

Feldstudie zur Untersuchung des Laevo-Ergoskelettes hinsichtlich Usability, Diskomfort und Nutzungsintention

Ralph HENSEL, Mathias KEIL, Sophie BAWIN

*AUDI AG, Industrial Engineering Methoden
Ettinger Straße, D-85045 Ingolstadt*

Kurzfassung: Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems, bedingt durch die Manipulation von Lasten oder Arbeiten in Zwangshaltungen, sind die Hauptursache für Arbeitsunfähigkeit. Die industrielle Praxis versucht, sich dieser Problematik zu stellen, indem Exoskelette in verschiedenen Einsatzfeldern in Produktion und Logistik pilotiert werden. In der vorliegenden Feldstudie wird das Ergoskelett des Herstellers Laevo unter realen Arbeitsbedingungen hinsichtlich seines Einsatzpotenzials in der Automobilindustrie untersucht, wobei neben Diskomfort, Usability und Nutzungsakzeptanz insbesondere die wahrgenommene Entlastung im Fokus steht.

Schlüsselwörter: Exoskelette, Ergoskelette, Haltungsarbeit, Lastenmanipulation, Assistenzsystem, Muskel-Skelett-Erkrankungen

1. Einleitung

Nachdem Exoskelette für Anwendungsfälle in der medizinischen Rehabilitation und dem Einsatz im militärischen Bereichen entwickelt, kündigt sich mit ersten Applikationsszenarien aktiver und passiver Exoskelette in der industriellen Praxis eine disruptive Veränderung auf dem Gebiet ergonomischer Assistenzsysteme an (de Looze et al., 2016). Mit dem zielgerichteten Einsatz von Exoskeletten in Industrieunternehmen ergibt sich die Möglichkeit, die physische Beanspruchung der Mitarbeiter zu reduzieren. Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels bieten die das Potenzial, leistungsgewandelte Mitarbeiter wieder in einen wertschöpfenden und wertschätzenden Einsatz in die Produktion zu reintegrieren. Die Arbeitsgesetzgebung setzt den Rahmen für den Einsatz von Exoskeletten, wonach Gefahren direkt an der Quelle beseitigt oder entschärft werden müssen und individuelle, personenbezogene Maßnahmen immer nur nachrangig anzuwenden sind, wenn technische und organisatorische Maßnahmen ausgeschöpft sind (§4 ArbSchG). Um Anwendungsszenarien, Zielstellungen und Einsatzprämissen für die Implementierung von Exoskeletten in der betrieblichen Praxis zu beschreiben, wurde bei Audi der Begriff des Ergoskelettes geprägt und wie folgt definiert:

„Als Ergoskelette werden bei AUDI körpergetragene Assistenzsysteme verstanden, die durch eine mechanische Einwirkung auf den Körper die Beanspruchung der Mitarbeiter bei physischer Arbeit optimieren, wenn technische und organisatorische Gestaltungsmittel ausgeschöpft sind.“

Annähernd ein Viertel aller Arbeitsunfähigkeitstage werden durch muskuloskeletale Erkrankungen verursacht. Den höchsten Anteil haben hierbei mit über vierzig Prozent Erkrankungen des Rückens (Knieps & Pfaff, 2016), maßgeblich ausgelöst durch manuelle Lastenhandhabung und Arbeiten in Zwangshaltungen. Da chronische Erkrankungen aufgrund physischer Arbeitsbelastungen im Kontext des demografischen

Wandels auch in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen werden (Keil, Hensel, & Spanner-Ulmer, 2010), gilt es, geeignete Ergonomiewerkzeuge zu entwickeln, zu pilotieren und in der industriellen Praxis zu implementieren.

Das passive Ergoskelett des Herstellers Laevo bietet in diesem Kontext das Potenzial, sowohl bei dynamischen Umsetzungsvorgängen der Lastenmanipulation als auch statischer Haltungsarbeit in vorgebeugter Körperhaltung die Belastung des unteren Rückens zu reduzieren. Das gelingt, indem ein Teil des wirkenden (Last-) Gewichtes über ein Brustpad aufgenommen und über eine Federstruktur am Rücken vorbei über Oberschenkelauflagen in die Beine eingeleitet wird. Das System lässt sich sowohl an die Größe der Mitarbeiter als auch an die konkrete Arbeitssituation anpassen, indem Unterstützungswinkel (und damit auch Unterstützungsgrad) variabel sind und der Federmechanismus (de-)aktiviert werden kann.

Ziel der vorliegenden Feldstudie war die Evaluation der Tauglichkeit des Laevo für den Einsatz in Produktion und Logistik. Neben Usability und Nutzungsakzeptanz stand hierbei insbesondere die wahrgenommene Entlastung im Fokus.

2. Aufbau der Untersuchung

Für die Feldstudie erprobten insgesamt etwa 40 männliche Probanden ohne gesundheitliche Einschränkungen mit repräsentativer Altersverteilung das Laevo-Ergoskelett über jeweils vier Wochen in den Unternehmensbereichen Presswerk, Montage und Logistik. Um Aussagen über den Nutzen des Laevo-Ergoskelettes für die Beanspruchungsreduktion sowohl bei Tätigkeiten mit statischer Haltungsarbeit als auch dynamischen Umsetzungsvorgängen treffen zu können, wurden, mit repräsentativer Varianz der Rahmenbedingungen, Arbeitssituationen zu beiden Belastungsfällen untersucht.

2.1 Arbeitsplatzauswahl

In Montage und Presswerk wurden mit Hilfe der Ergonomiebewertung insgesamt sechs Arbeitsplätze mit Tätigkeiten in statischer Körperhaltung ausgewählt, bei denen die Mitarbeiter schwerpunktmäßig stark vornübergebeugt Bauteile montieren bzw. Presswerkzeuge rüsten und warten. An den Arbeitsplätzen „Masseverschraubung im Fußraum“ (AP1) an der Montagelinie des A4 und „Montage der Innenraumverkleidungen“ (AP2) an der Montagelinie des A3/Q2 konnten in zwei Schichten jeweils vier Mitarbeiter als freiwillige Probanden gewonnen werden. An der Montagelinie des Audi A8 wurde das Laevo-Ergoskelett an den Arbeitsplätzen „Kofferraumdämmung“ (AP3) und „Einbau Leitungssatz“ (AP4) von ebenfalls jeweils vier Mitarbeitern einschichtig erprobt. Die Probanden trugen das Ergoskelett täglich entsprechend der Rotationssystematik ca. zwei Stunden. Die Taktzeiten schwanken an den Arbeitsplätzen je nach Derivat mit entsprechender Varianz an Arbeitsinhalten. Bei der Auswahl der Arbeitsplätze wurde darauf geachtet, dass der Zugang zum Verbauort zu gleichen Teilen sowohl in symmetrischer als auch asymmetrischer Körperhaltung erfolgt, um auch den Unterstützungsgrad bei Körperdrehungen abbilden zu können. Im Presswerk wurden über alle drei Schichten jeweils zwei Mitarbeiter aus den Gruppen sowohl der Wartung an den Presswerkzeugen (AP5) als auch der Instandhaltung mit Rüsttätigkeiten (AP6) als Probanden akquiriert. Die das Laevo immer temporär für die jeweilige Aufgabe an- und ablegten. Tabelle 1 gibt

einen Überblick über die Testarbeitsplätze und deren spezifische Rahmenbedingungen.

Tabelle 1: Überblick über die Testarbeitsplätze in der Fahrzeugfertigung und deren spezifische Rahmenbedingungen

Arbeitsplätze	Taktzeit	Zeitanteil in stat. Haltung	Beugewinkel	Körperdrehung
AP1	1,4 min	0,5 min	90°	keine
AP2	1,4 min	1 min	70°	stark
AP3	5,36 min	2,5 min	20-60°	keine
AP4	5,36 min	4 min	20-60°	schwach
AP5	Keine Taktbindung	5 min	70°	schwach
AP6		0,5 min	20-90°	keine

Zum Zwecke der Nutzenevaluation für Tätigkeiten mit dynamischen Umsetzungsvorgängen wurden repräsentative Arbeitsplätze im Bereich der Logistik ausgewählt, wovon drei Arbeitsplätze im Bereich der CKD-Verpackung am Standort Ingolstadt und ein Arbeitsplatz in der Serienlogistik des Audi A8 am Standort Neckarsulm waren. An den Arbeitsplätzen in der CKD-Verpackung erprobten fünf Mitarbeiter an drei Arbeitsplätzen (AP7-9) das Laevo-Ergoskelett beim Entnehmen und Verpacken von Komponenten aus Ladungsträgern. Der Kommissionierarbeitsplatz der Serienlogistik des D5 (AP10) wird durch die Manipulation hoher Lastgewichte (circa 5-15 kg) beim Sequenzieren von Bremsscheiben und Bremssätteln charakterisiert. Hier testeten vier Mitarbeiter das Laevo-Ergoskelett jeweils für eine komplette Woche mit steigender Nutzungsdauer.

Tabelle 2: Überblick über die Testarbeitsplätze in der Logistik und deren spezifische Rahmenbedingungen

Arbeitsplätze	Taktzeit	Beugehäufigkeit	Lastgewicht	Körperdrehung
AP7	Keine Taktbindung	4/min	3-12 kg	schwach
AP8		6/min	3-10 kg	stark
AP9		6/min	3-20 kg	stark
AP10	5,36 min	2/min	5-15 kg	schwach

2.2 Methodische Vorgehensweise

Im Mittelpunkt der Feldstudie stand die Beantwortung der Fragestellung, ob das Laevo-Ergoskelett ein geeignetes Assistenzsystem für Mitarbeiter in Fertigung und Logistik darstellt. Ausgehend hiervon wurden folgende zwei Thesen formuliert:

- 1) *Mit der Nutzung des Laevo-Ergoskelettes durch den Mitarbeiter wird die Beanspruchung des unteren Rückens spürbar reduziert.*
- 2) *Das Laevo-Ergoskelett ist komfortabel, gut bedienbar und wird vom Mitarbeiter akzeptiert.*

Die Überprüfung dieser Thesen erfolgte in einer anonymen, empirischen Fragebogenuntersuchung im Vorher-Nachher-Vergleich. Zu diesem Zweck wurde eigens ein standardisierter Fragebogen entwickelt, dessen Validität durch die Nutzung existierender Skalen sichergestellt wurde. Dieser Fragebogen kann unabhängig vom spezifischen Ergoskelett und Arbeitsplatz eingesetzt werden und bildet die Grundlage für die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse.

Mithilfe der Body Part Discomfort Scale (nach Corlett & Bishop, 1976) wurden in Kombination mit einer 7-Punkte-Likert-Skala im Vorfeld des Tests die körperlichen Beschwerden aus der Arbeitstätigkeit ermittelt. Sowohl im Verlauf als auch im Nachgang der Untersuchung diene dieselbe Skala dem Monitoring des Beschwerdebildes, um einerseits die Verbesserung bestehender Beschwerden, und andererseits das Diskomfortempfinden bewerten zu können. Die Gebrauchstauglichkeit des Laevo-Ergoskelettes wurde auf Basis des UMUX-Lite (Usability Metric for User Experience) nach Lewis (2013) eruiert. Im Fokus stand hierbei die Gebrauchstauglichkeit sowohl beim An- und Ablegen als auch dem Einsatz des Ergoskelettes während der Tätigkeit. Mit dem Ziel, Einstellungs- und Verhaltensakzeptanz einander gegenüberzustellen wurde ferner auf Basis einer 7-Punkte-Likert-Skala die Dimension der Nutzungsintention nach dem Technologieakzeptanzmodell (TAM 2) von Davis (1989) ermittelt. Die Mitarbeiter gaben zusätzlich Anmerkungen zu positiven und negativen Nutzungsaspekten.

3. Untersuchungsergebnisse

Abbildung 1 visualisiert die Zwischenergebnisse der Untersuchungen an den Arbeitsplätzen mit statischer Körperhaltung aus der ersten Befragungsstufe mit 15 Mitarbeitern der Arbeitsplätze AP1 und AP2 der Montage sowie des Presswerks.

