

## **Integration von Altersfaktoren in digitale Menschmodelle zur altersgerechten Arbeitsprozessgestaltung**

Michael SPITZHIRN, Angelika C. BULLINGER

*Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement  
Technische Universität Chemnitz, D-09107 Chemnitz*

**Kurzfassung:** Bei einer altersgerechten Arbeitsgestaltung mittels digitaler Menschmodelle (DMM) sind die altersbedingten Veränderungen der menschlichen Leistungsfähigkeit zu berücksichtigen. Altersbedingte Veränderungen wie bspw. der Beweglichkeit sind aktuell nur rudimentär bei der virtuellen Arbeitsprozessgestaltung abbildbar. Deshalb wird im Beitrag ein Konzept zur Integration von Altersfaktoren in DMM vorgestellt. Dem User-Centered-Design Prozess folgend, werden die einzelnen Schritte zur Integration von Altersfaktoren am Beispiel der Beweglichkeit dargestellt. Dazu werden die erhobenen Nutzeranforderungen und die Darstellung der nutzerorientierten Konfiguration der Altersfaktoren im DMM dargestellt. Im Ergebnis wird gezeigt, wie altersbedingte Veränderungen der menschlichen Leistungsfähigkeit in DMM nutzerorientiert eingebunden werden können. Dem Nutzer soll damit perspektivisch eine effektive und effiziente altersgerechte Gestaltung in DMM mittels akkurater, relevanter Daten sowie geeigneter Unterstützung ermöglicht werden.

**Schlüsselwörter:** altersgerechte Arbeitsgestaltung, Beweglichkeit, digitale Menschmodelle, menschliche Leistungsfähigkeit, Usability

### **1. Digitale Menschmodelle und eine altersgerechte Arbeitsgestaltung**

Mit einem durchschnittlichen Alter von 45,6 Jahren hat Deutschland den höchsten Altersdurchschnitt in Europa (Statista 2014). Bis 2030 soll der Anteil älterer Arbeitnehmer ab 55 Jahren um weitere 3 Millionen steigen, die Gesamterwerbszahl in Deutschland dagegen um 2,9 Mio. auf 40,8 Mio. sinken (BMAS 2013). Das führt zu einer Verknappung des Arbeitspotentials.

Mit dem Alter verändern sich die Fähigkeiten einer Person. Ältere Arbeitnehmer verfügen über ein hohes Erfahrungswissen und soziale Kompetenz (Adenauer 2002). Mit zunehmendem Alter nehmen jedoch die sensorische und körperliche Leistungsfähigkeit wie bspw. die Beweglichkeit ab (Adenauer 2002; Bubb et al. 2015). Eine unzureichende Berücksichtigung der jeweiligen Leistungsfähigkeit (Altersfaktoren) kann dazu führen, dass eine Tätigkeit nicht mehr ausgeführt oder nur unter reduzierter Leistung erbracht werden kann (Kaminsky 2014). Verletzungen oder berufsbedingte Erkrankungen können Folge sein. Kritische Tätigkeiten sind u.a. das Arbeiten in ungünstigen Körperhaltungen (CCOHS 2016).

Um den Einsatz älterer Arbeitskräfte unter humanorientierten und wirtschaftlichen Kriterien zu gewährleisten, sind altersbedingte Veränderungen der Leistungsfähigkeit wie bspw. der Beweglichkeit bei einer Arbeitsplanung frühzeitig zu berücksichtigen. Dies kann mittels digitaler Menschmodelle (DMM) realisiert werden. Mit Hilfe der

Softwaresysteme lassen sich bereits im Planungsprozess Arbeitsprozesse simulieren und mittels Methoden wie Erreichbarkeitsanalysen, EAWS oder MTM nach ergonomischen und wirtschaftlichen Aspekten gestalten (Bullinger-Hoffmann & Mühlstedt 2016). In aktuellen DMM werden altersabhängige Änderungen der Leistungsfähigkeit nicht ausreichend berücksichtigt, so dass eine altersgerechte Gestaltung mittels DMM aktuell nicht zweckmäßig durchführbar ist (Alexander & Paul 2016; Spitzhirn et al. 2016).

