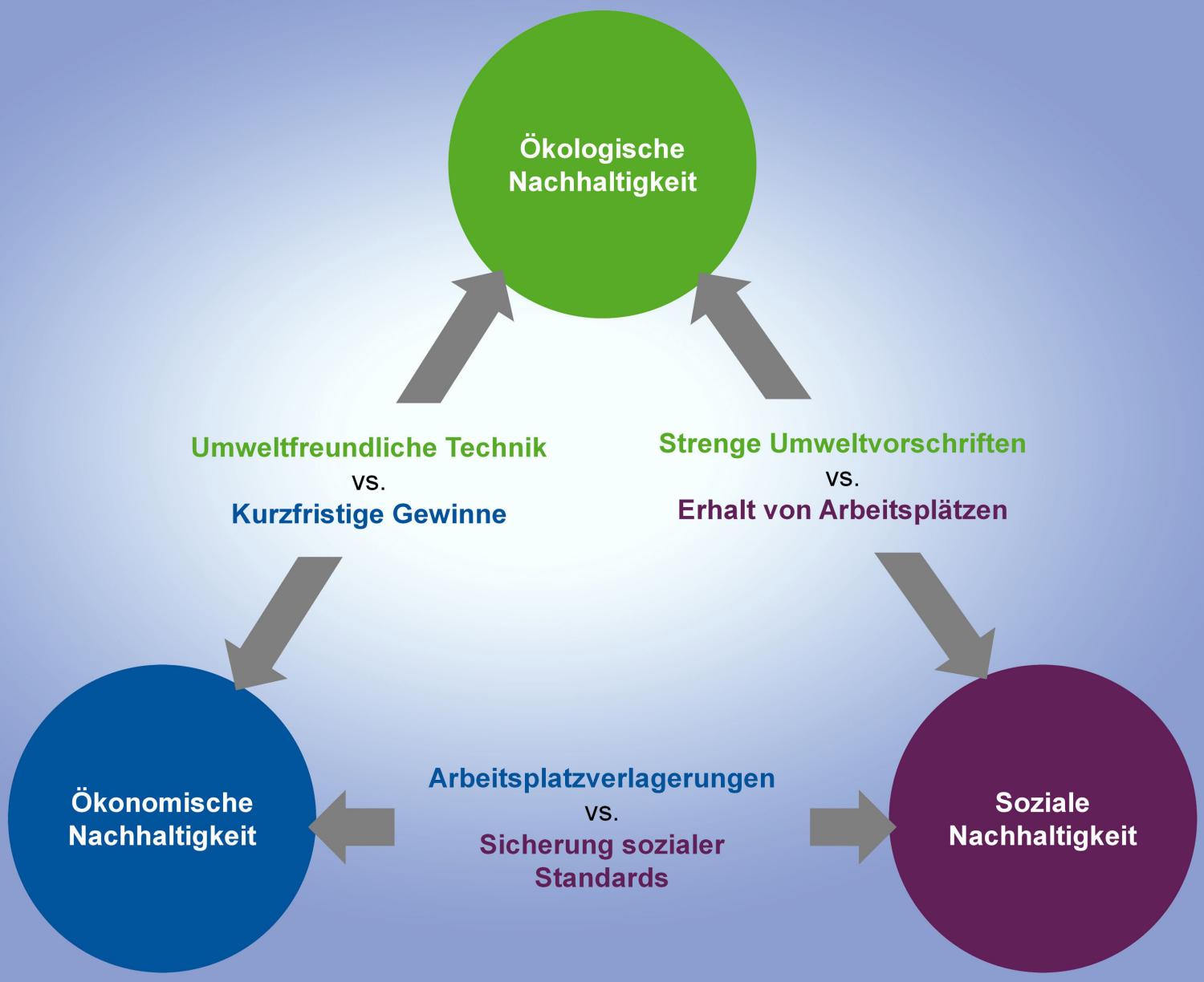


# WT WerkstattsTechnik



Grafik: FIR RWTH Aachen

## FABRIKPLANUNG

Risikoabhängige Auswahl der Veränderungsfähigkeitsarten

## CIRCULAR ECONOMY

Kreislauforientierte Produktarchitekturen

## INDUSTRIE 4.0

5G-basierte Steuerungsauslagerung für mobile Robotik

# Inhalte der Online-Ausgabe 1/2-2025

## Hauptthema: Resiliente, nachhaltige Wertschöpfung

P. Nyhuis – Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Produktions-technisches Zentrum Hannover (PZH), Leibniz Universität Hannover