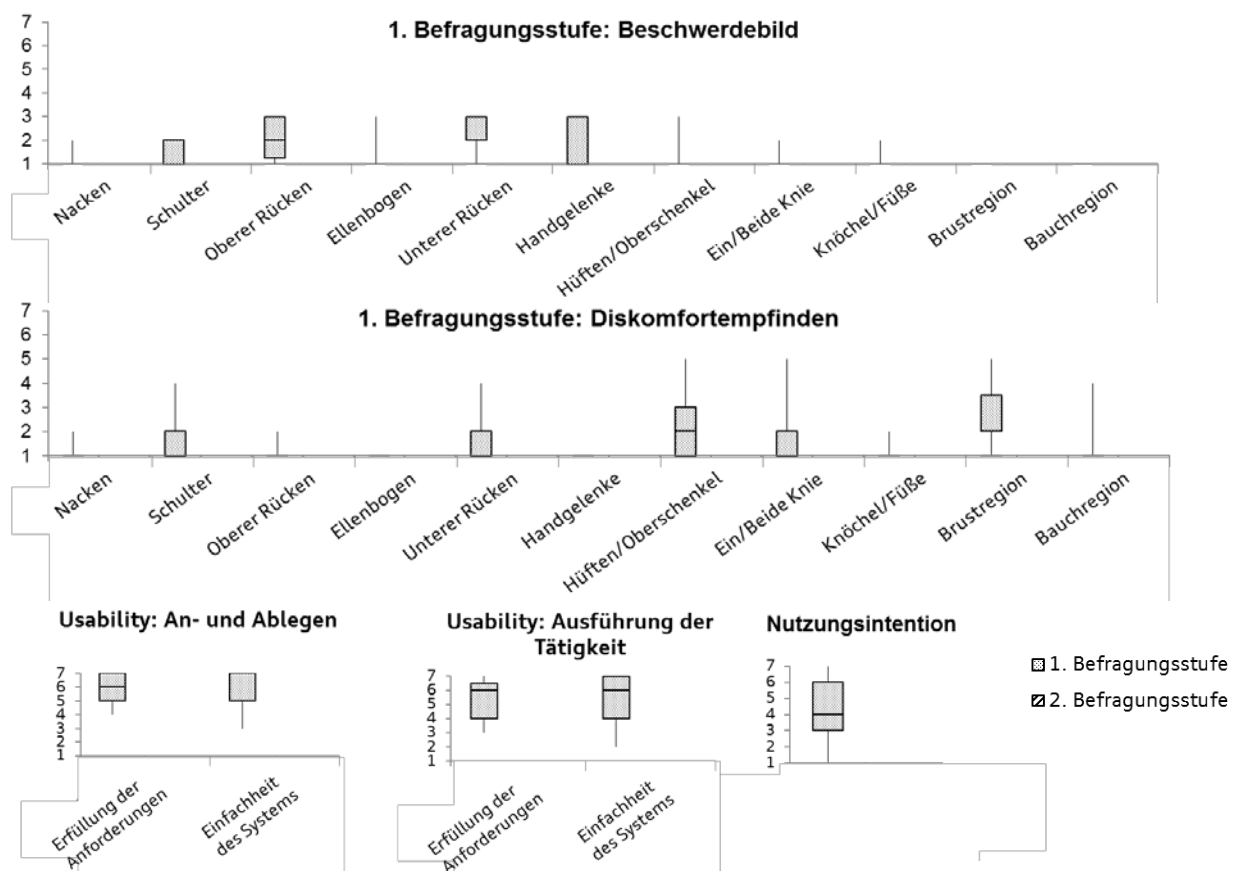


Abbildung 1: Diskomfort, Usability-Empfinden und Nutzungsintention der ersten 15 Probanden an statischen Arbeitsplätzen nach der ersten Befragungsstufe

Die Mitarbeiter der Montagearbeitsplätze AP1 und AP2 meldeten die höchste Entlastung im unteren Rücken zurück, bei den Rüsttätigkeiten der Greiferschienen im Presswerk (AP6) wurde die niedrigste Entlastung bewertet. Zugleich bemängelten sie den Dis-komfort, insbesondere im Bereich der Brust und der Oberschenkel. Die Usability beim An- und Ausziehen sowie bei Ausführung der Tätigkeit wurde hoch bewertet. Die meisten Mitarbeiter würden das Laevo nutzen, wenn sie Zugang dazu hätten.

Abbildung 2 veranschaulicht die Zwischenergebnisse von drei Mitarbeitern an den Arbeitsplätzen mit dynamischer Belastung, aus beiden Befragungsstufen.

