

## **Prognose von Lernkurven manueller Montageaufgaben auf Basis einer Selbsteinschätzung**

Jonas AST, Peter NYHUIS

*Leibniz Universität Hannover, Institut für Fabrikanlagen und Logistik,  
An der Universität 2, D-30823 Garbsen*

**Kurzfassung:** Das Lernen von manuellen Montageaufgaben führt zu Produktivitätsverlusten und muss im Rahmen der Personalplanung berücksichtigt werden. Daher wurde untersucht, ob sich eine Selbsteinschätzung als Ansatz zur Prognose eignet. Dazu wurden im Rahmen einer Datenerhebung in einer Lernfabrik verschiedene Montagetätigkeiten durch Probanden erlernt und die zugehörigen Wiederholungszeiten gemessen. Anhand der Messdaten kann auf den individuellen Lernprozess geschlossen und die Ansätze konfiguriert sowie überprüft werden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Selbsteinschätzung für eine Abschätzung von Produktivitätsverlusten genutzt werden kann. Im Rahmen des Beitrags werden die Grundlagen zu Lernprozessen in der Montage aufgearbeitet sowie zwei Ansätze zur Prognose von Lernkurven bzw. Lernkurvenparametern anhand einer experimentellen Studie untersucht.

**Schlüsselwörter:** Lernkurven, Experimentelle Studie, Prognose, Selbsteinschätzung, Lernfabrik

### **1. Einleitung**

In der industriellen Produktion treten Leistungsschwankungen im Rahmen menschlicher Arbeit auf. Diese sind auf vielfältige Einflussfaktoren zurückzuführen und können durch Qualifizierungs- und Kompetenzentwicklungsmaßnahmen beeinflusst werden. (Schlick et al. 2018) Um insbesondere den negativen Einflüssen auf die Produktivität z. B. aufgrund von Monotonie-Effekten entgegenzuwirken, werden einzelne Mitarbeitende an verschiedenen Arbeitsstationen bzw. verschiedenen Tätigkeiten eingesetzt (Azizi et al. 2010). Dabei stellt sich für Unternehmen die Frage, welche Tätigkeiten durch welche Mitarbeitende erlernt werden müssen, sodass ein produktiver Arbeitsinsatz möglich ist (Ast & Nyhuis 2022). Der Lernprozess zur Entwicklung von Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie von Kompetenzen zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe bedeutet einen Verlust in der Produktivität, da den Mitarbeitenden zunächst die erforderliche Zeit eingeräumt werden muss, um die Tätigkeit zu erlernen. Dieser Prozess kann durch verschiedene mathematische Funktionen beschrieben und somit die Entwicklung quantitativ dargestellt werden (Anzanello & Fogliatto 2011). Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass die Produktivitätsverluste mit zunehmender Anzahl an zu erlernenden Aufgaben aufgrund des individuellen Lernverhaltens steigen (Ast et al. 2022). Die Planung erfordert eine Prognose von Lernkurven, damit die Planungssicherheit gesteigert werden kann. Dafür existieren wenige Verfahren, welche eine differenzierte Prognose von Lernkurven bzw. Lernkurvenparametern und Produktivitätsverlusten ermöglichen. Daher werden in dem nachfolgenden Beitrag zwei Ansätze

zur Prognose basierend auf einer Selbsteinschätzung präsentiert und anhand von Daten aus einer experimentellen Studie überprüft.

## 2. Grundlagen und Hypothese

### 2.1 Bedeutung von Lernkurven

Lernkurven beschreiben die kontinuierliche Verbesserung einer repetitiven Tätigkeit (Schlick et al. 2018). Eine repetitive Tätigkeit ist dadurch gekennzeichnet, dass sie in sich geschlossen ist und sich stetig wiederholt. Eine Bestimmung von Lernkurven erfolgt durch die Messung von z. B. Wiederholungszeiten, welche im Anschluss durch Regression ausgewertet werden. Dadurch wird die Ausgleichskurve ermittelt, welche die Lernkurve darstellt und die Lernkurvenparameter bestimmt. Dieses Verhalten wurde erstmals von WRIGHT im Zusammenhang mit der Entwicklung von Kosten bei der Produktion von Flugzeugen festgestellt (Wright 1936). In weiteren Forschungsaktivitäten wurden die Zusammenhänge der kontinuierlichen Verbesserung weiter untersucht und auf die Aktivitäten in der Produktion, zumeist der Montage, übertragen. Daraus resultierten diverse mathematische Ansätze und Funktionen, um für verschiedene Anwendungen die Funktionsverläufe bestmöglich abbilden zu können (Anzanello & Fogliatto 2011; Nembhard & Uzumeri 2000).