### Resiliente Produktionssysteme gestalten und planen

Die zunehmende Dynamik und Volatilität des Geschäftsumfelds resultierten in einer gesteigerten Unsicherheit. Produzierende Unternehmen sehen sich in der VUCA-Welt, geprägt durch Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambivalenz, mit der Notwendigkeit kontinuierlicher Anpassung konfrontiert. Eine präzise Vorhersage zukünftiger Marktentwicklungen sowie daraus resultierender unternehmerischer Anpassungen ist jedoch nicht möglich. Um in diesem Umfeld wettbewerbsfähig zu bleiben und die Marktposition nachhaltig zu sichern, muss die Veränderungsfähigkeit integraler Bestandteil der Produktionssysteme sein. In Anbetracht der geschilderten Umstände erfährt der Aufbau resilenter Produktionssysteme, die auch bei unvorhersehbaren Marktveränderungen effiziente Abläufe gewährleisten, bei Unternehmen eine zunehmende Bedeutung.

S. 1

P. Nyhuis, M. Bleckmann, M. Demir, T. Jahangirkhani, A. Wenzel, M. Schmidt – IFA, Leibniz Universität Hannover

### Risikoabhängige Auswahl der Veränderungsfähigkeitsarten

Produzierende Unternehmen müssen sich in der dynamischen VUCA-Welt kontinuierlich anpassen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Arten der Veränderungsfähigkeit Flexibilität, Robustheit, Resilienz und Wandlungsfähigkeit unterstützen Fabrikssysteme dabei. Bisher wurden diese jedoch inkonsistent definiert und angewendet. Daher liefert dieser Beitrag klare Definitionen und integriert die Fähigkeiten in den Risikomanagementprozesse, um eine anwendungsspezifische Auswahl sicherzustellen. Dies erlaubt eine wirtschaftlich effiziente Aktivierung der Veränderungsfähigkeitsarten je nach Risiko und beachtet das Zusammenwirken auf verschiedenen Fabrikebenen.

S. 2

doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-6

L. Philipp, M. Schmidt – IFA, Leibniz Universität Hannover

### Fabrik für die Kreislaufwirtschaft

Der Übergang von der linearen Wirtschaft zur Kreislaufwirtschaft muss erfolgen, um dem Klimawandel entgegenzuwirken und eine effizientere Ressourcennutzung zu gewährleisten. Neben den veränderten Anforderungen an die Produkte, wie etwa die Demontagefähigkeit, stehen Fabriken und deren Gestaltung vor neuen Herausforderungen und Anforderungen. Im Rahmen dieses Beitrages wird ein erster Ansatz vorgestellt, mit dem Anforderungen aus der Kreislaufwirtschaft an die Fabrik identifiziert werden können.

S. 11

doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-15

G. Schuh, E. Schukat, N. Lehde genannt Kettler, F. von Danwitz – WZL der RWTH Aachen University

### Fabrikplanung für die Re-Assembly

Die Re-Assembly ist ein Befähiger der Upgrade-Circular-Economy. Neue Funktionen werden in das Produkt nach dessen End-of-Use integriert, um neue vollständige Nutzungszyklen zu ermöglichen. Allerdings birgt die Re-Assembly inhärente Unsicherheiten, die die Planung von Fabriken grundlegend verändern. Dieser Beitrag skizziert ein Konzept zur dynamischen Dimensionierung und Strukturierung von

Fabriken, um erhöhte Anpassungsgeschwindigkeiten durch proaktive Rekonfiguration zu ermöglichen.

S. 17

doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-21

G. Schuh, S. Schmitz, A. Hermann, T. Hommen, F. Wintzer – Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen

### Re-X-Assessment

Produzierende Unternehmen sehen sich mit zunehmenden Herausforderungen konfrontiert. In diesem Beitrag wird eine Vorgehensweise zur Bewertung der Upgrade-Circular-Economy-Fähigkeit vorgestellt. Im Rahmen dieses Vorgehens werden Produkte, Prozesse und Planung analysiert, um Handlungsempfehlungen für die Einführung einer Re-Assembly abzuleiten. Ein Bestandteil des Vorgehens sind Demontage-Workshops, für die die Re-X-Assessment-Linie der DFA-Demonstrationsfabrik Aachen eine geeignete Infrastruktur aufgebaut hat.

