

Partizipatives und simulationsgestütztes Vorgehen zur Konzeption einer flexiblen und demografierobusten Montagelinie bei einem Hersteller von weißer Ware

Benedikt A. LATOS¹, Christoph HOLTKÖTTER², Jan BRINKJANS²,
Philipp PRZYBYSZ¹, Susanne MÜTZE-NIEWÖHNER¹, Christopher M. SCHLICK¹ †

¹ *Institut für Arbeitswissenschaft, RWTH Aachen University
Bergdriesch 27, D-52062 Aachen*

² *Miele & Cie. KG
Carl-Miele-Straße 29, D-33325 Gütersloh*

Kurzfassung: Die steigende Nachfrage nach kundenindividuellen Produkten und eine älter werdende Belegschaft stellen für viele Unternehmen bedeutende Herausforderungen dar. Insbesondere in der personalintensiven Montage ergibt sich dadurch die Forderung nach flexiblen und demografierobusten Montagesystemen. In diesem Beitrag wird der partizipative Planungsansatz für die Entwicklung eines solchen Montagekonzepts bei einem Hersteller von weißer Ware erörtert. Die Erstellung eines Petri-Netz-basierten Simulationsmodells einer Montagelinie nach dem Prinzip One-Piece-Flow zur Exploration des Systemverhaltens wird skizziert. Das prozessorientierte und personal-integrierte Simulationsmodell bietet die Möglichkeit, bereits in einer Grobplanungsphase verschiedene Szenarien zu simulieren.

Schlüsselwörter: Demografischer Wandel, Simulation, Montageplanung, Partizipation, One-Piece-Flow

1. Einleitung

Die Adaption produzierender Unternehmen an die Veränderungen des Markts ist eine essentielle Voraussetzung für die Beibehaltung der Wettbewerbsfähigkeit. Durch die steigende Marktdynamik der letzten Jahre ergeben sich für produzierende Unternehmen die Herausforderungen eines permanenten Produktinnovationsdrucks, einer kontinuierlich steigenden Variantenvielfalt, unvorhersehbarer Kundenanforderungen, verkürzter Produktlebenszyklen sowie stark schwankender Absatzzahlen (Spath et al. 2013).

Insbesondere der Montage kann im Hinblick auf eine Flexibilitätsgestaltung der Produktionsprozesse eine hohe Bedeutung beigemessen werden, da hauptsächlich in diesem Fertigungsschritt eine Individualisierung der Produkte vorgenommen wird und große Stückzahlschwankungen aufgrund der direkten Kundenbindung auftreten können (Petersen 2005). Zusätzlich bedingt der demografische Wandel, dass sich Industrieunternehmen in Deutschland „sowohl in kurzfristiger wie auch in langfristiger Perspektive [...] mit einem erhöhten Anteil älterer Mitarbeiter den Marktanforderungen stellen müssen“ (Reif & Buck 2003, S. 7).

In der Endmontage eines Herstellers von weißer Ware werden derzeit Waschautomaten auf fünf starr verketteten Fließlinien mit vorgegebenen Taktzeiten montiert. Vor dem Hintergrund der Zunahme an Endgerätevarianten und Stückzahlschwankungen sowie einer alternden Belegschaft erscheint es fraglich, ob die

aktuelle Montagestruktur diesen Herausforderungen künftig gerecht werden kann. Hieraus leitet sich aus betrieblicher Sicht die Notwendigkeit ab, alternative Montagekonzepte zur klassischen Taktstraßenfertigung zu entwerfen, welche eine flexible und demografierobuste Produktion ermöglichen. Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht entstehen hierbei sowohl die Chance als auch der Bedarf, Unternehmen und ihre Beschäftigten bei der Planung und Gestaltung ausgewogener Lösungen zu unterstützen.

Klassifikationsansätze von Organisationsprinzipien in der Montage betrachten die kinematischen Verhaltensweisen der Montageobjekte, Arbeitspersonen und Betriebsmittel oder die Gestaltung der räumlichen Organisation (Petersen 2005). In einer Kombination ergeben die Klassifikationsansätze unterschiedliche Möglichkeiten der Gestaltung der Ablauforganisation in der Montage (vgl. Abbildung 1).

