

Konzept für die operative Fertigungsplanung unter Berücksichtigung der Kompetenzen von Personen mit Unterstützungsbedarf in Werkstätten für behinderte Menschen

Jan-Phillip HERRMANN, Sven TACKENBERG, Sönke DUCKWITZ

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

Kurzfassung: Die operative Fertigungsplanung für die Produktionsbereiche von Werkstätten für behinderte Menschen steht vor der Herausforderung, die Kompetenzen und die individuellen Verhaltensweisen der Personen mit Unterstützungsbedarf bei einer gleichzeitigen Erfüllung der wirtschaftlichen Vorgaben angemessen zu berücksichtigen. Der vorliegende Beitrag beschreibt daher einen simulationsgestützten Ansatz zur Entwicklung von Fertigungsplänen. Hierzu erfolgt eine Allokation von Aufgaben zu Personen mit Unterstützungsbedarf unter Berücksichtigung der Funktionen von Assistenzsystemen in der Fertigung sowie einer zu erreichenden Lernwirksamkeit einer Aufgabenbearbeitung. Der realisierte Algorithmus wird anhand eines Planungsproblems für die Zielgrößen Wirtschaftlichkeit und Lernförderlichkeit verifiziert.

Schlüsselwörter: Werkstätten für behinderte Menschen, Resource-constrained Project Scheduling Problem, Aufgabenauswahl, Simulation

1. Einleitung

Die Produktionsbereiche von Werkstätten für behinderte Menschen (WfbM) stehen vor der Herausforderung, die operative Fertigungsplanung unter Berücksichtigung der individuellen Kompetenzen und Unterstützungsbedarfe der Arbeitspersonen vorzunehmen. In diesem Zusammenhang nimmt das individuelle Entscheidungsverhalten bezüglich der Aufgabenauswahl einen hohen Stellenwert ein, da die Personen mit Unterstützungsbedarf hohe Freiheitsgrade hinsichtlich der Ausgestaltung ihres Tagesablaufs in einer WfbM besitzen. So können abweichend von einer Fertigung in einem Unternehmen des ersten Arbeitsmarktes die Personen mit Unterstützungsbedarf die Bearbeitung einer ihnen übertragenen Aufgabe jederzeit unterbrechen beziehungsweise zwischen verschiedenen Aktivitäten wechseln. Hieraus resultiert für WfbM eine Fertigungsplanung, die durch einen hohen Anteil an Unsicherheit hinsichtlich der späteren Umsetzung gekennzeichnet ist.

Das im Rahmen der Fertigungsplanung zu lösende Planungsproblem basiert auf einem Abgleich zwischen den Anforderungen an eine Aufgabenausführung und den Kompetenzen der Person mit Unterstützungsbedarf. Eine solche Zuordnung ist zulässig, wenn die Anforderungen einer Aufgabe hinsichtlich Qualifikation, Kompetenzen und Fähigkeiten durch die Arbeitsperson ausreichend abgedeckt werden, das heißt, kongruent sind. Bestehen Inkongruenzen, ist im Kontext einer WfbM zu prüfen, ob durch die Einbindung eines Assistenzsystems eine ausreichende Kompensation einer

Einschränkung erfolgen kann. Eine solche assistierte Aufgabenbearbeitung kann auch einen Beitrag zur Weiterqualifizierung von Personen mit Unterstützungsbedarf leisten.