S. 26

doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-30

G. Schuh, A. Keuper, F. Hellwig, C. Ruschitzka – WZL der RWTH Aachen

### Kreislauforientierte Produktarchitekturen

Um den Herausforderungen des Klimawandels und der Ressourcenknappheit zu begegnen, müssen Konzepte der Kreislaufwirtschaft für neue Produkte etabliert werden. Bestehende Produktarchitekturen erschweren eine zirkuläre Wertschöpfung, weshalb neue Konzepte zur Gestaltung und Modularisierung nötig sind. Dieser Beitrag bewertet Ansätze zur Schaffung zirkulärer Produkte und entwickelt darauf aufbauend eine Methodik für die Modularisierung von Produktarchitekturen.

S. 34

doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-38

F. Schuldt, G. Schuh, R. Schrank – FIR e. V. an der RWTH Aachen

### Upgrade Engineering: Der neue ganzheitliche Ansatz

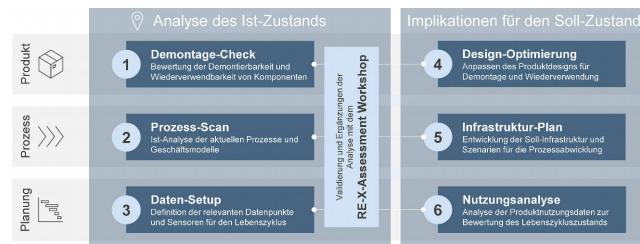
Unternehmen stehen zunehmend unter Druck, nachhaltig zu handeln. Gesellschaftliche Erwartungen, strenge gesetzliche Vorschriften und wirtschaftliche Zwänge führen zu Zielkonflikten, etwa zwischen ökonomischer und ökologischer Nachhaltigkeit. Dieser Beitrag definiert das Konzept des Upgrade Engineering, das technische Upgrades mit wirtschaftlicher und ökologischer Wertsteigerung verbindet. Die Nutzung dieses Konzepts soll Unternehmen helfen, den geschilderten Konflikt langfristig aufzulösen.

S. 42

doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-46

J. Schneider, M. Schmidt, P. Nyhuis – IFA, Leibniz Universität Hannover

### Ökologische Innovationsbewertung am Beispiel von Tailored Forming



Vorgehen des Re-X-Assessments. Grafik: RWTH Aachen

Die Entwicklung von Innovationen ist für Unternehmen essenziell. In diesem Beitrag wird eine quantitative Methode zur Bewertung nachhaltiger Werttreiber vorgestellt und auf die Innovation „Tailored

Forming“ angewandt. Die Auswertung zeigt Optimierungspotenziale auf, mit denen die Innovation aus einer nachhaltig wertorientierten Perspektive verbessert werden kann. **S. 49**  
 doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-53

N. Fjodorovs, S. Panz, P. Harder – IPH Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH

### **Soziotechnisches Informationssystem für resiliente Produktion**

Unternehmensresilienz gewinnt angesichts globaler Unsicherheiten an Bedeutung. Um auf externe Veränderungen und Krisen zu reagieren, müssen Unternehmen ihre Prozesse und Strukturen flexibel anpassen. In diesem Beitrag werden die relevanten Elemente des soziotechnischen Systems im Kontext von IT-Systemen identifiziert und definiert. Das Modell unterstützt Unternehmen dabei, die Komplexität von IT-Systemen zu durchdringen und resilienzfördernde Anpassungen effektiv umzusetzen. **S. 58**  
 doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-62

N. Künster, F. Schmidt, D. Palm – ESB Business School, Hochschule Reutlingen

### **Erfolgsfaktoren für Blockchain Anwendungen in modernen Lieferketten**

Nachverfolgungssysteme sind wichtig für das Management interner und externer Erwartungen in globalen Lieferketten. Diese werden komplexer und dynamischer. Viele wissenschaftliche Publikationen sehen in der Blockchain-Technologie eine Möglichkeit, dezentrale Tracking-Systeme in globalen Lieferketten zu implementieren. In der Praxis sind kaum erfolgreiche Anwendungen zu beobachten. Dieser Beitrag arbeitet die Gründe hierfür in Form von Herausforderungen und Erfolgsfaktoren von Blockchain-Systemen in globalen Lieferketten heraus. **S. 66**  
 doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-70