Grundsätzlich sind zwei Parameter zur Beschreibung von Lernkurven von entscheidender Bedeutung. Die *initiale Durchführungsdauer* ist die Dauer der ersten Durchführung und gibt somit den Startwert der Lernkurve vor. Der *Lernfaktor* bestimmt die Krümmung der Lernkurve und gibt damit an, wie schnell sich die Person beim Erlernen verbessert. Werden die Produktivitätsverluste über die Differenz der Wiederholungszeit zum Grenzwert ermittelt, so sind beide Faktoren für die Höhe der Produktivitätsverluste verantwortlich. Somit kann ein geringer Lernfaktor und eine geringe initiale Durchführungsdauer zu den gleichen Verlusten führen, wie ein hoher Lernfaktor und eine hohe initiale Durchführungsdauer. Das Optimum der Parameter ist daher ein hoher Lernfaktor und eine geringe initiale Durchführungsdauer.

### 2.2 Ansätze zur Prognose von Lernkurven

Um die Lernkurvenparameter zu bestimmen, ist es erforderlich, dass die Mitarbeitenden die Tätigkeiten durchführen. Für eine Prognose müssen jedoch die Lernkurven der Mitarbeitenden im Vorfeld durch geeignete Methoden antizipiert werden. Bisherige Ansätze untersuchen daher die Übertragbarkeit von Lernkurven auf das Wiedererlernen (Bailey & McIntyre 2003 1997). Es besteht ebenfalls die Möglichkeit, die Lernkurven anhand von Messdaten zu ermitteln, damit auf dieser Basis weiteres Verhalten prognostiziert werden kann (Malyusz & Pem 2014). Weiterhin wurde untersucht, ob aus den MTM-Grundbewegungen die Lernkurven durch Aggregation abgeleitet werden können (Greiff 2001). Es ist davon auszugehen, dass die Lernkurven aus einem kognitiven und einem motorischen Anteil bestehen (Dar-El et al. 1995a). Dies ermöglicht eine Prognose des Lernfaktors und der initialen Durchführungsdauer, in dem die zu erlernende Aufgabe durch spezielle Fragen beschrieben und analysiert wird (Dar-El et al. 1995b). Durch einen weiteren Ansatz können die Lernkurvenparameter durch Funktionen rechnerisch bestimmt werden, welche die individuelle Person betreffenden Einflussgrößen (z. B. Alter, Vorerfahrung) berücksichtigen (Jeske et al. 2014). Neben

den konkreten Ansätzen zur Prognose von Lernkurvenparametern wird in der Praxis die Möglichkeit der Selbsteinschätzung für die Bestimmung von Kompetenzen vielseitig verwendet (Erpenbeck et al. 2017). Ein Ansatz zur dedizierten Prognose von Lernkurvenparametern anhand einer Selbsteinschätzung ist jedoch noch nicht bekannt.

### 2.3 Hypothese

In den bisherigen Ansätzen wurde die Möglichkeit einer individuellen Selbsteinschätzung nicht betrachtet. Dies führt zur forschungsleitenden Hypothese:

*„Lernkurven bzw. Lernkurvenparameter sowie die Produktivitätsverluste beim Erlernen von Montageaufgaben können durch eine Selbsteinschätzung prognostiziert werden.“*

Die Hypothese wird im Rahmen dieses Beitrags anhand einer experimentellen Studie untersucht. Als Bewertungsmaßstab wird die Genauigkeit der Prognose im Vergleich zu den tatsächlichen Werten betrachtet. Das Ziel ist es, eine hohe Übereinstimmung zwischen prognostizierten und tatsächlichen Werten zu erreichen.

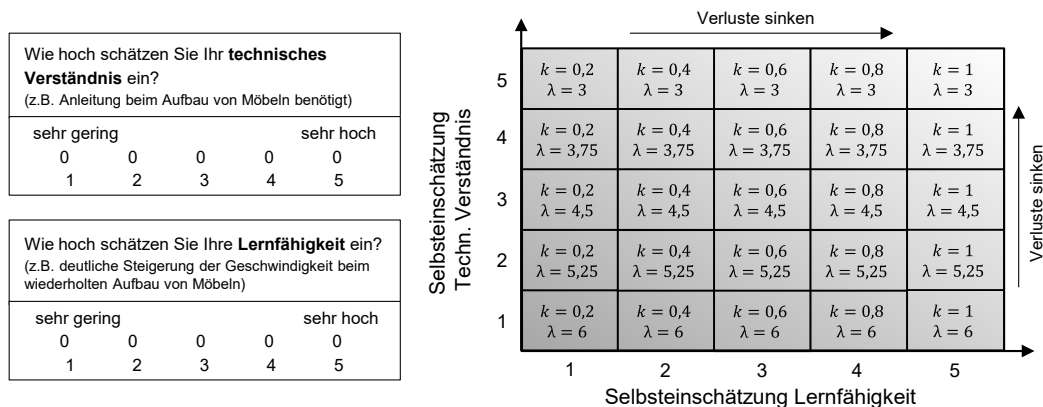
## 3. Beschreibung der Datenerhebung und der Prognoseansätze

Um die Eignung und Genauigkeit der Selbsteinschätzung als Ansatz für die Prognose von Lernkurven bzw. Lernkurvenparametern zu überprüfen, wurde eine experimentelle Studie in einer Lernfabrik durchgeführt. An dieser Studie haben insgesamt 34 Probanden teilgenommen. Es wurde zu Beginn durch einen Fragebogen eine Selbsteinschätzung in Bezug auf verschiedene Eigenschaften (u. a. Lernfähigkeit) abgefragt. Im Rahmen eines praktischen Teils mussten Montagetätigkeiten von zwei Produkten während sieben Wiederholungen erlernt werden. Dabei handelt es sich um ein Produkt aus Aluminiumprofilen (Produkt 1) und einen elektrischen Schaltkasten (Produkt 2). Bevor die Probanden mit der Montage begonnen haben, mussten sie das Produkt ca. eine Minute betrachten. Anschließend wurden ihnen Fragen in Bezug auf die eigene Einschätzung zum Erlernen der erforderlichen Tätigkeiten gestellt. Die nachfolgende Montage wurde per Video aufgezeichnet, um im Nachgang den Lernprozess detailliert auswerten zu können. Dies wurde den Probanden zu Beginn erläutert und in einer erforderlichen Einverständniserklärung näher beschrieben. Die Probanden hatten jederzeit die Möglichkeit, die Datenerhebung ohne die Angabe von Gründen zu beenden.

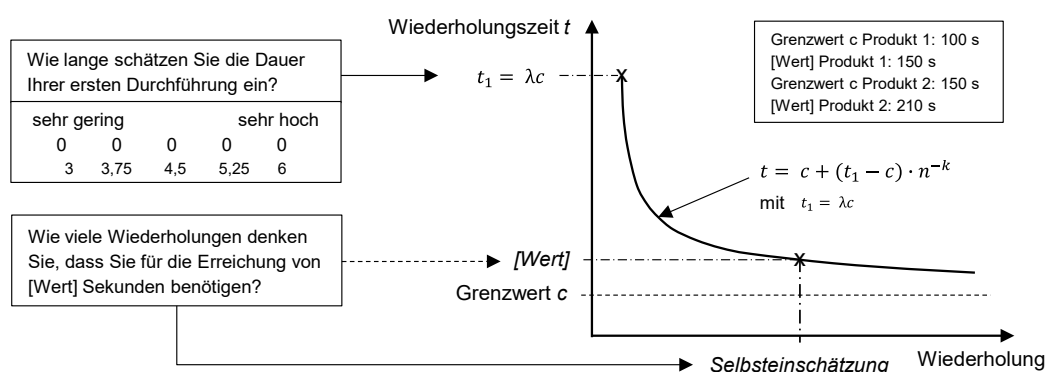
Anhand der erhobenen Daten werden zwei Ansätze der Selbsteinschätzung überprüft. Der erste Ansatz basiert auf einer Selbsteinschätzung ohne Kenntnisse über das Produkt, während der zweite Ansatz die Selbsteinschätzung infolge einer Betrachtung des zu erlernenden Produkts fokussiert. Die Funktionsweise der Ansätze wird nachfolgend beschrieben, um den Prozess der Parameterprognose transparent darzustellen. Die den Ansätzen zugeordneten Parameter wurden so gewählt, dass eine möglichst hohe Genauigkeit mit den Ergebnissen aus der Studie erreicht wird. Sofern entsprechende Daten vorliegen, kann die Bestimmung bzw. Zuordnung der Parameter individualisiert und somit zwischen Produkten bzw. Tätigkeiten differenziert werden.

**Ansatz I – Selbsteinschätzung durch Fragebogen ohne Kenntnis über Tätigkeit**

Die Bestimmung des Lernfaktors wird über eine Frage zu der eigenen Lernfähigkeit erreicht. Es wird dabei davon ausgegangen, dass je höher die eigene Wahrnehmung für das Erlernen von etwas ist, desto höher ist der Lernfaktor. Die initiale Durchführungsdauer wird über den Faktor  $\lambda$  ermittelt, welcher mit dem Grenzwert der Aufgabe multipliziert wird, um die initiale Durchführungsdauer zu berechnen. Daher wird der Faktor basierend auf einer Frage nach dem technischen Verständnis ermittelt. Wie bereits von DAR-EL et al. (1995a) dargestellt, basiert das auf der Grundlage, dass insbesondere die kognitiven Fähigkeiten zu Beginn eines Lernprozesses entscheidend für das Lernverhalten sind. Die Zuordnung der Selbsteinschätzung zu den Parametern erfolgt durch den dargestellten Zusammenhang in Abbildung 1.

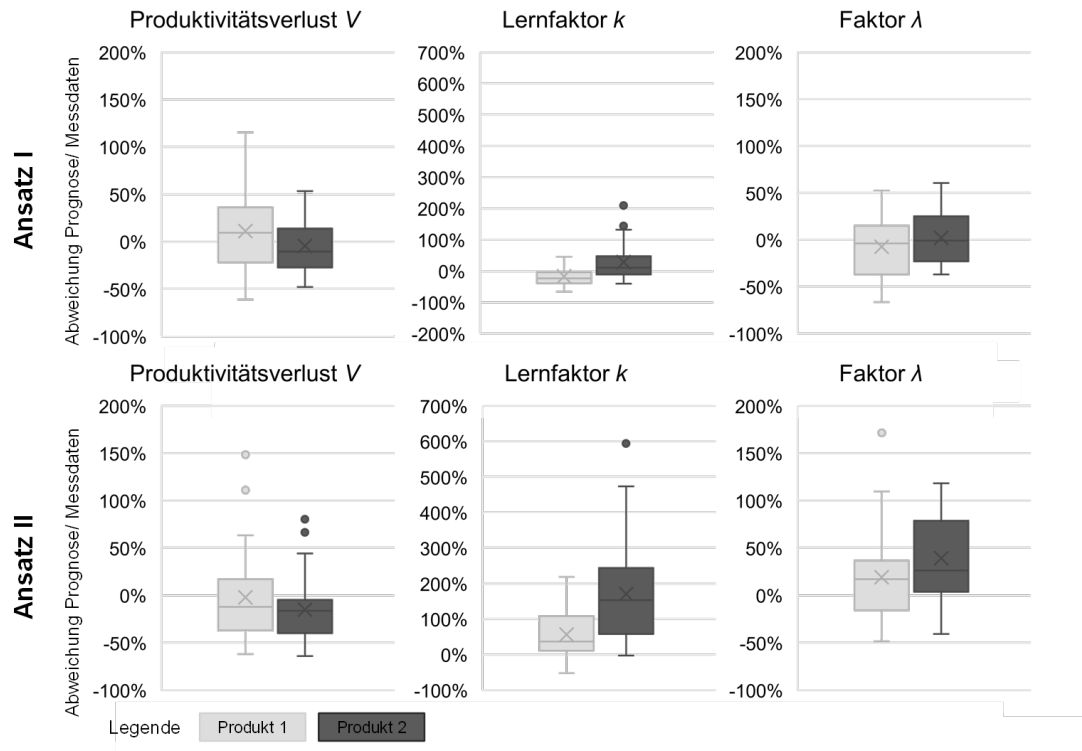
**Abbildung 1:** Parameterermittlung in Ansatz I – Selbsteinschätzung ohne Produktkenntnis**Ansatz II – Selbsteinschätzung nach Betrachtung der zu erlernenden Aufgabe**

Grundsätzlich erfordert dieser Ansatz, dass die Person eine Abschätzung trifft, nachdem sie sich mit dem Produkt und somit den zu erlernenden Tätigkeiten auseinandergesetzt hat. Bevor die Probanden in der Studie mit dem Erlernen der Tätigkeiten begonnen haben, wurden Ihnen zwei Fragen gestellt (siehe Abbildung 2). Mit den Fragen werden zwei Punkte auf der Lernkurven abgefragt bzw. adressiert. Durch die erste Frage wird die initiale Durchführungsdauer über den Faktor  $\lambda$  des Grenzwerts  $c$  bestimmt. Dadurch wurde die 5-stufige Skala in die Dauer der ersten Durchführung überführt. Durch die zweite Frage wird ein Punkt auf der Lernkurve ermittelt, welcher der selbst eingeschätzten Wiederholungszahl entspricht, bei dem eine bestimmte Wiederholungszeit erreicht wird. Mit Hilfe der so bestimmten Punkte kann anschließend die Lernkurve konstruiert und der Lernfaktor berechnet werden.

**Abbildung 2:** Parameterermittlung in Ansatz II – Selbsteinschätzung mit Produktkenntnis

#### 4. Diskussion der Ergebnisse

In der nachfolgenden Abbildung 3 wird die prozentuale Übereinstimmung der Prognosen mit den tatsächlichen Werten aus der Studie gegenübergestellt.



**Abbildung 3:** Vergleich der Abweichungen der Prognose durch Ansätze I und II mit den Daten aus der Studie mit  $n = 34$  Probanden (verschiedene Skalen beachten)

Anhand der Ergebnisse ist zu erkennen, dass der erste Ansatz zu einer höheren Genauigkeit führt. Die Prognose von Ansatz I ist sowohl für beide Parameter als auch für die auftretenden Verluste genauer. Aus den Ergebnissen von Ansatz II ist erkennbar, dass sich die Probanden bei Produkt 1 besser einschätzen, als bei Produkt 2. Weiterhin ist bei Ansatz II zu erkennen, dass sich die Probanden in Bezug auf den Lernfaktor überschätzen, wodurch die resultierenden Verluste etwas geringer prognostiziert werden, als tatsächlich auftreten.

#### 5. Limitationen und Fazit

In den Ansätzen zur Prognose werden die zu erlernenden Produkte nicht differenziert, lediglich die Grenzwerte der Produkte unterscheiden sich. Es werden für beide Produkte identische Werte für die Parameterzuweisung angenommen, um die Übertragbarkeit gleicher Werte zwischen verschiedenen Produkten zu überprüfen. Somit ist anzunehmen, dass eine individuelle Parameterzuweisung zu einer höheren Genauigkeit führen kann. Grundsätzlich wird herausgestellt, dass sich die Selbsteinschätzung als Ansatz zur Prognose von Produktivitätsverlusten eignet. Eine Bestätigung der Parameterzuweisungen muss anhand einer weiteren Studie durchgeführt werden, um die Übertragbarkeit der Werte in Bezug auf eine neue Stichprobe zu überprüfen. Für

den Ansatz II sind weitere Untersuchungen notwendig, um die Prognose mit Kenntnis über die Aufgabe (z. B. durch Berücksichtigung der Aufgabekomplexität) zu präzisieren. Grundsätzlich ist weitere Forschung im Bereich der Lernkurvenprognose erforderlich, um zusätzliche Einflussfaktoren in einer Prognose berücksichtigen zu können.

## 6. Literatur

- Anzanello MJ, Fogliatto FS (2011): Learning curve models and applications: Literature review and research directions. In: *International Journal of Industrial Ergonomics* 41 (5), S. 573–583. DOI: 10.1016/j.ergon.2011.05.001.
- Ast J, Möhle J, Bleckmann M, Nyhuis P (2022): Preliminary Study in a Learning Factory on Functional Flexibility of the Workforce. Conference on Learning Factories 2022. In: *SSRN Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.4071890.
- Ast J, Nyhuis P (2022): Approach for determining functional flexibility of the workforce based on training losses and employee specific risks. In: *Procedia CIRP* 107, S. 839–844. DOI: 10.1016/j.procir.2022.05.072.
- Azizi N, Zolfaghari S, Liang M (2010): Modeling job rotation in manufacturing systems: The study of employee's boredom and skill variations. In: *International Journal of Production Economics* 123 (1), S. 69–85. DOI: 10.1016/j.ijpe.2009.07.010.
- Bailey CD, McIntyre EV (1997): The relation between fit and prediction for alternative forms of learning curves and relearning curves. In: *IIE Transactions* 29 (6), S. 487–495. DOI: 10.1080/07408179708966355.
- Bailey CD, McIntyre EV (2003): Using Parameter Prediction Models to Forecast Post-Interruption Learning. In: *IIE Transactions* 35 (12), S. 1077–1090. DOI: 10.1080/714044438.
- Dar-El EM, Ayas K, Gilad I (1995a): A dual-phase model for the individual learning process in industrial tasks. In: *IIE Transactions* 27, S. 265–271.
- Dar-El EM, Ayas K, Gilad I (1995b): Predicting performance times for long cycle time tasks. In: *IIE Transactions* 27 (3), S. 272–281. DOI: 10.1080/07408179508936741.
- Erpenbeck J, von Rosenstiel L, Grote S, Sauter W (Hg.) (2017): Handbuch Kompetenzmessung. Erkennen, verstehen und bewerten von Kompetenzen in der betrieblichen, pädagogischen und psychologischen Praxis. Fachverlag für Wirtschafts- und Steuerrecht Schäffer. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
- Greiff M de (2001): Die Prognose von Lernkurven in der manuellen Montage unter besonderer Berücksichtigung der Lernkurven von Grundbewegungen. Zugl.: Duisburg, Univ.-Gesamthochsch., Diss., 2001. Als Ms. gedr. Düsseldorf: VDI-Verl. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe 2, Fertigungstechnik, 592).
- Jeske T, Schlick CM, Mütze-Niewöhner S (2014): Unterstützung von Lernprozessen bei Montageaufgaben. In: Schlick C, Moser K und Schenk M (Hg.): Flexible Produktionskapazität innovativ managen. Handlungsempfehlungen für die flexible Gestaltung von Produktionssystemen in kleinen und mittleren Unternehmen. Berlin: Springer Vieweg, S. 163–192.
- Malyusz L, Pem A (2014): Predicting Future Performance by Learning Curves. In: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 119, S. 368–376. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.03.042.
- Nembhard DA, Uzumeri MV (2000): An individual-based description of learning within an organization. In: *IEEE Trans. Eng. Manage.* 47 (3), S. 370–378. DOI: 10.1109/17.865905.
- Schlick C, Bruder R, Luczak H (2018): Arbeitswissenschaft. 4. Auflage. Berlin: Springer Vieweg.
- Wright TP (1936): Factors Affecting the Cost of Airplanes. *Journal of the Aeronautical Sciences*, 3(4), 122–128. In: *Journal of the Aeronautical Sciences* 3 (4), S. 122–128. DOI: 10.2514/8.155.

**Danksagung:** Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wird im Rahmen des Programms „Zukunft der Arbeit“ (Förderkennzeichen: 02L18A140) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.



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](mailto:info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de) · [www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](http://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de)

### **Screen design und Umsetzung**

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

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