

The logo for iWePro, featuring a stylized lowercase 'i' in a green square followed by the text 'WePro' in white on a dark blue background.

iWePro

# iWePro

INTELLIGENTE KOOPERATION  
UND VERNETZUNG FÜR  
DIE WERKSTATTFERTIGUNG

# iWePro – Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion

## Überblick

### IWEPRO

- Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion
- Verbundprojekt der BMBF Fördermaßnahme »Forschung für die Produktion von morgen«
- Beitrag zum Zukunftsprojekt »Industrie 4.0«

### VORHABEN

- Potenziale der dezentralen Fertigungssteuerung aufzeigen
- Planungs- und Steuerungsebene mit realer Fertigungsebene verbinden
- Interaktion zwischen Fertigungsressourcen, Produkten und Werkern untersuchen
- Technische Lösungen für cyber-physische Produktionsunterstützung entwickeln
- Strategien zur Einführung und Migration ableiten
- Mitarbeiter beteiligen und vorbereiten

### PROJEKTZIELE

- Erschließung innovativer Produktionskonzepte
- Neue Lösungen für die Produktion auf Ebene der Werkstattfertigung
- Flexible Produktionsstrukturen mit autonom agierenden Komponenten
- »Smarte Werkstattfertigung« bestehend aus dezentralen Strukturen mit kleinen Regelkreisen
- Effiziente, ergebnisorientierte Kommunikation und vernetzte Kooperation aller am Produktionsprozess beteiligten Ressourcen und Mitarbeiter

### VORGEHEN

- Begleitung der technischen Entwicklungsarbeiten von soziologischer Arbeitsforschung
- Beteiligung von Management sowie Produktionsmitarbeitern an der menschengerechten Gestaltung der Arbeit
- Reibungslose Einbindung der Akteure in das Fertigungssystem
- Vorbereitung von Qualifizierungsperspektiven
- Prototypische Demonstration und Bewertung der selbstorganisierenden Werkstattfertigung

## FORSCHUNGSAUFGABEN

- Referenzarchitektur für smarte selbstorganisierende Werkstattfertigung
- Modelle zur Simulation des Verhaltens von Werkstattfertigung in cyber-physischen Produktionssystemen (CPPS)
- Adaptive dezentrale Fertigungsplanung und -steuerung
- Eingebettete Intelligenz für drahtlos kommunizierende Produktträger
- Interoperabilität von Werkzeugmaschinen mit intelligenten Komponenten
- Arbeitsorganisatorische Systemgestaltung

## HINTERGRUND

- Werkzeuge zur Modellierung und Simulation
- Adaptives Fertigungsmanagementsystem
- Geeignete Kommunikations-Infrastruktur
- Wissensbasierte selbstlernende Werkstattsteuerung
- Autonome dezentrale Software-Agenten
- Interoperable Werkzeugmaschinen

## AUSBLICK

Durch ihren Modellcharakter sind die Ergebnisse über dieses Forschungsvorhaben hinaus nutzbar und können für weitere Systemanbieter und Branchen zur Herstellung von variantenreichen, hochwertigen Produkten in der metallverarbeitenden Industrie sowie für Zulieferfirmen im Maschinenbau, im Fahrzeugbau oder in der Medizintechnik eingesetzt werden. Die selbstorganisierende Werkstattfertigung bietet das Potenzial des breiten Transfers in kleine und mittelständische Fertigungsbetriebe.

## ERGEBNISSE

- **Effiziente Produktionsplanung**  
Job Shop Scheduling und zentrale Belegungsplanung
- **Selbstorganisierende Werkstattproduktion**  
Rechner-Agenten-System und dezentrale Produktionssteuerung
- **Intelligente Werkzeugmaschinen**  
Integration von Maschinen und Anlagen in die intelligente selbstorganisierende Produktion
- **Vernetzte Intralogistik in der Produktion**  
Transportmanagementsystem und innerbetriebliche Logistik
- **Intelligente Vernetzung in der Produktion**  
EDV Struktur und Schnittstellenlösung, RFID
- **Auslegung der Produktionsumgebung**  
Simulation und Emulation der Opel-Getriebefertigung
- **Anwendungsbezogene Studie**  
Einsatzgrenzen von Steuerungsstrukturen in der Werkstattfertigung
- **Soziotechnische Systemgestaltung**  
Perspektiven von Arbeit bei iWePro

# Inhaltsverzeichnis

## iWePro

### INTELLIGENTE SELBSTORGANISIERENDE WERKSTATTPRODUKTION

- **Produktion der Zukunft** 6  
Einleitung
- **Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion** 8  
Technologieentwicklung  
Implementierung

### TECHNOLOGIEN FÜR DIE PRODUKTION DER ZUKUNFT

- **Effiziente Produktionsplanung** 14  
Job Shop Scheduling und zentrale Belegungsplanung  
*flexis*
- **Selbstorganisierende Werkstattproduktion** 18  
Rechner-Agenten-System und dezentrale Produktionssteuerung  
*Fraunhofer IPK*
- **Intelligente Werkzeugmaschinen** 24  
Integration von Maschinen und Anlagen in die intelligente selbstorganisierende Produktion  
*DMG MORI*
- **Vernetzte Intralogistik in der Produktion** 28  
Transportmanagementsystem und innerbetriebliche Logistik  
*SAFELOG*
- **Intelligente Vernetzung in der Produktion** 32  
EDV Struktur und Schnittstellenlösung, RFID  
*TAGnology RFID*
- **Auslegung der Produktionsumgebung** 36  
Simulation und Emulation der Opel-Getriebefertigung  
*SimPlan*
- **Anwendungsbezogene Studie** 40  
Einsatzgrenzen von Steuerungsstrukturen in der Werkstattfertigung  
*Opel Automobile*





## ARBEITSSOZIOLOGISCHE ASPEKTE IN DER PRODUKTION DER ZUKUNFT

- **Soziotechnische Systemgestaltung** 46  
Perspektiven von Arbeit bei iWePro  
SOFI Göttingen

## FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG FÜR DIE PRAXIS

- **Experteninterview** 58  
Dr.-Ing. Benjamin Kuhrke  
Opel Automobile  
Eckhard Hohwieler  
Fraunhofer IPK  
Dr. disc. pol. Knut Tullius  
SOFI Göttingen

## UNTERNEHMENSPROFILE

- **Konsortium** 64
- **flexis** 66  
Planung und Steuerung  
der Supply Chain
- **SimPlan** 68  
Simulationslösungen  
für Produktions- und Logistikprozesse
- **TAGnology RFID** 70  
SMART Solutions
- **Fraunhofer IPK** 72  
Technologien für die  
Digital Integrierte Produktion
- **SOFI Göttingen** 74  
Soziologisches Forschungsinstitut
- **Opel Automobile** 76  
Flexible und smarte Produktion
- **SAFELOG** 78  
Intralogistik: Effizient und fehlersicher
- **DMG MORI** 80  
Software Solutions

# Produktion der Zukunft Einleitung





## FLEXIBLE PRODUKTION

**Industrie 4.0 verspricht neben mehr Vernetzung, Transparenz und Intelligenz vor allem eine hohe Flexibilität in der Produktion. Zukünftig soll es möglich sein, bei stabilen Kosten auf verschiedene Produkt- und Prozessvarianten schnell und reibungsarm umzustellen. Im Idealfall sollen selbst Klein- und Kleinstaufträge, bis hin zur Losgröße eins, realisierbar werden, ohne dass die Produktionskosten und -zeiten stark ansteigen. Weiterhin haben produzierende Unternehmen oftmals mit schwankenden Nachfragen und Unterauslastungen der Werkzeugmaschinen zu kämpfen.**

Fest verkettete Linien sind bei der Fertigung von großen Losen in der Regel als optimal anzusehen aber stoßen bei den hohen Flexibilitätsanforderungen an ihre Grenzen. Sie sind aufgrund variierender Taktzeiten oftmals nicht gleichmäßig ausgelastet. Durch die Umstellung der Fertigungsstruktur auf eine Werkstattfertigung – also eine Auflösung der Verkettung – verspricht man sich eine erhöhte Maschinenauslastung und Flexibilität. In einer Werkstattfertigung werden Maschinen für gleiche Fertigungsaufgaben örtlich gruppiert, zum Beispiel mehrere Drehmaschinen zu einer Drehmaschineninsel. Die Reihenfolge der Bearbeitungsschritte kann bei Bedarf variabel gestaltet werden. Fällt eine Maschine aus, steht nicht mehr die gesamte Linie still. Weiterhin können in einer Fertigung nach dem Werkstattprinzip Maschinengruppen für verschiedene Fertigungsaufgaben unterschiedlich groß ausgelegt und zeitintensive oder kritische Bearbeitungsschritte mit mehr Kapazitäten ausgestattet werden.

Die Werkstattfertigung bringt neue Herausforderungen mit sich. Sie finden sich unter anderem in dem komplexeren Materialfluss, einem erhöhten Planungs- und Steuerungsaufwand, einem

aufwendigeren Materialtransport durch Wegfall der starren Verkettung, einem potentiell erhöhten Rüstaufwand für Maschinen sowie einem höheren logistischen Aufwand für die Bereitstellung von Werkzeugen und Spannmitteln.

## INTELLIGENTE SELBSTORGANISIERENDE WERKSTATTPRODUKTION

Um den beschriebenen Herausforderungen zu begegnen, müssen neue Lösungen zur Unterstützung der Mitarbeiter bei der Produktionsplanung und -steuerung in Werkstattumgebungen entwickelt werden. In dem Forschungsprojekt iWePro entstanden IT-Werkzeuge, die es ermöglichen zu evaluieren, ob eine Umstellung auf eine Werkstattstruktur für den Bereich der Getriebefertigung, aber auch andere Fertigungsbereiche, zielführend ist. Ein Software-Agenten-basiertes Assistenzsystem wurde mit einer zentralen Maschinenbelegungsplanung kombiniert und ermöglicht eine hohe Transparenz der Fertigung sowie den Eingriff der Mitarbeiter in die Belegungsplanung. Dieser Ansatz wurde im Projekt mit Hilfe von Simulationen erprobt und für zukünftige Nutzer erfahrbar gemacht.

iWePro stellt vor allem den Assistenz- und nicht den Steuerungscharakter in den Vordergrund. Eine autonome Maschinenbelegungsplanung durch die Software-Agenten ist nicht das Ziel. Die Mitarbeiter stehen im Mittelpunkt und treffen die Entscheidung zur Umplanung von Fertigungsaufträgen falls notwendig. Das Assistenzsystem gibt hierfür Empfehlungen und versorgt die Mitarbeiter mit allen notwendigen Informationen auf ihren Smart Devices. iWePro macht eine zukünftige Werkstattproduktion gemäß Industrie 4.0 mit Hilfe des entwickelten Demonstrators erfahrbar und stellt eine Simulationsumgebung zur Verfügung, die verschiedenste Fertigungsszenarien und Planungs- und Steuerungsansätze durchspielen lässt.

# Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion Technologieentwicklung

**Das Forschungsprojekt iWePro setzte mit seiner Zielstellung auf der Ebene der Werkstattfertigung an, da hier durch flexible Produktionsstrukturen mit autonom agierenden Komponenten erhebliche Vorteile gegenüber zentral gesteuerten starren Strukturen geschaffen werden können. Eine solche »smarte Werkstattfertigung« besteht aus dezentralen Strukturen mit kleinen Regelkreisen und basiert auf einer effizienten, ergebnisorientierten Kommunikation und vernetzten Kooperation aller am Produktionsprozess beteiligten Mitarbeiter und Ressourcen. Die Mitarbeiter werden zukünftig in der Lage sein, situationsorientierte Entscheidungen zu treffen. Auf Basis intelligent vernetzter Produkte, Produktionsmaschinen und weiterer Ressourcen, die sich zu großen Teilen selbst organisieren.**

Die entwickelten Lösungen ermöglichen, dass intelligent vernetzte Produkte, Produktionsmaschinen, Transportsysteme und weitere Ressourcen untereinander Auftrags- und Fertigungsinformationen austauschen, sowie aufgaben- und situationsorientiert mit den Werkern kooperieren. Diese smarte Werkstattfertigung ermöglicht eine zeitgerechte Fertigstellung für die anstehenden Fertigungsaufträge. Zentrale Aspekte sind hierbei die Einbindung der Mitarbeiter für planende, steuernde und überwachende Aufgaben in einem cyber-physischen Produktionssystem sowie die methodische Unterstützung für die partizipative Gestaltung und Einführung solcher Lösungen. Durch die Anbindung der virtuell repräsentierten Objekte mit ihren realen Gegenständen soll eine Synchronisation von zentral und dezentralen Steuerungs- und Überwachungsfunktionen erreicht werden. Es ist notwendig, dass die mit diesem System arbeitenden Beschäftigten auf ihre neue Aufgabe vorbereitet werden. Aus diesem Grund wurde in iWePro auf soziotechnische Fragestellungen besonderer Wert gelegt.

## INTELLIGENT UND SELBSTORGANISIEREND VERNETZT

Im Projekt iWePro wurde eine autonome Steuerungslösung entwickelt, die durch flexible Anpassung an die jeweiligen Fertigungsbedingungen eine ressourceneffiziente Produktion unterstützt. Dies wurde mit übergeordneten Planungssystemen sowie durch Interaktion der Mitarbeiter mit den realen Komponenten des cyber-physischen Produktionssystems realisiert. Der gewählte Ansatz wurde im Projekt in einem partizipativen Systementwicklungsprozess umgesetzt. Mit Hilfe von 3D-Simulationen wurde dieser für zukünftige Nutzer erfahrbar gemacht. Weiterhin wurde die Möglichkeit geschaffen, Simulationen der Werkstattfertigung nach den neuen Ansätzen schnell durchzuführen. Es entstand eine modulare Systemarchitektur. Im Einzelnen handelt es sich um die folgenden sechs Teilsysteme:

- **ZFS – Zentrales Fertigungsplanungssystem:**  
Dieses Teilsystem berechnet eine global optimale Maschinenbelegungsplanung für mehrere Tage bis Wochen. Eingangsdaten hierfür sind beispielsweise der Materialbedarf der Montage, die Fertigungsprozesse, das Maschinenmengengerüst, die Flexibilität der Maschinen und die Stückzeiten der Produkte.
- **RAS – Rechner-Agenten-System:**  
Das RAS ist die zentrale, steuernde Instanz von iWePro. Hier sind alle relevanten Objekte des Shop Floor als Software-Agenten repräsentiert. Die Agenten verhandeln miteinander die jeweils anstehenden Schritte und schreiben die resultierenden Bearbeitungsaufträge in die Datenbank, welche eine Simulation im Folgenden verarbeitet oder – im Fall einer realen Fertigung – durch die Mitarbeiter erledigt werden.



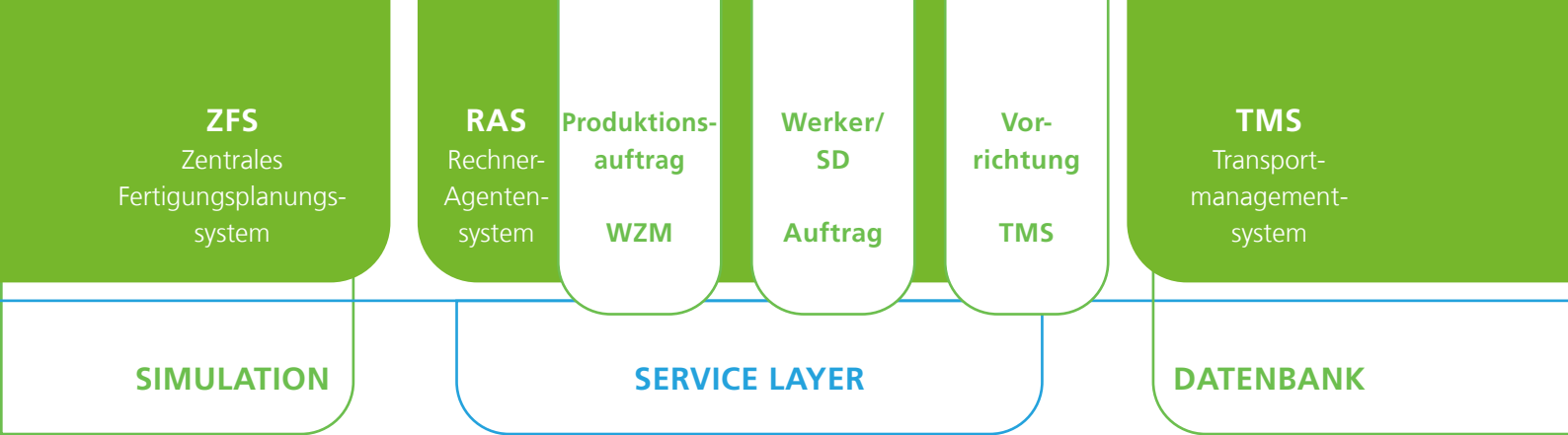


Abb. 1: Systemarchitektur

■ **Simulation:**

Die Simulation der Software Demo3D repräsentiert das virtuelle Abbild einer Fertigung. Hierbei setzt sie die Bearbeitungsaufträge aus dem RAS um und schreibt Statusänderungen aller Ressourcen über den Service Layer in die Datenbank. Sie ermöglicht eine Erprobung der Fertigung nach den neuen Ansätzen.

■ **Datenbank:**

SQL-basiert werden hier alle Stammdaten sowie aktuelle Status der Ressourcen auf dem Shop Floor bzw. in der Simulation gespeichert. Ein direkter Zugriff auf die Datenbank findet nur über den Service Layer statt, welcher den anfragenden Teilsystemen diese Informationen bereitstellt. Eine Historie der Statusänderungen für die Berechnung von Key-Performance-Indikatoren (KPI) wird ebenfalls angelegt.

■ **Service Layer:**

Diese zentrale, auf Webservices basierende, Middleware verbindet alle Teilsysteme miteinander und mit der Datenbank. Die im Demonstrator und bei Einsatz auf einem realen Shop Floor existierenden physischen Objekte werden ebenfalls über den Service Layer angebunden. Weiterhin bietet er eine sog. Triggerfunktionalität. Dadurch werden relevante Objekte im System über Änderungen in der Datenbank informiert ohne diese zyklisch abfragen zu müssen. Hierzu melden sich die Objekte beim Service Layer auf die sie interessierenden Felder in der Datenbank an und werden bei entsprechenden Änderung sofort darüber informiert.

■ **TMS – Transportmanagementsystem:**

In iWePro wird zunächst grundlegend in zwei Kategorien von Transporten von Produktionsaufträgen unterschieden: kurze Wege von Maschine zu Maschine und lange Wege zwischen verschiedenen Fertigungsbereichen (z. B. Um-pack- oder End-of-line-Bereich). Während die kurzen Transporte durch die Mitarbeiter durchgeführt werden, übernimmt ein intelligentes Transportmanagementsystem die Planung und Durchführung der langen Transporte. Es entscheidet selbständig, ob ein Transport durch ein fahrerloses oder mitarbeitergesteuertes Transportmittel stattfinden soll. Weiterhin können ggf. auch Züge aus mehreren Fahrzeugen gebildet werden. Somit kann die Logistik in der Fertigung umfassend optimiert werden.

**MITARBEITERORIENTIERUNG**

Der iWePro-Ansatz stellt den Menschen in den Mittelpunkt, das Assistenzsystem unterstützt ihn adaptiv und gibt Empfehlungen. Die Entscheidung über eine Umplanung trifft jedoch der Mitarbeiter selbst. Durch die Einführung eines Assistenzsystems, wie es in iWePro entstanden ist, wurde eine umfassende Transparenz der Fertigung für die Mitarbeiter geschaffen. Gleichzeitig sind dafür neue Denkweisen, mehr Verantwortung für die Disposition und »mehr Mitdenken« in der Fertigung notwendig. Es wird flexibler auf immer stärker schwankende Nachfragen, eine steigende Variantenvielfalt und kleinere, häufig variierende Losgrößen reagiert. Mit seiner neuartigen Kombination aus global optimierter Maschinenbelegungsplanung und dem RAS, welches Transparenz schafft und Vorschläge zur lokalen Optimierung gibt, leistet iWePro einen wichtigen Beitrag zur Gestaltung und Erprobung der Ansätze von Industrie 4.0.

# Intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion Implementierung

## SZENARIO AUTOMOBILBAU

In iWePro wurde ein Assistenzsystem geschaffen, welches sich für viele verschiedene Branchen anpassen lässt. Als konkretes Anwendungsszenario zur Teilefertigung mit hohem Variantenreichtum wurde eine Getriebefertigung des Automobilbaus ausgewählt. In diesem abgegrenzten Fertigungsbereich wurde das Szenario für die zukünftige Werkstattfertigung mit intelligenten, kommunizierenden Komponenten konzipiert und modelliert. Anhand von Simulationen wurde das Zusammenspiel einer dezentralen, verteilten Produktionssteuerung mit den Anlagenkomponenten sowie das Verhalten des Gesamtsystems untersucht. Dafür wurden im Projekt unter anderem Werkzeuge zur Modellierung und Simulation entwickelt.

## PROTOTYPISCHE IMPLEMENTIERUNG

Die prototypische Umsetzung und Demonstration der neuen selbstorganisierenden Werkstattfertigung erfolgt in dem beschriebenen Anwendungsszenario unter Einbindung des Werkstattpersonals. Es wurde ein Migrationskonzept erarbeitet, welches ganzheitlich Technik, Geschäftsprozess, Qualifizierung und weitere soziotechnische Aspekte betrachtet.

Mit dem Assistenzsystem nimmt die Fertigungsleitung zunächst wie gewohnt eine zentrale Maschinenbelegungsplanung vor. Die Planung wird den Mitarbeitern anschließend auf ihren Smart Devices zur Verfügung gestellt. Wenn notwendig, können Mitarbeiter jederzeit systemunterstützt dynamische Anpassungen vornehmen. Entsteht während der Produktion Änderungsbedarf, kann der Fertigungsplan mit geringem Aufwand und Unterstützung des Assistenzsystems modifiziert werden. Vernetzte Technologien machen es möglich, jedem Mitarbeiter die vollständige Fertigungsplanung direkt an

seinem Arbeitsplatz auf dem Shop Floor bereitzustellen. Darüber hinaus werden weitere Informationen wie Lageplan und KPI bereitgestellt. Somit wird der Zeitaufwand für Einsatzbesprechungen reduziert und Planänderungen können unkompliziert und ohne Umwege an die Mitarbeiter kommuniziert werden.

