

Verfahren zur objektiven Erfassung der psychischen Beanspruchung und erforderliche Maßnahmen zur Einbindung in die betriebliche Praxis

Tina HAASE¹, Lea Marie STEIGEMANN¹, Melanie FACHET², Erik HARNAU³,
Irina BÖCKELMANN⁴, Leonie Marlene WAGNER¹

*¹ Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF,
Abteilung Fertigungsmesstechnik und digitale Assistenzsysteme,
Sandtorstraße 22, D-39106 Magdeburg*

*² Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät für Elektrotechnik und
Informationstechnik, Lehrstuhl für Medizintechnische Systeme,
Otto-Hahn-Straße 2, D-39106 Magdeburg*

*³ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Fakultät Maschinenbau,
Lehrstuhl für Produktionssysteme und -automatisierung,
Universitätsplatz 2, D- 39106 Magdeburg*

*⁴ Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Medizinische Fakultät,
Bereich Arbeitsmedizin, Leipziger Straße 44, D- 39120 Magdeburg*

Kurzfassung: Die Atemgasanalyse gewährt Einblicke in den Stoffwechsel und dessen Verbindungen zu Gesundheit und Krankheit, mit dem Ziel, konventionelle Methoden zur Beurteilung psychischer Beanspruchung in betrieblicher Praxis zu erweitern. Innerhalb dieser Pilotstudie mit 22 teilnehmenden Probanden wurde die Protonentransferreaktions-Massenspektrometrie (PTR-MS) zur Identifizierung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) in Bezug auf psychischen Stress genutzt. Das Studiendesign basierte auf der Analyse von Atemgasproben während Ruhe-, Stress- und Erholungsphasen. Signifikante VOCs, wie Schwefelwasserstoff, Essigsäure und Glykolaldehyd, sind mit psychischem Stress verbunden und unterstreichen den Bedarf an weiterer medizinisch-technischer Forschung zur Beziehung von Stoffwechselprodukten und deren Expiration in der Atemluft.

Schlüsselwörter: VOC, Atemgasanalyse, psychische Belastung, Beanspruchungsindikator, objektive Gefährdungsbeurteilung

1. Einleitung

Die Herausforderung der Bewertung psychischer Belastung erfordert eine differenzierte Herangehensweise. Dabei ist die Nutzung von etablierten Verfahren in der modernen Arbeitswelt, insbesondere vor dem Hintergrund der Digitalisierung, von großer Bedeutung. Die gesetzlich vorgeschriebene Gefährdungsbeurteilung nach dem Arbeitsschutzgesetz seit 2013 betont die Notwendigkeit, psychische Belastung zu erfassen und zu bewerten. Subjektive Methoden, wie Befragungen, Beobachtungsinterviews und moderierte Workshops, werden in der Praxis angewendet, obwohl die Vielfalt an Instrumenten ein Entscheidungsdilemma hervorrufen kann (Hinrichs 2016). In diesem Kontext stellt sich die Frage, inwiefern die subjektiv eingeschätzte Belastung

die tatsächliche psychische Belastung adäquat widerspiegeln kann, da letzteres schwer quantifizierbar ist.

Betriebsärzte mit ihrer Gesundheitskompetenz spielen eine entscheidende Rolle bei der Identifikation und Reduktion individueller Fehlbelastungen. Die objektive Erfassung individueller Beanspruchung mittels psychophysiologischer Untersuchungsansätze, wie der Analyse der Herzratenvariabilität (HRV), ermöglicht Einblicke in die Regulation des Herz-Kreislauf-Systems und zeigt autonome Nervensystem-Ungleichgewichte auf (Sammito & Böckelmann 2015).

Forschungsbedarf besteht weiterhin für nichtinvasive Messverfahren zur Identifizierung von Beanspruchungsindikatoren psychischer Belastung. Neue arbeitsphysiologische Ansätze aus der Grundlagenforschung, wie die Atemgasanalyse, werden auf ihr Potenzial für betriebliche Nutzung hin untersucht.