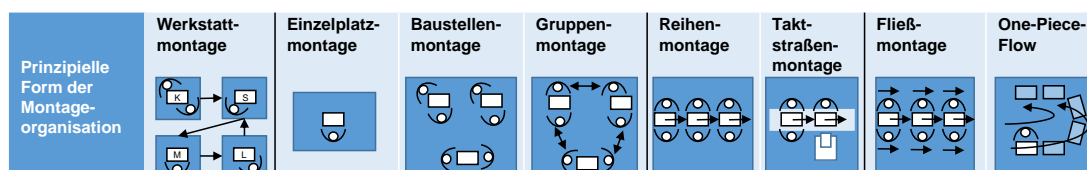


Abbildung 1: Prinzipielle Organisationsformen der Montage in Anlehnung an Eversheim et al. (1981) ergänzt um Teilaspekte aus Lotter & Wiendahl (2012), Petersen (2005), Schlick et al. (2010).

Die Organisationsform des One-Piece-Flows kann etwa als erweiterte Ausprägungsform der Fließmontage angeführt werden. Hierbei bewegen sich das Montageobjekt und die Arbeitsperson gemeinsam entlang der Materialbereitstellungspositionen, welche typischerweise in einer U-Form angeordnet sind. Die Komplettierung des Produkts erfolgt dabei idealtypisch durch eine Person oder auch durch mehrere Beschäftigte, was eine entsprechende Qualifizierung erfordert. Die Vorteile eines solchen Systems liegen in der Möglichkeit der Nutzung für Produktvarianten und in der flexiblen Ausbringungsmenge entsprechend des Personaleinsatzes (vgl. Lotter & Wiendahl 2012, Schlick et al. 2010).

Bei der Auswahl respektive der Gestaltung eines geeigneten Montagekonzepts können monetäre, kapazitäts- und flexibilitätsorientierte Kriterien betrachtet werden (Lotter & Wiendahl 2012). Der Entwurf demografierobuster Montagekonzepte verlangt jedoch nach einer gleichzeitigen Berücksichtigung von personalorientierten Kriterien. Für eine fundierte Entscheidungsfindung ist eine systematische und nachvollziehbare Vorgehensweise erforderlich. Der Beitrag zur systematischen Montageplanung von Bullinger (1986) kann bis heute als einer der bekanntesten Ansätze eingestuft werden (Potente 2014, Rudolf 2006). In der frühen Phase des Montagesystementwurfs werden danach zunächst alternative Konzepte erarbeitet, welche weitergehend simuliert werden können (Bullinger 1986). In Anlehnung an diesen Ansatz wird in diesem Beitrag ein erweitertes, partizipatives und simulationsbasiertes Vorgehen zur Erarbeitung alternativer Montagekonzepte vorgestellt, das bei einem Hersteller von weißer Ware durchgeführt worden ist. Der Einsatz der Simulation wird dabei am Beispiel der Montageorganisationsform One-Piece-Flow demonstriert.

2. Vorgehen zur Erarbeitung von alternativen Montagekonzepten

Schuh et al. (2010) stellen fest, dass trotz vielfältiger, für die Gestaltung von Montagesystemen zur Verfügung stehender, Software-basierter Unterstützungs-

systeme eine Lücke zwischen der Planung und der Umsetzung von Montagelinien besteht. Eine Möglichkeit zur Schließung dieser Lücke wird in der Anwendung der Methode des Cardboard-Engineerings in der Planungsphase gesehen. Beim Cardboard-Engineering wird eine einfache physische Modellierung von Arbeitsplätzen oder ganzen Montagelinien vorgenommen. Durch die Einbeziehung der Beschäftigten aus der Montage in den Prozess der Arbeitsplatzgestaltung können Planungsfehler identifiziert, Verbesserungspotenziale aufgedeckt, das Konzept validiert sowie die Akzeptanz für die Lösung erhöht werden (ebd.).