Das Assistenzsystem zeigt entlang einer Prozesskette vom unternehmensweiten Auftragsmanagement bis zur Arbeit an der Maschine, wie ein Paradigmenwechsel in der Produktionsorganisation, -planung und -steuerung aussehen könnte. Dabei werden die Aufgaben von Mitarbeitern in unterschiedlichen Bereichen eines produzierenden Unternehmens neu definiert. Die erhöhte Flexibilität wird durch Transparenz aufgefangen. So werden Unternehmen fit für die kundenindividuelle Produktion.

### Simulation

Um einen realen Montagebedarf simuliert zu fertigen, wurde aus den einzelnen Modulen eine Simulationsumgebung aufgebaut. Für die Simulationen können verschiedenste Kombinationen aus Steuerungsansätzen, Fertigungsstrukturen, Montageprogrammen und Maschinenmengengerüsten (Anzahl und Flexibilität der Werkzeugmaschinen) und verfügbarem Personal evaluiert werden.

Bei den Simulationsläufen werden KPI wie Maschinenauslastung, Personalauslastung, Work in Progress oder die Overall Equipment Efficiency berechnet und ermöglichen somit Abschätzungen bzgl. späterer realer Fertigungslinien und ihrer Auslegung.

Ein großer Vorteil dieser Fertigungssimulation ist, dass diese in einer deutlich höheren Geschwindigkeit als der real benötigten Zeit durchgeführt werden kann. Weiterhin ist es möglich, mehrere Simulationsumgebungen aufzubauen und somit



Abb. 2: Messestand Hannover Messe 2016

Simulationsläufe parallel auszuführen. So können in kurzer Zeit verschiedenste Szenarien evaluiert werden.

### Hybrider Demonstrator

Der in iWePro geplante tiefgreifende Paradigmenwechsel auf verschiedenen Ebenen führt auch zu der Frage nach der Akzeptanz durch die Mitarbeiter. Hierzu wurde das Konzept des sog. Hybriden Demonstrators entwickelt. Er ermöglicht das Erfahren und Erproben einer Fertigung nach den iWePro-Konzepten. Dazu wird eine Getriebefertigung mit Hilfe der Software Demo3D in Kombination mit dem Assistenzsystem simuliert. Physische Interaktionsmöglichkeiten bieten dem Mitarbeiter die Option mit dem System zu agieren.

Im Projekt fanden von Anfang an Workshops und Expertendiskussionen mit den potentiellen Nutzern statt. Die Produktionsleitung sowie -mitarbeiter wurden an der Gestaltung beteiligt, um Sie reibungslos als Akteure in das Fertigungssystem einzubinden und Qualifizierungsperspektiven vorzubereiten. Hierfür wurden die Entwicklungsarbeiten von soziologischer Arbeitsforschung begleitet. Entstandene Prototypen in verschiedenen Stadien wurden mit Hilfe des Hybriden Demonstrators zusammen erprobt, um Erfahrungen zu sammeln, eventuelle Schwachstellen aufzudecken und gegebenenfalls Modifikationen vorzunehmen.

Die Ergebnisse wurden erstmalig auf der Hannover Messe 2016 präsentiert (siehe Abb. 2).

### Realer Shop Floor

Bei dem Einsatz des Assistenzsystems in einer dezentral gesteuerten Fertigung entfällt die 3D-Simulation. Alle simulierten physischen Objekte existieren nun wirklich. Beispielsweise sind die simulierten Werkzeugmaschinen, Mitarbeiter und Produktionsaufträge in diesem Fall real vorhanden und müssen über den Service Layer mit den anderen Komponenten gekoppelt werden. Dasselbe gilt z. B. für RFID-Gates, Smart Devices, Transportmittel und Vorrichtungen. Das Assistenzsystem arbeitet in Echtzeit und bietet eine umfassende Transparenz der Fertigung für die Mitarbeiter.

In einer realen Fertigung würden idealerweise mindestens zwei Instanzen des Assistenzsystems zum Einsatz kommen. Eine für den Einsatz auf dem Shop Floor zur Unterstützung der Mitarbeiter sowie eine weitere zur parallelen Durchführung von Simulationsläufen. Somit hat die Fertigungsplanung, ein wertvolles Werkzeug zur Evaluierung neuer Verhandlungsalgorithmen, modifizierten Mengengerüsten oder Produktionsprogrammen an der Hand.

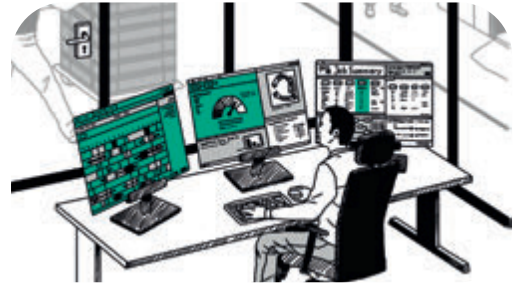






# iWePro

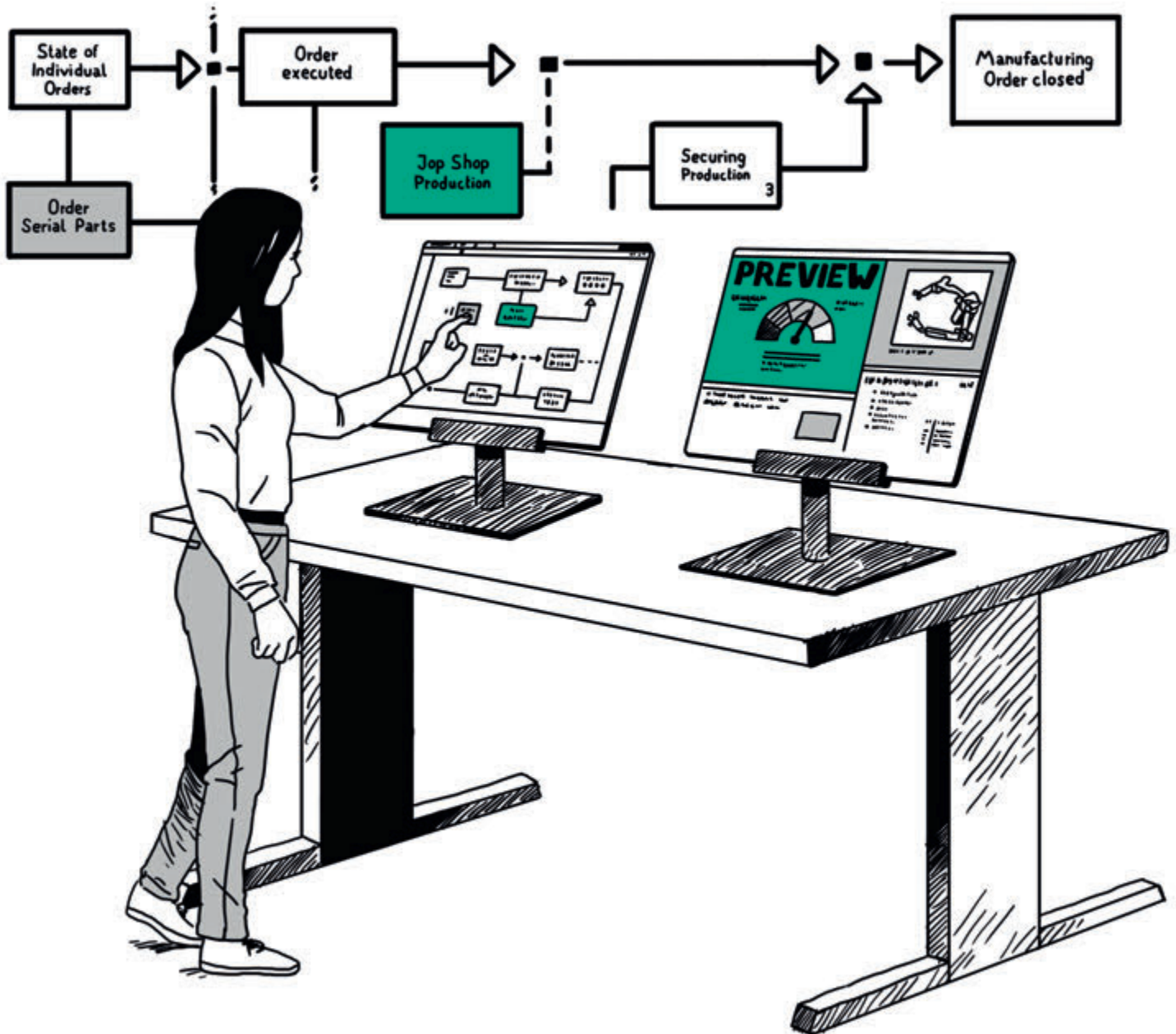
TECHNOLOGIEN FÜR DIE  
PRODUKTION DER ZUKUNFT



# Effiziente Produktionsplanung

## Job Shop Scheduling und zentrale Belegungsplanung

flexis



»Ich sehe genau, welcher Auftrag in welchem Stadium ist –  
und habe so gegenüber Kunden stets die Termintreue  
bei optimaler Ressourcenauslastung im Blick.«

- flexis

## ZENTRALE PLANUNG – DAS GESAMTOPTIMUM IM VISIER

**Die zentrale Werkstattbelegungsplanung geht initial von einem störungsfreien Betrieb aus. Erst wenn durch Störungen die Abweichungen zu gravierend sind, muss umgeplant werden.**

Die im Rahmen des Projekts entstandene Lösung für die kurzfristige Belegungsplanung in Werkstätten setzt Kunden in die Lage, komfortabel Aufträge zu verwalten und die dazugehörige Maschinen-, Mitarbeiter-, Material- und Werkzeugstruktur abzubilden. Gleichzeitig optimiert die Software Prozessabläufe für die einzelnen Aufträge. Die komplexe Kapazitäts- und Ressourcenwelt eines Unternehmens wird dabei stets in die Planungen einbezogen.

Die Herausforderung in der heutigen Feinplanung ist nicht mehr allein die optimale Auslastung der Ressourcen. Es geht vielmehr darum, schnell, flexibel und optimiert auf Rückmeldungen wie Störungen in der Produktion zu reagieren – ganz im Sinne von Industrie 4.0.

Die Lösung erstellt optimierte Maschinenbelegungspläne für sämtliche Produktionsstufen einer Werkstattproduktion. Kundentermine, interne und externe Ressourcenstrukturen, Personalkapazitäten und -fähigkeiten können dabei ebenso berücksichtigt werden, wie die Verfügbarkeit von Material oder Werkzeugen.

Ergebnis ist ein ganzheitlich optimierter Belegungsplan für den gesamten Planungshorizont. Dieser Belegungsplan entspricht den individuellen Unternehmenszielen und deren Gewichtung hinsichtlich Termintreue, Ressourcenauslastung, Rüstaufwand und Ausbringungsmenge.

Die Auskunftsfähigkeit gegenüber Kunden und Vertrieb kann somit erheblich gesteigert werden. Anfragen oder Änderungen können sofort eingeplant, die entsprechenden Liefertermine ermittelt und Auswirkungen auf die allgemeine Liefertermintreue visualisiert werden. So können Entscheidungen getroffen und fundierte Maßnahmen ergriffen werden.