2. Methode

Bei der vorliegenden Pilotstudie wurde ermittelt, ob die Veränderung von flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) des Atemgases in Korrelation mit induzierter psychischer Beanspruchung nachgewiesen werden kann. Das Konzept der Versuchsdurchführung gliederte sich in drei Phasen: die sogenannte Pre- (Ruhe-), die Post1- (Stress-) und die Post2- (Erholungs-) Phasen (siehe Abbildung 1). In der Stressphase wurde der/die Proband*in mithilfe des standardisierten psychometrischen Tests in psychischen Stress (Distress) versetzt. In jeder der drei Phasen füllte der/die Proband*in selbst die vorgegebenen Fragebögen aus und gab eine gemischte Atemgasprobe in einem Probenbeutel ab. Über die gesamte Testdauer wurde bei den Testpersonen ein EKG für spätere HRV-Berechnungen aufgezeichnet. Das positive Votum der Ethikkommission der Otto-von-Guericke-Universität an der Medizinischen Fakultät (171/22) liegt vor.

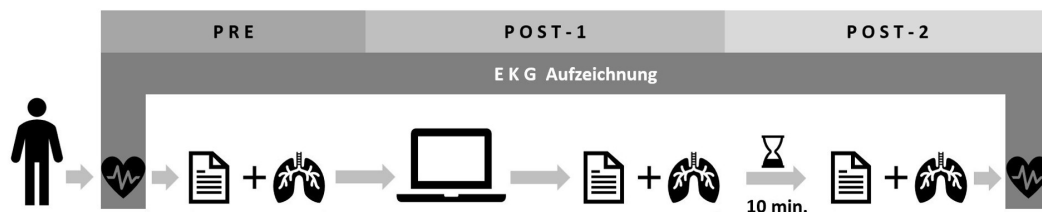


Abbildung 1: In dieser Abbildung wird der repräsentative Prozessablauf der Versuchsdurchführung der vorliegenden Pilotstudie dargestellt.

An dieser Pilotstudie nahmen 22 Probanden*innen im Alter zwischen 18 und 60 Jahren teil, die die Einschlusskriterien erfüllten. Die Voraussetzungen zur Teilnahme an der Pilotstudie sind ein nüchterner Zustand sowie ausschließlich Wasserkonsum vor der Probeentnahme. Ausschlusskriterien sind Erkrankungen der Lunge, des Stoffwechsels wie z. B. Diabetes mellitus, des Verdauungssystems, Krebs, Herzrhythmusstörungen und Sucht (z. B. Rauchen) sowie die Einnahme von Medikamenten, die den Herzrhythmus beeinflussen. Zudem wurden die Teilnehmenden aufgefordert, Mundhygieneartikel einige Stunden vor dem Experiment zu vermeiden.

2.1 Fragebögen

In dieser Pilotstudie wurden standardisierte Fragebögen zur Erfassung der subjektiven Wahrnehmung bei Beanspruchungen verwendet. Der „Profile of Mood States (POMS)“ (Petrowski et al. 2021) dient zur Bestimmung der aktuellen Befindlichkeit, während die „Satisfaction with Life Scale (SWLS)“ (Janke & Glöckner-Rist 2012) die allgemeine Lebenszufriedenheit erfasst. Zur Messung eines Beanspruchungsmerkmals auf einem Kontinuum wurde die „Visuelle Analogskala (VA)“ (Ahearn 1997) verwendet, wobei Probanden*innen ihre Stressniveaus auf einer Skala von 0 bis 10 ankreuzten. Die „Borg-Skala (BS)“ (Borg 2004) wurde genutzt, um die subjektive kognitive Belastung auf einer Skala von 6 bis 20 von „überhaupt nicht anstrengend“ bis „maximal anstrengend“ zu erfassen. In dieser Pilotstudie kamen POMS und VA in den Phasen 'Pre', 'Post1' und 'Post2' zum Einsatz, SWLS in der 'Pre'- und BS in der 'Post2'-Phase. Das Ziel dieser Fragebögen war es, die subjektive Wahrnehmung der Beanspruchung zu analysieren und später mit objektiven physiologischen Parametern zu vergleichen.

2.2 Psychometrischer Test

Der Proband absolviert den psychometrischen Determinationstest in der Testform „S2 Langform mit adaptiver Reizvorgabe“ am psychodiagnostischen Wiener Testsystem (Fa. Schufried GmbH, Mödling, Österreich). Dieser Test ist ein komplexer Mehrfachreiz-Reaktionstest, der die reaktive Belastbarkeit ermittelt, indem der/die Proband*in auf wechselnde optische und akustische Reize reagiert.

2.3 Physiologische Messungen

Zusätzlich zur psychologischen Messung erfolgte eine physiologische Kurzzeitmessung mit dem mobilen EKG-System „medilogAR12 plus“ (Fa. SCHILLER Medizintechnik GmbH, Obfelden, Schweiz) zur HRV-Analyse, um objektive Hinweise auf Stress zu liefern. Als HRV wird die Variabilität von Zeitintervallen zwischen aufeinander folgenden Herzschlägen definiert und mit Kubios HRV Version 2.0 (Tarvainen et al. 2014) ausgewertet. Die Zusammensetzung des Atemgases der Teilnehmenden wurde mit einem PTR-MS mit Time-of-Flight (TOF) Massenspektrometer (PTR-TOF 2000, IONICON Analytik) innerhalb von vier Stunden analysiert, wobei Tedlar-Beutel für die Probenentnahme genutzt wurden. Die Atemgase der drei Phasen wurden anhand von Masse-zu-Ladungsverhältnissen (m/z -Verhältnis) analysiert und durch eine PTR-Datenbank auf ihre Zuordnung zu den entsprechenden flüchtigen organischen Verbindungen (VOCs) identifiziert.

2.4 Statistische Analyse

Die statistische Auswertung der Fragebögen umfasste deskriptive Statistiken für Alter und Geschlecht sowie Mittelwerte und Standardabweichungen aller anderen Variablen zu den drei verschiedenen Zeitpunkten der Untersuchung ('Pre', 'Post1' und 'Post2'). Zur Untersuchung des Faktors "Messzeitpunkt" wurde eine einfaktorielle ANOVA berechnet. Im Anschluss daran wurden Post-Hoc-Tests durchgeführt, wobei mittels t-Test mit Bonferroni-Korrektur paarweise Vergleiche berechnet wurden.

3. Ergebnisse

Die Studie umfasste 22 gesunde Teilnehmer/-innen (8 Männern, 14 Frauen) im Alter von 20 und 59 Jahren ($M = 27,64$, $SD = 9,03$). Tabelle 1 zeigt Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Skalen aus den Fragebögen zur subjektiven Befindlichkeit zu den Zeitpunkten 'Pre', 'Post1' und 'Post2'. Die Auswertung der Fragebögen bestätigt die Beanspruchung zum Post1-Zeitpunkt.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Mittelwerte (M), Standardabweichung (SD) und p -Werte der einzelnen Punkte aus den Fragebögen zur Erhebung der subjektiven Wahrnehmung der Beanspruchung, zu den unterschiedlichen Zeitpunkten Pre, Post1, Post2

	POMS		SWLS		VA		BS	
Messzeitpunkt	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Pre	1,77	0,33	5,75	0,65	1,09	0,97	/	/
Post1	2,04	0,55	/	/	3,97	2,33	14,05	1,63
Post2	1,77	0,34	/	/	1,29	1,08	/	/
pANOVA ($p_{\text{Bonferroni}}$)								
Pre-Post1	,128		---		<,001***		---	
Pre-Post2	1		---		1		---	
Post1-Post2	,076		---		<,001***		---	

Bemerkung: * $p < ,05$; ** $p < ,01$; *** $p < ,001$

In der Stressphase zeigt Tabelle 2 eine geringere HRV im Vergleich zur Ruhephase. Die erwartete signifikante Abnahme der HRV in der Stressphase bestätigt die Beanspruchung objektiv.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Mittelwerte (M), Standardabweichung (SD) und p -Werte der HRV-Parametern zu den verschiedenen Messzeitpunkten