Auch in dem hier skizzierten Fallbeispiel wurde für die Neukonzeption einer Montagelinie ein partizipativer Ansatz in gemischt besetzten Teams gewählt. Um die Vorteile einer partizipativen Arbeitsgestaltung (s. z.B. Duell 1983) vollständig ausschöpfen zu können, erfolgte die Beteiligung der Beschäftigten respektive ihrer Vertreter allerdings bereits in einem wesentlich früheren Stadium des Planungsprozesses. Zunächst wurden vier Workshops sowie ergänzende Einzelinterviews zur Ermittlung von Anforderungen an das Linienkonzept durchgeführt. Die Einzelanforderungen wurden anschließend zu einem Zielsystem verdichtet. Das entstandene Zielsystem bildete sowohl produktivitäts- als auch personalorientierte Zielbereiche ab. Im Weiteren wurden verschiedene Prinziplösungen diskutiert und als Prinzipanordnungen skizziert (vgl. Abbildung 2). Anhand des Zielsystems erfolgte schließlich eine Vorauswahl der Prinzipanordnungen. Die ausgewählten Montagekonzepte wurden als physische Modelle im Sinne eines Cardboard-Engineerings mit Planspielutensilien aufgebaut. Diese dienten in weiteren Workshops als Diskussionsgrundlage und ermöglichten es, alternative Anordnungsmöglichkeiten sofort sichtbar zu machen. Auf dem beschreibbaren Untergrund ließen sich verschiedene Abläufe direkt in das jeweils betrachtete Modell einzeichnen. Die verbliebenen Modelle wurden anschließend mittels eines Softwaretools zur Fabrikplanung (vgl. Kampker et al. 2012) in Groblayouts überführt und abschließend evaluiert. Ein Groblayout bildete schließlich die Grundlage für die Erstellung eines 3D-Simulationsmodells (vgl. Abbildung 2). Die Simulationsmodellerstellung wird nachfolgend anhand des Beispiels One-Piece-Flow erläutert.

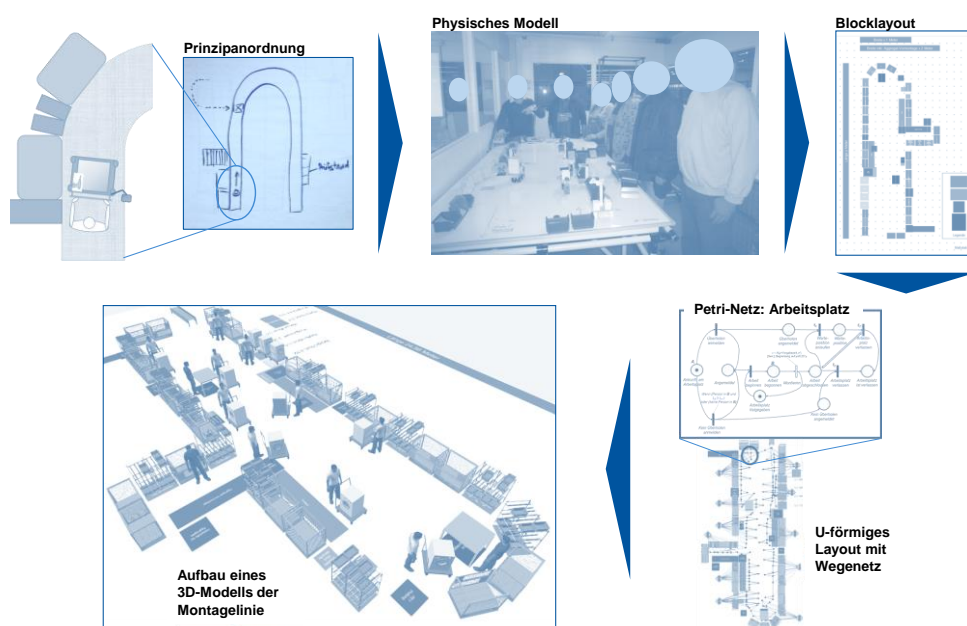


Abbildung 2: Vorgehen zur partizipativen Montageplanung: von der Prinzipskizze zum 3D-Simulationsmodell (Simulation mit FlexSim).

