

Prozessmodellierung zur Integration von Assistenzsystemen an Montagearbeitsplätzen

Tobias RUSCH, Florian KERBER

*Technologietransferzentrum Nördlingen,
Hochschule für angewandte Wissenschaft Augsburg
Emil-Eigner-Str. 1, 86720 Nördlingen*

Kurzfassung: Kleinere und mittelständische Unternehmen stehen immer stärker unter dem Druck, die Vorteile durch Industrie 4.0 und den Einsatz digitaler Assistenzsysteme gewinnbringend zu nutzen. Eine breite Palette an Anwendungsmöglichkeiten bietet sich hierbei in der Montage. Aufgrund der hohen Variantenvielfalt erfordert die Integration von Assistenzsystemen jedoch einzelfallspezifische Anpassungen. Formale Methoden zur Modellierung von Montageprozessen durch Klassen- und Aktivitätsdiagramme erlauben es, alle Varianten einer Produktfamilie in einem Modell zu beschreiben. Kognitive und physische Assistenzsysteme zur Werkerunterstützung an Montagearbeitsplätzen können so leichter integriert werden, wie erste Umsetzungen im Forschungsprojekt SynDiQuAss zeigen.

Schlüsselwörter: Prozessmodellierung, UML, Assistenzsysteme, Industrie 4.0

1. Einführung

Kleinere und mittelständische Unternehmen sind für Wirtschaft, Wachstum und Beschäftigung von ausschlaggebender Bedeutung. Dabei sind sie im Zuge der Globalisierung zunehmend der Konkurrenz aus Niedriglohnländern ausgesetzt und stehen unter dem besonderen Druck, den jeweiligen Bedürfnissen ihrer Kunden gerecht zu werden. Um als Hersteller wettbewerbsfähig bleiben zu können, ist die Ausrichtung der Produktion auf Kundenwünsche zwingend erforderlich. Diese Kunden- und Marktorientierung führt jedoch zu einer steigenden Variantenzahl und kürzerer Produktlebenszyklen. Deshalb ist die Entwicklung neuer Konzepte und alternativer Strategien für eine flexible, mitarbeiterorientierte Fertigung notwendig, um die führende Stellung auf dem Weltmarkt sicherzustellen und Arbeitsplätze im produzierenden Gewerbe zu sichern. Die Montage hat dabei einen ganz besonderen Stellenwert für den Markterfolg und die Produktivität eines Unternehmens. In dieser abschließenden Stufe des Produktentstehungsprozesses (PEP) wird technologisch die Gesamtfunktion des Produktes realisiert (Feldmann 2001). Der PEP besteht aus der eigentlichen Produktentwicklung und der Produktionsentwicklung. Aus der Sicht der IT-Lösungen gehören zum PEP u.a. die virtuelle Produktentwicklung (VPE), die digitale Planung, die Fertigungs- und Montagesimulation sowie das gemeinsame und umfassende Management aller auf das Produkt und die Produktionsplanung bezogenen Informationen in digitaler Form und deren Visualisierung. Als Resultat entsteht ein virtuelles Produkt mit allen zur Herstellung benötigten Planungsunterlagen, die insbesondere die Produktbeschreibung, Spezifikation und das digitale Modell (Eigner & Stelzer 2013) umfassen.

Auf dieser Datengrundlage haben sich verschiedene Modellierungsansätze für Montageprozesse entwickelt. Der Montagevorranggraph nach Prenting und Battaglin (1964) hat sich dabei für praktische Anwendungen seit langem bewährt. Vorranggraphen beschreiben die Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen zwischen den einzelnen Montageschritten und definieren so eine Ordnungsrelation auf der Menge der Montageschritte. Der Gozintograph als weitere Darstellungsform ermöglicht zudem eine Verknüpfung der dargestellten Montageschritte mit den Mengenangaben der Stückliste (Weigert et al. 2008).

