

## **Auf dem Weg zu einem simulationsbasierten Planungssystem für die Montage im Kontext von Industrie 4.0**

Benedikt A. LATOS<sup>1</sup>, Tim HELLER<sup>1</sup>, Maximilian DUISBERG<sup>1</sup>, Niklas STEIREIF<sup>1</sup>,  
Christian KRUSE<sup>2</sup>, Verena NITSCH<sup>1</sup>, Susanne MÜTZE-NIEWÖHNER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Arbeitswissenschaft  
RWTH Aachen University  
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

<sup>2</sup> *Fachbereich Wirtschaft und Informationstechnik  
Westfälische Hochschule  
Münsterstraße 265, D-46397 Bocholt*

**Kurzfassung:** Eines der Ziele von Industrie 4.0 liegt in der Ermöglichung der Herstellung kundenindividueller Produkte. Dies bedingt, dass Montagesysteme flexibel gestaltet und häufig umgeplant werden müssen. Im Beitrag werden die Ergebnisse einer qualitativen Interviewstudie mit 15 Expert\*innen zu aktuellen Anforderungen an die Montageplanung präsentiert. Darüber hinaus wird die Beurteilung von gängigen Montageorganisationsformen durch die Expert\*innen im Hinblick auf arbeitswissenschaftliche Kriterien dargelegt. Die Ergebnisse zeigen u.a., dass bei Matrixproduktion, Reihen-, Taktstraßen- sowie kombinierter Fließmontage kaum Möglichkeiten zur Erfüllung der Kriterien bestehen. Der Beitrag schließt mit einer kurzen Diskussion der Ergebnisse und gibt einen Ausblick auf die weiteren Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Verbundvorhaben *FlexDeMo*.

**Schlüsselwörter:** Montageplanung, Montageorganisation, Planungsunterstützung, Industrie 4.0

### **1. Einleitung**

Dynamische Umfeldbedingungen, kurze Produktlebenszyklen und die zunehmende Fertigung kundenindividueller Produkte erhöhen zum einen die Anzahl an Um- und Neuplanungen in der Montage (vgl. Lotter 2012; Göppert et al. 2018), zum anderen aber auch – gepaart mit anderen Entwicklungen, wie dem demografischen Wandel – den Anspruch an die Qualität des Planungsprozesses und seiner Ergebnisse (z.B. hochflexible Montagesysteme mit heterogenen Belegschaften) (vgl. Müller et al. 2015). Ziel des Verbundvorhabens *FlexDeMo* ist es, insbesondere kleine und mittlere Unternehmen bei der Um- und Neuplanung von Montagesystemen methodisch und instrumentell zu unterstützen. Das hierzu angestrebte webbasierte Planungssystem soll aus mehreren digitalen Planungstools bestehen, die in ein übertragbares, partizipatives Vorgehen eingebettet werden sollen. Als zentrales Planungstool sollen rekonfigurierbare, modulare Simulationsmodelle zur Exploration der Auswirkungen alternativer Montageorganisationsformen eingesetzt werden. Das Vorhaben knüpft damit u.a. an eine Fallstudie zur partizipativen, simulationsbasierten Montageplanung bei einem Hersteller weißer Ware an (s. Latos et al. 2018).

Die Ausgestaltung des angestrebten Montageplanungsprozesses (einschließlich der Planungsunterstützungssysteme) sollte aktuellen Veränderungen und Herausforderungen respektive den daraus resultierenden Gestaltungsanforderungen gerecht

werden. Einen essenziellen Teilschritt des Montageplanungsprozesses bildet die Auswahl einer Montageorganisationsform (s. z.B. Wildemann 2010). Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht muss der Unterstützung dieses Planungsschritts besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da mit der Wahl der Organisationsform wesentliche Eigenschaften und Freiheitsgrade des Montagesystems bestimmt werden, die nicht nur Auswirkungen auf die Flexibilität haben, sondern insbesondere auch auf die Aufgaben und Arbeitsbedingungen der Beschäftigten. In der einschlägigen Fachliteratur existieren bislang lediglich Bewertungen einzelner Montageorganisationsformen aus technischer bzw. wirtschaftlicher Sicht (s. z.B. Wildemann 2010, einen Überblick gibt Heller 2019). Es fehlt bislang eine Systematisierung im Hinblick auf arbeitswissenschaftliche Aspekte.

