

Musteranalyse physiologischer Parameter zur Identifikation von Peaks mentaler Beanspruchung

Dominic BLÄSING^{1,2}, Manfred BORNEWASSER¹

¹ *Institut für Psychologie, Universität Greifswald
Franz-Mehring-Straße 47, D-17487 Greifswald*

² *Institut für Community Medicine
Abteilung Präventionsforschung und Sozialmedizin
Universitätsmedizin Greifswald
Walther-Rathenau-Straße 48, D-17489 Greifswald*

Kurzfassung: Die arbeitsplatznahe Erfassung mentaler Beanspruchung mittels physiologischer Parameter und Messmethoden gestaltet sich schwierig. Viele herkömmliche Verfahren sind nicht darauf ausgelegt, über längere Zeiträume hinweg bei hoher Beweglichkeit der Beschäftigten und Flexibilität der Abläufe valide Daten zu mentalen Beanspruchungsspitzen zu liefern. Eine Alternative zur herkömmlichen Erfassung und Auswertung von Beanspruchungsdaten könnte darin liegen, die gemessenen Zeitintervalle zu verkürzen und unterschiedliche Verlaufsmuster einzelner Parameter hinsichtlich eines Referenzzeitpunkts abzubilden. Ansätze zu einer solchen Musteranalyse von Parameterverläufen werden aufgezeigt.

Schlüsselwörter: Kognitive Ergonomie, Komplexität, mentale Beanspruchung, physiologische Parameter der mentalen Beanspruchung, Eye Tracking, EKG

1. Mentale Beanspruchung im Arbeitsalltag zwischen Plateaus und Peaks

Die kognitive Ergonomie zielt darauf ab, das „Brain at work“ (Parasuraman et al. 2012) zu erfassen. Um dieses hochgesteckte Ziel erreichen zu können, braucht es neben theoretischen Konzeptionierungen eine geeignete Messmethodik und entsprechenden Auswertungsstrategien. Neben Fragen der Sensorentwicklung stellen sich jedoch gerade im aufstrebenden Feld der Neuroergonomie zunehmend auch ethische Fragen der Privatsphäre und kognitiven Freiheit der Person (Dehais et al. 2020). Von einer absoluten Überwachung des arbeitenden Menschen ist man zum aktuellen Zeitpunkt jedoch noch weit entfernt. Mit z.T. bereits existierenden Auswertungsstrategien und -algorithmen ist es jedoch möglich, kurzfristig auftretende Beanspruchungsspitzen und längere Beanspruchungsplateaus zu identifizieren.

Arbeit stellt in der Regel einen dynamischen Prozess dar, während dessen das Beanspruchungserleben der Arbeitenden einem stetigen Wandel unterliegt. Eine gute ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes sorgt dabei dafür, dass diese Beanspruchung immer im Rahmen des für den Arbeitenden Bewältigbaren bleibt. Mentale Beanspruchung entsteht häufig durch die Konfrontation des Arbeitenden mit neuen informationshaltigen Reizen am Arbeitsplatz, die sensorisch aufgenommen und verarbeitet werden müssen (Schlick et al. 2018). Theoretische Annahmen wie sie auch dem Red-Lines-Model für mentale Beanspruchung (Abb. 1 - Young et al. 2015) zugrunde liegen, gehen von dem Vorhandensein endlicher, kapazitiver Ressourcen aus, die dem Arbeitenden zur Lösung einer Aufgabe zur Verfügung stehen. Überschreiten die Aufgaben-

anforderungen die Menge der zur Verfügung stehenden Ressourcen, tritt ein Zustand der Überbeanspruchung (Overload) ein und die Leistung sinkt ab. Ebenso wirkt sich auch eine mentale Unterforderung negativ auf die Leistungserbringung aus. Diese wird durch ein Absinken der Aufmerksamkeit in Folge einer zu monotonen, stetig wiederholten oder nicht genügend aktivierenden Aufgabe verursacht.