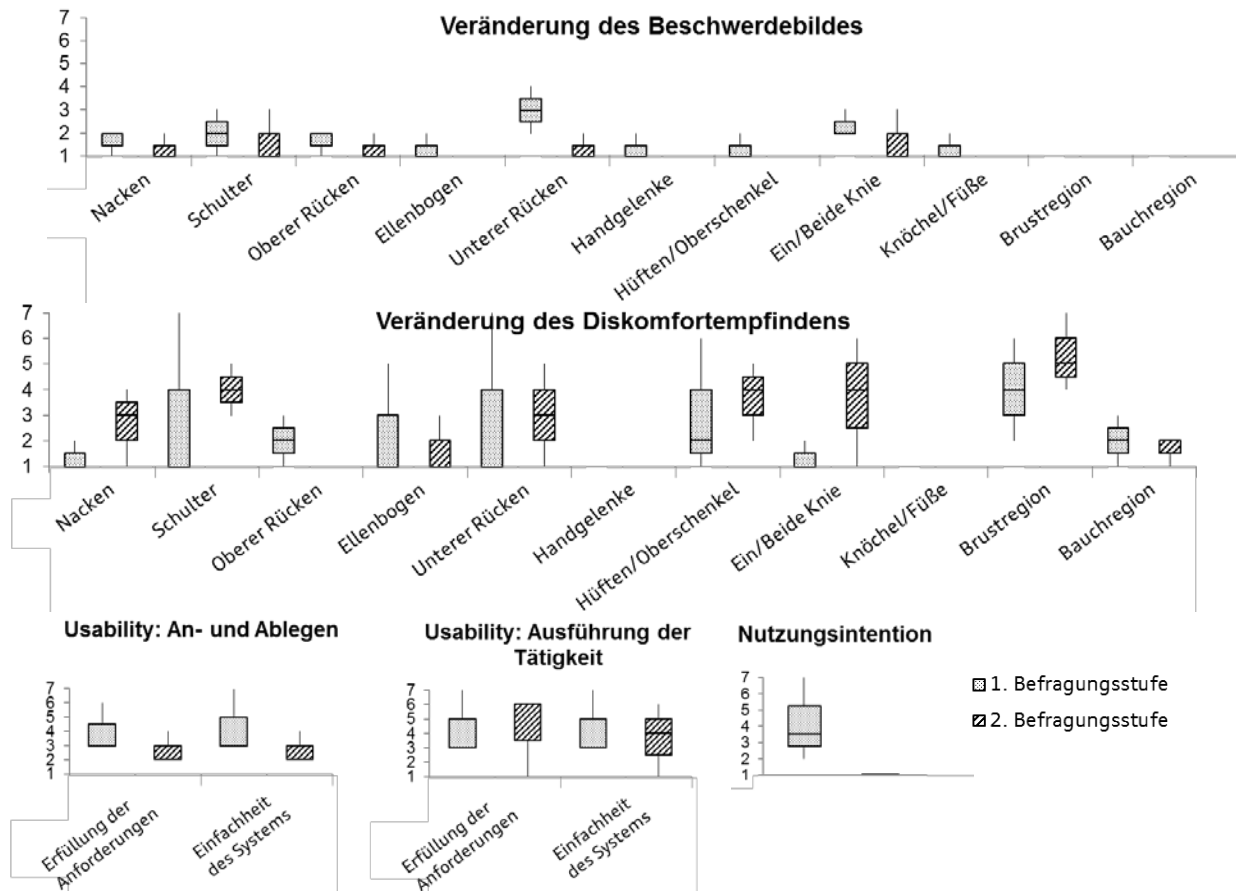


Abbildung 2: Diskomfort, Usability-Empfinden und Nutzungsintention der ersten drei Probanden an dynamischen Arbeitsplätzen nach erster und zweiter Befragungsstufe im Vergleich

An zwei Arbeitsplätzen der Logistik (AP7 und AP10) mit dynamischen Belastungen wurden die Ergebnisse von drei Mitarbeitern beider Befragungsstufen ausgewertet. Zwischen den Befragungsstufen zeigt sich eine Verbesserung des Beanspruchungsempfindens im unteren Rücken. Die Bewertung der Usability erfährt eine leichte Verschlechterung, die Anforderungen beim An- und Ablegen werden als weniger erfüllt angesehen als bei der ersten Befragung, bei Ausführung der Tätigkeit genügt das Laevo den Anforderungen. Trotz der spürbaren Entlastung des unteren Rückens sinkt die Nutzungsintention stark ab. Diese Zwischenergebnisse müssen durch die Auswertung der restlichen Probanden aus der Feldstudie bestätigt werden.

4. Fazit

Die Zwischenergebnisse der Feldstudie zeichnen sowohl bei den dynamischen als auch den statischen Arbeitsplätzen ein weitestgehend positives Bild des Laevo-Ergoskelettes bezüglich der wahrgenommenen Beanspruchungsreduktion im unteren Rücken. Die ersten Rückmeldungen lassen einen Zusammenhang des Entlastungsempfindens mit der Arbeitsplatzcharakteristik vermuten, so dass das Unterstützungspotenzial des Laevo bei einem größeren Beugewinkel einem möglichen Diskomfortempfinden überwiegt. Generell fiel das Feedback bei den Arbeitsplätzen in der Logistik mit dynamischen Tätigkeiten weniger positiv aus. Obgleich die Probanden aus dem Logistikbereich eine spürbare Entlastung zurückmeldeten, reklamierten sie zugleich besonders starken Diskomfort durch verstärkten Druck und Schwitzen im Brustbereich durch das Brustpad. Vereinzelt bemängelten Probanden aus allen Bereichen zudem mangelnden Tragekomfort durch das Einschneiden der Gurte im Schulterbereich sowie die Druckbelastung auf den Oberschenkeln bedingt durch die Beinabstützung. Zugleich wurde das Laevo-Ergoskelett bei der Ausführung der Nebentätigkeiten oft als störend wahrgenommen. Die Gebrauchstauglichkeit, sowohl beim An- und Ablegen als auch beim Ausführen der Tätigkeit, wurde von den Probanden aller Bereiche zumeist als positiv bewertet.

Die Probanden der dynamischen Arbeitsplätze lehnten das System nach anfänglichem Enthusiasmus und positiver Wahrnehmung des ergonomischen Benefits nach längerer Nutzungsdauer zumeist aufgrund empfundenen Diskomforts ab, was insbesondere im Bereich des CKD-Verpackung bei mehreren Probanden zum Abbruch der Versuchsteilnahme führte. Dies lässt sich mit dem Konstrukt des relativen Nutzens (Rogers, 2003) erklären, da die Probanden die Entlastung des unteren Rückens als ergonomischen Benefit dem aus der Nutzung erwachsenden Aufwand, etwa dem Diskomfort, gegenüber stellen. Aus den ersten Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass für einen Serieneinsatz noch viele Hürden überwunden werden müssen. Konstruktive Maßnahmen können helfen, den Diskomfort des Brustpads zu reduzieren, um den Druck in der Brustregion besser zu verteilen.

Aufbauend auf den Ergebnissen sind im nächsten Schritt in einer arbeitsphysiologischen Laborstudie sowohl der ergonomische Nutzen des Laevos als auch langfristige Gesundheitsrisiken objektiv zu ermitteln, um im Sinne evidenzbasierter Ergonomie (Silveira, 2012) über den Rollout des Assistenzsystems zu entscheiden.

5. Literatur

- Corlett EN, Bishop RP (1976). A technique for measuring postural discomfort. *Ergonomics*. 19:175-182.
- De Looze MP, Bosch T, Krause F, Stadler KS, O'Sullivan LW (2016). Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*. 59(5):671-681.
- Davis FD (1989). *Davis Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology*. Computer and Information Systems Graduate School of Business Administration, Michigan.
- Lewis JR, Utesch BS, Maher DE (2013) UMUX-LITE: when there's no time for the SUS. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York: ACM. 2099-2102.
- Keil M, Hensel R, Spanner-Ulmer B (2010). Fähigkeitsgerechte Prozessmodellbausteine zur Generierung altersdifferenzierter Beanspruchungsprofile. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 03/2010, S. 205-215.

Knieps F, Pfaff H (2016). BKK Gesundheitsreport 2016: Gesundheit und Arbeit. Berlin: Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

Rogers E (2003). Diffusion of Innovations. New York: Free Press.

Silveira DM (2012). Evidence-based ergonomics: a model and conceptual structure proposal. In: 18th World Congress on Ergonomics - Designing a Sustainable Future.

Danksagung: Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Robert Barthel, Frau Maria Wiegert und Herrn Steffen Conrad sowie den Kollegen des Betriebsrates, der Fertigungsbereiche, des Gesundheitswesens sowie der Arbeitssicherheit für die konstruktive Zusammenarbeit.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

ARBEIT(s).WISSEN.SCHAF(F)T
Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung

64. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FOM Hochschule für
Oekonomie & Management gGmbH

21. – 23. Februar 2018

GfA Press

Bericht zum 64. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 21. – 23. Februar 2018

FOM Hochschule für Oekonomie & Management

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2018

ISBN 978-3-936804-24-9

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.

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

USB-Print:

Prof. Dr. Thomas Heupel, FOM Prorektor Forschung, thomas.heupel@fom.de

Screen design und Umsetzung

© 2018 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de