Um eine altersgerechte Gestaltung mittels DMM einer großen Anwendergruppe zu ermöglichen, sind altersabhängige Veränderungen der Leistungsfähigkeit adäquat und nutzerorientiert einzubinden. Im Beitrag wird dazu ein Konzept zur Integration von Altersfaktoren in DMM am Beispiel der altersabhängigen Beweglichkeit vorgestellt.

## **2. Altersfaktor Beweglichkeit und deren Einflussgrößen**

Die Beweglichkeit ergibt sich aus der Interaktion von über 100 Gelenken im menschlichen Körper. Die Beweglichkeit eines Gelenks (Range of Motion = ROM) hängt u.a. von den beteiligten Muskeln, der Körperhaltung bzw. -position ab und ob die Beweglichkeit aktiv oder passiv ausgeführt wird. Die Population nimmt auch wesentlichen Einfluss. So sind Frauen allgemein beweglicher als Männer, ein übermäßiger Fettanteil kann zu einer Einschränkung führen, Training in Abhängigkeit der Art sich positiv oder negativ auswirken, gleiches gilt für den ausgeübten Beruf (Norkin & White 2003; De Araujo 2004). Zudem ist die Gelenkbeweglichkeit funktionsabhängig und verfügt über eine hohe interpersonelle Variabilität (Kaminsky 2014). Je nach Gelenkbereich sind unterschiedliche Einschränkungen mit zunehmendem Alter nachweisbar. Altersabhängige Reduktionen sind u.a. im Handgelenk, der Hals- und Lendenwirbelsäule und marginale im Ellenbogengelenk vorhanden (Chung & Wang 2009; Hussain et al. 2014). Die hohe Variabilität kann dazu führen, dass ein sehr beweglicher 60-Jähriger (P95 Bewegungsperzentil) einen höheren ROM hat als ein durchschnittlich beweglicher 20-Jähriger (P50).

Für arbeitswissenschaftliche Fragestellungen sind die vorgenannten Faktoren bei der Integration im DMM zu berücksichtigen und adäquate Daten für eine aktive Beweglichkeit bereitzustellen. Aufgrund der Heterogenität der Studienergebnisse wird eine Metaanalyse zur altersabhängigen Beweglichkeit durchgeführt (Spitzhirn 2017). Damit lassen sich statistisch abgesicherte Daten generieren, mit denen übergreifende Aussagen zu altersbedingten Veränderungen der Gelenkbeweglichkeit und deren Einflussgrößen wie Geschlecht im DMM abbildbar sind.

## **3. Nutzungskontext und Anforderungen an die Integration der Altersfaktoren**

Bei der Integration der Altersfaktoren wird sich an dem Vorgehensmodell des User-Centered-Design-Prozess orientiert (DIN EN ISO 9241-11:2016). Hierzu sind Nutzungskontext und Anforderungen zu erheben. Daraus ist ein Konzept zu entwickeln, welches bewertet und in einem iterativen Prozess weiterentwickelt wird.

Mit Hilfe der Integration von Altersfaktoren sollen Personen mit arbeitsgestalterischen Aufgaben, wie Industrial Engineers (IE), Ergonomen oder Fachkräfte für Arbeitssicherheit, bei der altersorientierten virtuellen Analyse und Planung von Arbeitsprozessen unterstützt werden. Mittels der Software muss überprüfbar sein, ob

Mitarbeiter mit unterschiedlicher Leistungsfähigkeit in den Altersgruppen unter den gegebenen Bedingungen an den Arbeitsplätzen unter humanen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten arbeiten können. Dazu müssen bedarfsgerecht altersbedingte Veränderungen verschiedener physischer Leistungsfähigkeiten (Altersfaktoren) im DMM abgebildet werden und der Nutzer bei der Ableitung altersgerechter Gestaltung unterstützt werden.

Anhand einer Anwenderbefragung wurden Bedarf und Anforderungen von DMM-Nutzern hinsichtlich der Integration von Altersfaktoren ermittelt (Spitzhirm et al. 2016). Die Befragten mussten über Kenntnisse aus dem Bereich DMM sowie der Arbeits- bzw. Produktgestaltung verfügen. Insgesamt nahmen 56 DMM-Nutzer mit Schwerpunkt Arbeitsplanung, IE und Ergonomie teil. Für die Mehrzahl der Befragten besitzt die altersgerechte Gestaltung von Arbeitsprozessen eine hohe bis sehr hohe Bedeutung. Zur altersgerechten Arbeits- und Produktgestaltung wird als wichtig bis sehr wichtig eine altersabhängige Darstellung und Analyse der Beweglichkeit (80 %), der Körperkräfte (80 %), der Anthropometrie (75 %) und des Sehens (73 %) genannt. Eine untergeordnete Bedeutung nimmt die altersabhängige Abbildung der Ausdauer, des Erscheinungsbildes und des Hörens ein. Spezifisch wird in den jeweiligen Altersfaktoren der höchste Bedarf zur Integration altersabhängiger Gelenkwinkelveränderungen (4,2/5 Punkte), der Maximalkräfte/-momente (4,1/5 Punkte), Körpermaße (4,3/5 Punkte) sowie des Gesichts-/Umblickfeldes (3,8/5 Punkte) genannt. Bei der Integration in DMM wird sich eine altersspezifische Populationsdatenbank mit deren Hilfe die Auswirkungen mehrerer Altersfaktoren gleichzeitig untersucht werden können, gewünscht. Hierzu sollten Probanden-Profile erstell- und konfigurierbar sein, um je nach Ziel Anpassungen vornehmen zu können. Weitere Informationen zum Aufbau und den Ergebnissen können Spitzhirm et al. (2016) entnommen werden.

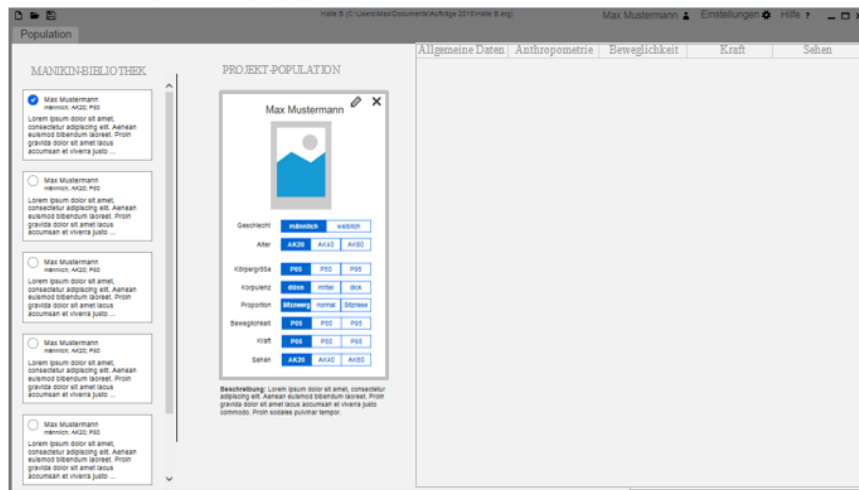
#### **4. Konzept zur altersgerechten Gestaltung in digitalen Menschmodellen**

Bei der Auslegung einer Benutzeroberfläche sind die benötigten Funktionen und Daten visuell aufzubereiten und die Arbeitsabläufe zu strukturieren. Dazu sind Gestaltungsregeln wie die DIN 9241-110:2008 zur Dialoggestaltung zu berücksichtigen, um eine gebrauchstaugliche Benutzerschnittstelle zu konzipieren. Es sind u.a. die Aufgabenangemessenheit, Erwartungskonformität, Selbstbeschreibungsfähigkeit, Fehlertoleranz und Individualisierbarkeit zu beachten (Herczeg 2009).

Ausgehend von den erhobenen Anforderungen werden die Altersfaktoren Anthropometrie, Beweglichkeit, Kraft und Sehen in das Konzept eingebunden. Für die altersabhängige Untersuchung stehen in der Grundeinstellung drei Altersklassen (AK) - AK20 (20-30 J.), AK40 (31-50 J.) und AK60 (51-70 J.) zur Verfügung, deren Festlegung sich an der Änderung der sportmotorischen Leistungsfähigkeit und der allgemeinen körperlichen und sensorischen Leistungsfähigkeit orientieren (Spitzhirm & Bullinger 2016). Innerhalb der einzelnen Altersgruppen kann das 5., 50. und 95. Perzentil eingestellt werden. Damit kann ein junges, mittleres und älteres Probandenkollektiv definiert und die individuelle Streuung der jeweiligen Probandengruppe abgebildet werden. Eine weitere Untergliederung der Altersklassen kann bei Bedarf über allgemeine Einstellungen vorgenommen werden.

Zur Auswahl und Detailierung der jeweiligen Altersfaktoren, wird der Populations-Konfigurator eingesetzt, dessen Aufbau Abbildung 1 entnommen werden kann. Der Populations-Konfigurator setzt sich aus drei Bereichen zusammen. Auf der linken

Seiten befindet sich eine Schnelllade-Bibliothek, welche ein Standardprofil (50. Perzentil in allen Altersfaktoren) sowie kritische und individuelle altersspezifische Populationsprofile (Manikins) beinhaltet. Die Profile können nach Nutzungshäufigkeit, kritische Fälle, Untersuchungszweck und weiteren Merkmalen gefiltert, sortiert und gruppiert werden. Durch eine intuitive Such- und Filterfunktion sowie referenzierte Profilbezeichnung kann der Nutzer das passende Profil schnell laden bzw. ein neues Profil aus dem bestehenden Standardprofil erstellen.

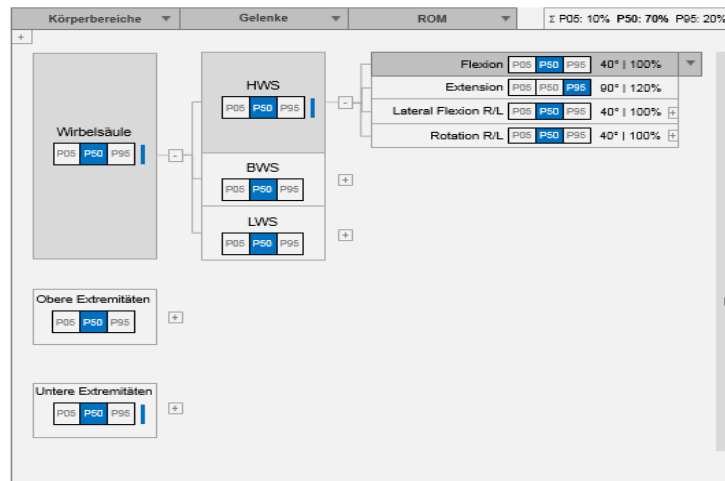


**Abbildung 1:** Auszug zum Populations-Konfigurator (links: Schnelllade-Bibliothek; mittig: Schnellkonfiguration; rechts: Detailierungsebene)

Hierzu steht in der Mitte die Schnellkonfiguration zur Verfügung. Mittels Multi-Stage-Toggle-Button können jeweils Altersklasse, Geschlecht sowie die Altersfaktoren Anthropometrie (Größe, Korpulenz, Proportion), Beweglichkeit, Kraft und Sehen nach 5., 50. bzw. 95. Perzentil eingestellt werden. Die Eingaben des Nutzers finden direkt oberhalb des Konfigurators in der Darstellung des Manikins Berücksichtigung. So werden optisch sichtbare Eigenschaften wie Korpulenz oder Körpergröße angepasst. Dem angelegten Populationsprofil sind zudem eine Bezeichnung und Stichwörter zur Identifikation sowie ein Verwendungszweck zuzuordnen, um eine eindeutige Zuordnung später zu ermöglichen. Der Nutzer hat die Möglichkeit weitere Populationsprofile hinzuzufügen bzw. bestehende wieder zu entfernen. Durch das Hinzufügen mehrerer Populationsprofile kann gleichzeitig der Einsatz mehrerer Populationen (Arbeitskräfte) im Zusammenwirken mit der Arbeitsaufgaben auf deren Kompatibilität überprüft und verglichen werden. Die Altersfaktoren lassen sich sowohl einzeln als auch kombiniert untersuchen.

Um eine Detailierung der Altersfaktoren hinsichtlich deren Untergruppen wie Gelenke oder Körpermaße vorzunehmen, gibt es eine Detailierungsebene. Diese kann entweder über das Drücken des jeweiligen Altersfaktors in der Globaleinstellung (Option 1) oder über das oberhalb des Manikins befindliche Zahnrad (Option 2) erreicht werden. Je nach Auswahl wird der Nutzer entweder direkt bei Option 1 zum jeweiligen Altersfaktor geleitet oder kann nach Option 2 eine chronologische Abarbeitung der Altersfaktoren starten. In der Detailierungsebene kann der Nutzer bspw. das Ausmaß der Beweglichkeit oder Kraftmomente (5., 50., 95. Perzentil) für einzelne Gelenke oder bestimmter Bereiche wie die oberen Extremitäten festlegen. Ebenso können wesentliche Maße des Sehens, wie die Sehschärfe, oder eine Spezifizierung der einzelnen Körpermaße durchgeführt

werden. Damit lassen sich bspw. die anthropometrischen Maße für die Greifraumbetrachtungen auf die erforderlichen Randbedingungen wie 5. Perzentil Außenmaß und 95. Perzentil Innenmaße für einen Arbeitsplatz anpassen, um so einer breiten Population die Arbeit am Arbeitsplatz zu ermöglichen. Dies kann auf die Festlegung der Beweglichkeit übertragen werden. Abbildung 2 zeigt einen Auszug zur Detaillierungsebene für die Beweglichkeit.



**Abbildung 2:** Detaillierungsebene am Bsp. für die Einstellung des Altersfaktors Beweglichkeit

Der Nutzer kann je nach gewünschtem Detaillierungsgrad für übergeordnete Bereiche der Beweglichkeit wie Wirbelsäule, für Funktionseinheiten (HWS, BWS, LWS) oder einzelne ROM (Flexion, Extension, Rotation) festlegen. Abweichungen in den drei Struktureinheiten ggü. der allgemein definierten Beweglichkeit können über die Direktauswahl (1) oder über den Strukturbaum (2) vorgenommen werden. Die Direktauswahl dient als Schnellauswahl und kann genutzt werden wenn nur eine bestimmte Anzahl an Einheiten definiert werden sollen. Mittels des Strukturbaums kann eine detaillierte Spezifizierung vom Bereich bis zum einzelnen ROM durchgeführt werden. Auf der Ebene der ROM wird der absolute Winkel und dessen rel. Bezug zu der AK20-P50 prozentual angegeben. Standardmäßig wird von einer Symmetrie der rechten und linken Körperseite ausgegangen. Mittels Drop-Down-Funktion können ebenso für ausgewählte Bereiche Asymmetrien festgelegt werden. Bei Bedarf können detaillierte Informationen zu den jeweiligen ROM in Abhängigkeit des Alters abgerufen werden. Dieses System erlaubt verschiedenste Kombinationen von Beweglichkeits-Perzentilen. Zur Zusammenfassung wird dem Nutzer eine summarische Übersicht zur Verteilung von P05, P50, P95 bereitgestellt, um eine Abschätzung zur allgemeinen Beweglichkeit vornehmen zu können.

Bei der Gestaltung des Konfigurators wird auf eine einheitliche und verständliche Gestaltung der Benutzeroberfläche sowie auf eine ausgewogene Darstellung der Information geachtet. Es werden nur notwendige Informationen für den Bearbeitungsschritt angezeigt, während nicht relevante Informationen ausgeblendet sind. Zur Förderung der Lernförderlichkeit sowie der Selbstbeschreibungsfähigkeit werden handlungsbegleitende Informationen bereitgestellt und zugrundeliegende Konzepte erläutert. Eine Anleitung zum Programm und deren Funktionen erfolgt bei Start des Programms. Die Bereitstellung von Informationen zur altersgerechten Arbeitsgestaltung wird zusätzlich angeboten, um das Verständnis zur Thematik zu fördern.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Im Beitrag wurde ein Konzept zur Konfiguration von Altersfaktoren mit Schwerpunkt altersbedingte Veränderung der Beweglichkeit vorgestellt. Notwendigkeit der Berücksichtigung von Altersfaktoren und die altersbedingte Veränderung und deren Einflussgrößen wurden kurz vorgestellt. In Kapitel 3 wurde der Nutzungskontext und die Anforderungen hinsichtlich altersgerechter Gestaltung mittels DMM dargestellt und in Kapitel 4 das Konzept zum Populations-Konfigurator und dessen Bestandteile beschrieben. Im nächsten Schritt ist das vorgestellte Konzept mit DMM-Nutzern zu evaluieren und entsprechend deren Anforderungen weiterzuentwickeln.

## 6. Literatur

- Adenauer S (2002) Die Potentiale älterer Mitarbeiter im Betrieb erkennen und nutzen. *Angewandte Arbeitswissenschaft. Zeitschrift für die Unternehmenspraxis.* 172, 1-11.
- Alexander T & Paul G (2016) Digitale Menschmodelle: Potenziale und Herausforderungen mit Hinblick auf die zukünftige Entwicklung der Ergonomie. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.) *Arbeiten in komplexen Systemen - Digital, vernetzt, human?!*, 62. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund: GfA-Press. S. 1-7.
- BMAS [Bundesministerium für Arbeit und Soziales] (2013) *Arbeitsmarktprognose 2030. Eine strategische Vorausschau auf die Entwicklung von Angebot und Nachfrage in Deutschland.*
- Bullinger-Hoffmann AC & Mühlstedt J (2016) *Homo Sapiens Digitalis- Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle.* Wiesbaden: Springer-Verlag GmbH.
- Canadian Centre for Occupational Health & Safety [CCOHS] (2016) *Aging Workers.* Online unter: [http://www.ccohs.ca/oshanswers/psychosocial/aging\\_workers.html](http://www.ccohs.ca/oshanswers/psychosocial/aging_workers.html).
- Chung MJ & Wang MJJ (2009) The effect of age and gender on joint range of motion of worker population in taiwan. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol 39, pp.596-600.
- De Araujo (2004) *Flexitest - an innovative flexibility assessment method.* Champaign. Human Kinetics.
- DIN EN ISO 9241-011 (2016) *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte (ISO/DIS 9241-11:2015).* Entwurf.
- Herczeg M (2009) *Software-Ergonomie: Theorie, Modelle und Kriterien für gebrauchstaugliche interaktive Computersysteme.* Berlin: Oldenbourg Verlag.
- Hussain A, Case K, Marshall R, Summerskill S (2014) Joint mobility and inclusive design challenges. *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol 53, pp.67-79.
- Kaminsky LA (2014) *ACSM's Health-Related Physical Fitness Assessment Manual.* Baltimore: American College of Sports Medicine.
- Norkin CC & White DJ (2003) *Measurement of Joint Motion. A Guide to Goniometry.* New Delhi. Jaypee Brothers Medical Publishers Ltd.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) *Arbeitswissenschaft.* Heidelberg: Springer-Verlag.
- Spitzhirm M, Kaiser A, Bullinger AC (2016) *Virtual Aging - Nutzerbefragung zu Anforderungen und Bedarf zur Integration altersspezifischer Veränderungen des Menschen in digitale Menschmodelle.* Tagungsband ininteract conference, 22.06. – 24.06.2016, 238-252.
- Spitzhirm M & Bullinger AC (2016) *Entwicklung eines Konzepts zur altersgerechten Arbeitsgestaltung mittels digitaler Menschmodelle.* In: Müller E. (Hrsg.). *Smarte Fabrik & Smarte Arbeit - Industrie 4.0 gewinnt Kontur. VPP 2016 Vernetzt planen und produzieren.* Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme. Sonderheft 22.
- Spitzhirm M (2017) *Integration altersbedingter Veränderung der Beweglichkeit zur altersgerechten Arbeitsprozessgestaltung in digitalen Menschmodellen.* In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.) *Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels*, 63. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. GfA-Press, Dortmund (in Press)

**Danksagung:** Dieser Beitrag wäre ohne die Unterstützung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung vom 01.05.2015 bis zum 31.10.2017 (BMBF; Projekt: VirtualAging, FKZ 01|S15002C) nicht möglich gewesen.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft**

63. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

---

**GfA Press**

---

**Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017**

**FHNW Brugg-Windisch, Schweiz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

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.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

**Screen design und Umsetzung**

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)