	Mittlerer RR [ms]		SDNN [ms]		RMSSD [ms]		Stressindex [%]		Mittlere HR [bpm]	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Pre	801,3	124,8	73,4	30,5	39,4	17,3	9,9	3,6	76,5	10,9
Post1	703,2	99,3	46,9	21,4	25,1	12,5	15,5	7,2	86,8	10,8
Post2	818,9	127,7	75,6	26,9	42,7	17,4	9,0	3,7	74,9	10,8
pANOVA ($p_{\text{Bonferroni}}$)										
Pre-Post1	<,001***		<,001***		<,001***		<,001***		<,001***	
Pre-Post2	,008**		1		,068		,24		<,001***	
Post1-Post2	<,001***		<,001***		<,001***		<,001***		,022*	

Bemerkung: * $p < ,05$; ** $p < ,01$; *** $p < ,001$; RR = Durchschnittlicher Abstand zwischen zwei Herzaktionen oder die Durchschnittsdauer der NN-Intervalle, SDNN = Standardabweichung der NN-Intervalle, RMSSD = Root Mean Square of Successive Differences: Quadratwurzel aus dem arithmetischen Mittel der quadrierten Differenzen zwischen benachbarten NN-Intervallen, HR = Herzschlagfrequenz

Die statistische Analyse der VOCs in der Ausatemluft zwischen der Stress- und der Ruhephase identifiziert acht signifikante m/z -Werte. Darunter z. B. m/z -Verhältnis = 35,7 (Schwefelwasserstoff), m/z -Verhältnis = 61,1 (Essigsäure und Glykolaldehyd), wie in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt. Beide Abbildungen zeigen die Intensität in counts per second (cps) über die drei Messzeitpunkte. Schwefelwasserstoff, Essigsäure und Glykolaldehyd konnten nachweislich mit psychischem Stress in Verbindung gebracht werden (Kimura 2011; Heinrich et al. 2014; Onyango 2012). Andere VOCs wie Peroxyessigsäure und Phenol werden mit Desinfektionsmitteln

assoziiert (Hartwig und MAK Commission 2021). Für weitere VOCs bedarf es zusätzlicher Forschung, um eine Verbindung zur menschlichen Biochemie und den zugehörigen Stressmetaboliten herzustellen. Die signifikanten VOCs wurden mit den HRV-Parametern korreliert, um mögliche Beziehung zu analysieren. Abbildung 4 zeigt eine schwache Korrelation zwischen Pre- und Post1-Zeitpunkt, während Abbildung 5 keine signifikante Korrelation zwischen Pre- und Post2-Zeitpunkt aufweist.

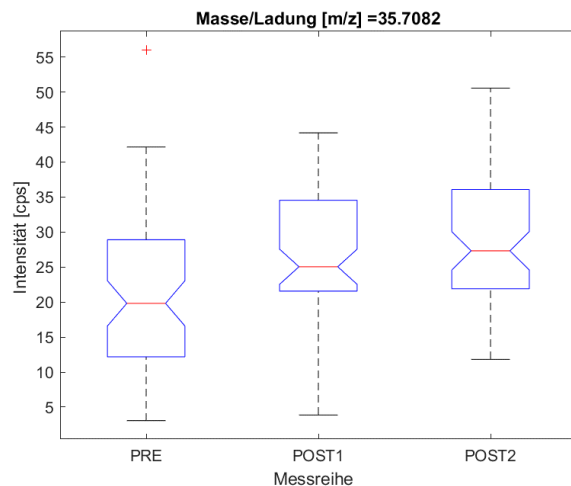


Abbildung 2: Box-Plot zeigt $m/z = 35,7$ (Schwefelwasserstoff); Pre-Post1 = ,0001***; Pre-Post2 = <,001***; Post1-Post2 = ,46

