

Human Digital Twin – ein Konzept für die Fertigungssteuerung einer Werkstatt für behinderte Menschen

Viktoria MORDASCHEW, Sönke DUCKWITZ, Sven TACKENBERG

*Labor für Industrial Engineering, Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe,
Campusallee 12, D-32657 Lemgo*

Kurzfassung: In diesem Beitrag wird ein digitales Menschmodell, ein sogenannter Human Digital Twin, für Personen mit Unterstützungsbedarf vorgestellt. Das Modell leistet einen wertvollen Beitrag für die Abbildung von Arbeitspersonen und deren Kompetenzen in Assistenzsystemen für die Produktionsplanung und -steuerung. Ausgehend vom Stand der Forschung zu Menschmodellen findet der entwickelte Human Digital Twin auf ein Montageassistenzsystem Anwendung.

Schlüsselwörter: Industrie 4.0, Digitaler Zwilling, Produktionsplanung und -steuerung, Unterstützungsbedarf

1. Einleitung

Die Inklusion von Personen mit Unterstützungsbedarf in wertschöpfende Arbeitsprozesse ist als grundlegendes und verbürgtes Menschenrecht anzusehen und ist daher ein bedeutendes Ziel unserer Gesellschaft. Werkstätten für behinderte Menschen (WfbM) schaffen die Voraussetzungen für die Inklusion von Personen mit Unterstützungsbedarf und sind zugleich ein wichtiger Bestandteil der Wertschöpfungsketten von Unternehmen in der jeweiligen Region. So bestehen aktuell in Deutschland 736 WfbM mit über 310.000 Beschäftigten an 2.850 Standorten. In den produzierenden Bereichen dieser WfbM werden manuelle Arbeiten ausgeführt, die zu Bauteilen und Komponenten führen, die von Unternehmen des ersten Arbeitsmarktes weiterverarbeitet werden. Durch die individuelle Leistungsfähigkeit der Personen mit Unterstützungsbedarf besteht aber eine hohe Unsicherheit hinsichtlich der Arbeitsprozesse und der erzielbaren „Produktionsmenge“ an einem Tag. Dies erschwert die Annahme von Aufträgen durch eine WfbM, da oftmals eine Just-in-Time oder Just-in-Sequence Bereitstellung der gefertigten Teile durch den Kunden gefordert ist.

Die Anwendung von Simulationsansätzen ermöglicht die prospektive Beschreibung von Produktionszuständen und der zu erwartenden Produktionsmenge. Neben der Abbildung des zu fertigenden Produktportfolios, der zugrundeliegenden Produktionsprozesse sowie der Betriebsmittel findet verstärkt die Integration von Arbeitspersonen und deren Kompetenzen in simulationsgestützte Produktionsplanungssysteme statt. Im vorliegenden Beitrag wird deshalb ein digitales Menschmodell für Personen mit Unterstützungsbedarf vorgestellt, ein sogenannter „Human Digital Twin“ (HDT). Ein solcher HDT bildet die individuellen Unterstützungsbedarfe ab und kann als Grundlage für personenzentrierte Simulationsmodelle zur Produktionsplanung und -steuerung genutzt werden. Der Begriff des HDT erweitert das Konzept des digitalen Zwillings für cyber-physische Systeme einer Produktion um die individuellen Fähigkeiten und

Fertigkeiten einer Arbeitsperson und bildet deren individuelles Verhalten bei der Bearbeitung einer Arbeitsaufgabe ab.

2. Stand der Forschung

In Kooperation zwischen Forschungseinrichtungen und Industrie ist mit dem Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) ein Framework für die Entwicklung von Normen und Standards für Industrie 4.0-Lösungen entstanden. Aus diesem leitet sich das Konzept des digitalen Zwillings als digitale Repräsentation einer Produktinstanz oder einer Instanz eines Produkt-Service-Systems ab. Eine solche digitale Repräsentation umfasst ausgewählte Merkmale, Zustände und Verhalten der Produktinstanz oder des Systems während verschiedener Lebenszyklusphasen (Stark et al. 2019).

