

Analyse, Bewertung und Gestaltung von Cobot-Arbeitssystemen mit dem ganzheitlichen Instrument des Belastungs-Dokumentations-Systems (BDS)

Christoph MÜHLEMEYER¹, Patrick SERAFIN¹, André KLUßMANN^{1,2},
Hansjürgen GEBHARDT¹, Karl-Heinz LANG¹

¹ *Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER)
Corneliusstraße 31, D-42329 Wuppertal*
² *Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW)
Berliner Tor 5, D-20099 Hamburg*

Kurzfassung: Durch die Einrichtung von Cobot-Arbeitssystemen werden – die Verhütung von Arbeitsunfällen u. a. durch inhärent sichere Konstruktion der kollaborierenden Roboter vorausgesetzt – nicht zwingend und ganz von alleine arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren verhütet und eine menschengerechte Arbeit gestaltet. Dies wird anhand eines im Sinne von Industrie 4.0 und der Digitalisierung der Arbeitswelt vorgestellten Cobot-Arbeitssystems unter Zuhilfenahme des arbeitswissenschaftlichen und arbeitswirtschaftlichen Instruments des Belastungs-Dokumentations-Systems (BDS) verdeutlicht und kann derart auch auf Exoskelette o. ä. übertragen werden.

Schlüsselwörter: Mensch-Roboter-Kollaboration, Cobot-Arbeitssysteme, menschengerechte Arbeitsgestaltung, Risikobeurteilung, Beurteilung der Arbeitsbedingungen, Belastungs-Dokumentations-System

1. Einleitung

Gemäß DIN EN ISO 10218-1 (2011) sind Industrieroboter „automatisch gesteuerte, frei programmierbare Mehrzweck-Manipulatoren, die in drei oder mehr Achsen programmierbar sind und zur Verwendung in der Automatisierungstechnik entweder an einem festen Ort oder beweglich angeordnet sein können“ und gilt der kollaborierende Betrieb als „Zustand, in dem hierfür konstruierte Roboter innerhalb eines festgelegten Arbeitsraums direkt mit dem Menschen zusammenarbeiten“. Arbeitssysteme, in denen Beschäftigte ohne trennende Schutzeinrichtungen direkt mit kollaborierenden Robotern (Cobots) zusammen arbeiten, werden nachfolgend als Cobot-Arbeitssysteme bezeichnet.

Mit einer inhärent sicheren Konstruktion eines Cobots können die grundlegenden Sicherheits- und Gesundheitsschutzanforderungen gemäß der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG erfüllt werden (vgl. Risikobeurteilung), um die freie Warenverkehrsfähigkeit im Europäischen Wirtschaftsraum durch Produktsicherheit (einschließlich ganzheitlicher Produkt- und Produktionsergonomie) zu erlangen.

Sollen Cobots in Arbeitssystemen eingesetzt werden, also Cobot-Arbeitssysteme betrieben werden, sind in Deutschland gemäß Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG, 1996) in Verbindung mit den hierauf gestützten Verordnungen [Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV, 2015) etc.] die Arbeitsbedingungen zu beurteilen (vgl. Gefährdungsbeurteilung), gegebenenfalls erforderliche Arbeitsschutzmaßnahmen zu treffen sowie die festgelegten und umgesetzten Arbeitsschutzmaßnahmen auf ihre Wirk-

samkeit zu überprüfen. Dies betrifft sowohl die ‚klassischen‘ Arbeitsunfallgefährdungen (mechanische Gefährdungen, elektrische Gefährdungen etc.) als auch die Gesundheitsgefährdungen, die z. B. durch physische und / oder psychische Arbeitsbelastungen auftreten können. Zudem sind gegebenenfalls auch spezielle Gefährdungen für besonders schutzbedürftige Beschäftigtengruppen (Beschäftigte mit Behinderung, schwangere und stillende Frauen, junge und ältere Beschäftigte, Berufsneulinge, ...) zu berücksichtigen.

Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass mit Hilfe von Cobot-Arbeitssystemen arbeitsbedingte Gesundheitsgefährdungsrisiken durch physische und / oder psychische Überbelastungen für die Beschäftigten minimiert werden, indem beispielweise Tätigkeiten hoher physischer Intensität, Dauer und Häufigkeit oder psychisch monotone Tätigkeiten von den kollaborierenden Robotern (Cobot) ausgeführt werden; da dies das Hauptziel oder zumindest ein Teilziel für die Cobot-Verwendung ist.

Durch die Einrichtung von Cobot-Arbeitssystemen werden – die Verhütung von Arbeitsunfällen u. a. durch inhärent sichere Konstruktion der kollaborierenden Roboter vorausgesetzt – aber nicht zwingend oder ganz von alleine arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren verhütet und eine menschengerechte Arbeit gestaltet. Dies wird nachfolgend anhand eines im Sinne von Industrie 4.0 und (digitalisierten) Arbeitswelten der Zukunft vorgestellten Cobot-Arbeitssystems unter Zuhilfenahme des arbeitswissenschaftlichen und arbeitswirtschaftlichen Instruments des Belastungs-Dokumentations-Systems (BDS) verdeutlicht.

2. Methoden

Bei dem untersuchten Arbeitssystem wird ein Teilschritt der Verpackung von Körperpflegeprodukten von einer weiblichen Beschäftigten ausgeführt, indem Tuben (Arbeitsgegenstand) ohne Zuhilfenahme von Arbeitsmitteln in einer Industriehalle (Arbeitsumgebung, -bereich, -stätte) von den angelieferten Kartons (Input) in die Zielverpackung (Output) ortsgebunden in Einzelarbeit im 8 h-Schichtsystem (Arbeitsorganisation) manuell gehandhabt werden (Arbeitsaufgabe) [vgl. Arbeitssystem-Definitionen gemäß DIN EN ISO 6385 (2004) und TRBS 1151 (2015)]. In einem gemeinsamen Arbeitsraum, aber nicht gleichzeitig am Produkt arbeitend („synchrone Montageform“, vgl. Bauer et al., 2016), hebt der Cobot jeweils den Deckel von der Zielverpackung ab und legt ihn anschließend auf ein Förderband ab.

Bei der Beurteilung der Arbeitsbedingungen ist u. a. zu ermitteln, ob und welche Maßnahmen zur Verhütung von arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren einschließlich Maßnahmen der menschengerechten Arbeitsgestaltung erforderlich sind. Mit diesem Schwerpunkt ist das ganzheitliche Instrument des Belastungs-Dokumentations-Systems (BDS) auf der Basis des Verfahrens zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen (BAB) entwickelt worden, welches in den 1970er-Jahren in einem FuE-Projekt des HdA-Programms entwickelt wurde (Müller & Hettinger, 1981; Peters, 1986). Das heutige BDS-Basismodul Produktionsergonomie untergliedert sich in die Merkmalsgruppen Physische Arbeitsbelastungen, Psychische Arbeitsbelastungen, Physikalische Arbeitsumgebungsbedingungen und Arbeitsunfallgefährdungen. Mit dem BDS-Instrument werden die Arbeitsvorgänge eines Arbeitssystems analysiert und bewertet sowie daraus arbeitsschichtbezogene Beurteilungsergebnisse zur menschengerechten Arbeitsgestaltung des Arbeitssystems aggregiert. Hierbei können Maschinenarbeitsplätze in der Planungsphase und Arbeitssysteme in

der Planungsphase und /oder in der Betriebsphase beurteilt werden sowie potenzielle Arbeitsgestaltungsmaßnahmen simuliert und festgelegte Arbeitsgestaltungsmaßnahmen auf ihre Wirksamkeit vorausschauend überprüft werden. In Tabelle 1 wird die Entwicklung und die Struktur (vgl. Klußmann et al., 2013) sowie der Anwendungsumfang des BDS-Instruments im Rahmen der vorliegenden Beurteilung des Cobot-Arbeitssystems skizziert.

Tabelle 1: *BAB-Verfahren und BDS-Instrument – BAB/BDS-Entwicklung, BDS-Struktur und BDS-Anwendungsumfang im Rahmen der vorliegenden Beurteilung*

BAB/BDS-Entwicklung	BDS-Struktur	BDS-Anwendungsumfang beim Cobot-Arbeitssystem
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1970er: Entwicklung des arbeitswiss. Verfahrens zur „Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen (BAB)“, ... ▪ 1980er: wiss. Anwendung (u. a. Stahl-, Metall-, Glas-, Keramikindustrie), ... ▪ 1990er: wiss. und gewerbl. Anwendung (Industrie, KMU, Logistik), DB-Version, ... ▪ 2000er: wiss. und gewerbl. Anwendung (Demografie-Bewertung, Automotive, KMU), Netzwerk-Version, ... ▪ 2010er: wiss. und gewerbl. Anwendung (nat. AS-Preise, EU-OSHA-Award), Inklusions-, ArbMedV-Report u.v.a.m., internat. Roll-Out, Tablet-Front-End, ... ▪ ... 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Basismodul Produktionsergonomie & Risikobeurteilung (Teil-Tätigkeits-Beurteilung, Arbeitsschichtaggregation, Simulationen, KPI-Management) ▪ Filter Geschlecht ▪ Filter Demografie ▪ Filter Inklusion ▪ Report Inklusion ▪ Report ArbMedV ▪ Modul Arbeitsunfallgefährdungen ▪ Modul Psychische Arbeitsbelastungen ▪ Modul Mutterschutzgefährdungen ▪ Modul Belastungs-, Erschwerniszulagen ▪ ... 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analyse des Films zum Cobot-Arbeitssystem. ▪ Einsatz des BDS-Basismoduls Produktionsergonomie. ▪ Beurteilung und Simulation der Teil-Tätigkeiten mit der BDS-Merkmalgruppe Physische Arbeitsbelastungen (Methodenebene: Expertenscreening) und der BDS-Merkmalgruppe Psychische Arbeitsbelastungen (Methodenebene: Spezielles Screening) inklusive der Arbeitsschichtaggregationen. ▪ Ableitung erforderlicher Maßnahmen der Arbeitsgestaltung und Simulation deren Wirksamkeit. ▪ ...

Anhand des Films mit der Hauptarbeitsaufgabe und -tätigkeit des Cobot-Arbeitssystems wurde dies mittels des BDS-Basismoduls Produktionsergonomie analysiert und bewertet, die Simulation einer „rein“ manuellen Verpackungstätigkeit (ohne Cobot-Verwendung) vorgenommen sowie die beiden ganzschichtigen Arbeitssystem-Belastungsprofile gegenübergestellt. Um hierbei eine möglichst realitätsnahe Beurteilung der arbeitsbedingten Gesundheitsgefährdungsrisiken durch physische und psychische Arbeitsbelastungen zu erzielen, wurden für die aggregierte 8 h-Arbeitsschicht übliche Arbeitszeitdauern für Erholzeiten (sächliche und persönliche Verteilzeiten; Maschinenverfügbarkeit; Arbeitsschicht-Übergabeabstimmungen etc.) berücksichtigt.

Da die physikalischen Arbeitsumgebungsbedingungen sehr stark von den weiteren Betriebsbedingungen der Arbeitsstätte abhängen, werden diese hier in diesem Arbeitssystembeispiel nicht weiter betrachtet. Auch die Betrachtung potenzieller

Arbeitsunfallgefährdungen bei Tätigkeiten mit und ohne Cobot-Verwendung verbleibt hier in diesem Arbeitssystembeispiel außen vor.

Die hohen Handhabungsfrequenzen erfordern eine valide Beurteilung physischer Gesundheitsgefährdungsrisiken hinsichtlich zu erwartender Hand- und Handgelenks-Beschwerden und -Erkrankungen. Diesbezüglich greift das BDS-Instrument auf die Leitmerkalmethode Manuelle Arbeitsprozesse zurück (Klußmann et al., 2010; Steinberg et al., 2012) und nimmt dazu jedoch auch Arbeitsschichtaggregationen vor (Klußmann et al., 2013). Daneben wurden die psychischen Arbeitsbelastungen beider Arbeitsschichtsznarien mittels der diesbezüglichen BDS-Merkmalsgruppe (u.a. Wiederholung der Tätigkeitsabläufe, Bindung an den technischen Prozess, Konzentrationsanforderungen, Unterforderung, ...) beurteilt.

3. Ergebnisse

Das Simulationsergebnis des arbeitsschichtbezogenen Arbeitssystem-Belastungsprofils weist aus, dass die „rein“ manuelle Verpackungstätigkeit bei den physischen und psychischen Arbeitsbelastungen mit intolerablen Überbelastungen verbunden ist. Bei den physischen Arbeitsbelastungen sind es u. a. die Körperhaltung, die Manuellen Arbeitsprozesse und die Körperhaltungs- und Körperbewegungsverteilung, bei denen es aufgrund der ganzschichtigen statischen Steharbeit und der permanent notwendigen Rumpftorsion (nach rechts und nach links) größer 10° zur Überbelastung kommt. Bei den psychischen Arbeitsbelastungen führen u. a. die Wiederholung der Tätigkeitsabläufe von 7 Sekunden (Arbeitszyklusdauer) und die Unterforderung der Arbeitsaufgabe zu intolerablen Überbelastungen (siehe Abbildung 1: linke Seite).

Mit der Umgestaltung auf das real vorliegende Cobot-Arbeitssystem verschlechtert sich jedoch die arbeitsbedingte Belastungssituation für die Beschäftigte noch weiter. Bei den physischen Arbeitsbelastungen sind nun rund 19 % mehr Handbewegungen pro Arbeitsschicht zu tätigen (BDS-Merkmal: Manuelle Arbeitsprozesse) und daher ist das Gesundheitsgefährdungsrisiko für Hand-, Handgelenksbeschwerden und -erkrankungen weiter angestiegen. Bei den psychischen Arbeitsbelastungen ist die Arbeitszyklusdauer mit nun 5 Sekunden um rund 29 % reduziert worden (BDS-Merkmal: Wiederholung der Tätigkeitsabläufe) und die Taktbindung angestiegen (BDS-Merkmal: Bindung an den technischen Prozess), wodurch die Beschäftigte noch weniger Freiheitsgrade hat und sich die Kontaktmöglichkeiten zu Mitarbeiter*innen weiter verschlechtert (siehe Abbildung 1: rechte Seite).

Beide arbeitsschichtbezogenen Arbeitssystemvarianten sind mit relevanten, arbeitsbedingten Überbelastungen verbunden und sowohl für vermindert belastbare Beschäftigte bzw. besonders schutzbedürftige Beschäftigtengruppen als auch für normal belastbare Beschäftigte ungeeignet. Hinsichtlich der menschengerechten Arbeitsgestaltung weist das synchrone Cobot-Arbeitssystem gegenüber der manuellen Arbeitssystemsimulation einen weiteren Anstieg arbeitsbedingter Überbelastungen aus. Demgemäß sind die erforderlichen Arbeitsgestaltungsmaßnahmen zu treffen, die die ermittelten Gesundheitsgefährdungsrisiken relevant vermindern (s. a. Tabelle 2).