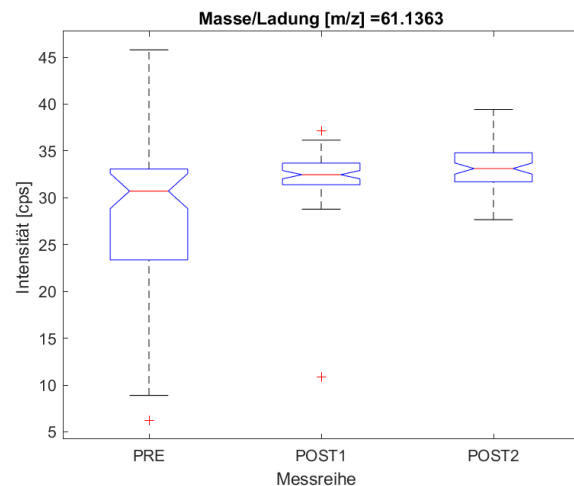


Abbildung 3: Box-Plot zeigt $m/z = 61,1$ (Essigsäure und Glykolaldehyd) Pre-Post1 = ,001***; Pre-Post2 = <,001***; Post1-Post2 = ,046*

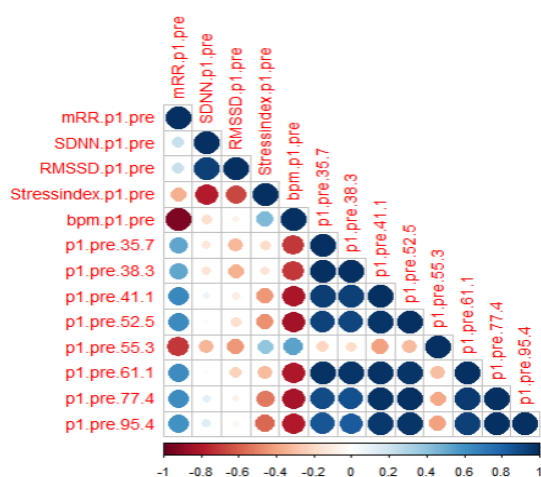


Abbildung 4: Darstellung der Korrelationskoeffizienten zwischen den Zeitpunkten 'Pre' und 'Post1'

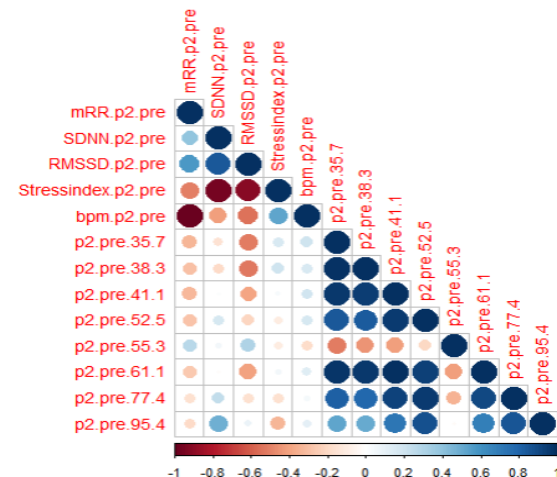


Abbildung 5: Darstellung der Korrelationskoeffizienten zwischen den Zeitpunkten 'Pre' und 'Post2'

5. Diskussion und Ausblick

Diese Pilotstudie unter standardisierten Laborbedingungen gibt neue Einblicke zur Verbindung von psychischem Stress und biochemischen Reaktionen im Organismus. Die Analyse von VOCs im Atemgas wird nicht nur für die Beanspruchungsbewertung relevant, sondern zeigt auch Potenzial in Situationen, in denen Patienten sich nicht

qualifiziert äußern können, z. B. bei Kindern auf Intensivstationen oder Komapatienten. Die Komplexität der Analyse erfordert sorgfältige Berücksichtigung individueller Rahmenbedingungen durch verschiedene Einflussfaktoren und die Vielzahl möglicher VOCs.

Mit fortschreitender Technologie wird die VOC-Untersuchung im Atemgas einen wertvollen Beitrag für Medizin und Technik leisten. Die Identifizierung stressbedingter VOCs könnte ein nichtinvasives Verfahren und Diagnosewerkzeug für die Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastung sowie in sensiblen Situationen, wie bei Patienten ohne Äußerungsmöglichkeit, bieten.

Aktuelle Prismethoden zur Bewertung psychischer Belastung sind subjektiv, daher betonen die Ergebnisse der Pilotstudie die Notwendigkeit, Prozessen für den verantwortungsvollen Einsatz solcher Instrumente im betrieblichen Kontext zu überdenken (Hinrichs 2016). Es besteht Bedarf an einheitlichen Referenzwerten für den Einsatz technischer Messgeräte zur Erfassung psychischer Belastung in den Betrieben. Diese fehlen für die Atemgasanalytik. Das übergeordnete Ziel bleibt die Entwicklung eines objektiven, universell einsetzbaren Messinstruments, was weiterführende Forschung im technischen und medizinischen Bereich erfordert, um die komplexen Zusammenhänge zwischen Stress und VOCs besser zu verstehen und ihre Anwendungsmöglichkeiten zu erweitern.

6. Literatur

- Ahearn EP (1997): The use of visual analog scales in mood disorders: a critical review. In: *Journal of psychiatric research* 31 (5), S. 569–579. DOI: 10.1016/S0022-3956(97)00029-0.
- Borg G (2004): Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität. In: *Dtsch Arztebl International* 101 (15), A-1016. Online verfügbar unter <https://www.aerzteblatt.de/int/article.asp?id=41326>.
- Hartwig A, MAK Commission (2021): Peroxyessigsäure. In: *The MAK Collection for Occupational Health and Safety* 6. DOI: 10.34865/mb7921d6_3ad.
- Heinrich PC, Müller M, Graeve L (2014): *Löffler/Petrides Biochemie und Pathobiochemie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hinrichs S (2016): Gefährdungsbeurteilung psychischer Belastungen. Düsseldorf: Hans-Böckler-Stiftung (Study / Hans-Böckler-Stiftung, Reihe Praxiswissen Betriebsvereinbarungen). Online verfügbar unter <http://hdl.handle.net/10419/146877>.
- Janke S, Glöckner-Rist A (2012): Deutsche Version der Satisfaction with Life Scale (SWLS).
- Kimura H (2011): Hydrogen sulfide: its production, release and functions. In: *Amino acids* 41 (1), S. 113–121. DOI: 10.1007/s00726-010-0510-x.
- Onyango AN (2012): Small reactive carbonyl compounds as tissue lipid oxidation products; and the mechanisms of their formation thereby. In: *Chemistry and physics of lipids* 165 (7), S. 777–786. DOI: 10.1016/j.chemphyslip.2012.09.004.
- Petrowski K, Albani C, Zenger M, Brähler E, Schmalbach B (2021): Revised Short Screening Version of the Profile of Mood States (POMS) From the German General Population. In: *Frontiers in psychology* 12, S. 631668. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.631668.
- Sammuto S, Böckelmann I (2015): Analyse der Herzfrequenzvariabilität. Mathematische Basis und praktische Anwendung. In: *Herz* 40, Suppl 1, S. 76–84. DOI: 10.1007/s00059-014-4145-7.
- Tarvainen MP, Niskanen J-P, Lipponen JA, Ranta-Aho PO, Karjalainen PA (2014): Kubios HRV--heart rate variability analysis software. In: *Computer methods and programs in biomedicine* 113 (1), S. 210–220. DOI: 10.1016/j.cmpb.2013.07.024.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt Frau Dr. med. Sabine Darius (Bereich Arbeitsmedizin an der Medizinischen Fakultät des Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg) für die konstruktive Zusammenarbeit in Bezug zur HRV-Analyse.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Arbeitswissenschaft in-the-loop

**Mensch-Technologie-Integration
und ihre Auswirkung auf Mensch,
Arbeit und Arbeitsgestaltung**

70. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT
Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für
Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

06. – 08. März 2024

GfA-Press

Bericht zum 70. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 06. – 08. März 2024

Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

In Zusammenarbeit mit: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2024

ISBN 978-3-936804-34-8

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin, Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

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.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003, Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2024 fröse multimedia, Frank Fröse,

office@internetkundenservice.de, www.internetkundenservice.de