Während das Konzept des digitalen Zwillings zunächst für die Beschreibung von Betriebsmitteln Anwendung fand, werden zunehmend auch Arbeitspersonen mittels eines digitalen Zwillings repräsentiert. So entwickelten Sparrow et al. (2019) auf Basis des Konzeptes der Verwaltungsschale einen HDT. Für einen solchen HDT definieren Miller und Spatz (2022) Kategorien, die von diesem zumindest anteilig abzudecken sind, um eine realitätsnahe Abbildung der Arbeitsperson zu ermöglichen: physikalische Attribute, psychologische Aspekte, Wahrnehmungsleistung, kognitive Fähigkeiten, Persönlichkeitsfaktoren, emotionaler Zustand, ethische Haltung sowie Verhalten. Insbesondere die Modellierung menschlichen Verhaltens nimmt im Kontext von Arbeitssystemen einen hohen Stellenwert ein, um Systemzustände prospektiv zu beschreiben (Sparrow et al. 2019). Erste Anwendungsfälle zur Bewertung der Belastung und Beanspruchung mit einem HDT beschreiben Kim et al. (2022) sowie Greco et al. (2020). Ein Konzept zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von Arbeitspersonen mit einem HDT in Verbindung mit der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen stellen Al Assadi et al. (2020) vor.

Die Unterschiede zwischen einem HDT und dem digitalen Zwilling eines technischen Systems werden von Löcklin et al. (2021) beschrieben. So sind bei einem HDT-Datenschutz und Privatsphäre der Arbeitspersonen zu berücksichtigen, aber auch die Datengenerierung für den HDT gestaltet sich deutlich schwieriger, da die Erfassung von Zuständen und Veränderungen bei Arbeitspersonen nicht vollständig automatisiert erfolgen kann (Shengli 2021).

Mit den Entwicklungen von Naudet et al. (2021) sowie von Graessler und Poehler (2017, 2018) bestehen zwei Anwendungsfälle für einen HDT, die als Referenz für eine WfbM herangezogen werden können. Während Naudet et al. (2021) ein Konzept zur Abbildung von Echtzeitdaten einer realen Arbeitsperson in das entsprechende digitale Abbild vorstellen, stellen Graessler und Poehler (2017, 2018) einen HDT vor, der eine Auswahl von Arbeitsaufgaben vornehmen kann und mittels eines Fragebogens parametrisiert wird. Die hieraus resultierende Aufgabensequenz kann über ein Human-Machine-Interface an die reale Arbeitsperson übergeben werden.

3. Human Digital Twin im Kontext eines Montageassistenzsystems

Ziel eines HDT für Personen mit Unterstützungsbedarf ist die Abbildung der relevanten Fähigkeiten und Fertigkeiten zur Ausführung von Arbeitsaufgaben unter

Berücksichtigung des erforderlichen Unterstützungsbedarfs durch ein Assistenzsystem. Entsprechend sind neben den Kompetenzen weitere Eigenschaften (Assets) eines HDT abzubilden. So zeigt Abbildung 1 ein Modell des HDT für eine Person mit Unterstützungsbedarf. Dieses setzt sich zusammen aus der Verfügbarkeit, dem Kompetenzsetting, der aktuellen Gefühlslage, dem Entscheidungsverhalten und dem Aufgabenpool sowie den zuvor bereits realisierten Tagesplänen. Der Asset Verfügbarkeit beschreibt, ob für die Person mit Unterstützungsbedarf zu einem bestimmten Zeitpunkt eine Aufgabe eingeplant ist bzw. ob die Person zum aktuellen Zeitpunkt eine Aufgabe ausführt. Liegt keine Einplanung bzw. Ausführung vor, so ist die Arbeitsperson verfügbar. Hierbei ist zu beachten, dass das Modell auch Handlungen, wie arbeitsbedingte Erholungspausen oder Spaziergänge, als Aufgaben ansieht. Das Kompetenzsetting beschreibt die sensomotorischen sowie die kognitiven Kompetenzen der Arbeitsperson. Zusätzlich wird die aktuelle Gefühlslage der Person mit Unterstützungsbedarf in den HDT einbezogen, um Auswirkungen auf die Ausführungsdauern sowie den Zeitraum einer Ausführung abbilden zu können. Da die Auswahl einer Aufgabe aus einer Menge an Aufgaben individuell durch eine Arbeitsperson erfolgen kann, ist das Entscheidungsverhalten im Modell berücksichtigt. Die zu einem Zeitpunkt ausführbaren Aufgaben sind hierbei Bestandteil des individuellen Aufgabenpools. Der Aufgabenpool setzt sich zusammen aus einer Historie an bereits bearbeiteten Aufgaben, frei planbaren Aufgaben (z. B. Montagetätigkeiten) und Aufgaben mit festen Zeitpunkten (z. B. eine Gesprächsrunde).