Mit dem Ziel, einen vertieften, praxisnahen Einblick in die Planungsproblematik betrieblicher Montagebereiche zu erlangen, wurde eine qualitative Interviewstudie mit 15 Expert\*innen durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden vorgestellt und diskutiert werden sollen.

## 2. Vorgehen

### 2.1 Methodisches Vorgehen

Zur Exploration von Anforderungen an die Montageplanung und zur Beurteilung verschiedener Montageorganisationsformen im Hinblick auf arbeitswissenschaftliche Kriterien wurden 15 teilstrukturierte Interviews mit Expert\*innen aus produzierenden Unternehmen durchgeführt. Um als Expert\*in in Betracht gezogen zu werden, mussten die Personen über Kompetenzen in der Planung und Gestaltung von Montagesystemen verfügen.

Die Expert\*innen wurden über die Unternehmensnetzwerke des Instituts per Mail sowie über das Internet, u. a. über berufliche soziale Netzwerke, akquiriert. Von 49 angefragten Personen erklärten sich 15 bereit, an der Studie teilzunehmen. Zur Durchführung der Interviews wurde ein teilstrukturierter Interviewleitfaden mit Fragen zu folgenden Teilaspekten eingesetzt: demografische Angaben; Angaben zum Montagesystem des Unternehmens; Angaben zum Planungsvorgehen; Veränderungen in der Montage; Herausforderungen für die Montageplanung; daraus resultierende Anforderungen an die Montageplanung. Zudem wurden die Expert\*innen darum gebeten, in der Fachliteratur beschriebene Montageorganisationsformen in Bezug auf die folgenden vier Kriterien zu beurteilen: Anzahl an Belastungswechsel der Montagemitarbeiter\*innen, Toleranz gegenüber Leistungsschwankungen der Beschäftigten, Ganzheitlichkeit der Arbeitsinhalte, Eignung für teilautonome Gruppenarbeit (vgl. Heller 2019 für die Herleitung der Kriterien).

Die Länge der Interviews betrug zwischen 32 und 75 Minuten. Elf Interviews wurden aus befragungsökonomischen Gründen telefonisch und vier Interviews als persönliches Gespräch geführt. 14 Expert\*innen stimmten einer Tonbandaufnahme zu. Alle Interviews wurden handschriftlich protokolliert. Zu jedem Interview wurde anschließend auf der Grundlage der handschriftlichen Aufzeichnungen sowie (mit einer Ausnahme) unter Hinzunahme der Audioaufnahmen ein zusammenfassendes Protokoll (s. Mayring 2002) angefertigt. Für die Analyse der Dokumentationen wurde die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2015) gewählt. Es erfolgte eine qualitativ-interpretative Analyse, bei der neben einer Paraphrasierung der Aussagen eine induktive Kategorienbildung vorgenommen wurde. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse anhand

einer inhaltsbezogenen Häufigkeitsanalyse quantifiziert.