Der vorliegende Beitrag greift die Potenziale von Assistenzsystemen in den Produktionsbereichen von WfbM auf und beschreibt einen simulationsgestützten Ansatz zur Fertigungsplanung, welcher die Lernförderlichkeit einer assistierten Aufgabenbearbeitung ausreichend berücksichtigt. Hierbei wird auf die Ansätze für das Resource-constrained Project Scheduling Problem (RCPSP) (Hartmann & Briskorn 2022) zurückgegriffen, mit denen sich eine optimale Reihenfolge von Aufgaben unter Berücksichtigung einer Menge an Entscheidungsvariablen und Restriktionen ermitteln lässt. Im vorliegenden Beitrag wird die Lernförderlichkeit von Aufgaben als eine Entscheidungsvariable des Optimierungsproblems für die Allokation von Aufgaben zu Personen mit Unterstützungsbedarf aufgenommen, um eine gezielte Entwicklung von Kompetenzen zu ermöglichen. Entsprechend erfolgt eine simultane Berücksichtigung von Zielgrößen, die auf die individuelle Entwicklung der Person mit Unterstützungsbedarf sowie auf die Effizienz des produzierenden Bereichs der WfbM ausgerichtet sind. Im vorliegenden Beitrag werden das bestehende Optimierungsproblem sowie ein Algorithmus zu dessen Lösung beschrieben und mittels einer Simulationsstudie verifiziert.

2. Stand der Technik

Die Terminierung von Aufträgen und die Allokation von Aufgaben zu Arbeitspersonen einer WfbM kann auf ein Multi-Skill RCPSP (MSRCPSP) zurückgeführt werden. Ein Literaturüberblick über die Standard-Problemformulierung sowie die verschiedenen Varianten und Erweiterungen des MSRCPSP findet sich in Hartmann & Briskorn (2022).

Das Fertigungsplanungsproblem einer WfbM ist insbesondere durch die Allokation von Aufgaben zu Arbeitspersonen unter Berücksichtigung der individuellen Kompetenzen und des Ziels eines Kompetenzaufbaus beschrieben. Für diese Variante des MSRCPSP stellen Myszkowski et al. (2015) ein Verfahren vor, mit dem ein Abgleich zwischen den ordinal-skalierten Kompetenzen einer Ressource und den Kompetenzanforderungen einer Aufgabe erfolgen kann. Der Ansatz von Gutjahr et al. (2010) greift dieses Konzept auf und erweitert es um den Aspekt, dass sich die Kompetenzen einer Arbeitsperson während einer Aufgabenbearbeitung um eine festgelegte Lernrate erhöhen sowie bei einer Nicht-Ausführung verringern.

Stahl & Springer (1996) beschreiben ein Assistenzsystem zur Personalplanung in einer WfbM, welches die Fähigkeiten und Ausführungsgeschwindigkeit von Arbeitspersonen berücksichtigt. Neben ökonomischen Zielgrößen erfolgt eine Berücksichtigung von sozialen Zielen, wie beispielsweise die Weiterbildung von Arbeitspersonen. Heinz et al. (2021) greifen die Verknüpfung von Fertigungsplanung und Montageassistenzsystem auf und stellen ein System für die Zuordnung von Aufgaben zu Arbeitspersonen mit und ohne Einschränkungen vor. Die Fähigkeit zur Aufgabenausführung leitet sich bei diesem Ansatz aus der kontinuierlichen Erfassung der individuellen Bearbeitungszeit einer Aufgabe ab. Anhand der erfassten Daten nimmt das Assistenzsystem eine Umplanung zur Erzielung einer konstanten Taktzeit vor. Ein Personalplanungsalgorithmus für die Zuordnung von Arbeitspersonen zu Arbeitsplätzen unter Berücksichtigung individueller Kompetenzen sowie temporärer und anhaltender Einschränkungen wird von Hochdörffer et al. (2018) vorgestellt. Die vom Algorithmus

vorgeschlagene Job-Rotation zielt auf die Erhaltung von Kompetenzen sowie einer möglichst geringen physischen Belastung ab. In den identifizierten Vorarbeiten ist unberücksichtigt, dass Assistenzsysteme in der Produktion bestehende Kompetenzdefizite im Rahmen einer Aufgabenausführung kompensieren können. Dies führte zu der Entwicklung des nachfolgend vorgestellten simulationsgestützten Ansatzes zur Erzeugung von Fertigungsplänen.

3. Konzept zur Berücksichtigung der individuellen Kompetenzen in der Planerstellung

3.1 Problembeschreibung

Das Fertigungsplanungsproblem des Produktionsbereichs einer WfbM ist der Multi-Project Multi-Skill RCPSP Problemklasse mit erneuerbaren Ressourcen und Lerneffekten zuzuordnen. Das Präfix „Multi-Project“ resultiert aus der Zuordnung einer Teilmenge an Arbeitsaufgaben zu einem Auftrag, sodass mehrere Aufträge das Planungsproblem bilden. Der Terminus „Multi-Skill“ beschreibt die kompetenzbasierte Allokation von Aufgaben zu den verfügbaren Personen mit Unterstützungsbedarf einer WfbM. Entsprechende Informationen zu den individuellen Fähigkeiten einer Person sind in einer Kompetenzmatrix festgelegt. Das „Gegenstück“ bildet eine Kompetenzanforderungsmatrix, die eine Beschreibung der Anforderungen an eine Aufgabenausführung umfasst. Aus dem Abgleich der Felder von Kompetenz- und Kompetenzanforderungsmatrix je Aufgabe erfolgt die Festlegung einer Allokation von Personen zu Aufgaben. Formal stellen Personen mit Unterstützungsbedarf, Arbeitsmittel und Assistenzsysteme erneuerbare Ressourcen dar, sodass eine mehrfache Einplanung zu einem Zeitpunkt unzulässig ist. Auch bei der Einplanung von Arbeits- und Betriebsmitteln sowie Assistenzsystemen erfolgt ein Abgleich zwischen den aufgabenbedingten Anforderungen an Funktionen sowie deren zeitliche Verfügbarkeit.

Erfüllt eine Kombination, bestehend aus einer Arbeitsaufgabe, einer Arbeitsperson und einem Arbeitsmittel, die Gesamtheit der Anforderungen an eine Aufgabebearbeitung nicht, so können die Funktionen eines Assistenzsystems diese „Lücke“ gegebenenfalls kompensieren. Daher werden für jedes Assistenzsystem Funktionen hinsichtlich der Unterstützung von Kompetenzen einer Arbeitsperson hinterlegt. Das heißt, eine solche Funktion kann ein fehlendes Kompetenzniveau einer Arbeitsperson bei einer Aufgabebearbeitung kompensieren. Die Allokation eines Assistenzsystems kann somit die Menge der zulässigen Aufgaben-Personen-Arbeitsmittel-Kombinationen vergrößern. Hierbei ist zu beachten, dass Assistenzsysteme durch eine gemeinsame Nutzung von Hard- oder Software einem Arbeitsmittel fest zugeordnet sein können. In einem solchen Fall ist eine abhängige Allokation von Arbeitsmittel und Assistenzsystem vorzunehmen.

Die Erweiterung der Kompetenzen von Personen mit Unterstützungsbedarf ist ein wesentliches Ziel einer WfbM. Entsprechend hat die Allokation von Aufgaben das Kriterium der Lernwirksamkeit angemessen zu berücksichtigen. Zur Abbildung der Lernwirksamkeit ist je Aufgabe festgelegt, in welchem Umfang eine Aufgabebearbeitung zu einer Erhöhung der individuellen Kompetenz beitragen kann. Ein solcher Lerneffekt resultiert hierbei aus dem Aufgabeninhalt und der eingesetzten Kombination an Arbeitsmitteln und Funktionen des Assistenzsystems.

Aus der Allokation von Aufgaben zu Arbeitspersonen, Arbeitsmitteln und Assistenzsystemen resultiert ein zulässiger Fertigungsplan, aus dem sich individuelle Tagespläne für Personen mit Unterstützungsbedarf ableiten lassen. Ein effizienter Fertigungsplan liegt vor, wenn die Einhaltung der geforderten Fertigstellungstermine der Aufträge gegeben ist sowie eine Einplanung eines möglichst hohen Anteils an lernwirksamen Aufgaben vorliegt. Abbildung 1 zeigt eine visuelle Darstellung des zuvor beschriebenen Planungsproblems.

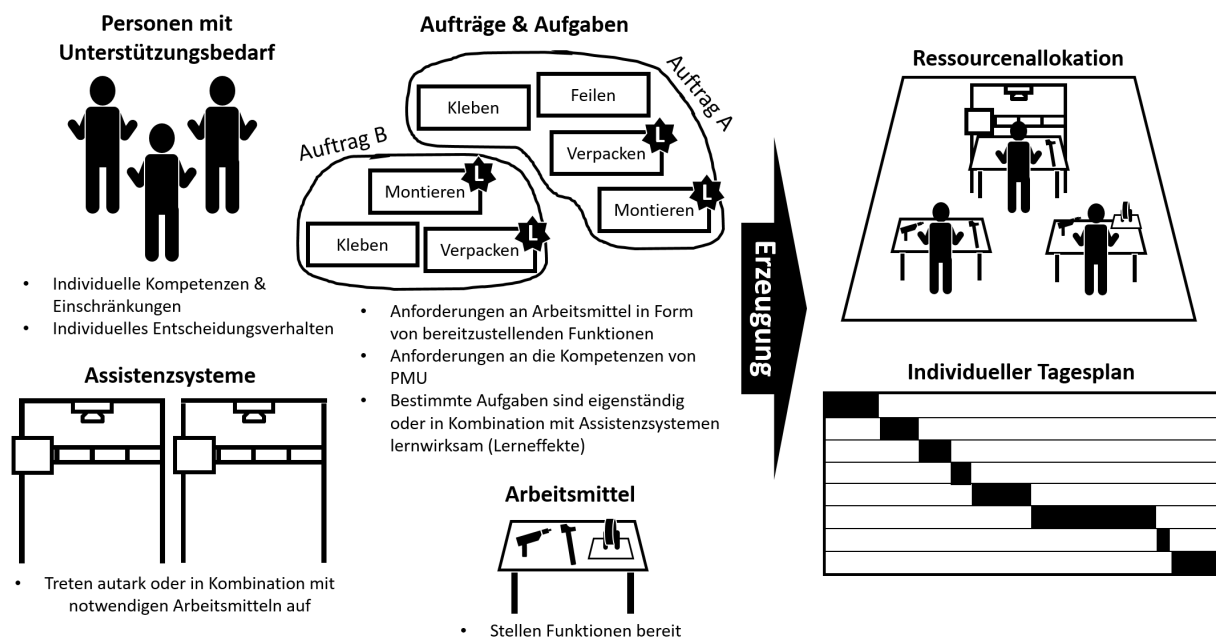


Abbildung 1: Visuelle Darstellung des Fertigungsplanungsproblems.

3.2 Simulationsstudie

Zur Lösung des mehrkriteriellen Fertigungsplanungsproblems findet eine angepasste Version des Serial Schedule Generation Scheme (SSGS) von Kolisch (1996) Anwendung. Der SSGS führt eine Vorwärtsterminierung der Aufgaben durch und erzeugt ausschließlich reihenfolge- und ressourcenzulässige Pläne.

Personen mit Unterstützungsbedarf unterbrechen oftmals die Bearbeitung einer Aufgabe vor deren Fertigstellung. Zur Abbildung einer solchen Unterbrechung im Simulationsmodell werden die Arbeitsobjekte herangezogen, die bei der Bearbeitung einer Arbeitsaufgabe entstehen. Da im Produktionsbereich einer WfbM überwiegend Montagetätigkeiten erbracht werden, entstehen bei einer Aufgabenausführung Arbeitsobjekte in einer größeren Anzahl. Entsprechend lässt sich einer Aufgabe eine Menge an Arbeitsobjekten zuordnen. Mit der einmaligen Ausführung einer Aufgabe entsteht eine definierte Menge an Arbeitsobjekten. Beendet die Person mit Unterstützungsbedarf die Aufgabenbearbeitung temporär, um eine andere Handlung auszuführen, so erfasst das Simulationssystem die bereits gefertigte Anzahl an Arbeitsobjekten. Ist die vorgegebene Anzahl an Arbeitsobjekten noch nicht erreicht, kann diese Aufgabe zu einem späteren Zeitpunkt durch die gleiche oder eine andere Person fortgesetzt werden.