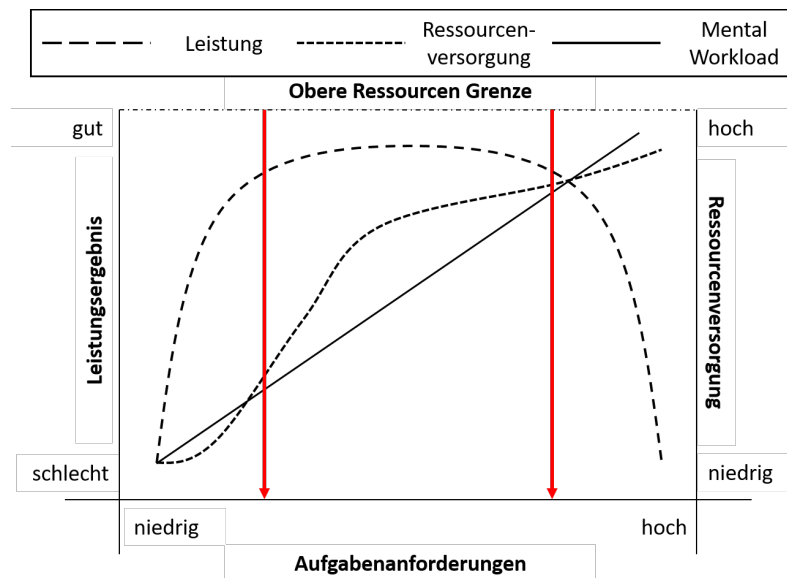


Abbildung 1: Red-Lines-Modell Mentaler Beanspruchung (übersetzt nach Young et al. 2015)

2. Multimodale Messung mentaler Beanspruchung

Mentale Beanspruchung entsteht im Spannungsfeld zwischen aufgabenbezogenen Anforderungen und persönlichen Ressourcen, Erfahrungen und Kompetenzen und stellt damit ein interindividuell höchst unterschiedliches Phänomen dar. Um diese Unterschiede erfassbar zu machen, stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die sich grob in die Bereiche der subjektiven Befragung, der Performanzerfassung und der physiologischen Messung unterteilen lassen (Chen et al. 2016; Longo 2018).

Die präzise Erfassung mentaler Beanspruchung stellt die Ergonomie dabei immer wieder vor Herausforderungen. Messverfahren erweisen sich als unterschiedlich sensitiv (Bläsing & Bornwasser 2020), in der Praxis nicht einsetzbar (Dehais et al. 2020), fehleranfällig oder durch subjektive Einflüsse verzerrt (Matthews et al. 2015). Durch die Kombination verschiedener Indikatoren können Nachteile einzelner Verfahren überwunden werden. Chen et al. (2016) empfehlen daher, immer mehrere Verfahren zum Einsatz zu bringen.

Durch deutliche Fortschritte im Bereich der Wearable Electronics steigen die Einsatzpotentiale objektiver physiologischer Messverfahren im Feld stark an. Messmethodik wird kleiner, gleichzeitig leistungsstärker (höherer Abtastfrequenzen) und kostengünstiger, da Produkte aus dem Consumer-Markt übernommen werden können. Während Verfahren wie Elektrokardiographie (EKG) und die Messung der elektrodermalen Aktivität (EDA) schon längere Zeit zum Einsatz kommen, eröffnen mobile Eye-Tracking- und Elektroenzephalographie (EEG)-Lösungen (Wascher et al. 2020) neue Möglichkeiten, Einblicke in die tatsächliche stattfindende Beanspruchung des arbeitenden Menschen zu bekommen.

Häufig genutzte physiologische Parameter sind die Herzfrequenz (HR), Varianten

der Herzfrequenzvariabilität (HRV) (Sammito et al. 2015) sowie verschiedene Augen- und Blick bezogene Parameter, z.B. die Ausdehnung der Pupille (Pupillary Response) (Marquart & de Winter 2015), Fixationszeiten (Herten et al. 2017), Muster im Blinzelnverhalten (Reßut & Hoppe 2020) oder Area of Interest-Analysen. Besonders die EKG-bezogenen Parameter, aber auch die Pupillenausdehnung gehen dabei mit einer Veränderung der Aktivität des autonomen Nervensystems einher. Eine verstärkt sympathische Aktivierung, welche mit der Bereitstellung von Energie assoziiert ist, sorgt für einen Anstieg der HR, einer verminderten Variabilität zwischen den Herzschlägen (HRV) und einer Vergrößerung der Pupille. Insgesamt kann somit durch physiologische Messungen ein Bild vom Gleichgewicht des autonomen Nervensystems gewonnen werden. Herrscht am Arbeitsplatz über einen längeren Zeitraum hinweg durchgehend vermehrt sympathische oder parasympathische Aktivität vor, so ist dies als ein Zeichen von Fehlbeanspruchung zu bewerten. Abbildung 2 verdeutlicht die Schwankungen der messbaren Beanspruchungsparameter recht deutlich. Zu erkennen sind Herzfrequenz (rot), HRV (rrHRV rot-gepunktet), Pupillenausdehnung (grün), Fixations- (blau) und Sakkadendauer (blau-gepunktet), sowie die sakkadische Amplitude (hellblau) und Saccadic Peak Velocity (hellblau-gepunktet) während der manuellen Montage eines LKW Hilfsrahmens im Labor (mehr Informationen: Bläsing & Bornewasser 2020). Auffallend sind dabei deutlichen Schwankungen in allen Parametern. Schwarze vertikale Linien verdeutlichen Interaktionen mit einem Assistenzsystem, welches den Probanden neue Instruktionen für die Montage bereitgestellt hat. Betrachtet man beispielsweise den Indikator der Herzfrequenz, so fällt auf, dass dieser über den kurzen Analysezeitraum nicht nur zwischen 70 und 87 Schlägen pro Minute schwankt. Die Anzahl und Stärke der kurzfristig messbaren Peaks und Länge konstanter Plateaus variiert dabei von Parameter zu Parameter.

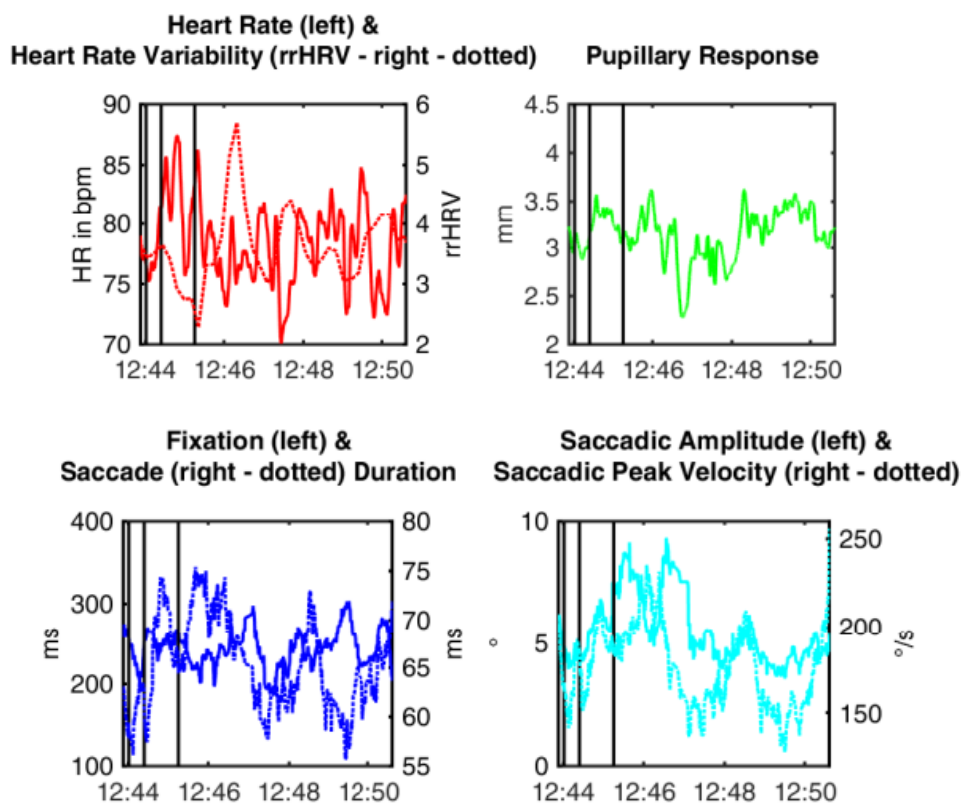


Abbildung 2: Schwankungen mentaler Beanspruchung während der manuellen Montage eines LKW-Hilfsrahmens

3. Alternative Auswertungsansätze - Muster Analysen und Maschinelles Lernen

Traditionell werden in der Beanspruchungsforschung längere Analyseeinheiten zur Untersuchung herangezogen. Arbeitstage, komplette Montageprozesse oder mehrminütige Untersuchungseinheiten gleicher Beanspruchung werden miteinander verglichen oder Verlaufsprofile erstellt. Diese Betrachtungsweise hat den großen Vorteil, dass für die Analyse größtenteils auf aggregierte und bereinigte Daten zugegriffen werden kann, welche weniger anfällig sind für Messfehler, spontane und nicht aufgabenbezogene Schwankungen und Rauschen im Allgemeinen. Kurzfristige Peaks der Beanspruchung werden dabei ebenso vernachlässigt wie längerfristige kontinuierliche Anstiege. Diese Art der Messung eignet sich gut, um Plateaus gleichbleibender Beanspruchung zu beschreiben. Gerade im EEG Bereich erfordern solche Untersuchungen jedoch die wiederholte Konfrontation mit einem ähnlichen Reiz, was den Einsatz im Feld stark erschwert.

Eine Veränderung des Betrachtungszeitraums hin zu höherer Granularität kann dazu beitragen, Event bezogene Veränderungen der mentalen Beanspruchung besser erfassbar zu machen. In Tabelle 1 sind Mittelwerte und Standardabweichungen für verschiedene physiologische Indikatoren für unterschiedlich lange Messzeiträume aufgezeigt. Während in der ersten Zeile die Mittelwerte für einen kompletten Montageprozess abgebildet sind, werden in den folgenden Zeilen Werte für einzelne Instruktionsschritte wiedergegeben (20 Sekunden). Hier zeigen sich bereits Unterschiede für einige physiologische Parameter (z.B. rrHRV, SDNN, SPV). Einen Rückschluss auf eventuell vorliegende Peaks oder kontinuierliche Veränderungen (hin zu mehr oder weniger Beanspruchung) sind weiterhin nicht möglich.

Tabelle 1: Physiologische Indikatoren mentaler Beanspruchung im Vergleich unter Berücksichtigung des Referenzzeitraums (Mean = Mittelwert Montage mittlerer Komplexität, Event = Mittelwert während der Informationsaufnahme, Step 1 = Mittelwert während der Präsentation des ersten Arbeitsschrittes, etc.).

	HR	rrHRV	SDNN	Pup Resp	Fix Dur	SPV
Mean	99.67 (14.71)	2.86 (1.15)	46.67 (14.77)	3.45 (.39)	232.96 (21.73)	177.48 (23.93)
Step 1	100.43 (17.08)	3.00 (1.42)	42.22 (19.40)	3.37 (.42)	226.16 (29.22)	182.09 (30.39)
Step 2	100.57 (15.04)	2.82 (1.34)	37.57 (17.25)	3.40 (.38)	231.92 (31.77)	177.10 (29.93)
Step 3	99.03 (15.48)	3.04 (1.34)	40.45 (19.11)	3.42 (.41)	230.25 (30.39)	174.77 (30.75)

Geht man einen Schritt weiter und nutzt nicht nur feste Zeitabschnitte für die Analyse, sondern vermehrt gleitende Mittelwerte, so kann der prozessuale Charakter von Arbeit besser dargestellt und analysiert werden. So können über alle untersuchten Probanden ähnliche Verlaufsmuster für verschiedene Parameter aufgedeckt werden (Abb. 3). Erkennbar sind hierbei Veränderungen des Fixationsverhaltens sowie der Pupillenausdehnung in Abhängigkeit von der Reizkonfrontation (schwarzer Balken am Nullpunkt). Für die weiteren Indikatoren zeigen sich im Mittel zwar eher konstante Verläufe (rote Kurve), verschiebt man den Analysefokus jedoch wieder auf die unterschiedlichen Instruktionsschritte (Step 1 - Step 3 graue Linien im Hintergrund), so werden zum Teil recht deutliche Unterschiede sichtbar (Bläsing & Bornewasser 2020).

Durch Weiterentwicklungen im Bereich des Maschinellen Lernens sowie einer Stei-

gerung der Verarbeitungskapazität wird es zeitnah möglich sein, Daten in Echtzeit zu analysieren und beispielsweise durch die Kopplung solcher Messung an informativische Assistenzsysteme an die aktuelle Beanspruchungssituation angepasste Hinweise darzubieten (Bläsing & Bornewasser 2019). Erste Ansätze zur Identifikation von Wechseln im Beanspruchungsverhalten existieren dabei schon seit mehreren Jahren (Hoover et al. 2012).

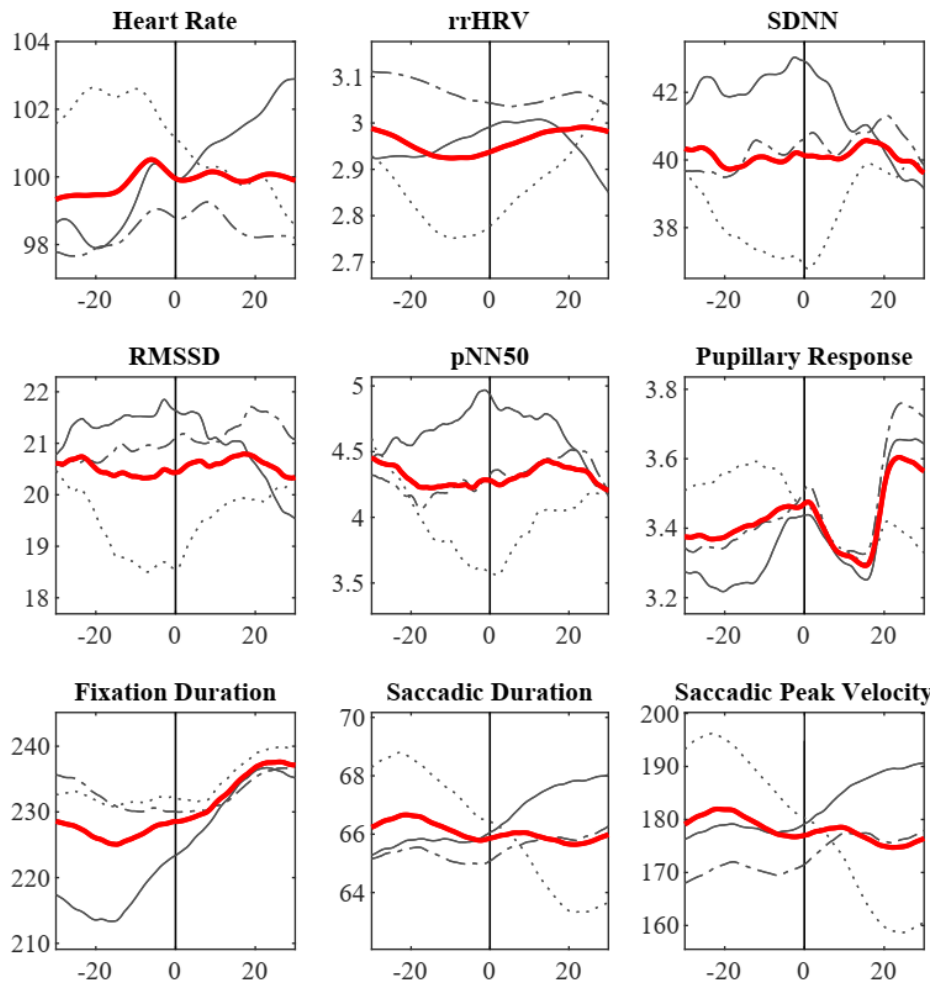


Abbildung 3: Physiologische Reaktionsmuster auf die erstmalige Konfrontation mit neuen Reizen (schwarzer Balken) in der manuellen Montage (rot = Mittel über alle Ereignisse, grau = Arbeitsschritt 1, gepunktet = Arbeitsschritte 2, Punkte-und-Striche = Arbeitsschritt 3) (aus: Bläsing & Bornewasser 2020).

4. Diskussion und Ausblick

Die Verwendung von Musteranalysen zur Untersuchung des individuellen Beanspruchungserlebens am Arbeitsplatz ermöglicht es, einen tieferen Einblick in kurzfristig auftretende Beanspruchungsspitzen, graduelle Veränderungen oder auch und länger anhaltende Plateaus (auch der Über- und Unterforderung) zu bekommen. Um diese Daten sinnvoll interpretieren zu können, bedarf es jedoch einiger theoretischer und messmethodischer Anpassungen.

Zu klären sind dabei u.a. noch Probleme der Grenzwertziehung für mentale Beanspruchung. Young et al. (2015) legen in ihrem Modell zwar die theoretischen Grundlagen für solche Grenzen, gehen dabei jedoch nicht weiter auf deren Bestimmung (und

eventuell auch Bestimmbarkeit) ein. Es ist zudem noch zu bestimmen, wie viele Zwischenstufen der mentalen Beanspruchung es gibt, wann ein Wechsel zwischen Stufen prognostisch sinnvoll vorhergesagt werden kann und wie verschiedene physiologische Indikatoren sinnvoll zu einem Indikator mentaler Beanspruchung kombiniert werden können (Chen et al. 2016, Matthews et al. 2015).

Weiterhin ist auch der Trend zum Einsatz des maschinellen Lernens für die Analyse von Beanspruchungsverläufen kritisch zu hinterfragen. Bei tieferführenden Analysen physiologischer Daten scheint es ein schmaler Grat zwischen inhaltlich bedeutsamen Unterschieden und von Algorithmen Entdeckbarem. Ein statistisch signifikanter Unterschied lässt nicht zwingend auch inhaltlich bedeutsame Rückschlüsse zu.

5. Literatur

- Bläsing D, Bornewasser M (2019) A Strain Based Model for Adaptive Regulation of Cognitive Assistance Systems-Theoretical Framework and Practical Limitations. In: Karwowski W, Ahram T (Ed) Intelligent Human Systems Integration 2019. Cham: Springer International Publishing, 10–16.
- Bläsing D, Bornewasser M (2020) Influence of Complexity and Noise on Mental Workload During a Manual Assembly Task. In: Longo L, Leva MC (Ed) Human Mental Workload: Models and Applications. Cham: Springer International Publishing, 147–174.
- Chen F, Zhou J, Wang Y, Yu K, Arshad SZ, Khawaji A, Conway D (2016) Robust Multimodal Cognitive Load Measurement. Cham: Springer International Publishing.
- Dehais F, Karwowski W, Ayaz H (2020) Brain at Work and in Everyday Life as the Next Frontier: Grand Field Challenges for Neuroergonomics. *Frontiers in Neuroergonomics* 1.
- Herten N, Otto T, Wolf OT (2017) The role of eye fixation in memory enhancement under stress – An eye tracking study. *Neurobiology of Learning and Memory* 140:134–144.
- 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* 7:333–341.
- Longo L (2018) Experienced mental workload, perception of usability, their interaction and impact on task performance. *PLOS ONE*, 13:e0199661.
- Marquart G, de Winter J (2015) Workload assessment for mental arithmetic tasks using the task-evoked pupillary response. *PeerJ Computer Science* 1:e16.
- Matthews G, Reinerman-Jones LE, Barber DJ, Abich J (2015) The Psychometrics of Mental Workload: Multiple Measures Are Sensitive but Divergent. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 57:125–143.
- Parasuraman R, Christensen J, Grafton S (2012) Neuroergonomics: The brain in action and at work. *NeuroImage* 59:1–3.
- Reßut N, Hoppe A (2020) Erfassung von individuellem Beanspruchungserleben bei kognitiven Belastungssituationen mittels Mustererkennung im Lidschlagverhalten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 74:249–261.
- Sammito S, Thielmann B, Seibt R, Klusmann A, Weippert M, Böckelmann I (2015) Guideline for the application of heart rate and heart rate variability in occupational medicine and occupational science. *ASU International* 2015(06).
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) *Arbeitswissenschaft* (4., vollst. überarb. und erw. Aufl). Berlin: Springer.
- Wascher E, Reiser JE, Rinkenauer G, Larra MF, Dreger F, Schneider D, Karthaus M, Getzmann S, Gutberlet M, Arnau S (2020) Neuroergonomics on the go. A preview of the potential of mobile EEG for work-place evaluation and design.
- Young MS, Brookhuis KA, Wickens CD, Hancock PA (2015) State of science: Mental workload in ergonomics. *Ergonomics* 58:1–17.

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



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeit HUMAINE gestalten

67. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie (WiPs)
Ruhr-Universität Bochum

Institut für Arbeitswissenschaft (IAW)
Ruhr-Universität Bochum

3. - 5. März 2021

GfA-Press

Bericht zum 67. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 3. - 5. März 2021

**Lehrstuhl Wirtschaftspsychologie, Ruhr-Universität Bochum
Institut für Arbeitswissenschaft, Ruhr-Universität Bochum**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2021
ISBN 978-3-936804-29-4

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,
- den Kongressband 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

© 2021 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de