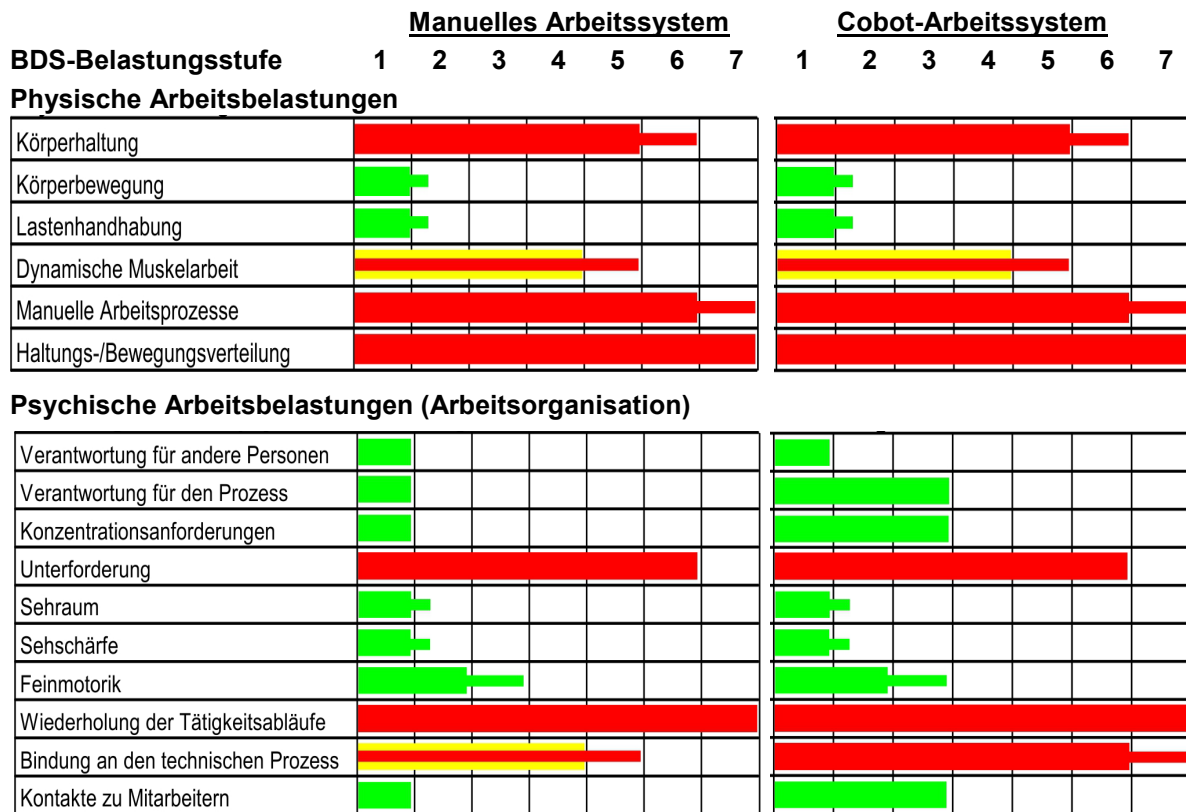


Abbildung 1: Arbeitsschichtbezogene BDS-Belastungsprofile – Simulation eines manuellen Arbeitssystems (links) vs. synchrones Cobot-Arbeitssystem (rechts) [Ausschnitt: Physische Arbeitsbelastungen und Psychische Arbeitsbelastungen (Arbeitsorganisation)]

Tabelle 2: Kennzahlen- und Reportergebnisse zur Simulation eines manuellen Arbeitssystems und zum synchronen Cobot-Arbeitssystem mit dem BDS-Instrument (Ausschnitt)

Kennzahlen- und Reportergebnisse (Ausschnitt)	Manuelles Arbeitssystem	Cobot-Arbeitssystem
LMM MA / Physische Überbelastungsrate p_{MA}	50,3 Pkt. / 6	53,6 Pkt. / 6
Arbeitszyklusdauer / Wiederholung der Tätigkeitsabläufe	7 s / 7	5 s / 7
Bindung an den technischen Prozess (BDS-Belastungsstufe)	4 (5)	6 (7)
Alter(n)sstabilität / MSE-Gesundheitsgefährdung AMR 13.2	Nein / Ja	Nein / Ja
Unverantwortbare Gefährdung §9 MuSchG	Ja	Ja
Produktionsergonomie-Rang	1	2

4. Diskussion

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass mit dem Betrieb von Cobot-Arbeitssystemen nicht „automatisch“ arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren verhütet und eine menschengerechte Arbeit gestaltet wird; auch nicht wenn gegebenenfalls mit dem Einsatz eines Cobots genau dies anvisiert wurde. Die immense Bedeutung der Beurteilung der Produktergonomie bei der Risikobeurteilung gemäß Maschinenrichtlinie 2006/42/EG und der Beurteilung der Produktionsergonomie bei der Gefährdungsbeurteilung gemäß Arbeitsschutzgesetz wurde aufgezeigt. Hierbei sind die voraussicht-

lichen oder realen Betriebsbedingungen (Stationsanordnung, Stückzahlen, Platzangebot, Verkehrswege, Lärm, Klima, ...) und Einsatzbedingungen (Körperhaltungen, Taktbindung, Arbeitszykluszeiten, Puffer, Springer, ...) fach- und sachgerecht zu berücksichtigen. Damit mitgelieferte Gestaltungshinweise erkannt, arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren ermittelt sowie erforderliche und wirksame Arbeitsgestaltungsmaßnahmen getroffen werden können, kommt es sowohl bei ‚klassischen‘ Arbeitssystemen als auch bei ‚Faktor 4.0‘-Arbeitssystemen auf eine vorausschauende und ganzheitliche Beurteilung der Arbeitsbedingungen an. Hierbei bedarf es offensichtlich neben den vorhandenen ergonomischen Bewertungsmethoden zusätzlich unterstützende, arbeitsschichtbezogene und ganzheitliche Instrumente zur Beurteilung und Gestaltung von Arbeitssystemen. Das Instrument des Belastungs-Dokumentations-Systems (BDS) wurde dazu Ende der 1980er Jahre auf der Basis des Verfahrens zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen (BAB) entwickelt, kontinuierlich weiterentwickelt und wird seitdem in Forschungsprojekten und in Betrieben eingesetzt.

Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass die interdisziplinäre Analyse, Bewertung und Gestaltung von Arbeit beim betrieblichen Bereich des Industrial Engineerings an Stellenwert gewinnen wird. Aufgrund kürzerer Produktlaufzeiten und zunehmender Arbeitssystem-Komplexität werden die effektive Zusammenführung des Wissens unterschiedlicher betrieblicher Fachleute und das gemeinsame, effiziente Handeln bei der Einrichtung und dem Betreiben von Arbeitssystemen wichtiger, um wettbewerbsfähige sowie sichere und gesundheitsgerechte Arbeitssysteme zu erreichen.

5. Literatur

- Bauer, W., Bender, M., Braun, M., Rally, P., Scholtz, O. (2016): Leichtbauroboter in der manuellen Montage – einfach einfach anfangen. Fraunhofer IAO. 2016
- Bundesgesetzblatt (BGBl.) I S. 1246 (2006): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit. Deutsches Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG)
- Bundesgesetzblatt (BGBl.) I S. 49 (2015): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln. (Betriebssicherheitsverordnung -BetrSichV)
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2011): Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter. DIN EN ISO 10218-1
- Europäisches Parlament und der Rat der Europäischen Union (2006): Richtlinie über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung). Richtlinie 2006/42/EG
- Klußmann, A., Steinberg, U., Liebers, F., Gebhardt, H., Rieger, M.A. (2010): The Key Indicator Method for Manual Handling Operations (KIM-MHO) – Evaluation of a new method for the assessment of working conditions within a cross-sectional study. BMC Musculoskeletal Disorders 2010. 11:272. 25. November 2010. doi: 10.1186/1471-2474-11-272, ISSN 1471-2474
- Klußmann, A., Mühlemeyer, C., Lang, K.-H., Dolfen, P., Wendt, K.-D., Gebhardt, H., Neumann, B., Schäfer, A. (2013): Praxisbewährte Methoden zur Bewertung und Gestaltung physischer Arbeitsbelastungen. Leistung und Lohn – Zeitschrift für Arbeitswirtschaft, Nr. 541-545, BDA – Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände (Hrsg.), Berlin, Heider-Verlag, Bergisch Gladbach
- Müller, B.H., Hettinger, Th. (1981): Interpretations- und Bewertungsverfahren arbeitswissenschaftlich-ergonomischer Felddaten. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 35 (1981), S. 82-86
- Peters, H. (1986): Verfahren zur Beurteilung arbeitsbedingter Belastungen BAB. In: Erfassung und Bewertung arbeitswissenschaftlicher Daten. Schriften des IfaA (Hrsg.), Nr. 62, Köln, 1986, S. 64-78
- Steinberg, U., Liebers, F., Klußmann, A., Gebhardt, H., Rieger, M.A., Behrendt, S., Latza, U. (2012): Leitmerkmalermethode Manuelle Arbeitsprozesse 2011. Bericht über die Erprobung, Validierung und Revision. BAuA, Dortmund, ISBN 978-3-88261-722-1



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