Die Auswahl einer Aufgabe und das Unterbrechen einer Aufgabenbearbeitung durch eine Person mit Unterstützungsbedarf sind durch die Simulation des Entscheidungsverhaltens einer Arbeitsperson abgebildet. Hierzu sind zwei Wahrscheinlichkeiten in Form von Parametern im Simulationsmodell hinterlegt. Der erste Parameter beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Person mit Unterstützungsbedarf nach der Erzeugung eines Arbeitsobjektes die zugehörige Aufgabe erneut auswählt (pSameTask). Der zweite Parameter legt die Wahrscheinlichkeit fest, dass nach der Herstellung eines Arbeitsobjektes die Aufgabe derselben Person-Arbeitsmittel-Assistenzsystem-Kombination zugeordnet wird (pSameResource). Ein dritter Parameter bildet die Wahrscheinlichkeit ab, mit der eine lernwirksame Aufgabe einer Person mit Unterstützungsbedarf zugeordnet wird (pLearning).

Die Verifikation der Funktionen des Simulationsmodells erfolgte durch eine Monte Carlo Simulation. Hierzu wurden die drei Parameter in zwei Stufen variiert: 0,1 (10 %) und 0,9 (90 %). Für die acht Parameterkombinationen sind jeweils 200 Pläne erzeugt worden. Die Streudiagramme für die Zielgrößen *Durchlaufzeit* der zu fertigenden Aufträge und der *Anteil an zugeordneten lernwirksamen Aufgaben* je Parameterkonstellation sind in Abbildung 2 dargestellt. Die schwarz gefärbten Punkte bilden die Pareto-Front mit den nicht-dominierten Plänen.

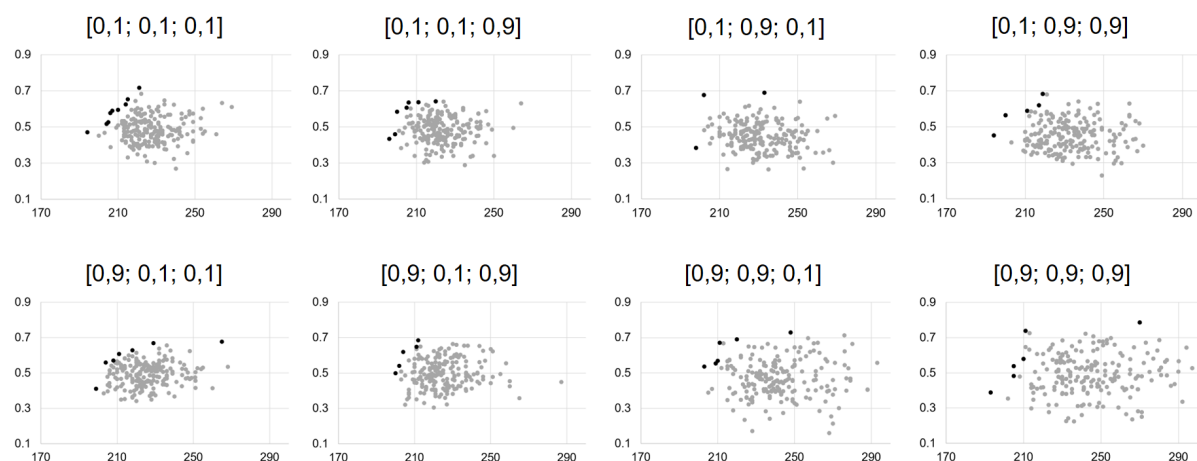


Abbildung 2: Ergebnisse der Monte Carlo Simulation für 200 Durchläufe | Durchlaufzeit auf der x-Achse, Anteil lernwirksamer Aufgaben je Person auf der y-Achse.

4. Diskussion und Ausblick

Die Streuung der Punktwolke nimmt mit größeren Werten für die Wahrscheinlichkeitsparameter zu. Dies resultiert aus der implementierten Funktion, dass bei größeren Wahrscheinlichkeiten eine initial ausgewählte Kombination an Personen, Arbeitsmitteln und Assistenzsystemen für eine Aufgabenbearbeitung über alle herzustellenden Arbeitsobjekte beibehalten wird. Somit erfolgt bis zu einer vollständigen Bearbeitung einer Aufgabe nur mit einer geringen Wahrscheinlichkeit ein Wechsel der Allokationscharakteristik. Eine (in)effiziente initiale Allokation hat somit Bestand und erfährt während der Planerstellung keine Veränderung. Entsprechend ist eine vollständige Durchsuchung des zulässigen Lösungsraums stark eingeschränkt und die Wahrscheinlichkeit, einen Plan mit initial geringer (hoher) Güte durch eine Exploration des Lösungsraums zu korrigieren (zu verschlechtern), ist gering.

Werden ausschließlich die nicht-dominierten Pläne herangezogen, so ergeben sich aus der größeren Streuung bessere Pläne hinsichtlich der Zielgrößen. So resultieren aus der Parameter-Konstellation mit den Wahrscheinlichkeiten $[0,9;0,9;0,9]$ im Vergleich zu $[0,1;0,1;0,1]$ eine verbesserte Menge an nicht-dominierten Lösungen. Aus den vorliegenden Ergebnissen lässt sich ableiten, dass eine simulationsgestützte Fertigungsplanung bessere Ergebnisse erzeugt, wenn eine Unterbrechung der Aufgabenbearbeitung mit einer hohen Wahrscheinlichkeit erfolgt und zudem verschiedene Personen eine Aufgabe bearbeiten beziehungsweise zwischen verschiedenen Aufgaben wechseln. Dies steht aber im Widerspruch zu arbeitsorganisatorischen Empfehlungen. So ist eine Aufgabe unter Berücksichtigung des erforderlichen Zeitaufwands möglichst unterbrechungsfrei und vollständig von einer Arbeitsperson zu bearbeiten. Ein stetiger Wechsel zwischen Aufgaben könnte zu einer erhöhten Beanspruchung führen. Ferner sind im vorliegenden Simulationsmodell erforderliche Einarbeitungszeiten in eine Aufgabe nach einer Unterbrechung nicht berücksichtigt. Somit bedarf es einer Erweiterung des Modells um weitere, auf die Fertigungsplanung einer WfbM einwirkenden Einflussfaktoren. Dies umfasst auch eine detailliertere Berücksichtigung der Auswirkungen von lernwirksamen Aufgaben auf die Bearbeitungszeit und die Qualität der Ergebnisse.

5. Literatur

- Gutjahr WJ, Katzensteiner S, Reiter P, Stummer C, Denk M (2010) Multi-objective decision analysis for competence-oriented project portfolio selection. *European Journal of Operational Research* 205 (3): 670–679.
- Hartmann S, Briskorn D (2022) An updated survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of operational research*, 297 (1): 1–14.
- Heinz M, Büttner S, Jenderny S, Röcker C (2021) Dynamic Task Allocation based on Individual Abilities-Experiences from Developing and Operating an Inclusive Assembly Line for Workers With and Without Disabilities. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 5 (EICS): 1–19.
- Hochdörffer J, Hedler M, Lanza G (2018) Staff scheduling in job rotation environments considering ergonomic aspects and preservation of qualifications. *Journal of manufacturing systems* 46: 103–114.
- Kolisch R (1996) Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation. *European Journal of Operational Research* 90 (2): 320–333.
- Myszkowski PB, Skowroński ME, Olech ŁP, Oślizło K (2015) Hybrid ant colony optimization in solving multi-skill resource-constrained project scheduling problem. *Soft Computing* 19 (12): 3599–3619.
- Stahl J, Springer J (1996) Resource allocation and scheduling in workshops with mentally disabled people. *International Journal of Industrial Ergonomics* 17 (2): 193–203.

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