Einen alternativen Ansatz bietet die Modellierungssprache Unified Modeling Language (UML) (OMG 2010). Diese stellt sowohl Strukturmodelle wie das Klassendiagramm als auch Verhaltensbeschreibungen wie das Aktivitätsdiagramm zur Verfügung. Die UML wird dabei mittlerweile nicht mehr als syntaktisch und semantisch vollständig definierte Sprache verstanden, sondern als Sprachrahmen. Erweiterungsmechanismen und semantische Variationsmöglichkeiten erlauben die Definition von Sprachprofilen, die dem jeweiligen Einsatzzweck angepasst werden können (Rumpe 2011). Im Bereich der Industrieautomatisierung hat sich AutomationML als ein solches Erweiterungsprofil etabliert. AutomationML wurde vorrangig für die Nutzung im Bereich des Entwurfs von Produktionssystemen entwickelt und basiert auf XML als Datenformat (Drath et al. 2011). XML-basierte Dateiformate erfüllen alle Voraussetzungen für den benötigten Datenaustausch zwischen verschiedenen Entwurfswerkzeugen. Lüder und Schmidt (2017) beschreiben die generelle Architektur von AutomationML und die Entwurfsprozesse bezogen auf die Anforderungen der Industrie 4.0.

In diesem Beitrag wird eine Methode zur Modellierung von Montageprozessen beschrieben, die ein Strukturmodell der Produktfamilie mit einem Verhaltensdiagramm des gesamten Montageprozesses und der für die Montage benötigten Ressourcen verknüpft. Durch die Nutzung von Klassendiagrammen kann dabei die Variantenvielfalt von Produktfamilien durch ein Modell beschrieben werden. Dieses Modell dient als Grundlage, Einsatzpotentiale für den Einsatz digitaler Assistenzsysteme zu untersuchen. Dieses Vorgehen wird im Forschungsprojekt SynDiQuAss an Beispielanwendungen aus dem industriellen Umfeld erprobt.

2. Modellierung von Montageprozessen

Auf Basis von UML wird beispielhaft ein Montageprozess unter Zuhilfenahme der Software „Enterprise Architekt“ modelliert. Als Datenbasis fungieren dabei die vorliegenden Produktionsunterlagen in Form der Stückliste, der Zusammenstellungszeichnung und einer rudimentären Montageanweisung. Dabei wird der hierarchische Aufbau der Produktentstehung mit den zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln und den notwendigen Fertigungsschritten kombiniert (siehe Abbildung 1).

2.1 Begriffsdefinitionen

Die wichtigsten Begriffe bei der Umsetzung der Modellierung werden im Folgenden kurz erklärt und deren Bezug im Montageprozess dargelegt.

Ausgangsbasis für die Montage ist die Stückliste und die damit zur Verfügung gestellten **Artikel**. Diese besitzen eine eigene Artikelnummer und werden in der Stückliste mit allen zur Montage relevanten Daten aufgeführt. Dazu gehören neben Geometriedaten wie den Abmessungen auch montagerelevante Informationen, z.B. die

für die Produktvariante benötigte Anzahl und die Zeichnungsposition. Die Klasse Artikel beinhaltet sowohl vorgefertigte Einzel- oder Normteile als auch zugekaufte Anbauteile.