3. Erstellung und Auswertung eines Simulationsmodells

Die Simulation ist ein Verfahren zur Nachbildung eines Systems in einem experimentierbaren Modell, wobei Erkenntnisse angestrebt werden, welche auf die Wirklichkeit übertragbar sind (VDI 3633). Simulationsansätze werden generell in prozessorientiert oder aktororientiert unterschieden (Duckwitz et al. 2010). Zusätzlich können sie entsprechend ihres Detaillierungsgrads bezüglich der Personenmodellierung klassifiziert werden: Aktivitätsorientierte Simulationsansätze berücksichtigen Personen nicht explizit. Personalintegrierte Simulationsmodelle modellieren Personen als sog. „triviale Ressource“, wohingegen die personenzentrierte Simulation Aspekte menschlichen Verhaltens abbildet (ebd.).

Die Simulation einer Montagelinie soll den Montagefluss abbilden, was durch einen prozessorientierten Ansatz dargestellt werden kann. Im Kontext des Entwurfs eines flexiblen, insbesondere demografierobusten Montage-Arbeitssystems kommt der Abbildung der Arbeitspersonen jedoch eine zentrale Bedeutung zu. Der gewählte kombinierte Ansatz einer prozessorientierten und personalintegrierten Simulation soll diese beiden Aspekte berücksichtigen.

Die Ablauflogik des Simulationsmodells wird durch ein Petri-Netz-basiertes Ablaufdiagramm auf der Ebene einer Arbeitsstation abgebildet, wobei die Schaltbedingungen programmiertechnisch beschrieben sind. Die als zeitbasiertes und gefärbtes Petri-Netz modellierte Ablauflogik bildet folgende Aspekte ab:

- Der Arbeitsplatz wird gesperrt, sobald eine Person dort mit der Montage beginnt, und nach Abschluss der Tätigkeit wieder freigegeben.
- In dem Modell sind Überholvorgänge abgebildet, da eine Annahme des Modells darin besteht, dass an einer Station jeweils nur eine Arbeitsperson montieren kann. Hierzu erfolgt ein Abgleich des Leistungsgrads, wenn eine Person an einen bereits belegten Arbeitsplatz gelangt. Ist der Leistungsgrad der vorausgehenden Person geringer, so wird ein Überholvorgang initiiert, wobei die vorausgehende Person eine Warteposition ansteuert und so ein Überholen durch die nachfolgende Arbeitsperson ermöglicht.
- In dem Modell sind die jeweiligen Montagezeiten an den Arbeitsstationen hinterlegt und zusätzlich mit einer Normalverteilung überlagert, um reale Prozessstreuungen abzubilden.

Das Vorgehen zur Erstellung und Auswertung des Simulationsmodells orientiert sich an der Vorgehensweise von Banks (1998). Generell können für die Simulationsauswertung verschiedene Parameter variiert werden (z.B. Anzahl Vormontageplätze, Startpunkte der Beschäftigten). Des Weiteren gibt es fixe Eingangsgrößen sowie Störgrößen zur Berücksichtigung von Unsicherheiten. Durch die im Simulationsmodell hinterlegten MTM-Vorgabezeiten ist es möglich, bereits in der Planungsphase Kapazitätsbetrachtungen durchzuführen, was die Entscheidungsfindung bei der Wahl zwischen mehreren Alternativen unterstützen kann.

Für das Montagekonzept One-Piece-Flow konnte mit Hilfe der Simulation beispielsweise die Personenanzahl bestimmt werden, ab welcher aufgrund von Stauungseffekten und gegenseitiger Beeinträchtigungen vermehrt Wartezeiten entstehen (vgl. Abbildung 3). Hierbei sind im Sinne einer Sensitivitätsanalyse sowohl Streuungen in den Montagezeiten als auch Leistungsgradvariationen bei den Arbeitspersonen angenommen worden. Die Sensitivitätsanalyse hat ergeben, dass auch beim Einsatz von einzelnen Personen mit signifikant niedrigeren Leistungsgraden insgesamt keine auffälligen Stauungseffekte in dem Montageablauf auftreten.

Die Simulationsergebnisse stützen die Vermutung, dass im betrachteten Anwendungsfeld die Montageorganisationsform One-Piece-Flow – nicht zuletzt aufgrund der Tatsache, dass das Arbeitstempo nicht maschinell vorgegeben ist - für den Einsatz von leistungsgewandelten Arbeitspersonen geeignet ist. Außerdem konnte anhand des Simulationsmodells die Tätigkeitsverteilung bezüglich der einzelnen Arbeitspersonen (z.B. der Anteil der Montage-, Prüf- oder Transportzeit) sowie die mittlere Zusammensetzung der Durchlaufzeit für verschiedene Produktvarianten prognostiziert werden.

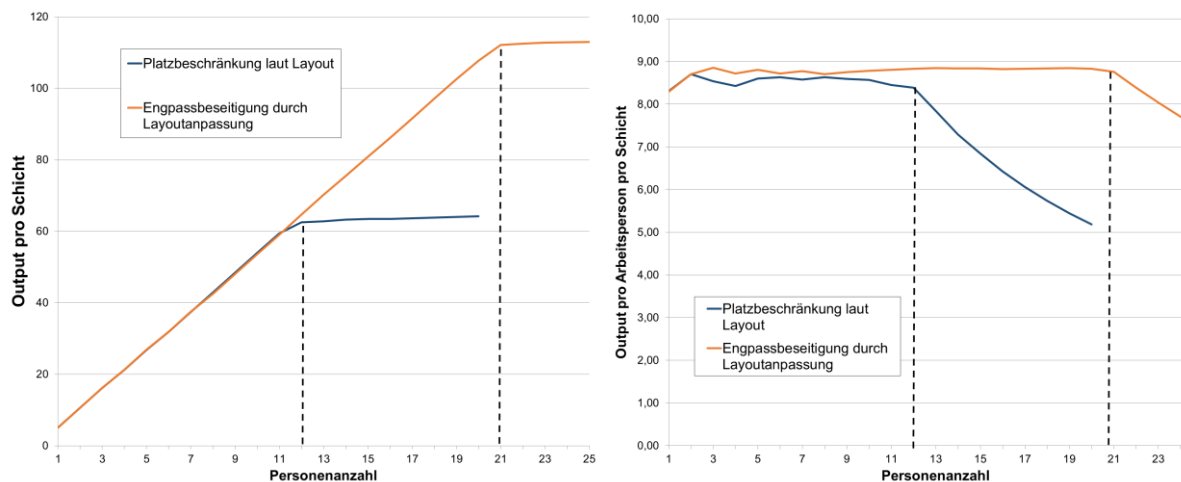


Abbildung 3: Exploration der möglichen Ausbringung mittels Simulation (modifizierte Daten).

Eine erste Auswertung der Simulationsläufe zeigte zudem einen räumlichen Engpass an einer Arbeitsstation auf. Mit Hilfe des Simulationsmodells konnte der Effekt einer räumlichen Erweiterung durch eine Änderung im Layout untersucht und eine deutliche Steigerung der Ausbringungsmenge erzielt werden (vgl. Abbildung 3). Insgesamt unterstützt das dargestellte Vorgehen eine iterative und nachvollziehbare Annäherung an den „optimalen“ Betriebspunkt des flexiblen und demografierobusten Montagesystems, sodass eine effizientere und effektivere Realisierung und Inbetriebnahme möglich wird.

4. Zusammenfassung, Diskussion und Ausblick

In diesem Beitrag ist das partizipative Vorgehen zur Erarbeitung alternativer Montagekonzepte im Sinne eines Good-Practice-Beispiels vorgestellt worden. Die Planung in einem Team aus Vertretern der relevanten betrieblichen Interessensgruppen und Fachbereiche erlaubt es, verschiedene Zielsetzungen und Betrachtungsweisen zu berücksichtigen sowie insgesamt die Qualität und die Akzeptanz des Planungsprozesses und seiner Ergebnisse zu erhöhen. Im Beitrag wurde zudem beispielhaft die Erstellung eines One-Piece-Flow-Simulationsmodells dargelegt. Durch die Simulationsauswertung sind Aussagen über das Verhalten des Montagesystems ohne dessen physische Verfügbarkeit möglich. Ein Simulationsmodell kann in weiteren Planungsschritten dazu verwendet werden, mit einer aktualisierten Datenbasis genauere Aussagen über das Systemverhalten zu treffen. Es sollte jedoch bedacht werden, dass zumindest der hier gewählte Simulationsansatz keine zwischenmenschlichen Interaktionen abbildet. Insbesondere

psychische Einflussfaktoren werden nicht explizit modelliert. Die Auswertungen basieren auf Annahmen, sodass die Ergebnisse kritisch reflektiert werden müssen. Für eine Absicherung der Simulationsergebnisse sind weiterführende Sensitivitätsanalysen notwendig, in welchen beispielsweise anstelle der Normalverteilung eine Betaverteilung der Montagezeiten zugrunde gelegt wird.

Zudem bestehen Erweiterungsmöglichkeiten, indem z.B. Qualifikationsmatrizen für die Arbeitspersonen hinterlegt werden. Während des Praxisbetriebs können die Simulationsmodelle ferner mit Erfahrungswerten parametrisiert werden und als operatives Planungstool eingesetzt werden. Es ist anzunehmen, dass die Bedeutung der Simulation mit der fortschreitenden Digitalisierung (wieder) zunehmen wird. Wenn künftig im Rahmen von Industrie 4.0 die Position des Montageobjekts in einer Linie datentechnisch verfolgt und der Montagefortschritt kontinuierlich erfasst wird, kann der Systemzustand in Echtzeit ausgegeben und über das Simulationsmodell visualisiert werden. Dadurch ist der Montagestatus jederzeit abrufbar und transparent. Gerade bei der Planung derartiger Konzepte ist ein partizipatives Vorgehen unabdingbar, um zu ausgewogenen Lösungen zu gelangen.

5. Literatur

- Banks J (1998) Handbook of Simulation. Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice. New York: Wiley.
- Bullinger HJ (Hrsg), Ammer D, Dungs jr. K; Seidel UA, Weller B (1986) Systematische Montageplanung. Handbuch für d. Praxis. München: Hanser.
- Duell W (1983) Partizipative Arbeitsgestaltung: Bedingungen erfolgreicher Intervention. In: Psychosozial 20:71-90.
- Duckwitz S, Tackenberg S, Karahancer S, Schlick C (2010) A Meta-Model for Actor-Oriented, Person-Centered Simulation for the Management of Development Projects. In: Proceeding of the 17Th International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management.
- Eversheim W, Witte KW, Pfeffekoven KH (1981) Montage richtig planen. Methoden und Hilfsmittel zur rationellen Gestaltung der Montage in Unternehmen mit Einzel- und Serienfertigung. Fortschrittberichte der VDI-Z.: Reihe 2; Nr. 45 Produktionstechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag GmbH.
- Kampker A, Burggräf P, Mecklenborg A, Kreisköther K (2012) Effiziente Layoutplanung in interdisziplinären Teams. Komplexitätsgerechte Tools zur Layoutplanung sichern den nachhaltigen Projekterfolg. In: VDI-Z. 154, 11/12:74-75.
- Lotter B, Wiendahl HP (2012) Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Aufl. Berlin: Springer.
- Petersen T (2005) Organisationsformen der Montage. Theoretische Grundlagen, Organisationsprinzipien und Gestaltungsansatz. Aachen: Shaker.
- Potente T (2014) Einfluss der Montagestruktur auf die Leistungsentwicklung manueller Montagesysteme. Diss. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Aachen.
- Reif A, Buck H (2003) Innovationsfähigkeit in der Montage bei sich verändernden betrieblichen Altersstrukturen. Stuttgart: Fraunhofer IRB.
- Rudolf H (2006) Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie. Diss. Technische Universität München, München.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2010) Arbeitswissenschaft. 3., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin: Springer.
- Schuh G, Kampker A, Franzkoch B, Wesch-Potente C, Swist M (2010) Praxisnahe Montagegestaltung mit Cardboard-Engineering. In: wt Werkstattstechnik online. 100, 9:659-664.
- Spath D, Müller R, Reinhart G (2013) Zukunftsfähige Montagesysteme. Wirtschaftlich, wandlungsfähig und rekonfigurierbar. Stuttgart: Fraunhofer.
- VDI-Richtlinie 3633, Blatt 6 (2001) Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen, Grundlagen. VDI-Handbuch Materialfluss und Fördertechnik, Band 8. Berlin: Beuth Verlag.



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 · www.internetkundenservice.de