## HINTERGRUND

### Adaptives Fertigungsmanagementsystem

Im Vorhaben wurde durch die flexis AG eine flexible Modellierungsmethode und ein Modellierungstool erstellt, das den Anforderungen einer selbstorganisierten Werkstattproduktion gerecht wird. Die Modellierung erfolgt über eine Vorgängeredefinition für einzelne Prozessschritte, sodass flexible Prozessdurchläufe eines Produkts durch die Werkstatt modelliert werden können. Haben zwei Prozesse den gleichen Vorgänger, so handelt es sich um eine potenzielle Verzweigung im Prozessfluss. Ist ein Prozess der Vorgänger für zwei unterschiedliche Prozesse, so handelt es sich um eine Wiedervereinigung unterschiedlicher Prozessabläufe.

Die einzelnen Prozesse werden ebenfalls im Rahmen der Modellierung unterschiedliche Ressourcen zugeordnet, auf denen die Bearbeitung potentiell erfolgen kann. Diese Ressourcen verfügen über frei definierbare Kapazitäten wie Schichtkalender und können die Prozesse gegebenenfalls unterschiedlich schnell und kostenintensiv abarbeiten. Auch eine Rüstmatrix kann abgebildet werden, wenn beispielsweise auf einer Maschine das Umrüsten von Werkzeug A auf Werkzeug B länger dauert als der Rüstvorgang von Werkzeug B auf Werkzeug A.

Das enthaltene Optimierungsmodell kann unterschiedliche Ziele fokussieren. Beispielsweise können die Durchlaufzeit, die Ausbringung, die Rüstzeiten oder die Maschinenauslastung optimiert werden. Diese Sachverhalte ermöglichen es What-if-Szenarien zu erproben. So können die Losgröße ebenso verändert werden wie das Maschinenmengengerüst, der Auftragsmix oder der Schichtkalender. Dadurch werden Entscheidungen abgesichert und können bezüglich ihrer Robustheit validiert werden.

## ZIELSETZUNGEN

### Adaptives Job-Shop-Scheduling – zentral oder dezentral?

Selbststeuernde Produktionsprozesse werden die Zukunft der Produktion bestimmen – insbesondere in Hochlohnländern wie Deutschland und in komplexen Produktionen mit variantenreichen

Produkten wie dem Automobilbau. Die Integration von Anlagenrückmeldungen wie Störungs-, Fertig- oder Statusmeldungen stellen Anforderungen an zentrale Planungen, die hochreaktiv und hochflexibel sein müssen. Zudem erlaubt die Integration von Simulationsmodellen und deren direkte Anbindung an die Planung die Erprobung von Bedarfs-Kapazitäts-Szenarien und somit die proaktive Auslegung von Anlagen und Prozessen.

Die Verlagerung von Steuerungs- und Entscheidungskompetenz in die Werkstattproduktion ist eine Herausforderung an die informationstechnische Unterstützung der dynamischen Planung. Dabei ist der Übergang zwischen dezentraler Planung und zentraler Planung hervorzuheben, da eine klare und hervorgehobene Einflussnahme des Menschen auf die Planung notwendig ist.

Durch die Selbstorganisation und die Interaktion der Objekte in der Produktion ändert sich kontinuierlich die Auslastung der Anlagen und Mitarbeiter, Kapazitäten werden früher freigegeben als erwartet oder fallen unerwartet aus – und all dies ist unmittelbar transparent durch die Kommunikation zwischen den Objekten. Daraus ergibt sich die dringende Notwendigkeit für eine hochreaktive, integrierte Planung in einer turbulenten Umgebung.

Die planerische Kopplung zu Simulationsmodellen, Anlagenrückmeldungen und Ressourcenverfügbarkeiten wurde in einem adaptiven Job-Shop-Scheduler zur Optimierung von Auslastung, Terminen, Durchlaufzeiten und Kosten herangezogen. Der Fokus lag hierbei auf dem Übergang zwischen Zentralität und Dezentralität der Planung, der aus heutiger Sicht variabel auszugestalten ist.

## TECHNOLOGIE

### Datenmodell zur effektiven Planung

Im Rahmen von iWePro wurde ein Datenmodell erarbeitet, das den Anforderungen einer schnellen und adaptiven Planung gerecht wird. So beinhaltet das Datenmodell für Fertigungsaufträge die vier Anforderungen: Frühester Start, Spätestes Ende, Menge und Produkt.

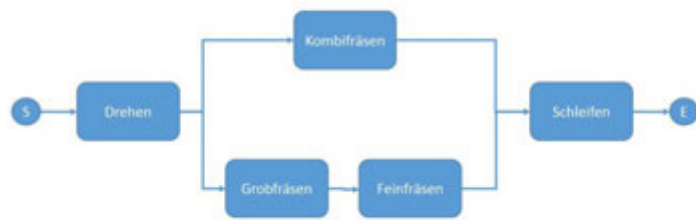
Die einzelnen Objekte im Datenmodell wie Aufträge, Produkte, Prozesse, Ressourcen wurden in einer innovativen »in-Memory-Datenbank« dynamisch verlinkt, sodass eine möglichst geringe Redundanz und zugleich ein möglichst performanter Zugriff möglich ist. Auf dieser Basis wird die Optimierung der Ressourcenbelegung mit einem gängigen Optimierungstool durchgeführt.

Das Planungsergebnis ist manuell überarbeitbar, Tasks können sowohl zeitlich als auch ressourcenübergreifend verschoben werden. Dann kommt eine Bewertungskomponente zum Einsatz, die den manuellen Eingriff bezüglich Restriktionsverletzungen überprüft und markiert. Beispielsweise wenn ein Gantt-Balken so verschoben wird, dass er zeitlich parallel zu einem anderen Auftrag auf einer Ressource liegt, oder ablehnt, wenn ein Gantt-Balken auf eine Ressource gelegt wurde, die für die entsprechende Bearbeitung nicht nutzbar ist. Das Planungsergebnis kann erst dann freigegeben werden, wenn keine harten Restriktionen mehr verletzt werden. – Die Beseitigung der Restriktionsverletzungen kann entweder rein manuell oder systemgestützt erfolgen, indem ein neuer Soll-Verlauf angestoßen wird, für den die manuell vorgenommenen Überarbeitungen als fixiert betrachtet werden und der die anderen Sachverhalte entsprechend umplant bzw. verschiebt.

Die Rückmeldungen aus der Fertigung, also die realen Start- und Endmeldungen für die einzelnen eingeplanten Arbeitsinhalte werden in das System zurückgespielt. Die Abweichungen zwischen Plan und Ist, werden im sog. Flow-Gantt dargestellt. Hier ist für jede Ressource eine weitere Zeile vorgesehen – in der ersten Zeile wird die geplante Belegung visualisiert, in der darunter liegenden Tabelle die reale Belegung. So kann einfach erkannt werden, wie stark Planung und Ausführung abweichen und ob ein planerischer Eingriff in Form einer Umplanung stattfinden muss.

Dadurch konnte im Rahmen des Projekts iWePro untersucht werden, unter welchen Rahmenbedingungen eine zentrale Planung einer dezentralen Steuerung über- oder unterlegen ist. Dabei ist hervorzuheben, dass die zentrale Planung immer auf ein Gesamtoptimum fokussiert ist, während





Job Shop Scheduler				
Stammdaten				
Auftragsdaten				
Ergebnisdaten				
Produkte	Prozesse	Prozessabhängigkeiten	Ressourcen	Prozess-Ressourcen
<b>Prozessabhängigkeiten</b>				
85	Produkt	Prozess	Vorgänger	Übergangszeit [s]
1	40800001	Drehen	start	00 00 00 00
2	40800001	Kombifräsen	Drehen	00 00 00 00
3	40800001	Grobfräsen	Drehen	00 00 00 00
4	40800001	Feinfräsen	Grobfräsen	00 00 00 00
5	40800001	Schleifen	Kombifräsen	00 00 00 00
6	40800001	Schleifen	Feinfräsen	00 00 00 00
7	40800001	end	Schleifen	00 00 00 00
8	40900401	Weich_Drehen_Gang_4	start	00 00 10 00
9	40900401	Werkzeug_Case_1	Werkzeug_Case_1	00 00 10 00

Abb. 3: Prozessmodellierung

dezentral getroffene Steuerungsentscheidungen lokal und singular die optimale Entscheidung treffen. Ein Optimierungslauf ist zeitintensiv und so kann es sein, dass das Ergebnis nur für einen sehr kurzen Zeitraum Gültigkeit besitzt – wenn häufig Störungen auftreten und die Störungen derart gravierend sind, dass die Planung nicht mehr eingehalten werden kann. So ist einzelfallspezifisch zu entscheiden, ob und wie zentral umgeplant werden muss, beispielsweise kann auch eine schnelle Heuristik für einen beschränkten Zeitraum steuernd eingreifen.

## ERGEBNISSE

### Prototypische Software für die Belegungsplanung in selbstorganisierten Werkstätten

- Ganzheitlich optimale Belegungsplanung
- Interaktive Planung per Drag&Drop
- Bedarfs-Kapazitäts-Szenarien
- Kennzahlendarstellung zur Planbewertung
- Flow-Gantt-Methode zum Monitoring
- Integration Betriebsdatenerfassung (BDE) und Fertigungsmanagementsysteme (MSE)
- Cloudfähige Anwendung
- Webapplikation für Browser

## PERSPEKTIVEN

### Ready for Industry 4.0

Durch die enge informatorische Kopplung von Planung und Shop Floor können Abweichungen zwischen Soll und Ist einfach und effektiv erkannt werden. Die Nutzung dieser Information bedarf aber einer gewissen interpretatorischen Intelligenz, denn erst dann wird Big Data auch zum Big Success. Diese Intelligenz kann sehr gut durch eine zentrale Planung bereitgestellt werden. Insbesondere wenn sich diese durch eine Szenarienfähigkeit zur Verprobung von Entscheidungen und Maßnahmen auszeichnet. Denn nicht immer ist eine schnelle Entscheidung auch eine gute Entscheidung.

## ANSPRECHPARTNER

### Hansjörg Tutsch

Vice President Research

### flexis AG

Schockenriedstraße 46  
70565 Stuttgart

Tel.: +49 711 782380-82

Fax: +49 711 782380-78

E-Mail: [hansjoerg.tutsch@flexis.de](mailto:hansjoerg.tutsch@flexis.de)

Web: [www.flexis.de](http://www.flexis.de)

## JOB SHOP SCHEDULER UND ZENTRALE BELEGUNGSPLANUNG

### Zielsetzungen

- Entwicklung eines Job-Shop-Schedulers für ein adaptives Fertigungsmanagement
- Planerische Kopplung von Informationen unterschiedlicher Objekte in der Produktion
- Entwicklung einer flexiblen Modellierungsmethode
- Schaffung einer Standard-Kommunikationslogik

### Ergebnisse

- Universelles Datenmodell für Belegungsplanung
- Interaktive Gantt-Darstellung der Planungsergebnisse
- Cloud-fähige Software für die Werkstattplanung

# Selbstorganisierende Werkstattproduktion

## Rechner-Agenten-System und dezentrale Produktionssteuerung

Fraunhofer IPK



»Der Fertigungsablauf wird flexibler, weil der Belegungsplan jederzeit aktualisiert werden kann und die Mitarbeiter direkt erfahren, was sie wann zu tun haben.«

- Fraunhofer IPK

## DEZENTRALE PRODUKTIONS- STEUERUNG DURCH MITARBEITER

**Zentrale Herausforderung für die intelligente selbstorganisierende Werkstattproduktion ist, deutlich flexibler auf immer stärker schwankende Nachfrage, steigende Vielfalt der Varianten und kleinere, häufig variierende Losgrößen zu reagieren sowie die Maschinenauslastungen zu steigern. Hierbei wird eine dezentrale Steuerung der Produktion bis hin zur produktgesteuerten Selbstorganisation als ein sehr aussichtsreicher Ansatz angesehen.**

Im Projekt iWePro wurde ein Software-Agenten-basiertes Assistenzsystem entwickelt, welches neben umfassender Transparenz ein intuitives Umplanen der Maschinenbelegung durch die Mitarbeiter realisiert. Die klassische festverkettete Linienfertigung wurde der Werkstattfertigung gegenübergestellt. Letztere bietet viele Vorteile: Störungen an einzelnen Maschinen legen nicht mehr die gesamten Produktionslinien still und Arbeitsplanalternativen können schnell realisiert werden. Das flexible Prozessnetz passt sich neuen Gegebenheiten ad-hoc an. Weiterhin ist ein Eingriff der Mitarbeiter in die Belegungsplanung intuitiv und direkt möglich.

Dabei stehen die Mitarbeiter auf dem Shop Floor im Mittelpunkt: Sie sind es, die dafür sorgen, dass ein Werkstück termingerecht durch die Fertigung geleitet wird. Dazu wurde ein modernes Tool zur zentralen Maschinenbelegungsplanung mit einem dezentralen agentenbasierten Steuerungsansatz kombiniert.

### ZIELSETZUNGEN

#### Selbstorganisierende Werkstattproduktion

Bisher wird in der industriellen Produktion vorab eine Belegungsplanung für die komplette Fertigung vom Rohling bis zum einsatzbereiten Fertigteil erstellt und anschließend abgearbeitet. iWePro zielt dagegen auf eine Werkstattfertigung auf Basis dezentraler Strukturen mit kleinen Regelkreisen und effizienter, ergebnisorientierter Kommunikation aller am Produktionsprozess beteiligten Mitarbeiter und Ressourcen ab. Dabei soll die Fertigung wie bisher von der Leitungsebene vorgeplant werden.

Gleichzeitig sollen aber die Mitarbeiter auf dem Shop Floor in die Lage versetzt werden, den geplanten Ablauf aktiv zu beeinflussen, etwa um die Einhaltung von Terminen sicherzustellen. Bei der Ausführung dieser Aufgaben sind nachfolgende Randbedingungen zu berücksichtigen:

- Terminänderungen durch das ZFS
- Ungeplante Statusänderungen von Produktionsressourcen
- Alternativressourcen im Arbeitsvorgang
- Arbeitsvorgangsalternativen im Arbeitsplan

### TECHNOLOGIE

#### Rechner-Agenten-System (RAS)

**Im Rahmen von iWePro entstand ein agentenbasiertes Assistenzsystem dessen zentrale Intelligenz im RAS liegt.**

Im Zuge der vierten industriellen Revolution wurden in den letzten Jahren viele Forschungsprojekte ins Leben gerufen, die die enge Verzahnung von moderner Informations- und Kommunikationstechnik und industrieller Produktion adressieren. Die technische Grundlage bilden hierbei hochgradig vernetzte Systeme. Konnektivität und mögliche digitale Ansprache von allen sinnvoll vernetzbaren Objekten in Produktionsumgebungen wird angestrebt. Dabei stellt eine dezentrale Steuerung der Produktion die stärkste Ausprägung der Industrie 4.0 dar.

Bereits zu Beginn der 90er Jahre wurde intensiv an dezentralen Steuerungsstrukturen geforscht. Es entstand eine Vielzahl von verschiedenen Ansätzen. Als eindrucksvolles Beispiel, den komplexen Herausforderungen mit Software-Agenten in der Produktionsplanung und -steuerung zu begegnen, sei das Projekt »Production 2000+« der damaligen Daimler Chrysler AG in den Jahren 1996-1999 genannt. Anhand einer realen Bypass-Linie einer voll automatisierten Zylinderkopffertigung im Werk Würth, wurde die Realisierbarkeit und Robustheit einer Steuerung der Fertigung mittels Software-Agenten nachgewiesen. Der PLANET-AS (Produktionslenkung mit nicht-hierarchischen Agentennetzwerken für auftragsorientierte Serienfertiger) Ansatz von Mannmeusel, aus dem Jahr 1997, zeigt wie Software-Agenten durch Verhandlungen in Form von

Ausschreibungen erfolgreich eine Fertigung steuern können. Dieser Ansatz basiert auf dem Kontrakt-netz-Protokoll. Durch die Verwendung einer modifizierten Variante der Ausschreibung kommunizieren Software-Agenten miteinander, um Leistungen auszutauschen und diese anschließend abzuarbeiten.

Software-Agenten sind autonom agierende mit ihrer Umwelt kommunizierende Programme, die Ziele verfolgen, welche ihnen durch den Programmierer vorgegeben werden. Je nach Konstellation der Fertigung können Einstellungsparameter dieser Agenten durch den Anwender dynamisch angepasst werden. Software-Agenten finden in vielen verschiedenen Bereichen Anwendung, vor allem dann, wenn Prozesse automatisiert werden sollen oder die Fragestellung von sich aus viele autonome Akteure impliziert.

Im RAS werden Werkzeugmaschinen, Produktionsaufträge und weitere Ressourcen jeweils durch einen Software-Agenten repräsentiert. Steht für einen Produktionsauftrag der nächste Fertigungsschritt an, bittet dessen Agent alle Maschinen-Agenten um ein Angebot für eine mögliche Fertigung. Angebote der Maschinen-Agenten enthalten beispielsweise die zu erwartenden Fertigungskosten, frühestmögliche Bearbeitungsstartzeiten und eventuelle Notwendigkeiten zur Umrüstung für die Fertigung des anfragenden Produktionsauftrags (siehe Abb. 4).

Auf dieser Basis wird dem Mitarbeiter eine Palette an sinnvollen Möglichkeiten präsentiert, wann und an welcher Maschine der nächste Bearbeitungsschritt zu welchen Bedingungen erfolgen kann. Darüber hinaus werden Produktionsaufträgen Prioritäten zugeordnet. Sie können, wenn notwendig, durch das Assistenzsystem sowie die Mitarbeiter angepasst werden. Die Mitarbeiter werden mit Smart Devices ausgestattet, auf denen das Assistenzsystem browserbasiert genutzt werden kann. Hier finden sich die aktuell zu erledigende Fertigungsplanung für die jeweiligen Maschinengruppen sowie viele weitere Informationen. Somit sind die Mitarbeiter immer bestens über die aktuelle Situation informiert.

Die global optimale Maschinenbelegungsplanung wird durch das ZFS bereitgestellt. Grundsätzlich versucht das RAS die Planung des ZFS nachzufahren, indem Jobs auf den Smart Devices entsprechend der Maschinenbelegungsplanung des ZFS angezeigt werden. Planen die Mitarbeiter um, tritt eine Störung auf oder driftet die Maschinenbelegung auf dem Shop Floor zu stark von der ZFS-Planung ab, gibt das RAS ggf. davon abweichende Empfehlungen. Liegt keine aktuelle Planung mehr vor, werden auktionenbasiert die jeweils am besten geeigneten Maschinen für den nächsten Arbeitsschritt ermittelt. In diesem Fall wird angestrebt, dass so schnell wie möglich eine neue globale Optimierung durch

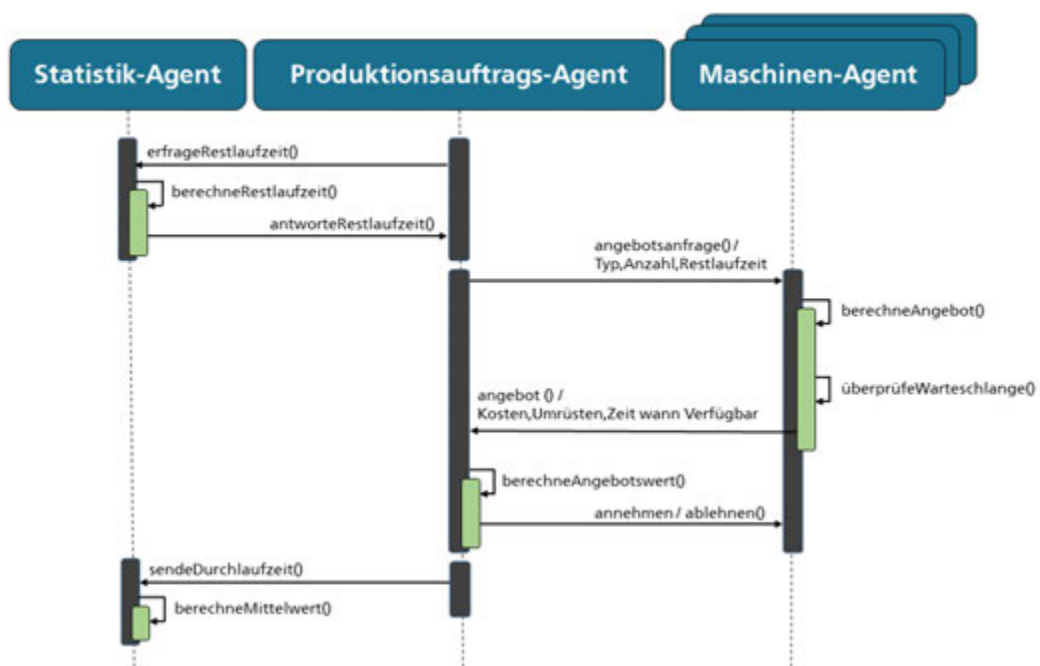


Abb. 4: Verhandlung eines Produktionsauftrags-Agenten für einen anstehenden Bearbeitungsschritt

Produktionsauftrag	Priorität		Jobtyp	Akt. Position	Ziel	
40900402_31_001	2	+/-	Transport zu FZ	Bereichspuffer DF	Puffer Fraesen 06 (A3)	>
40900402_31_003	1	+/-	Transport zu FZ	Bereichspuffer DF	Puffer Fraesen 02 (A1)	>
40900401_32_005	5	+/-	Bearbeitung	Puffer Fraesen 05 (A2)	Fraesen 05 (A2)	
40900401_32_002						
40900401_32_001						
40900401_32_003						
40900401_32_004						
40900402_31_005						>
40900402_31_006						>

Fertigungszelle	Kosten	Zeit bis frei	Umrüsten
Fraesen 05 (A2)	2,11	37 min	nein
Fraesen 06 (A3)	2,94	31 min	ja
Fraesen 02 (A1)	2,78	16 min	ja
<b>Fraesen 07 (A4)</b>	<b>2,43</b>	<b>9 min</b>	<b>nein</b>

Abb. 5: Browserbasierte Benutzeroberfläche

das ZFS vorgenommen wird und der resultierende Maschinenbelegungsplan ins RAS übernommen werden kann.

Das RAS hat nicht den Anspruch, die Maschinenbelegungsplanung mit seiner dezentralen Intelligenz autonom optimal zu steuern. Eine bestmögliche Entscheidungsunterstützung wird angestrebt.

## IMPLEMENTIERUNG

### Autonome dezentrale Software-Agenten

Konkret wurde untersucht, ob und wie sich ein Programm zur zentralen Fertigungsplanung mit einem Agentensystem verbinden lässt. Dabei unterstützt das Agentensystem während der laufenden Produktion situationsorientierte, dynamische Anpassungen.

Software-Agenten verhandeln zur Systemlaufzeit untereinander bzgl. möglicher Varianten der Maschinenbelegung. Hierfür wurde eine adaptive Angebotslogik entwickelt, welche ein dynamisches Anpassen und somit eine flexible Steuerung der Produktionsaufträge und Werkzeugmaschinen ermöglicht.

Maschinen-Agenten reagieren jederzeit auf Fertigungsanfragen von Produktionsauftrags-Agenten. Diese wollen in der Regel schnellstmöglich zu günstigsten Kosten gefertigt werden. Hierfür fragt der Produktionsauftrags-Agent, je nach ak-

tuelltem Arbeitsschritt, alle potentiell geeigneten Maschinen-Agenten an. Die Maschinen-Agenten antworten mit einem Angebot für die Fertigung, welches durch eine grundlegende Berechnung der erwarteten Fertigungskosten bereitgestellt wird. Hierfür werden unter anderem die Stammdaten des Produkts verwendet. Die ermittelten Kosten ergeben einen Teil der Antwort an den Produktionsauftrags-Agenten, der andere beinhaltet den voraussichtlichen Starttermin sowie die Information, ob umgerüstet werden muss (siehe Abb. 4).

Die Berechnung des Starttermins für den Produktionsauftrag erfolgt durch den Maschinen-Agenten, welcher hierfür die anstehenden Bearbeitungszeiten seiner Warteschlange addiert. Bei unvorhergesehenen Ereignissen, wie einer Verzögerung durch einen Werkzeugwechsel, lassen sich die Zeiten leicht neu ermitteln. Tritt jedoch der Fall ein, dass ein Produktionsauftrag eine große Verzögerung seiner Fertigung aufweist, besteht für ihn die Möglichkeit gegenüber weiteren Produktionsaufträgen vorrangig behandelt zu werden. Daher haben Maschinen-Agenten die Möglichkeit, Produktionsaufträge anhand ihrer Restlaufzeit zu priorisieren. Hierbei sollte beachtet werden, dies nicht als einziges Kriterium zu wählen. Andere bereits in die Warteschlange eingereihte Produktionsaufträge werden durch den neuen Auftrag in ihrer Fertigstellung verzögert. Folglich scheint eine Sortierung bzw. Umstrukturierung der Warteschlange sinnvoll,

wenn die Restlaufzeit des Produktionsauftrags im Vergleich mit dem Durchschnitt der bereits eingereichten Produktionsaufträge abweicht. Die Grenze ab wann dies geschehen soll, kann für jede Fertigung und Simulation variieren und sollte je nach Situation angepasst werden (siehe Abb. 5).

Auf Basis dieser Informationen wird von dem Produktionsauftrags-Agenten ein Angebotswert (Score) für die Maschinen berechnet, welcher für die Entscheidungsfindung und Planung des anstehenden Arbeitsschritts verwendet wird. Dieser Score wird mit Hilfe der folgenden Formel berechnet:

$$\text{Score} = A \cdot \text{Kosten} + B \cdot \text{Zeit} + C \cdot \text{Umrüsten}$$

*A .. Faktor zur Gewichtung der Kosten*

*B .. Faktor zur Gewichtung der Zeit*

*C .. Faktor zur Gewichtung vom Umrüsten*

Die Produktionsauftrags-Agenten vergleichen die errechneten Angebotswerte der verschiedenen Fertigungsangebote der Maschinen-Agenten miteinander und sortieren diese nach ihrer Höhe. Da hohe Kosten, lange Fertigungszeiten und häufiges Umrüsten unerwünscht sind, wird in der Regel der niedrigste Angebotswert durch den Produktionsauftrags-Agenten gewählt. Die Vorfaktoren A, B, C müssen in der Summe den Wert 1 ergeben, was eine normierte und somit vergleichbare Gewichtung der einzelnen Elemente ermöglicht. Somit kann je nach Simulations- und Fertigungslauf dynamisch entschieden werden, welche der drei Kriterien wie stark zu gewichten sind: Termintreue, Kostenreduktion oder Rüstoptimierung.

Während der Fertigung kommunizieren die Produktionsauftrags-Agenten dem sog. Statistik-Agenten ihre benötigten Prozessdauern, nach jedem abgeschlossenen Prozessschritt. Der Statistik-Agent berechnet die zu erwartenden Mittelwerte der Restlaufzeit des anfragenden Produktionsauftrags-Agenten. Die Restlaufzeit entspricht dabei der Dauer bis ein Produktionsauftrag aller Voraussicht nach fertiggestellt ist. Je länger die Fertigung läuft, umso präziser wird der Statistik-Agent in seiner Berechnung, da er die Prozesszeiten kontinuierlich mittelt. Es ist sinnvoll, den Statistik-Agenten vor dem Einsatz in einer realen Fertigung in Simu-

lationsläufen anzulernen. Ebenfalls können die Erfahrungswerte des Statistik-Agenten in ähnlichen Fertigungen zum Einsatz kommen oder auch für Analysezwecke miteinander verglichen werden. Das Assistenzsystem leitet aus den Verhandlungen der Software-Agenten konkrete Maschinenbelegungen und Bearbeitungsreihenfolgen ab. Vernetzte Technologien machen es möglich, jedem Mitarbeiter die für ihn relevanten Aufgaben des Plans direkt an seinem Arbeitsplatz bereit zu stellen. So erfolgt die Vermittlung des Produktionsplans an die Mitarbeiter direkter als bisher. Der Zeitaufwand für Einsatzbesprechungen wird reduziert.

## ERGEBNISSE

### Selbstorganisierende Werkstattfertigung durch dezentrale Steuerung mittels Software-Agenten

Das RAS wurde für den konkreten Use-Case einer nach dem Werkstattprinzip organisierten Getriebe-fertigung entwickelt, kann aber ohne Probleme für andere Anwendungsfälle angepasst werden, da es modular aufgebaut ist. Maschinen- und Produktionsauftrags-Agenten repräsentieren zentrale Elemente einer jeden Fertigung. Die Kommunikation der Agenten wurde dahingehend gestaltet, Anpassungen Stand halten zu können. Werden Stammdaten anderer Fertigungen hinterlegt, können die Agenten automatisch auch diese Fertigung repräsentieren und simulieren. Die Angebotserstellung der Maschinen-Agenten wurde mit Hilfe der Formel zur Berechnung der Angebotswerte so konzipiert, dass auch während der laufenden Fertigung dynamische Anpassungen für die Entscheidungsfindung der Produktionsaufträge vorgenommen werden können. Durch das Konstrukt des Statistik-Agenten optimiert sich das System während der Laufzeit selbst und ermöglicht eine Vorhersage der Restlaufzeiten.

Die Entwicklung des RAS erfolgte in einem partizipativen Entwicklungsprozess. Es wurde der breiten Öffentlichkeit erstmals auf der Hannover Messe 2016 in Form des interaktiven Hybriden Demonstrators präsentiert. Erfahrene Praktiker und Entscheider aus der Industrie testeten vor Ort das Assistenzsystem und konnten somit die dezentrale Produktionssteuerung von iWePro live erfahren.



Abb. 6: Produktionssteuerung

Das Feedback war fast ausschließlich positiv. Die kritischen Anmerkungen wurden aufgenommen und genauso wie die Anmerkungen der Opel Mitarbeiter in die weitere Entwicklung des RAS und des Assistenzsystems zurückgeführt.

## PERSPEKTIVEN

Agenten-Systeme für die selbstorganisierende Werkstattproduktion haben großes Potenzial, den Anforderungen an Flexibilität, Steuerbarkeit und Transparenz, wie sie im Kontext von Industrie 4.0 aufkommen, zu begegnen. Durch Anpassungen des Maschinenmengengerüsts, der Stammdaten der Maschinen und Produktionsaufträge oder der Bearbeitungsschritte kann das RAS verschiedenste Fertigungsplanungen und -steuerungen repräsentieren. Die Score Berechnung kann ebenfalls auf andere Anwendungsfälle übertragen werden und somit auch dort die Performance einer selbstorganisierenden Fertigung nachhaltig optimieren. Weiterhin können für modifizierte oder gänzlich neue dezentrale Ansätze zur Fertigungssteuerung mit Software-Agenten Simulationsläufe durchgeführt und bzgl. der Qualität der Steuerungsentscheidungen bewertet werden. Somit können neue Entscheidungsstrategien evaluiert und verglichen werden.

Das Hauptanwendungsgebiet der dezentralen Agentensysteme werden aller Voraussicht nach Kleinserien sein. Der hier vorliegende Fall der Serienfertigung von Getrieben ist unmittelbar auf vergleichbare Serienprodukte übertragbar. Die Besonderheit in der realisierten Lösung liegt darin, dass eine ausreichend gute Gesamtplanung durch ein ZFS, eine Sequenzplanung sowie eine Synchronisation der vor- und nachgelagerten Bereichen vorliegt. Darin besteht dann auch eine der Herausforderungen zur Weiterentwicklung der dezentralen Selbstorganisation: die Steuerung der Supply Chain über vermischte Regelkreise.

## ANSPRECHPARTNER

### Dr.-Ing. Julian Polte

Produktionssysteme

### Burkhard Schallock

Unternehmensmanagement

### Fraunhofer IPK

Pascalstraße 8-9

10587 Berlin

Tel.: +49 30 39006-433

E-Mail: [julian.polte@ipk.fraunhofer.de](mailto:julian.polte@ipk.fraunhofer.de)

Web: [www.ipk.fraunhofer.de](http://www.ipk.fraunhofer.de)

## RECHNER-AGENTEN-SYSTEM UND DEZENTRALE PRODUKTIONSSTEUERUNG

### Zielsetzungen

- Dezentrale Selbststeuerung einer Werkstatt mit Serienfertigung
- Nutzung von Software-Agenten
- Interaktion mit einer Datenbank
- Visualisierung der Werkstattentscheidungen, -abläufe
- Nutzung von Steuerungswissen
- Gruppengerechte Konzeptauslegung
- Nutzergerechte Gestaltung der Werkerassistenz

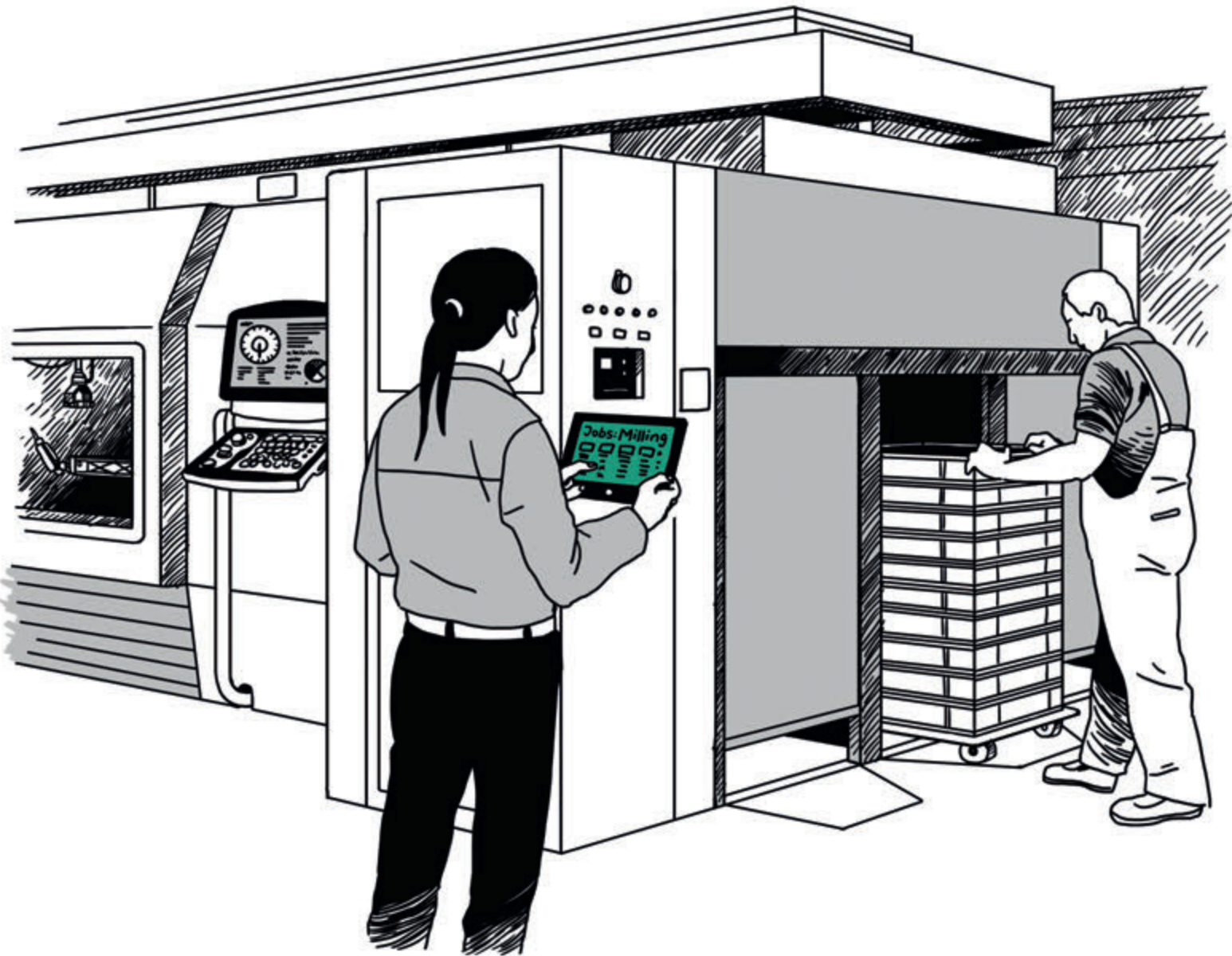
### Ergebnisse

- Selbstorganisierende Werkstattfertigung durch dezentrale Steuerung mittels Software-Agenten
- Realistische Darstellung der vom Rechner-Agenten-System getroffenen Entscheidungen in einer Simulation
- Datenbank mit realistischen Fertigungsdaten
- Steuerungs- und Organisationskonzept
- Regelbasis und Verhandlungsmechanismen

## Intelligente Werkzeugmaschinen

Integration von Maschinen und Anlagen in die intelligente selbstorganisierende Produktion

DMG MORI



»Den Teil der Produktion, der auf meinen Werkzeugmaschinen läuft, verantworte ich selbst und kann den Belegungsplan eigenständig ändern.«

- DMG MORI



## WERKZEUGMASCHINEN

**Maschinen und Anlagen, wie Werkzeugmaschinen, sind wesentlicher Bestandteil der mechanischen Produktion. Sie müssen flexibel und effizient fertigen. Gleichzeitig gilt es, die Qualität des Produkts und eine zuverlässige Bedienung zu sichern. Im Rahmen des iWePro-Projekts wurden die Rüstzeiten von Werkzeugmaschinen verringert und die Produktionsqualität sichergestellt.**

Ausgangspunkt für die Integration der Werkzeugmaschine in die intelligente selbstorganisierende Produktion ist die Klassifizierung der Mitarbeiter an einer Werkzeugmaschine:

- Der Bediener nimmt die manuellen Handlungen an der Werkzeugmaschine, während diese ein Los bearbeitet, vor. Dazu gehören Starten und Stoppen der Maschine, Beobachten der Fertigung, Einsetzen neuer Werkzeuge. Dieses kann auch je nach Aufgabedefinition eine Mehrmaschinenbedienung sein.
- Der Einrichter richtet die Maschine für die Fertigung eines bestimmten Fertigungsloses ein. Seine Tätigkeiten umfassen das Einsetzen der Spannmittel und Werkzeuge sowie das Kontrollieren und Setzen der Nullpunkte.
- Der Technologie testet und optimiert das NC-Programm, um ein Teil sicher und zeit-optimal zu fertigen. In der Regel sind alle NC-Programme für die Produktion schon im Vorfeld getestet und optimiert worden.
- Das Wartungspersonal führt die notwendigen Wartungsarbeiten durch. Im Fehlerfall übernimmt das Wartungspersonal auch die Fehlersuche und -behebung.

## ZIELSETZUNGEN

### Fertigungsstrukturen

Im Projekt iWePro wurden die Fertigungsstrukturen genauer untersucht. Die einzelnen Fertigungsschritte mit den Werkzeugmaschinen wurden danach analysiert, wie möglichst flexibel auf möglichst viele gleiche Maschinen gefertigt werden kann.

Dies wurde exemplarisch für jeden einzelnen Fertigungsschritt eines Getriebes überlegt. Dabei wurde aber sehr intensiv darauf geschaut, dass in Summe möglichst wenig unterschiedliche Maschinentypen ausgewählt wurden, da bei Ausfall einer Maschine jederzeit ausreichend Alternativen zur Verfügung stehen. Ebenfalls wurde berücksichtigt, welche Fertigungsschritte auf einer Werkzeugmaschine zusammengefasst werden können, um folgende Vorteile zu erreichen:

- Weniger Maschinen
- Weniger Transporte
- Weniger Aufspannungen
- Zeiteinsparungen

Der Trend geht heute eindeutig hin zu Mehrtechnologiemaschinen. Drehen, Fräsen und auch Schleifen wachsen immer mehr zusammen. Im letzten Schritt wurde dann für alle Werkzeugmaschinen die Umrüstzeit berechnet. Da nur sehr flexible Maschinen ausgewählt wurden, entstand dazu pro Maschine eine Matrix für Spannmittel. Die Werkzeuge konnten so gewählt werden, dass eine Maschine immer alle Werkzeuge bevorrätet.

## ERGEBNISSE

### Datenschnittstelle

Zentraler Bestandteil des Projekts iWePro war eine Datenbank, in der jede intelligente Einrichtung, natürlich auch die Werkzeugmaschinen, ihren jeweiligen Produktionsstatus eintragen. Ebenfalls bekam jede Werkzeugmaschine über das intelligente Triggersystem des Service-Layers dieser Datenbank die Anfragen und Aufträge zugewiesen, die dann ausgeführt wurden.

Die Verbindung zwischen einer Werkzeugmaschine und der Datenbank wird über Ethernet hergestellt, wobei das Rechner-Agenten-System (RAS) dazwischen geschaltet ist, um die Interaktionen mit der Fertigungssteuerung durchzuführen.

Um beliebige Daten in Echtzeit auszutauschen hat DMG MORI ein User Data Interface (UDI)-System entwickelt. Dieses ist ein modernes Client-Server-System, wo beliebig viele Clients einem Server Aufträge geben, Daten zu liefern. Dieses

funktioniert zwischen Anwendungen auf einem Rechner ebenso wie auch zwischen Anwendungen, die auf verschiedenen über Ethernet verbundenen Rechnern installiert sind. Diese Schnittstelle ist besonders für den Datenaustausch zwischen Werkzeugmaschine und RAS geeignet.

### **Datenaustausch zwischen Werkzeugmaschine und Agentensystem**

Diese Datenschnittstelle wurde dann im Folgenden ausgearbeitet. Jeder einzelne Fall (Use Case) wurde durchgespielt und die Signale, die ausgetauscht werden mussten, wurden festgelegt. Folgende Fälle wurden dabei durchgespielt und bildeten die Basis für die Programmierung im Rahmen des Projekts:

- 1- Erstellen, Auslösen eines Auftrages
- 2- Auftrag einer Maschine zuordnen
- 3- Transportaufträge zur Maschine
- 4- Rüstauftrag an der Maschine
- 5- Fertigung eines Loses
- 6- Störfall Messraum
- 7- Störung Werkzeugmaschine

### **Interaktion zwischen Mensch und Werkzeugmaschine**

Ein zentraler Baustein der kundenorientierten Digitalisierungsstrategie von DMG MORI ist ein App-basiertes System, das vor rund drei Jahren als CELOS-System erstmals vorgestellt und seitdem zielgerichtet weiterentwickelt wurde. Unter einer einheitlichen Oberfläche für Maschinen und PC können von den Mitarbeitern in Shop Floor und Arbeitsvorbereitung sämtliche Auftrags-, Prozess- und Maschinendaten verwaltet und visualisiert, als auch dokumentiert werden.

Über die Effekte im Shop Floor Bereich hinaus ermöglicht das System dank seiner offenen Architektur den Informationsaustausch mit übergeordneten Netzwerkstrukturen und bietet den Kunden demnach die vollständige Integration der Maschinen in die Betriebsorganisation und schafft gleichzeitig bereits heute die Schnittstelle von der spannenden Fertigung in die cyber-physischen Produktionssysteme. Im iWePro-Projekt wurde die Steuerung exemplarisch im hybriden Demonstrator eingebunden. Damit lassen sich 30 Prozent Zeitersparnis beim Rüsten und ein 50 Prozent geringerer Aufwand für das

Berechnen von Technologiewerten oder das Suchen wichtiger Informationen erzielen.

### **Werkzeugmaschine 4.0**

Mit der »Werkzeugmaschine 4.0« wurden mit Hilfe weiterer Sensoren an der Maschine die Veränderungen von Sensorwerten sowie eine Früherkennung von Problemen ermöglichten, lange vor einem Ausfall von Bauteilen. Ziel war es, dass die Werkzeugmaschine sich selbst überwacht und frühzeitig Bescheid gibt, wenn eine Unregelmäßigkeit erkennbar ist. Darüber hinaus wurden mit Hilfe einer neuen Sensorschnittstelle eine Justage oder auch Nachjustage am Bildschirm durchgeführt und eine automatische Nachjustierung ermöglicht.

### **Virtuelle Werkzeugmaschine**

Eine virtuelle Werkzeugmaschine verfügt über einen virtuellen NC-Kern als Steuerung, vollständig funktionsfähig nachgebildete Maschinenteile und die exakte Arbeitsraumgeometrie. Damit lassen sich Bearbeitungsprozesse simulieren und perfekt planen. Kollisionen werden erkannt und wirksam vermieden. Die »DMG Virtual Machine« ermöglicht eine 1:1 Simulation unter realen Bedingungen. Das Ergebnis ist ein Höchstmaß an Sicherheit und Geschwindigkeit.

Die Herausforderung besteht darin, dieses Werkzeug ganzheitlich in den Workflow eines Unternehmens zu integrieren. Hier sollten also – idealerweise automatisiert – alle entstehenden Bearbeitungsprogramme durch eine virtuelle Bearbeitung geprüft werden. Durch die per Simulation ermittelten Bearbeitungsinformationen kann der gesamte Produktionsablauf automatisch im Vorfeld optimiert werden.

Ziel ist es, den Kunden über eine Cloud-Plattform die Simulation eines Bearbeitungsprogrammes mit verschiedenen Bearbeitungsparametern zu ermöglichen, um die nach seinen Anforderungen beste Variante für die reale Fertigung auszuwählen. Bei Anbindung der virtuellen Werkzeugmaschine an die iWePro-Datenbank, kann jedes neue Bearbeitungsprogramm vorher für verschiedene Maschinentypen simuliert und optimiert werden, damit dann das im iWePro-Projekt entwickelte RAS jeweils die günstigste und zeitlich geeignete Maschine für ein Fertigungslos auswählt.

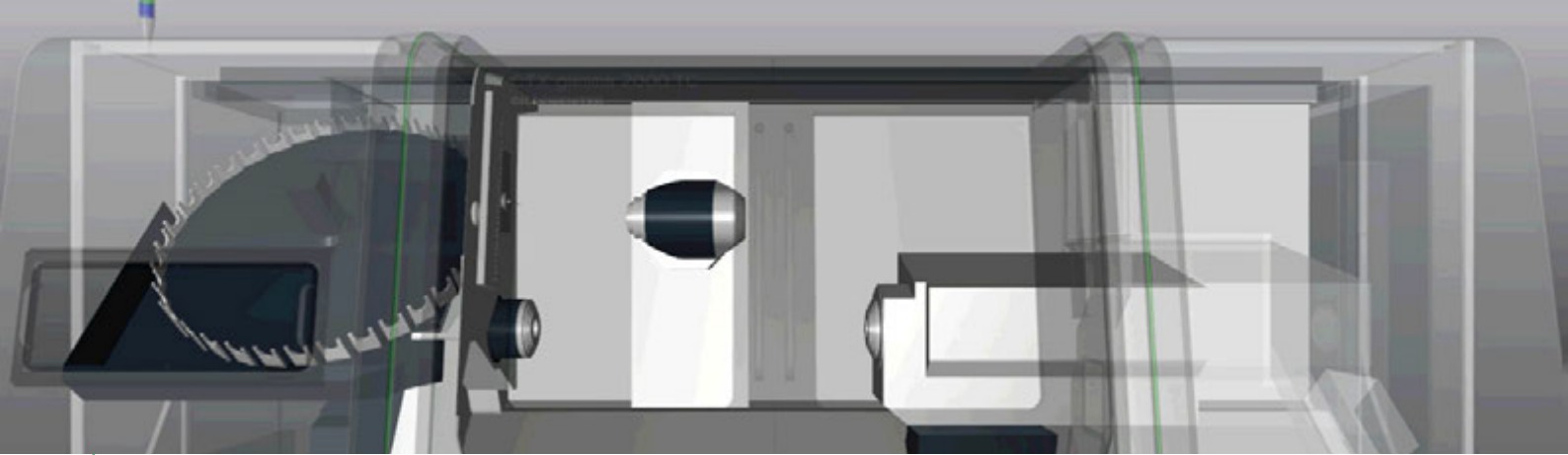


Abb. 7: DMG Virtual Machine

## PERSPEKTIVEN

### Prozesskette

Moderne Fertigungstechnologien erfordern neue Prozessketten mit folgenden Komponenten:

- **Computer Aided Design (CAD):**  
Das vollständig dreidimensionale System mit doppelter Genauigkeit ermöglicht die exakte Beschreibung fast jeder geometrischen Form.
- **Computer Aided Manufacturing (CAM):**  
Die CAM-Funktionen bieten NC-Programmierung für moderne Werkzeugmaschinen, unter Verwendung des NX Konstruktionsmodells, zur Beschreibung des fertigen Teils. Über einen Postprozessor kann dann das NC-Programm für eine bestimmte Maschine generiert werden.
- **Virtual Machine:**  
Die Simulation eines Bearbeitungsprogrammes mit verschiedenen Parametern optimiert die Bearbeitung.

### Intelligente Werkzeugmaschine

DMG MORI arbeitet intensiv an der »Intelligenten Werkzeugmaschine«, die sich selbst überwacht, dem Bediener sagt, wie lange der aktuelle Job noch dauert und selbstständig einen Reparatur- oder Wartungszeitraum vorschlägt, natürlich nicht ohne die benötigten Ersatzteile vorzuschlagen oder sogar im Online-Shop selbstständig zu bestellen. Dazu gehört das gesamte Maschinenumfeld mit:

- CAD-Zeichnungserstellung
- NC-Programmerstellung
- Werkzeug- und Spannmittel-Organisation
- Auftragsorganisation und -dokumentation.

## ANSPRECHPARTNER

### Wolfgang Pieper

Strategische CNC Koordination

### DMG MORI

#### Software Solutions Germany GmbH

Gildemeisterstraße 60  
33689 Bielefeld

Tel.: +49 5205 74 2899

E-Mail: wolfgang.pieper@dmgmori.com

Web: www.dmgmori.com

## EINBINDUNG FERTIGUNGSEINRICHTUNGEN

### Zielsetzungen

- Analyse flexibler Fertigungsstrukturen
- Entwicklung einer Datenschnittstelle zur Einbindung von Werkzeugmaschinen

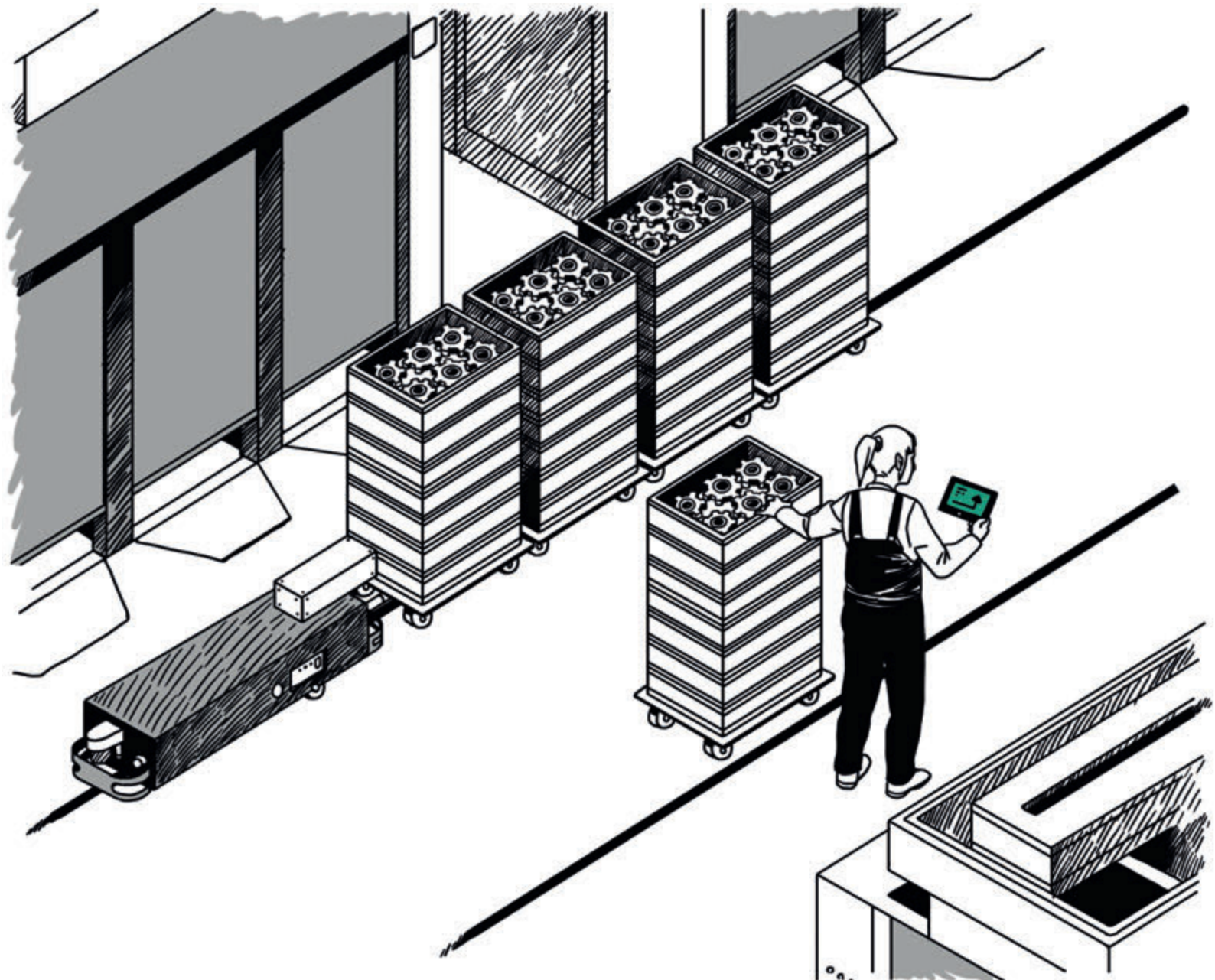
### Ergebnisse

- Use Case für die Kommunikation zwischen Werkzeugmaschine und Agentensystem
- Einbindung von Maschinen und Anlagen
- Integration der virtuellen Werkzeugmaschine für die effiziente Projektierung

# Vernetzte Intralogistik in der Produktion

## Transportmanagementsystem und innerbetriebliche Logistik

SAFELOG



»Auf dem mobilen Tablet sehe ich immer genau, welcher Auftrag wann wohin muss – und wie ich ihn am besten dorthin befördere.«  
- SAFELOG

## KOMMUNIZIERENDE LAGER- UND TRANSPORTSYSTEME

**Durch die Vernetzung von Transportsystemen mit anderen Systemen wird der Werker mit aktuellen Informationen noch besser unterstützt. Auch die Transportsysteme selbst werden vernetzt, um Aufträge effizienter abzuarbeiten.**

Die SAFELOG GmbH beabsichtigt, die bereits erreichten Standards in der Kommissionierung und Zulieferlogistik so zu transformieren und ergänzen, dass sie in die mittlerweile sehr variantenreichen Werkstattproduktion integriert werden können.

### Vernetzte Transportsysteme

In einer Industrie 4.0 Produktionsumgebung sind auch die Transportsysteme untereinander vernetzt. Sie teilen sich gegenseitig Position, Beladezustand, Auftrags- und Statusinformationen mit. Dies führt zu einer Mobilisierung der innerbetrieblichen Logistik. Im Projekt iWePro wurden fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) eingesetzt. Durch die Vernetzung der FTF können Aufträge ökonomisch als Schwarm abgearbeitet werden, da die FTF untereinander kommunizieren und Informationen teilen. Eine zentrale Prozesssteuerungskomponente ist hier nicht mehr notwendig.

### Intelligente Auftragsplanung

Das von SAFELOG GmbH entwickelte Transport Management System (TMS) schafft die Brücke zwischen den Transportmitteln und der Werkstattproduktion und sorgt für eine optimale Verteilung der Transportaufträge auf den Fahrzeugen. In der Produktionsumgebung kommunizieren alle Systeme untereinander und empfangen Aufträge für den Teiletransport vom TMS. Das TMS handelt eingehende Transportangebote mit dem Rechner-Agenten-System (RAS) aus. