

Erfassung haltungsinduzierter körperlicher Belastungen unterschiedlicher Endgeräte für digitale Assistenzsysteme mit Motion-Capturing

Eric MEWES¹, Stefan WAßMANN², Sonja SCHMICKER^{1,2}

¹ METOP GmbH, An-Institut der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Sandtorstraße 23, D-39106 Magdeburg

² Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg
Universitätsplatz 2, D-39106 Magdeburg

Kurzfassung: Im Projekt ArdiAS wurde ein digitales Assistenzsystem mit dem Ziel entwickelt, Tätigkeiten im mobilen Service zu unterstützen. Um eine nutzergerechte Verwendung der Systeme sicherzustellen, wurden ein Tablet, ein Smartphone und ein Smartphone in einer Armhalterung als Beispielgeräte hinsichtlich unterschiedlicher Interaktionsparameter verglichen. Aufgrund arbeitssicherheitsrelevanter Faktoren und des Ausschlusses von Störvariablen fiel die Entscheidung auf eine laborexperimentelle Untersuchung, welche Inspektionstätigkeiten im Kontext der Nutzung des Assistenzsystems abbildet. Ergänzend zu bereits veröffentlichten Teilen der Studie wurde die körperhaltungsinduzierten Belastungen mithilfe des Rapid Entire Body Assessment Verfahrens erfasst, welche sowohl durch die nachträgliche Auswertung von Videoaufnahmen, als auch die Bewertung von Motion-Capturing-Daten ermittelt wurden. Neben der Präsentation der Ergebnisse der Studie, wird in diesem Beitrag auch ein vergleichendes Fazit beider Erhebungsmethoden gezogen.

Schlüsselwörter: mobiler Service, digitale Assistenzsysteme, Laboruntersuchung, Nutzerstudie, Instandhaltung, Motion-Capturing

1. Hintergrund der Untersuchung

Tätigkeiten im mobilen Service stellen besondere Anforderungen an die ausführenden Arbeitspersonen. Hohe fachliche Expertise, wechselnde Arbeitsumgebungen sowie der Verzicht auf den Büroarbeitsplatz sind nur einige davon (Vogl & Nies 2013). Im BMBF-geförderten Projekt „Gesundes mobiles Arbeiten mit digitalisierten Assistenzsystemen im technischen Service“ (ArdiAS) wurde das digitale Assistenzsystem „Pocket-Assist“ entwickelt, welches Arbeitspersonen im technischen Service bei diesen Tätigkeiten unterstützt. Begleitet wurde das Vorhaben von mittelständischen Unternehmen, welche industrielle Dienstleistungen im Kontext des mobilen Service erbringen. Das Geschäftsfeld eines dieser Anwendungspartner umfasst unter anderem die Inspektion von Windenergieanlagen (WEA). Die Inspektion von Windenergieanlagen wurde in Mewes et al. (2018) genauer beschrieben und wird deshalb nur kurz skizziert. Die Arbeitspersonen führen hier in einem festen Regelwerk verschiedene Prüfvorgänge an Maschinen, Anlagen und statischen Konstruktionen aus. Sämtliche Prüfschritte und die dabei ausgemachten Mängel werden in einem standardisierten Prüfprotokoll zusammengefasst und zusätzlich mit einer Digitalkamera dokumentiert. Aus arbeitsschutzrelevanten Aspekten werden diese Tätigkeiten in einem arbeitsteili-

gen Prozess in der Regel von zwei Personen durchgeführt.

Die Arbeitstätigkeit erfolgt unter speziellen Bedingungen, welche unterschiedliche Anforderungen an die Arbeitspersonen stellen. So sind beispielsweise aufgrund hoher Absturzgefahr strenge Sicherheitsvorschriften zu beachten. Weiterhin erfolgt ein häufiger Wechsel des Arbeitsortes, was mit einer hohen Variabilität von Arbeitsumgebungsbedingungen (insbesondere Gefahrenstellen) einhergeht. Auffällig ist auch die räumliche Enge aufgrund der baulichen Gegebenheiten. Da die Wartung einer Maschine im Vergleich zur eigentlichen Funktionsausführung sehr selten stattfindet, werden andere konstruktive Eigenschaften gegenüber der Wartbarkeit bevorzugt. Aus diesem Grund sind Servicearbeitsplätze nur selten ergonomisch optimiert. Im Maschinenhaus der WEA ist der eingeschränkte Bewegungsraum besonders auffällig. Weiterhin finden die Inspektionen häufig in ländlichen Räumen statt, in denen aktuell nicht mit einer stabilen Internetverbindung geplant werden kann.

Um diese (und andere) Servicetätigkeiten zu unterstützen, wurde das digitale Assistenzsystem „Pocket-Assist“ entwickelt. Dieses ermöglicht verschiedensten mobilen Smart-Devices den Zugriff über ein von einem Einplatinencomputer (Raspberry Pi) aufgebautes Wireless-LAN (Mewes et al. 2019a). Um eine nutzergerechte Verwendung des Systems sicherzustellen, wurden verschiedene Endgeräte und Interaktionsvarianten hinsichtlich Effizienz und Menschgerechtigkeit untersucht. Ausgewählt wurden hierzu ein Tablet (Samsung Galaxy Tab S4), ein Smartphone (Huawei P20 lite) und ein Smartphone (gleicher Typ) in einer Armhalterung. Das Entfernen des Smartphones aus der Halterung sowie das Ablegen der Systeme war während der Versuche nicht gestattet.

In dem im Folgenden beschriebenen Versuch wurde die körperhaltungsinduzierte Belastung mit Hilfe des Rapid Entire Body Assessment (REBA) nach Hignett & Lynn (2000) untersucht. Die bewerteten Daten wurden dabei sowohl mit der nachträglichen händischen Auswertung von Video-Aufnahmen, als auch durch den Einsatz eines Motion-Capturing-Anzugs generiert. Ziel der Untersuchung war die vergleichende Testung der Datenqualität beider Verfahren sowie die Bewertung der Eignung der getesteten Geräte für den Einsatz im mobilen Service.

2. Versuchsaufbau

Die Erprobungen der Assistenzsystemvarianten wurden aus Gründen der Arbeitssicherheit und mit dem Ziel des Ausschlusses von Störvariablen im Labor durchgeführt. Der Aufbau des Versuchsfeldes basiert auf Mewes et al. (2019a) und wurde im Anschluss an Mewes et al. (2019b) leicht adaptiert. Weitere im Rahmen der Versuchsreihe entstandene Ergebnisse sowie eine genaue Beschreibung der Adaption des Versuchsaufbaus finden sich in der Veröffentlichung von Mewes et al. (2020). In diesem Beitrag wird ausschließlich der Versuchsteil zur Erfassung der körperhaltungsinduzierten Belastung erläutert. Dabei wurden dabei zahlreiche Zwangspositionen provoziert, um Unterschiede in der Bedienung der verschiedenen Interaktionsvarianten zu erzeugen.

Vor der Durchführung der Versuche wurden die Probanden zunächst über deren Hintergrund und Zielstellung aufgeklärt. Im Anschluss erfolgte eine kurze Einweisung in die einzelnen Arbeitsstationen. Alle hierbei gegebenen Informationen waren auch im Assistenzsystem hinterlegt und ließen sich während des Versuchs abrufen. Anschließend wurden die Probanden mit einem mobilen 3-Kanal-EKG-Gerät und mit einem Motion-Capturing-Anzug (Xsens - MVN-Analyse) ausgestattet. Zusätzlich wurde

den Probanden ein Klettergeschirr angelegt, welches auch im Rahmen der Service-tätigkeit getragen wird. Nach der Kalibrierung des Motion-Capturing Systems und der Ermittlung der Herzfrequenzvariabilität nötigen Ruhephase von fünf Minuten begannen die Probanden mit der Bearbeitung ihrer Aufgaben im Versuchsfeld.

In der Studie wurden drei Durchgänge pro Versuchsperson mit jeweils einer der Interaktionsvarianten durchgeführt. Die Fehlerzustände im Versuchsfeld wurden dabei analog zu Mewes et al. (2019a) variiert. Zusätzlich wurde die Reihenfolge der genutzten Endgeräte randomisiert. Die Körperhaltung wurde dabei mit Hilfe der Bewegungsdatenerfassung des Motion-Capturing-Anzugs aufgezeichnet und einer Action Kamera von außerhalb des Versuchsfelds gefilmt. Ziel war hierbei sowohl eine Sicherstellung der Verwendbarkeit der Versuchsdaten, als auch der Vergleich der Eignung beider Erhebungsmethoden für den speziellen Anwendungsfall. Abbildung 1 zeigt die Ausrüstung der Probanden vor der Versuchsdurchführung sowie eine schematische Darstellung des Versuchsfelds.

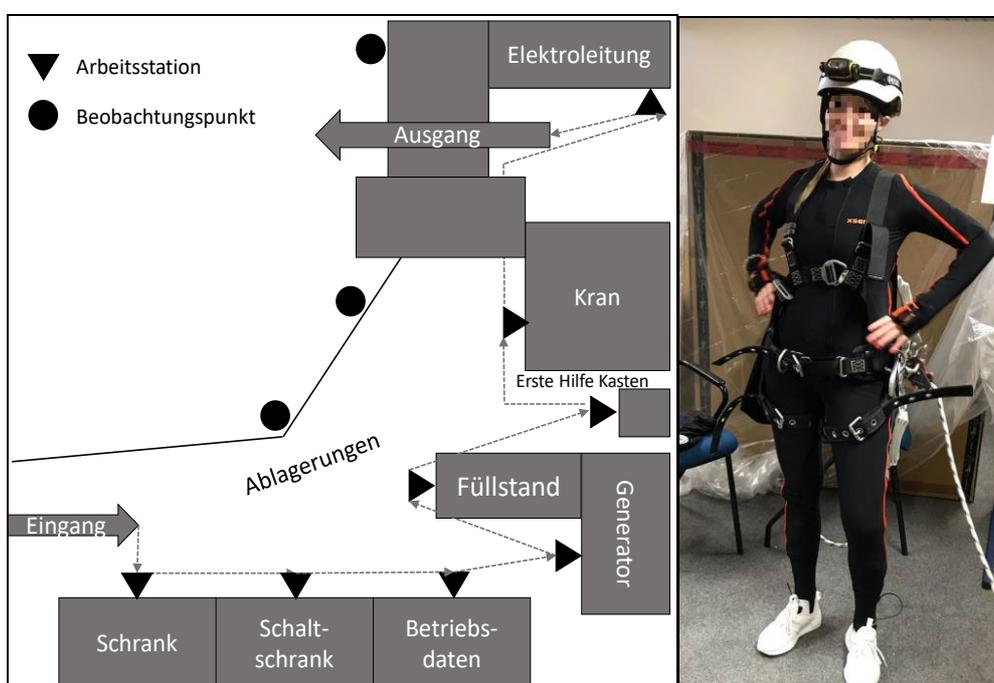


Abbildung 1: Versuchsaufbau (links); Ausstattung der Probanden (rechts)

3. Bewertung der körperlichen Belastung

Anders als bei der nachträglichen Bewertung der Videos konnten beim Motion-Capturing subjektive Abschätzungen durch hochgenaue Messungen ersetzt werden. Weiterhin ließen sich die Körperhaltungen der VP auch dann bewerten, wenn diese vom Versuchsaufbau verdeckt waren. Für den Einsatz der Technologie musste jedoch ein zusätzlicher Zeitbedarf für das Anlegen und die umfassende Kalibrierung des Systems eingeplant werden.

In Abbildung 2 sind die beobachteten und mit Motion-Capturing gemessenen REBA-Bewertungen der Station Schaltschrank exemplarisch für eine Beispiel-VP gegenübergestellt. In beiden Erhebungen wurden die jeweiligen Messpunkte im Abstand von einer Sekunde bewertet. Die Bewegungsdaten des Motion-Capturing ließen hier eine sichtbar häufigere Abstufung der Ergebnisse zu und zeigten über die gesamte

Untersuchung eine deutlich höhere Bewertung des REBA-Werts. Aufgrund der deutlich besseren Datenqualität und des geringeren Aufwandes zur Auswertung wurden im weiteren Verlauf der Untersuchung nur noch Daten betrachtet, welche durch das Motion-Capturing entstanden.

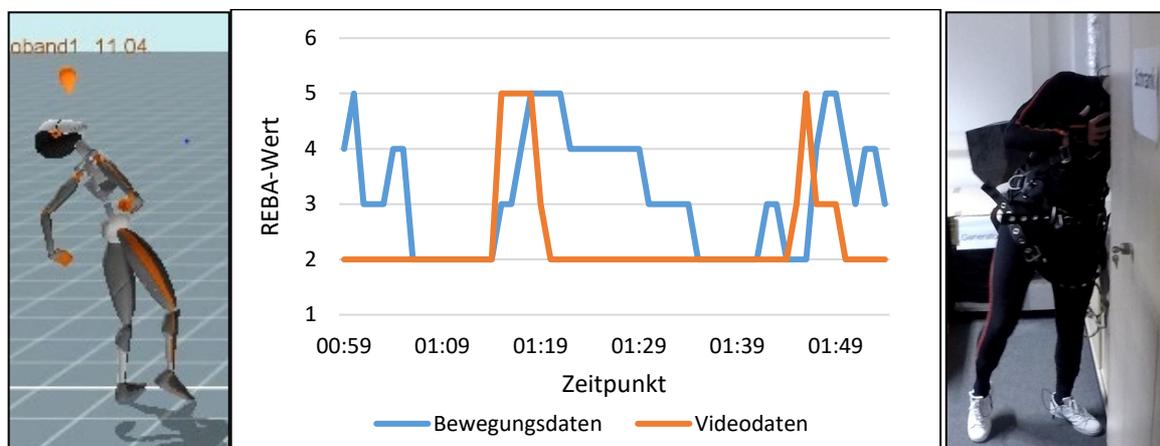


Abbildung 2: *Inspektion der Station Schaltschrank durch eine Beispielversuchspersonen; links: Darstellung aus Motion-Capturing-Daten; mittig: Gegenüberstellung der REBA-Bewertung der beobachtenden und gemessenen Datensätze in Abhängigkeit des Zeitpunkts innerhalb der Untersuchung; rechts: Bild aus der Beobachtung*

Tabelle 1 zeigt die mittleren, maximalen und minimalen REBA-Werte im Durchschnitt aller Versuchspersonen über die gesamte Untersuchung. Smartphone und Tablet weisen hier sehr ähnliche Werte auf, was sich durch die ähnliche Körperhaltung bei der Verwendung beider Geräte begründet. Demgegenüber verursacht das Smartphone in Armhalterung eine höhere Belastung. Maxima und Minima der REBA-Werte fallen jedoch für alle Arbeitsgeräte sehr ähnlich aus.

Tabelle 1: *REBA-Bewertungen im Durchschnitt aller Versuchspersonen (n=11)*

	Smartphone	Smartphone in Armhalterung	Tablet
REBA - Mittelwert	5,5	7,3	5,4
REBA - Maximalwert	10,9	11,1	11,1
REBA - Minimalwert	2,0	2,3	2,0

Die Unterschiede in den Bewertungen aus Tabelle 1 spiegeln sich auch im Aktionslevel wieder (Abbildung 3), welches den ermittelten Handlungsbedarf aus der Körperhaltungsbewertung in vier Stufen darstellt (Hignett & Lynn, 2000). Auch hier sind die Unterschiede zwischen Tablet und Smartphone sehr gering ausgeprägt. Das Smartphone in Armhalterung weist im Vergleich einen deutlich größeren Anteil des dritten Aktionslevels auf, welcher bereits ein hohes Risiko indiziert. Dies begründet sich durch die Armhalterung während der Bedienung des Assistenzsystems, bei welcher der Arm dauerhaft angewinkelt sein muss. Das Aktionslevel 0 wurde aufgrund der Beaufschlagung durch das Gewicht der Ausrüstung zu keinem Zeitpunkt der Untersuchung erreicht. Insgesamt ergibt sich im Laborversuch ein großer Anteil an den Aktionslevels 1 und 2, welche auf mittleren bis hohen Handlungsbedarf hinweisen. Da hierbei ein konstruiertes Arbeitsszenario untersucht wurde, welches mit dem Ziel der Provokation von Zwangspositionen entworfen wurde, ist dies nicht negativ zu bewerten.

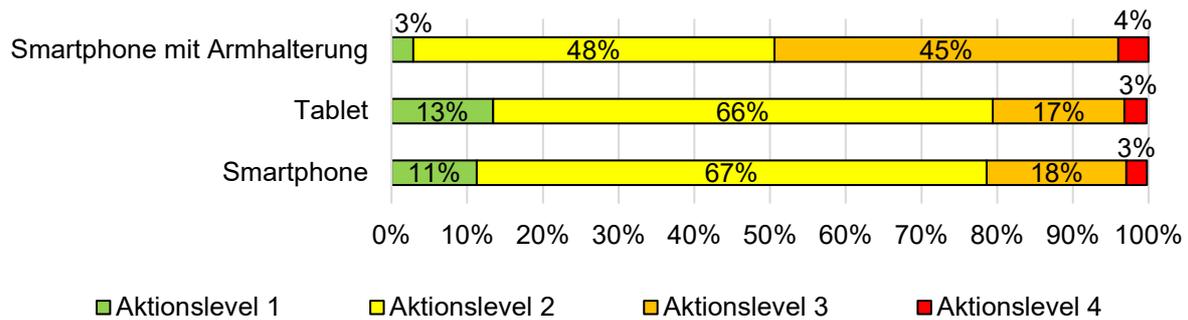


Abbildung 3: Anteil der REBA Aktionslevels im Vergleich für die Assistenzkonzepte Smartphone, Tablet und Armhalterung

4. Diskussion

Zur Analyse der Körperhaltung wurde in diesem Beitrag das Rapid Entire Body Assessment Verfahren (REBA) sowohl mithilfe der nachträglichen Bewertung von Videoaufnahmen als auch durch Messungen mithilfe eines Motion-Capturing-Anzuges eingesetzt. Hierbei stellte sich das Messverfahren des Motion-Capturing für die Anwendung im gewählten Laborumfeld als deutlich flexibler und genauer heraus. So lieferte das Messsystem anders als die Beobachtung auch bei eingeschränkter Sicht auf die Versuchspersonen hochgenaue Ergebnisse.

Die Genauigkeit der Messmethode übersteigt dabei die des beobachtenden Verfahrens um ein derartig hohes Maß, dass die Sinnfälligkeit der Grenzwerte des REBA-Verfahrens zur Diskussion gestellt werden kann. Wo ein Beobachter mühevoll grobe Auslenkungen von Gelenken abschätzt, erfasst das Messsystem millimetergenaue Bewegungen mehrfach pro Sekunde. Hier wird mit deutlich verringertem Arbeitsaufwand die Untersuchung zusätzlicher Messpunkte ermöglicht. Die hohe Genauigkeit des Messsystems führt aktuell zur Überbewertung kleinster Auslenkungen, sobald sich diese im Grenzbereich befinden. So ist für einen Beobachter ein Unterschied von 19 und 21° in der Auslenkung zwischen Armbeuge und Rumpf kaum erkennbar, macht aber bei der Messung mithilfe des Motion-Capturings den Unterschied zwischen zwei verschiedenen Belastungsparametern aus. Zur Lösung dieses Problems wäre die Bildung zusätzlicher Abstufungen zwischen einzelnen Grenzwerten oder eine algorithmische Einordnung denkbar. So würden geringe Unterschiede weniger stark ins Gewicht fallen und gleichzeitig die Genauigkeit des Verfahrens deutlich gesteigert. In der Folge sind jedoch sämtliche Grenzwerte und deren Herleitung kritisch zu hinterfragen, da nicht einfach ein linearer Anstieg potenzieller Schädigungen angenommen werden kann. Hierzu sind weitere umfangreiche interdisziplinäre Forschungsarbeiten erforderlich.

Neben Vorteilen und Chancen ergeben sich gegenüber der beobachtenden Körperhaltungsanalyse jedoch auch Nachteile und zusätzliche Herausforderungen. So ist die Anschaffung des Messmittels sehr kostenintensiv. Weiterhin muss das System vor dem Einsatz angelegt und kalibriert werden, was selbst bei einer hohen Untersuchungsstandardisierung ca. 15 Minuten in Anspruch nimmt. In der vorgestellten Untersuchung beeinflusste der Anzug zudem mutmaßlich die Qualität der HRV-Studie. Hier traten in der vorgestellten Versuchsreihe deutlich häufiger Artefakte auf als in Mewes et al. (2019b). Es ist jedoch auch möglich, dass unerkannte Störgrößen für die Artefakte verantwortlich sind oder zusätzliche Vorkehrungen das Zusammenspiel der Messmethoden potenziell verbessern. Auch nach der Entwicklung speziell für Motion-

Capturing optimierter Verfahren zur Ermittlung von körperhaltungsinduzierter Belastung, werden beobachtende Bewertungsverfahren aufgrund der beschriebenen Grenzen, je nach erforderlicher Genauigkeit und gegebenen Randbedingungen der Untersuchung, weiterhin ihre Relevanz behalten.

Abschließend ist festzustellen, dass sich analog zu den Ergebnissen in Mewes et al. (2020) auch in der Analyse der Körperhaltung kein großer Unterschied zwischen der Verwendung eines Smartphones oder Tablets für die konstruierte Arbeitsaufgabe ermitteln ließ. Einzig die Verwendung des Smartphones in der Armhalterung hat sich als deutlich nachteiliger erwiesen. Alle nachfolgenden Untersuchungen mit dem Assistenzsystem wurden auf Grundlage der geringen Vorteile gegenüber dem Tablet mit dem Smartphone durchgeführt.

5. Literatur

- Hignett, S. & Lynn, M. (2000). Rapid eintire body assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31, (S. 201-205).
- Mewes, E., Schmicker, S., Waßmann, S., Mecke, R. & Böckelmann, I. (2018). Entwicklung und Durchführung einer Anforderungsanalyse zur Identifikation von nutzerunterstützenden Anwendungspotenzialen digitaler Assistenzsysteme in mobilen Servicetätigkeiten. ARBEIT(S).WISSEN.SCHAF(F)T Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung: Dokumentation des 64. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses, B.1.3. Dortmund: GfA-Press.
- Mewes, E., Waßmann, S., Adler, S. & Schmicker, S. (2020). Laborexperiment zum Vergleich digitaler Endgeräte als Assistenzsystemhardware für die Anwendung in der mobilen Instandhaltung. *Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch? Proceedings des 66. Frühjahrskongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft B.19.5*, Dortmund: GfA-Press.
- Mewes, E., Waßmann, S., Adler, S., Minow, A. & Schmicker, S. (2019a). Entwicklung eines Laboraufbaus zur Erprobung eines digitalen Assistenzsystems für den Einsatz in der mobilen Instandhaltung. *Arbeit interdisziplinär analysieren - bewerten - gestalten Dokumentation des 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongresses, D.1.5*, Dortmund: GfA-Press.
- Mewes, E., Waßmann, S., Minow, A., Adler, S. & Schmicker, S. (2019b). Laborversuch zur Validierung der Nutzerfreundlichkeit eines digitalen Assistenzsystems für den Einsatz in der mobilen Instandhaltung. 14. Magdeburger Maschinenbau-Tage 2019 - Magdeburger Ingenieurtag - 24. und 25. September 2019 : Tagungsband - Magdeburg: Otto von Guericke Universität Magdeburg.
- Neuhauser, H., Schienkiewitz, A., Schaffrath Rosario, A., Dortschy, R., & Bärbel-Maria, K. (2013). Referenzperzentile für anthropometrische Maßzahlen und Blutdruck aus der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS). Berlin: Robert Koch-Institut.
- Vogl G, Nieß G, (2013). *Mobile Arbeit - Betriebs und Dienstvereinbarungen – Analyse und Handlungsempfehlungen* Bund-Verlag GmbH, Frankfurt am Main für Management & Kompetenzentwicklung.

Danksagung: Besonderer Dank gilt Herrn Wladimir Jahn für die Unterstützung bei der Konzeption und Umsetzung der Studie. Weiterer Dank gilt Prof. Simon Adler, Prof. Irina Böckelmann und Prof. Rüdiger Mecke für Ihre konzeptionelle Unterstützung. Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt 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 Autoren.

GEFÖRDERT VOM





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