D. Kiefer, F. Grimm, J. Höllig, C. Van Dinther, T. Straub, G. Bitsch – ESB Business School, Reutlingen University

### **Künstliche Intelligenz und Produktionssteuerung**

Lange Rüstzeiten beeinträchtigen den CNC-Werkzeugbau. Sie führen zu Lieferverzögerungen und Produktionsengpässen, höheren Produktionskosten, limitierter Auftragsflexibilität, höheren Lagerkosten und ungenutzten Marktchancen. Erklärbare KI-Modelle identifizieren Muster in langen Rüstzeiten und zeigen Ansatzpunkte für Verbesserungen auf. So steigern sie die Effizienz und senken die Kosten. **S. 72**  
 doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-76

C. K. Merz, M. Glattes – Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart

### **Anwendung von Künstlicher Intelligenz in der Intralogistik**

Die Intralogistik stellt ein bedeutendes Anwendungsfeld für KI dar. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer empirischen Online-Umfrage zum Thema KI in der Intralogistik vorgestellt. Der Fokus liegt auf der Darstellung des Status quo bei Anwendungsfällen, der Auswahl und den Hemmnissen von KI-Anwendungen. Neben der Präsentation der wichtigsten Ergebnisse der Umfrage werden Handlungsempfehlungen aus den gewonnenen Erkenntnissen abgeleitet. **S. 79**  
 doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-83

T. Lackner, J. Hermann, D. Palm – ESB Business School, Hochschule Reutlingen

### **5G-basierte Steuerungsauslagerung für mobile Robotik**

Private 5G-Campusnetzwerke bieten eine zuverlässige Kommunikationslösung für Autonome Mobile Roboter, insbesondere durch hohe Upload-Raten und niedrige Latenzen. Der Beitrag untersucht die Auslagerung rechen- und energieintensiver Steuerungsprozesse von Roboterflotten über private 5G-Netze. Ziel ist eine höhere Energieeffizienz und optimierte Einsatzzeiten. **S. 86**  
 doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-90

S. Seifermann, J. Kraft; M. Müller – Hochschule Mannheim; SFM-Systems GmbH, Darmstadt

### **KPI-Standard-Set im Shopfloor-Management**

Bei der Ersteinführung und Weiterentwicklung von Shopfloor-Management fehlen standardisierte Kennzahlen. Kennzahlensysteme auf Werkstattebene sind in der Auswahl, Sondierung und Spezifikation relevanter Kennzahlen mit einem hohen Zeit- und Personalaufwand verbunden. Um den Aufwand zu senken, wird ein KPI-Standard-Set vorgestellt, mithilfe dessen eine Grundlage geschaffen wird. Die Bereitstellung eines passenden KPI-Frameworks ermöglicht eine effiziente und unternehmensspezifische Konfiguration. **S. 92**  
 doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-96

G. Schuh, B. Haase, J. M. Schäfer, M. Oly, M. Borutta – WZL der RWTH Aachen

### **Potenzialanalyse zum Thema Co-Produktion**

Das volatile Marktumfeld produzierender Unternehmen erfordert ein resilientes Produktions- und Lieferkettensystem, um im Spannungsfeld der bestehenden Einflussfaktoren wirtschaftlich agieren zu können. Die Co-Produktion bietet produzierenden Unternehmen großes Potenzial, um durch Integration der Kunden in die wertschöpfenden Prozesse die Resilienz ihrer Produktion zu steigern. Dazu wird eine Vorgehensweise für eine Potenzialanalyse hergeleitet, die das Potenzial der Co-Produktion durch additive Fertigung in diesem Spannungsfeld bewertet. Die Ergebnisse sollen interessierten Unternehmen die Potenziale der Co-Produktion aufzeigen. **S. 106**  
 doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-110

E. T. Koopmann, F. Landwehr, C. Kaminsky; H. Zeidler – Mercedes-Benz AG Werk Sindelfingen; Technische Universität Bergakademie Freiberg, Institut für Maschinenelemente, Konstruktion und Fertigung

### **Hybrid-additive Fertigung mittels Auftragschweißen**

Die steigende Nachfrage nach Produktindividualität in der Automobilindustrie generiert neue Anforderungen an die Komplexität der Werkzeuge. Speziell für der Herstellung von Werkzeugkomponenten weist dabei die hybrid-additive Fertigung mittels Laserauftragschweißen ein großes Potenzial auf. Zur Vorhersage von im Prozess auftretenden Verformungen und Eigenspannungen wird in dieser Arbeit ein Finite-Elemente-Modell in Ansys entwickelt und anhand von experimentellen Versuchen validiert. **S. 114**  
 doi.org/10.37544/1436-4980-2025-01-02-118



