über einen Zeitraum von mindestens 60-120 Sekunden andauern. Nachteilig ist jedoch, dass keine qualitative Aussage über diese Zustandsänderung möglich ist. Die Möglichkeit einer Verallgemeinerung auf weitere HRV-Parameter und physiologische Indikatoren muss noch überprüft werden.

4. Diskussion

Mittels moderner Mess- und Auswertungsmethodik scheint eine Online-Analyse von EKG Daten mit Hinblick auf eine Auswertung von HRV möglich zu sein. Allerdings bestehen noch verschiedene Forschungsprobleme, ehe aus solchen Daten in Echtzeit arbeitsorganisatorische Veränderungen abzuleiten und umzusetzen sind.

Eines der größten Probleme der Messung besteht darin, eine sinnvolle Baseline-Messung bzw. gute Trainingsdatensätze für Machine-Learning-Algorithmen zu erzeugen, welche auf den Beschäftigten und dessen Arbeitsplatz zugeschnitten sind, jedoch nicht zu viel Zeit in Anspruch nehmen sollen. Des Weiteren bleibt die Frage nach der exakten Bestimmung der Red-Lines der mentalen Beanspruchung offen, so wie die Interpretierbarkeit von Zwischenstufen innerhalb des optimalen Beanspruchungsbereiches. Ein allgemein verbindlicher Wert kann aufgrund des dynamischen Einflusses schwankender individueller Ressourcen nicht zum Vergleich herangezogen werden.

Für eine vergleichende, eventuell auch nicht kontinuierliche (nicht tägliche) Messung, gilt es weitere Punkte wie die circadiane Rhythmik (sowie weiterer Rhythmiken innerhalb der Woche (Vergleich Arbeitstag und Ruhetag) oder des Jahres (Vergleich Winter und Sommer)) zu berücksichtigen. Diese Einflüsse können vor allem auch bei Langzeitmessungen an Bedeutung gewinnen und müssen bei der Analyse berücksichtigt werden. Auch eine gewisse Aufregung des Arbeitenden bei der erstmaligen Messung muss Berücksichtigung finden.

Des Weiteren kann es bei der Verwendung von HR und HRV als Indikatoren der mentalen Beanspruchung im Arbeitsprozess immer wieder zu Maskierungseffekten durch eine erhöhte sympathische Aktivität aufgrund von Bewegung kommen. Eine Möglichkeit diesem Problem zumindest im Ansatz zu begegnen ist die Verwendung multimodaler Messansätze.

5. Ausblick

Trotz der Limitationen, bietet die Messung physiologischer Werte am Arbeitsplatz die Chance, Arbeitskräfte gezielt dann zu entlasten oder ihnen Hilfe an die Hand zu geben, wenn eine übermäßige Beanspruchung erkannt wird (Bläsing & Bornewasser 2019). Mit einer weiteren Verbesserung von Mess- und Auswertemethodik kann die Gesundheit von Beschäftigten nachhaltig verbessert und zugleich die Arbeitsproduktivität gesteigert werden.

6. Literatur

- Bläsing D, Bornewasser M (2019) A strain based model for adaptive regulation of cognitive assistance systems. A theoretical Framework and practical limitations. In: Waldemar Karwowski & Tareq Ahram (Eds.) Intelligent Human Systems Integration (in press).
- Bornewasser M, Bläsing D, Hinrichsen S (2018) Informatorische Assistenzsysteme in der manuellen Montage: Ein nützliches Werkzeug zur Reduktion mentaler Beanspruchung? Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 72(4): 264–275.
- Broadbent DE (1971) Decision and stress. New York: Academic Press.
- Brookhuis KA, Waard D de (2010) Monitoring drivers' mental workload in driving simulators using physiological measures. Accident Analysis & Prevention, 42(3): 898–903.
- DiDomenico A, Nussbaum MA (2011) Effects of different physical workload parameters on mental workload and performance. International Journal of Industrial Ergonomics, 41(3): 255–60.
- Hacker W (2009). Arbeitsgegenstand Mensch: Psychologie dialogisch-interaktiver Erwerbsarbeit: Ein Lehrbuch (1. Auflage). Lengerich: Pabst Science Publishers.
- Hoover A, Singh A, Fishel-Brown S, Muth E (2012) Real-time detection of workload changes using heart rate variability. Biomedical Signal Processing and Control, 7(4): 333–41.
- Wickens CD (2008) Multiple resources and mental workload. Human Factors, 50(3): 449–455.
- Wickens CD, Santamaria A, Sebok A (2013) A computational model of task overload management and task switching. Proc. Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 57(1): 763–7.
- Vollmer M (2015) A robust, simple and reliable measure of heart rate variability using relative RR intervals. Accessed December 05, 2018. <http://marcusvollmer.github.io/HRV/files/paper.pdf>.
- Xie B, Salvendy G (2000) Prediction of mental workload in single and multiple tasks environments. International Journal of Cognitive Ergonomics, 4(3): 213–42.
- Young MS, Brookhuis KA, Wickens CD, Hancock PA (2015) State of science: Mental workload in ergonomics. Ergonomics, 58(1): 1–17.

Diese Publikation entstand im Kontext des vom BMBF und ESF geförderten Verbundprojektes „Exzellente Montage im Kontext Industrie 4.0 – wirtschaftlich und kompetenzförderlich“ (Förderkennzeichen 02L15A261).



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten

65. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

GfA-Press

Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,
Technische Universität Dresden;
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2019
ISBN 978-3-936804-25-6

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 Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Screen design und Umsetzung

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de