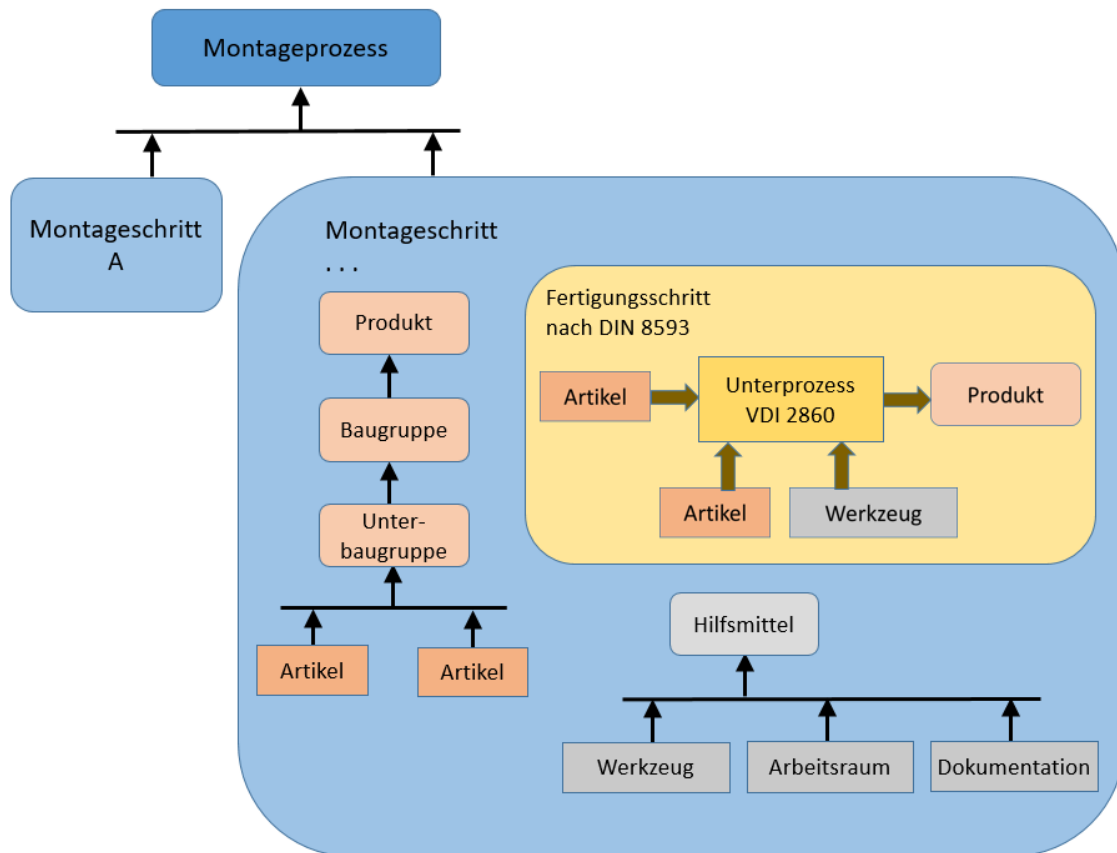


Abbildung 1: Hierarchische Darstellung des Montageprozesses mit seinen Elementen

Ein **Montageschritt** ist die Durchführung eines bestimmten Montageverfahrens als Teil des Gesamtprozesses. Ein Montageschritt kann während der Montage mehrfach wiederholt werden und sequentiell oder parallel zu anderen Montageschritten ablaufen. Die Kategorisierung von Montageschritten lässt sich aus den Hauptgruppen und weiterführenden Detaillierungen in Gruppen und Untergruppen für Fertigungsverfahren ableiten, vergleiche dazu Kerber und Händel (2016). In dem hier vorgestellten Beispiel kommen insbesondere Fügeverfahren nach DIN 8580 (2003) zur Anwendung. Die für einen Montageschritt benötigten Werkzeuge, Arbeitsmittel, Betriebsmitteln und Hilfsmitteln werden als **Ressourcen** bezeichnet. Die Ressourcen können dabei für jeden einzelnen Prozessschritt variieren

Die Verknüpfung von Artikeln, Montageschritten und Ressourcen wird im Verhaltensmodell als **Aktivität** definiert. Aktivitäten beschreiben in diesem Fall das Verhalten des Systems in einem Montageschritt. Dabei werden ein oder mehrere Artikel bzw. bereits vorverarbeitete Komponenten des Produkts wie Unterbaugruppen unter Zuhilfenahme einer Ressource in einem Montageschritt gefertigt. Dazu werden Aktionen in einer festgelegten Reihenfolge mit den Daten der benötigten Objekte verknüpft. Eine **Aktion** beschreibt einen elementaren Handhabungsschritt, der entsprechend der VDI Richtlinie 2860 (1990) definiert ist. Ein Beispiel hierfür ist das Positionieren des Sicherungsrings zur Fixierung eines Zahnradsatzes innerhalb der Aktivität Einspreizen, siehe auch Abbildung 3.

2.2 Klassendiagramme zur Modellierung von Produktfamilien

In Abbildung 2 stellt die Struktur einer Produktfamilie mit dem zugehörigen Variantenraum am Beispiel eines Planetengetriebes dar. Dabei sind ausgehend von Einzelteilen die produktionsrelevanten Fertigungsebenen Unterbaugruppen, Baugruppen sowie das Gesamtprodukt hierarchisch angeordnet.

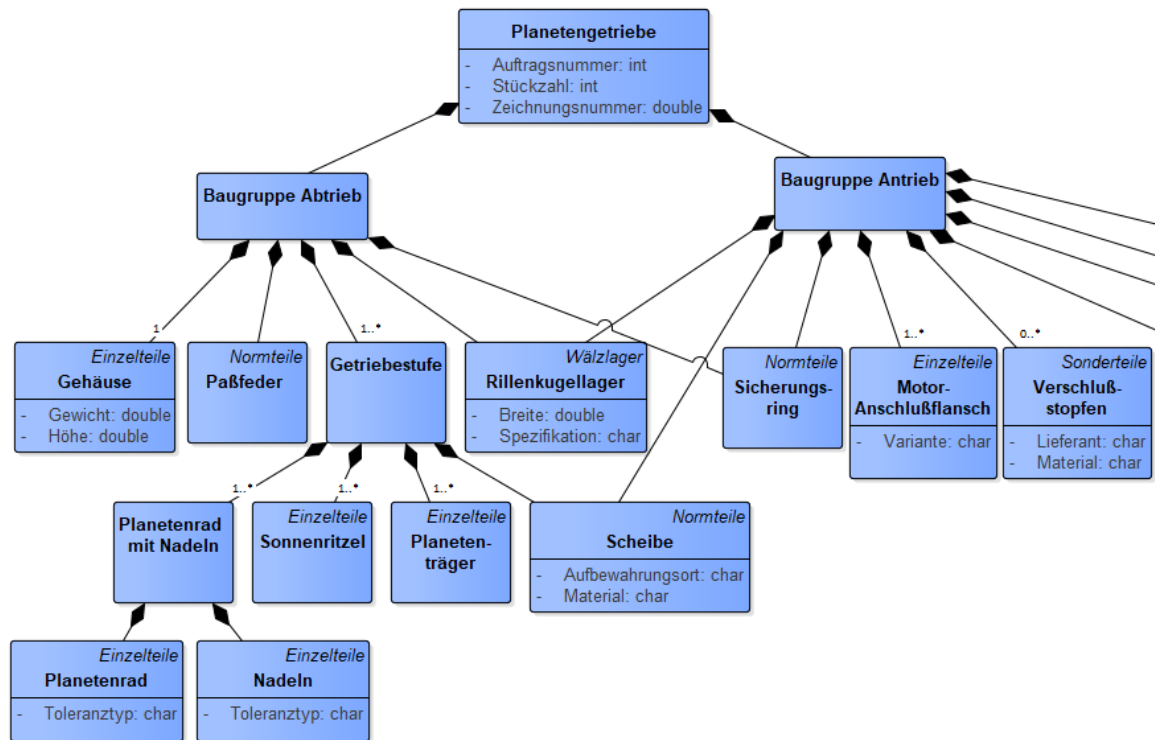


Abbildung 2: Klassendiagramm des Beispielprodukts Planetengetriebe zur Darstellung seiner Zusammensetzung aus den einzelnen Artikeln

Die Zugehörigkeit der einzelnen Artikel zu einer speziellen Unterklasse ist durch den Verweis in der rechten oberen Ecke zu erkennen. Der Variantenraum wird durch Attribute und Vielfachheiten der Relationen zwischen Artikeln definiert. Für die Betrachtung einer speziellen Produktvariante werden jeweils Objekte instanziiert, indem beispielsweise die Leistungsklasse durch Vorgabe der Geometriedaten aller an- und abtriebsseitigen Norm- und Vorfertigungsteile sowie die Anzahl der verbauten Getriebestufen vorgegeben wird.

2.3 Modellierung des Montageablaufs durch Aktivitätsdiagramme

Der zeitliche Ablauf des Montageprozesses wird durch ein Verhaltensdiagramm beschrieben. Im Aktivitätsdiagramm der UML werden die einzelnen Montageschritte als Aktivitäten modelliert, deren Zerlegung in Aktionen eine komplette Beschreibung unter Berücksichtigung der Reihenfolge der Teilprozessschritte ermöglicht (Kargl 2017). In Abbildung 3 wird dieses Vorgehen für die Fertigung von Planetengetriebevarianten angewendet. Im Beispiel sind fügende (Aufsetzen, Einspreizen, ...) Montageschritte sowie Hilfstätigkeiten wie Fetten dargestellt. Die Teilschritte zur Montage einer Getriebestufe werden variantenabhängig ein- oder mehrmals durchlaufen, was durch die Verzweigungsstelle realisiert ist.

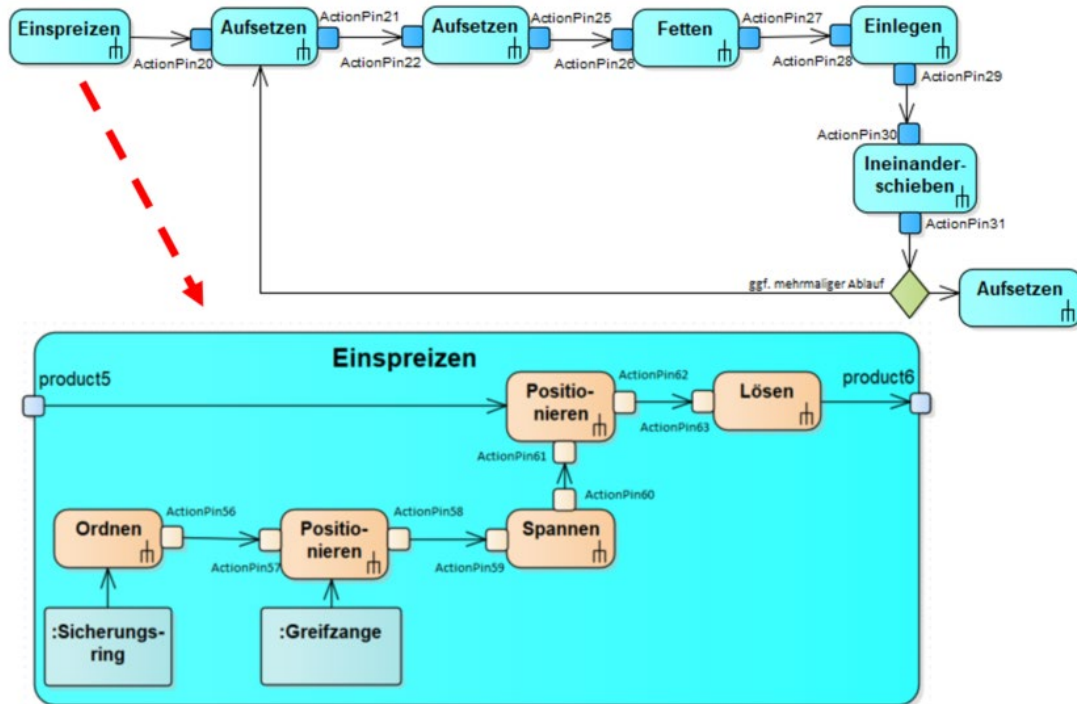


Abbildung 3: oben: Ausschnitt aus dem Montageablauf
 unten: Modellierung einer Aktivität durch Aktionen und Verknüpfung mit Ressourcen

Jede Aktivität und somit der gesamte Montageprozess werden wiederum mit elementaren Aktionen beschrieben und mit den zur Durchführung benötigten Ressourcen verknüpft, wie für das Einspreizen eines Sicherungsringes mit Hilfe einer Greifzange als Ressource in Abbildung 3 dargestellt ist.

3. Einbindung von Assistenzsystemen

Der beschriebene Modellierungsansatz soll die Einführung von digitalen Assistenzsystemen erleichtern. Im Rahmen des Förderprojekts sind industrielle Anwendungsszenarien ausgewählt worden, an denen dieses Vorgehen prototypisch realisiert werden soll. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der automatisierten Bereitstellung kognitiver oder physischer Unterstützung bei der Montage von individuellen Varianten mit dem Ziel, den Integrationsaufwand für den Anwender zu reduzieren. Als Beispiel dient die in Kapitel 2 modellierte Familie von Planetengetrieben.

Die schrittweise Visualisierung des kompletten Montageprozesses einer Getriebevariante stellt Informationen für die Monteure bereit und erlaubt so schnellere Anlernphasen und den Einsatz von geringer qualifizierten MitarbeiterInnen. Durch eine zusätzliche Kommentarfunktion und interaktiven Medien wird die digitale Montageanweisung in die Praxis gebracht. Die feste Reihenfolge und die Untergliederung in elementare Arbeitsschritte ermöglicht zudem eine Prozessunterstützung zur Qualitätskontrolle, die durch kognitive Assistenzsysteme wie Pick by Light und bildgebende Sensorik situativ Informationen zur korrekten Ausführung einzelner Montageschritte liefert. Daneben bildet das digitale Modell des Montageprozesses auch die Grundlage, Einsatzpotentiale physischer Assistenzsysteme wie kollaborierender Roboter zu bewerten. Durch die Definition der Attribute der Artikelklassen können die Geometriedaten aus CAD-Systemen bereitgestellt und dadurch die für die Bahnpla-

nung automatisierter Handhabungsschritte benötigten Positionsdaten berechnet werden. In Verbindung mit dem in Sochor et al. (2018) beschriebenen modularen Layout von Montagearbeitsplätzen können zudem Arbeitsräume detailliert spezifiziert und die sicherheitstechnischen Anforderungen im Bereich der Mensch-Roboter-Kollaboration normgerecht umgesetzt werden. Als Plattform zur Verknüpfung von Ressourcen (Arbeitsräume, Werkzeuge, ...), Komponenten des Produkts, Montageschritten und Geometriedaten soll die weiterführende Programmiersprache AutomationML zum Einsatz kommen.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Die Modellierung einer Produktfamilie mittels Klassendiagrammen und die Verknüpfung der Montageschritte zu einem Aktivitätsdiagramm liefert eine Beschreibungsform, die als Grundlage für die Integration von flexiblen Assistenzsystemen zur Werkerunterstützung dient. Die digitale Darstellungsform der UML Diagramme ermöglicht es gerade auch mittelständischen Unternehmen mit einer hohen Variantenvielfalt, moderne Technologien ohne zu großen Anpassungsaufwand anzuwenden. Die Nutzung von Assistenzsystemen in der Montage soll durch die Verbesserung der Arbeitsbedingungen für die MitarbeiterInnen zu Qualitätsverbesserungen und Produktivitätssteigerungen führen. Das hier beschriebene Vorgehen wird im Projekt SynDiQuAss an Anwendungsbeispielen erprobt und evaluiert.

5. Literatur

- DIN, Deutsches Institut für Normung (2003) Fertigungsverfahren; Begriffe, Einteilung. DIN 8580
- Drath R, Fay A, Barth M (2011) Interoperabilität von Engineering-Werkzeugen. at - Automatisierungstechnik 59:451–460.
- Eigner M, Stelzer R (2013) Product Lifecycle Management; Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management.
- Weigert G, Henlich T, Klemmt A (2008) Methoden zur Modellierung und Optimierung von Montageprozessen. In: Rabe M (Hrsg) Advances in simulation for production and logistics applications. Tagungsband zur 13. Fachtagung, Berlin, 479–488.
- Feldmann K (2001) Effizienzsteigerung in der Montage durch markt orientierte Strukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz.
- Kargl H (2017) Kompendium zu Enterprise Architect von SparxSystems; Foundational, 13. Aufl.
- Kerber F, Haendel G (2016) A UML-based approach to manage product variability. In automated production lines 2016 IEEE 21st International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). IEEE, 1–5.
- Lüder A, Schmidt N (2017) AutomationML in a Nutshell. In: Vogel-Heuser B, Bauernhansl T, Hompel M ten (Hrsg) Handbuch Industrie 4.0. Bd. 2, 213–258.
- Prenting TO, Battaglin RM (1964) The precedence diagram: A tool for analysis in assembly line balancing. In Journal of Industrial Engineering, 208–213.
- Rumpe B (2011) Modellierung mit UML; Sprache, Konzepte Und Methodik.
- Sochor R, Riegel A, Merhar L, Rusch T, Merkel L, Kerber F, Braunreuther S, Reinhart G (2018) Kognitive und physische Assistenz in der Montage.
- VDI, Verein Deutscher Ingenieure (1990) Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen, Begriffe, Definitionen, Symbole.

Danksagung: Das Projekt SynDiQuAss dankt dem BMBF und dem ESF für die Förderung der Forschungs- und Entwicklungsarbeit (Förderkennzeichen 02L15A281).



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