## 2.1 Beschreibung der Stichprobe

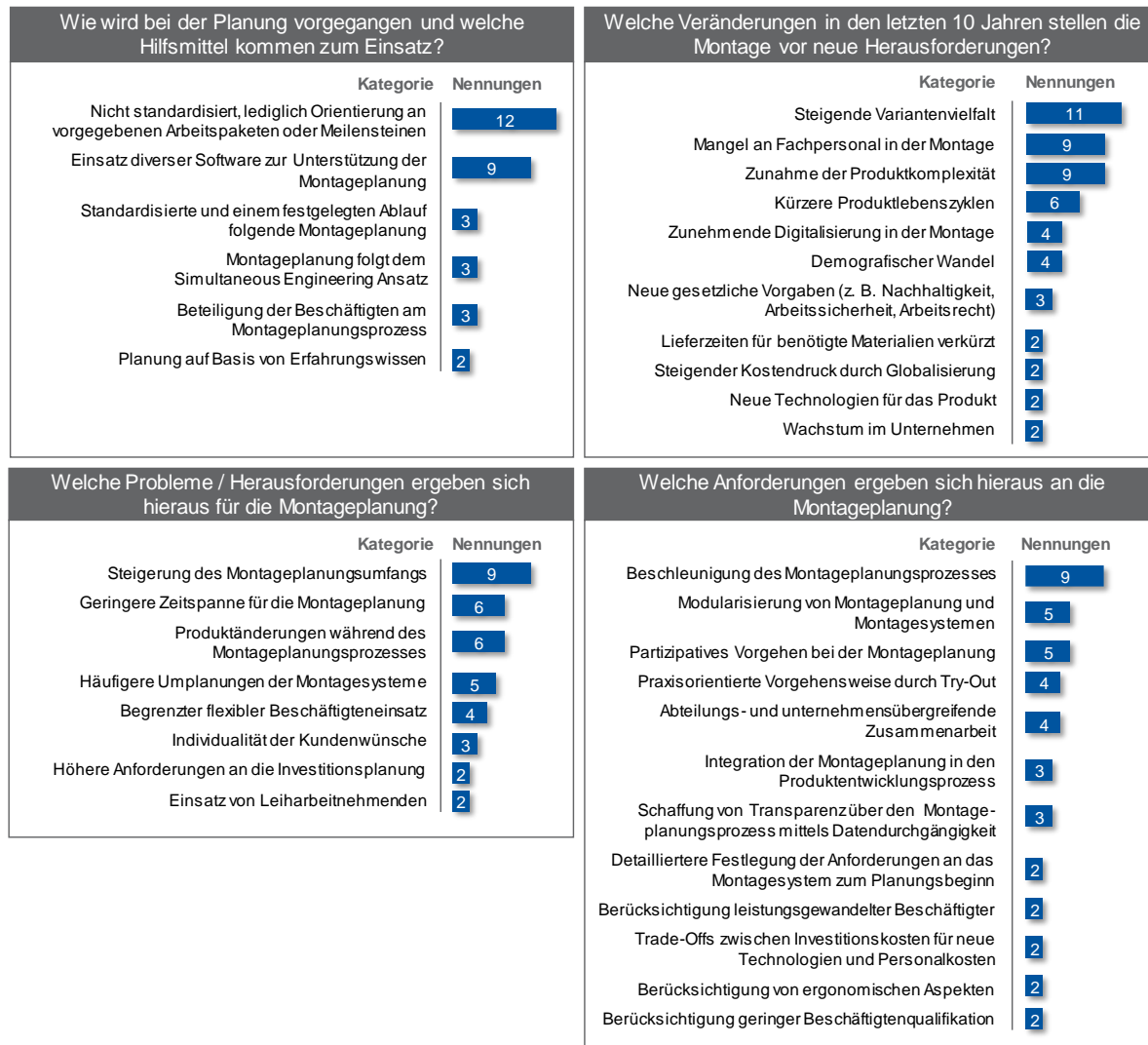
Das Alter der Expert\*innen betrug im Mittelwert (MW) 33,93 Jahre mit einer Standardabweichung (SD) von 10,92 Jahren. Die mittlere Anzahl an Jahren der Berufserfahrung im Bereich der Montage lag bei MW = 8,60 Jahren (SD = 9,43 Jahre). Als höchste berufsqualifizierende Abschlüsse wurden folgende genannt: Ausbildung als Facharbeiter\*in (n=1), staatlich geprüfte Techniker\*in (n=3), Meister\*in (n=1), Hochschulabschlüsse in Form eines Diploms (n=1), Masters (n=8) sowie Promotion (n=1). Die Expert\*innen hatten Positionen u.a. in den Bereichen Arbeitsvorbereitung, Industrial Engineering, Montageplanung, Werksplanung, Montageleitung, Produktionsleitung und Werksleitung inne.

Die Stichprobe enthält Vertreter\*innen aus Unternehmen unterschiedlicher Branchen (z. B. Automobilindustrie, Haushaltsgeräteindustrie, Versorgungs- /Energietechnik, Maschinen- und Anlagenbau, Sondermaschinenbau) und Größen (drei Unternehmen mit weniger als 250 Beschäftigten, vier Unternehmen mit weniger als 1.000 Beschäftigten und sieben Unternehmen mit mehr als 1.000 Beschäftigten). In einem Fall wurden zwei Personen aus einem Unternehmen befragt. Die Montagesysteme umfassten die Stückzahlbereiche der Einzel-, Kleinserien-, Mittelserien- und Großserienfertigung. In den Unternehmen der Stichprobe wurden die gängigen Montageorganisationsformen eingesetzt. Konkret wurden als eingesetzte Formen die Einzelplatzmontage, Werkstattmontage, Baustellenmontage, Gruppenmontage, Reihenmontage, Taktstraßenmontage, kombinierte Fließmontage und die Montage nach dem Prinzip One-Piece-Flow genannt (Erläuterungen hierzu finden sich z.B. in Eversheim 1989; Schlick et al. 2018; Latos et al. 2018). In allen Unternehmen wurden mehrere oder hybride Montageorganisationsformen eingesetzt.

## 3. Ergebnisse

Abbildung 1 zeigt einen Auszug der Interviewergebnisse. Die Frage, ob im jeweiligen Unternehmen ein standardisiertes Vorgehen in der Montageplanung eingesetzt wird, wurde von 12 Expert\*innen verneint. Diese Expert\*innen gaben auf die Anschlussfrage nach dem **Planungsvorgehen und den eingesetzten Hilfsmitteln** an, sich an projekt- bzw. phasenorientierten Vorgehensmodellen, wie z.B. dem Produktentwicklungsprozess, zu orientieren. Neun Befragte führten an, dass im Planungsprozess Softwareanwendungen eingesetzt werden. Insgesamt trage der Einsatz von Software nur teilweise zur Standardisierung der Planungstätigkeiten bei, da die Softwareanwendungen für die einzelnen Planungsaufgaben variieren. Lediglich in drei Unternehmen ist ein standardisiertes Montageplanungsvorgehen etabliert.

Auf die Frage nach bedeutsamen **Veränderungen in der Montage innerhalb der letzten zehn Jahre** nannten elf Expert\*innen die steigende Variantenvielfalt der hergestellten Produkte. Des Weiteren nannten jeweils neun Expert\*innen den Mangel an Fachpersonal sowie die Zunahme der Produktkomplexität als Entwicklungen, die spürbare Auswirkungen auf die Montageplanung haben. Gerade im Hinblick auf die steigende Produktkomplexität wird der Mangel an ausreichend qualifizierten Arbeitspersonen als besonders kritisch erachtet. Ebenso werden verkürzte Produktlebenszyklen (n=6), die zunehmende Digitalisierung (n=4) sowie der demografische Wandel mit den korrespondierenden arbeitsgestalterischen Implikationen (n=4) angeführt.



**Abbildung 1:** Aus den Expert\*inneninterviews (n = 15) abgeleitete Kategorien je Frage mit Anzahl Nennungen (nur Kategorien mit mind. zwei zugeordneten Nennungen).

Die Expert\*innen wurden gebeten, aus den Entwicklungen resultierende **Probleme bzw. Herausforderungen** für die Montageplanung zu benennen. Besonders häufig genannt wurden gestiegene Planungsumfänge (n=12), verkürzte Zeitspannen für die Planung (n=6), häufigere Produktänderungen während des Planungsprozesses (n=6) sowie eine gestiegene Anzahl an Umplanungen der Montagesysteme (n=5).

Gefragt wurde außerdem, welche **Anforderungen an die Montageplanung** sich daraus ableiten respektive welche Anforderungen eine Montageplanung erfüllen muss, um den Herausforderungen adäquat begegnen zu können. Der Großteil der Expert\*innen führte die Beschleunigung des Montageplanungsprozesses als Anforderung an (n=9). Eine Beschleunigung des Planungsprozesses könne etwa dadurch erfolgen, dass diese automatisiert werde oder zumindest Werkzeuge zur Unterstützung der Montageplaner\*innen eingesetzt würden. Konkret erläuterten drei Personen, dass eine Datendurchgängigkeit die notwendige Transparenz im Planungsprozess schaffen kann. Jeweils fünf Expert\*innen nannten eine modulare Gestaltung des Planungsprozesses und der Montagesysteme sowie eine partizipative Vorgehensweise während der Planung. Letztere steigere die Akzeptanz für das neue Montagesystem und könne durch digitale Technologien, wie etwa den 3D-Druck oder Virtual Reality Anwendungen, unterstützt werden. Ein praxisorientierter „Try Out“-Ansatz, bei dem ein Montage-

system für ein neues Produktkonzept bereits in einer frühen Entwicklungsphase prototypenbasiert evaluiert wird, wurde viermal genannt.

Schließlich erfolgte die Beurteilung der einzelnen **Montageorganisationsformen im Hinblick auf arbeitswissenschaftliche Kriterien** durch die Expert\*innen. Die Personen wurden gebeten einzuschätzen, ob eine Montageorganisationsformen eine hohe bzw. geringe Eignung für ein Kriterium aufweist. Jedes Kriterium und alle bewerteten Montageorganisationsformen wurden in den Interviews kurz und standardisiert erläutert. Abbildung 2 stellt die aggregierte Bewertung durch die Expert\*innen dar. Es ist ersichtlich, dass die einzelnen Montageorganisationsformen durch die Expert\*innen ähnlich bewertet wurden und bestimmte Montageorganisationsformen die Kriterien besser erfüllen als andere.

Montageorganisationsform	Werkstattmontage		Inselmontage		Baustellenmontage		Gruppenmontage		Matrix-Produktion		Reihenmontage		Taktstraßenmontage		Kombinierte Fließmontage		One-Piece-Flow		One-Set-Flow		Einzelplatzmontage	
Kriterium	Hoch	Gering	Hoch	Gering	Hoch	Gering	Hoch	Gering	Hoch	Gering	Hoch	Gering	Hoch	Gering	Hoch	Gering	Hoch	Gering	Hoch	Gering	Hoch	Gering
Anzahl an Belastungswechseln	5	3	5	3	10	0	8	2	0	11	0	11	0	11	0	11	10	0	4	8	4	8
Toleranz von Leistungsschwankungen	7	0	7	0	8	1	9	0	0	7	0	7	0	7	0	7	10	1	10	0	10	0
Ganzheitlichkeit der Arbeitsinhalte	9	2	9	2	12	0	12	0	0	13	0	13	0	13	0	13	13	0	10	3	10	3
Eignung für teilautonome Gruppenarbeit	7	0	7	0	13	0	13	0	1	8	1	8	1	8	1	8	7	6	-	-	-	-

**Legende**

Montageobjekt    
  Arbeitsplatz    
  Montageeinrichtung    
  Bewegung Montageobjekt    
  Bewegung Arbeitsplatz

**Abbildung 2:** Vergleichende Beurteilung von Montageorganisationsformen anhand arbeitswissenschaftlicher Kriterien (n = 15; dreistufige Skala: hoch, gering, keine Angabe; angegeben ist die Anzahl Nennungen, Werte > 7 fett hervorgehoben).

Höhere Bewertungen ergeben sich für die Baustellen- und die Gruppenmontage sowie für Montagesysteme, die nach dem Prinzip „One-Piece-Flow“ gestaltet sind. Im Vergleich dazu sehen die befragten Praktiker\*innen bei Matrixproduktion, Reihen-, Taktstraßen- sowie kombinierter Fließmontage kaum Möglichkeiten, die Kriterien zu erfüllen. Allerdings betonten einige Expert\*innen, dass auch andere arbeitsorganisatorische Maßnahmen (z.B. Job Rotation) oder die Taktzeit einen Einfluss auf die Bewertungskriterien haben. Zu beachten ist darüber hinaus, dass nicht alle Befragten in der Lage waren, jede Montageorganisationsform hinsichtlich aller Kriterien zu beurteilen.

#### 4. Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse untermauern Ausgangssituation und Zielsetzung des Verbundvorhabens und können dazu genutzt werden, die Entwicklung eines anforderungsgerechten, digitalen Montageplanungssystems vorzunehmen, um an der Montageplanung beteiligte Personen (einschließlich von ihr Betroffener) methodisch und instrumentell zu unterstützen. Insbesondere soll im Verbundvorhaben erforscht werden, inwiefern digitale Technologien den beteiligungsorientierten Planungsprozess unterstützen können. Der unternehmerische Bedarf im Hinblick auf eine (digitale) Planungsassistenz

konnte durch die Interviewstudie nochmals bestätigt werden.

Bei der Entwicklung des generellen Montageplanungsprozesses können diverse Punkte aufgegriffen werden, die in der Interviewauswertung als Anforderungen an den Prozess identifiziert wurden: Beispielsweise kann der Montageplanungsprozess – neben der Bereitstellung digitaler Planungswerkzeuge – durch einen modularen Aufbau mit agilen Planungsanteilen beschleunigt werden. Die entwickelte Systematisierung der Montageorganisationsformen kann im Planungsprozess dazu genutzt werden, um bei der Auswahl eines Montagesystems neben produktivitätsorientierten Aspekten ebenso humanorientierte Auswahlkriterien systematisch zu berücksichtigen.

Eine Limitation der Studie besteht in dem vergleichsweise hohen Anteil an Großunternehmen in der Stichprobe. Künftig sollte der Stichprobenumfang der explorativen Studie mit Expert\*innen aus kleinen und mittleren produzierenden Unternehmen erweitert werden. Dies würde einen Vergleich zwischen verschiedenen Unternehmensgrößen und Branchen ermöglichen, um spezifische Anforderungen ableiten zu können. Des Weiteren kann die entwickelte Systematik zur Charakterisierung von Montageorganisationsformen detailliert werden, indem Abstufungen in der Einschätzung der Ausprägungen vorgenommen und weiterführende arbeitswissenschaftliche Bewertungskriterien berücksichtigt werden.

Für die Ausgestaltung des digitalen Planungssystems sollte eine gesonderte Erhebung von Anforderungen in kleinen und mittleren Unternehmen und die Entwicklung im Sinne eines userzentrierten Gestaltungsprozesses erfolgen.

## 5. Literatur

- Eversheim W (1989) Organisation in der Produktionstechnik Band 4. Fertigung und Montage (2. Aufl). Berlin: Springer.
- Göppert A, Hüttemann G, Jung S, Grunert D, Schmitt, R (2018) Frei verkettete Montagesysteme. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 113 (3): 151-155.
- Heller T (2019) Ermittlung und Umsetzung von Anforderungen an die Planung von flexiblen Montageorganisationsformen im Kontext von Industrie 4.0 RWTH Aachen: Institut für Arbeitswissenschaft, Arbeitsorganisation, Masterarbeit
- Latos BA, Holtkötter C, Brinkjans J, Kalantar P, Przybysz PM, Mütze-Niewöhner S (2018) Partizipatives und simulationsgestütztes Vorgehen zur Konzeption einer flexiblen und demografierobusten Montagelinie. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 72(1): 90-98.
- Lotter B (2012) Einführung. In: Lotter B, Wiendahl HP (Hrsg) Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis (2. Aufl). Berlin: Springer, 1-8.
- Mayring P (2002) Qualitative Sozialforschung. Weinheim: Beltz.
- Mayring P (2015) Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken (12. Aufl). Weinheim: Beltz.
- Müller R, Eilers J, Hörauf L, Hermanns L (2015) Modell zur fähigkeitsbasierten Montageplanung. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 110 (9): 553-557.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018) Arbeitswissenschaft (4. Aufl). Berlin: Springer.
- Wildemann H (2010) Neue Montagekonzepte. Realisierung von Produktordnungssystemen in der Kleinserienmontage komplexer Produkte bei kleinen und mittleren Unternehmen. Forschungsbericht. München: Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre der technischen Universität München. Verfügbar unter <https://www.tcw.de/uplo-ads/publication/overview/334.pdf>

**Förderhinweis:** Das Verbundvorhaben FlexDeMo (FKZ 02L18B000 und 02L18B001) wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und dem Europäischen Sozialfonds gefördert und vom Projektträger Karlsruhe betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autor\*innen.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Digitale Arbeit, digitaler Wandel, digitaler Mensch?**

66. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

TU Berlin  
Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme

HU Berlin  
Professur Ingenieurpsychologie

16. – 18. März 2020, Berlin

---

## **GfA-Press**

---

**Bericht zum 66. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 16. – 18. März 2020**

**TU Berlin, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systeme  
HU Berlin, Professur Ingenieurpsychologie**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2020  
ISBN 978-3-936804-27-0

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**

© 2020 fröse multimedia, Frank Fröse

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