# Resiliente Produktionssysteme gestalten und planen

**D**ie zunehmende Dynamik und Volatilität des Geschäftsumfelds resultierten in einer gesteigerten Unsicherheit. Produzierende Unternehmen sehen sich in der VUCA-Welt, geprägt durch Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambivalenz, mit der Notwendigkeit kontinuierlicher Anpassung konfrontiert. Eine präzise Vorhersage zukünftiger Marktentwicklungen sowie daraus resultierender unternehmerischer Anpassungen ist jedoch nicht möglich. Um in diesem Umfeld wettbewerbsfähig zu bleiben und die Marktposition nachhaltig zu sichern, muss die Veränderungsfähigkeit integraler Bestandteil der Produktionssysteme sein. In Anbetracht der geschilderten Umstände erfährt der Aufbau resilenter Produktionssysteme, die auch bei unvorhersehbaren Marktveränderungen effiziente Abläufe gewährleisten, bei Unternehmen eine zunehmende Bedeutung.

Das Umfeld, in dem produzierende Unternehmen agieren, unterliegt einem rasanten Wandel, insbesondere durch die Globalisierung von Waren- und Informationsströmen, die durch Fortschritte in den Bereichen Logistik, Informatik und Digitalisierung vorangetrieben wird. Bis Ende 2019 konnte eine deutliche Spezialisierung einzelner Akteure auf dem Weltmarkt auf deren Kernkompetenzen festgestellt werden, wodurch ausgeprägte wechselseitige Abhängigkeiten entstanden. Spätestens seit der Corona-Pandemie, dem Krieg in der Ukraine und den damit einhergehenden Energie- und Rohstoffknappheiten werden die wechselseitigen globalen Abhängigkeiten in ein neues Licht gerückt. In der Folge stehen in diversen produzierenden Unternehmen nicht mehr die Möglichkeiten der Auslagerung von Unternehmensbestandteilen im Fokus, sondern die Frage der nachhaltigen Absicherung gegen derartige Probleme. Immer mehr Unternehmen sehen sich mit der Fragestellung konfrontiert, ob beispielsweise eine Erhöhung der Bestände zur Kompensation etwaiger Materialflussabrisse sinnvoll oder ob doch eher eine Überarbeitung des Produktionskonzepts erforderlich ist. Um den derzeitigen, durch eine hohe Reaktivität geprägten Umgang der Unternehmen mit derart großen Störereignissen zu überwinden, ist es erforderlich, unternehmerische Entscheidungen hinsichtlich der Produktion sowie der Fabrikplanung einer risikoabhängigen Bewertung zu unterziehen. Eine robuste und nachhaltige Gestaltung von Fabriken und des Produktionsprozesses erfordert in allen Planungsphasen eine Planung von innen nach außen, um damit den Anforderungen und Restriktionen des Wertschöpfungsprozesses gerecht werden zu können.

Die genannten Störereignisse repräsentieren zwar Extremzonen des turbulenten Produktionsumfelds, doch Warnungen vor nächsten Krisen – sei es durch den Klimawandel, durch Unsicherheiten des Finanzsystems oder auch einen zunehmenden Protektionismus – sind bereits gegenwärtig. Dies verdeutlicht, dass sich die Frequenz disruptiver Einschläge auf Unternehmen vermutlich erhöhen wird. Um zukünftig ein erfolgreiches Partizipieren auf volatilen Märkten zu ermöglichen, ist eine nachhaltige Umstrukturierung und auch Digitalisierung der Produktionssysteme erforderlich, durch die ein Resilienzniveau erreicht werden kann, der Unternehmen widerstandsfähiger gegen Krisen macht.

Im Rahmen des „Expertenforum PM“ bietet sich die Möglichkeit der Diskussion dieser Themen mit hochrangigen Vertretern aus Wissenschaft und Industrie auf dem Weg zu resilienten, digitalen und nachhaltigen Produktionssystemen von morgen. Die Auswahl mehrheitlich wissenschaftlich begutachteter Beiträge in dieser Ausgabe der „wt Werkstatttechnik online“ widmet sich bereits einigen dieser Themen sowie damit verbundenen Herausforderungen und Fragestellungen. Den Autoren der Fachbeiträge sei an dieser Stelle für ihr Mitwirken in der vorliegenden Ausgabe herzlich gedankt.



Prof. Dr.-Ing.  
habil. Peter Nyhuis

ist stellvertretender Institutsleiter am Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Produktionstechnisches Zentrum Hannover (PZH) der Leibniz Universität Hannover.  
Foto: Christian Wyrwa