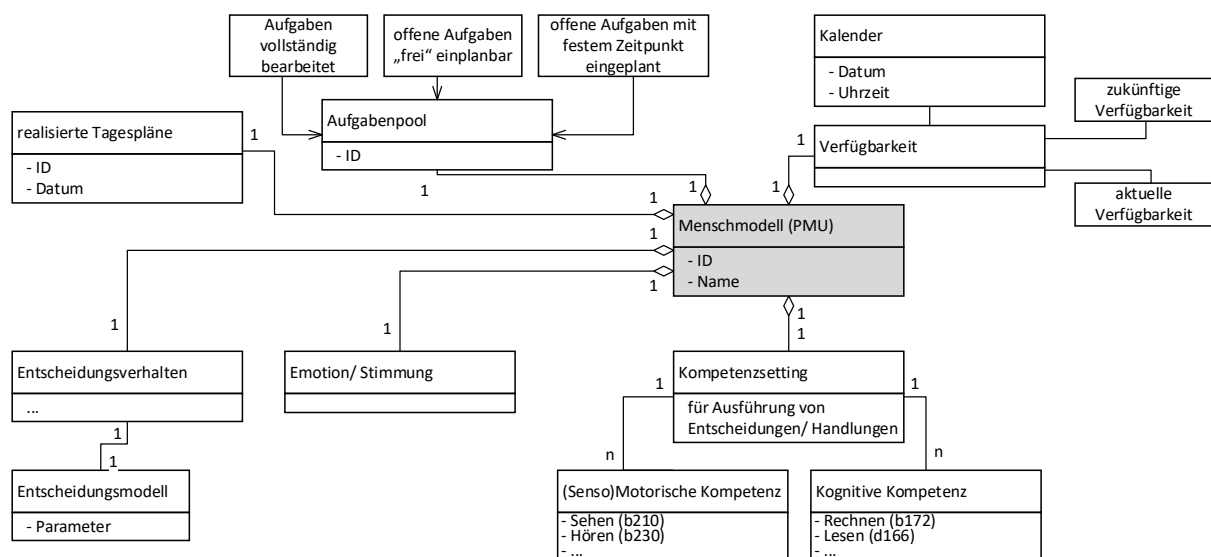
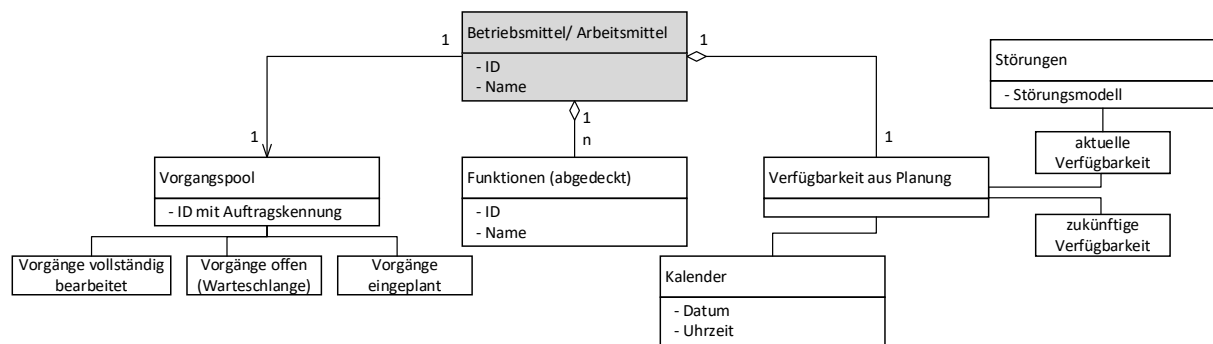
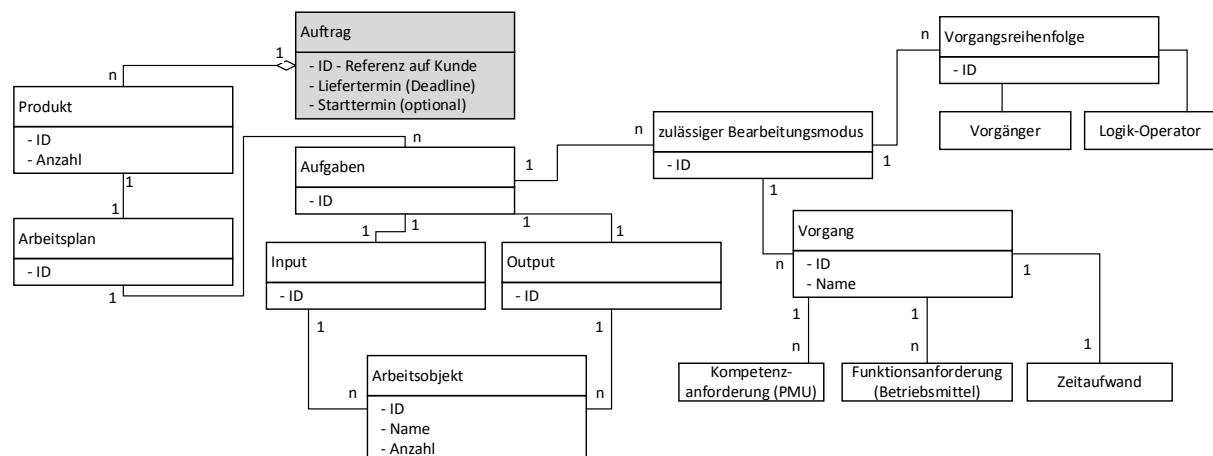


Abbildung 1: Modell des Human Digital Twins

Die Bearbeitung von Aufgaben durch Personen mit Unterstützungsbedarf erfolgt in einem Arbeitssystem. Entsprechend bedarf es eines digitalen Zwillings der Arbeits- und Betriebsmittel (s. Abbildung 2).

**Abbildung 2:** Modell des Arbeits- und Betriebsmittels

Die Arbeitsaufträge stellen die zentralen Assets eines abzubildenden Arbeitssystems dar. Ein Arbeitsauftrag in einer WfbM umfasst Produktionstätigkeiten, wie die Montage von Bauteilen (s. Abbildung 3) und eine Anzahl an zu fertigenden Produkten. Jedem Produkt ist ein Arbeitsplan mit den auszuführenden Aufgaben hinterlegt. Einer Arbeitsaufgabe sind Informationen zum benötigten Input und dem aus der Transformation resultierende Output hinterlegt. Jede Aufgabe kann durch mindestens einen zulässigen Bearbeitungsmodus erfüllt werden. Dieser besteht aus den Vorgängen und der jeweiligen Vorgangsreihenfolge. So kann eine Aufgabe – Teile montieren – durch unterschiedliche Vorgänge – Montage mit/ohne Vorrichtung – und Vorgangsreihenfolgen bearbeitet werden. Um einen Vorgang auszuführen, werden bestimmte Kompetenzen der Arbeitsperson sowie bestimmte Funktionen des Betriebs-/Arbeitsmittels benötigt. Zu beachten ist, dass Aufgaben auch ohne Auftragsbezug existieren können. Hierbei handelt es sich z.B. um „Spazieren gehen“ und „gemeinsames Frühstück“, welche feste Bestandteile eines Tagesablaufes in einer WfbM sind. Vorgänge sind durch Anforderungen hinsichtlich der Kompetenzen der Person mit Unterstützungsbedarf sowie der Funktionen der Betriebsmittel sowie einem Zeitaufwand zur Bearbeitung charakterisiert.

**Abbildung 3:** Modell des Arbeitsauftrags

Die Bearbeitung von Arbeitsaufgaben durch eine Person mit Unterstützungsbedarf bedingt einen Abgleich zwischen den Anforderungen an eine Vorgangsausführung und deren Kompetenzen. Fehlende Kompetenzen der Person mit Unterstützungsbedarf können hierbei durch Assistenzsysteme kompensiert werden. Entsprechend ist

neben den Arbeits- und Betriebsmitteln und dem Kompetenzsetting der Arbeitsperson auch die Unterstützungsfunktion eines Assistenzsystems in einer Form abzubilden, die eine Kompensation fehlender Kompetenzen zulässt (s. Abbildung 4). Die Ausführung eines Vorgangs ist daher dann gegeben, wenn ein Betriebsmittel verfügbar ist sowie eine Arbeitsperson zusammen mit dem Assistenzsystem das benötigte Kompetenzsetting erfüllt und zu dem geforderten Zeitpunkt verfügbar ist.

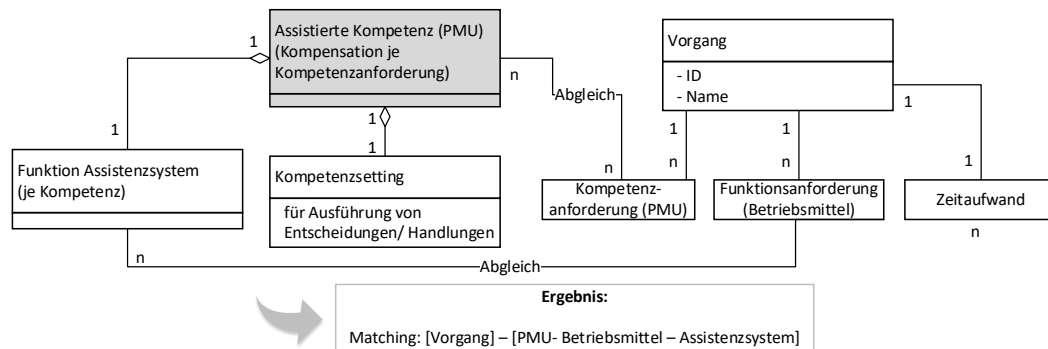


Abbildung 4: Durchführung des Produktionsplanungsprozesses.

Das dargestellte Konzept des HDT und der beiden digitalen Zwillinge lässt sich auf den Referenzarbeitsplatz eines Montageassistenzsystems für WfbM anwenden. Hierbei stellt der physische Arbeitsplatz das Arbeitsmittel dar, während die Assistenzfunktionen separat betrachtet werden. Die Assistenzfunktionen beziehen sich auf Montageinstruktionen und ein visuelles Feedback zu einzelnen Montageschritten (s. Abbildung 5). Durch die entsprechende Erfassung von Daten durch das Montageassistenzsystem lassen sich der HDT sowie der digitale Zwilling des Arbeitsplatzes parametrisieren und eine Beschreibung des Zustands des Arbeitssystems wird ermöglicht.

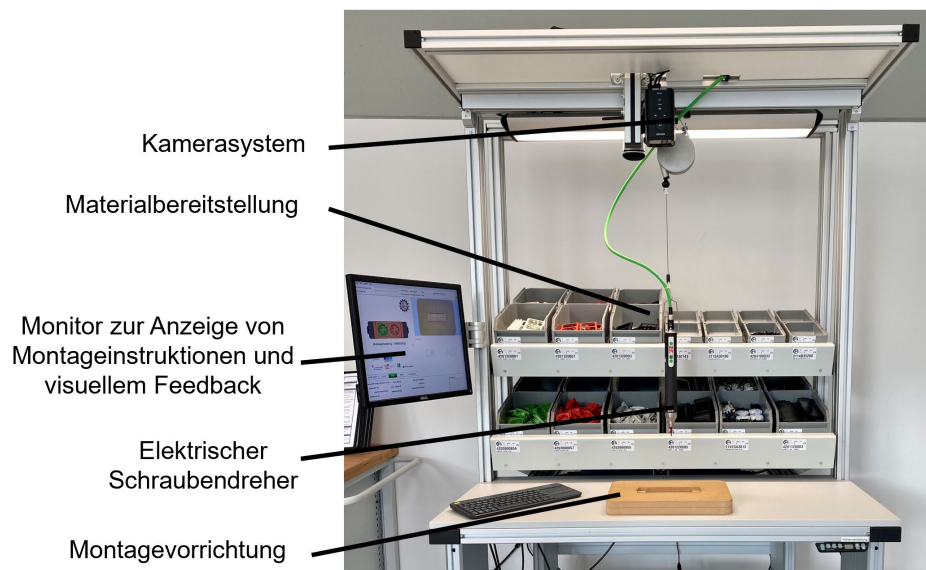


Abbildung 5: Darstellung des Referenzarbeitsplatzes des Montageassistenzsystems.

4. Diskussion, Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte HDT Modell ermöglicht eine realitätsnahe Abbildung von Arbeitspersonen und deren Kompetenzen in simulationsgestützten Systemen zur Produktionsplanung und -steuerung. Dabei wird das Konzept des digitalen Zwillings für cyber-physische Systeme einer Produktion um die individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten einer Arbeitsperson ergänzt und deren individuelles Verhalten bei der Bearbeitung einer Arbeitsaufgabe abgebildet. Dies ermöglicht die prospektive Beschreibung von Produktionszuständen und der zu erwartenden Produktionsmenge in der Fertigung einer WfbM. Das Modell berücksichtigt jedoch keine Möglichkeiten zur Erweiterung der kognitiven Kompetenzen einer Person mit Unterstützungsbedarf mittels Lernaufgaben, was einen Ansatz für zukünftige Weiterentwicklungen bietet. Weiterhin ist das entwickelte Modell im Kontext eines realen Anwendungsfalls zu validieren und zu evaluieren.

5. Literatur

- Assadi A, Fries C, Fechter M, Maschler B, Ewert D, Reichenbach M, Schnauffer H-G, Zürn M. (2020), User-friendly, requirement-based assistance for production workforce using an asset administration shell design. In: 30th CIRP Design 2020, 402–406
- Graessler I, Poehler A (2017), Integration of a Digital Twin as Human Representation in a Scheduling Procedure of a Cyber-Physical Production System, In: Proceedings of the 2017 IEEE IEEM, Singapore, 289–293
- Graessler I, Poehler A (2018), Intelligent control of an assembly station by integration of a digital twin for employees into the decentralized control system, 4th International Conference on System-Integrated Intelligence, In: Procedia Manufacturing 24 (2018) 185–189
- Greco A, Caterino M, Fera M, Gerbino S (2020), Digital Twin for Monitoring Ergonomics during Manufacturing Production, In: Applied Sciences 2020, 10, 7758
- Kim G-Y, Kim D, Noh SD, Han HK, Kim NG, Kang Y-S, Choi SH, Go DH, Song J, Lee DY, Kim HS (2022), Human Digital Twin System for Operator Safety and Work Management, In: APMS 2022, International Federation for Information Processing AICT 664, 529–536
- Löcklin A, Jung T, Jazdi N, Ruppert T, Weyrich M (2021), Architecture of a Human-Digital Twin as Common Interface for Operator 4.0 Applications, In: 54th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Athens 2021.
- Miller ME, Spatz E (2022), A unified view of a human digital twin, In: Human-Intelligent Systems Integration, 4, 23–33
- Naudet Y, Baudet A, Risse M (2021), Human Digital Twin in Industry 4.0: Concept and Preliminary Model, In Proceedings of the 2nd International Conference on Innovative Intelligent Industrial Production and Logistics (IN4PL 2021), pages 137–144
- Shengli W (2021), Is Human Digital Twin possible? In: Computer Methods and Programs in Biomedicine Update 1 (2021)
- Sparrow D, Kruger K, Basson, A. (2019), Human Digital Twin for integrating human workers in Industry 4.0, In: International Conference on Competitive Manufacturing (COMA '19).
- Stark, R et al. (2019), Development and operation of Digital Twins for Technical Systems and Services [online]. CIRP Annals

Danksagung: Das Vorhaben „SInnAssist“ (Förderkennzeichen 13FH047SB8) wird im Rahmen des Programms „Verbesserung der Lebensqualität in Stadt und Land durch soziale Innovationen – FH-Sozial“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert und vom VDI-Technologiezentrum betreut.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher
und nachhaltiger Arbeitssysteme
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

GfA-Press

Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023
ISBN 978-3-936804-32-4

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

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de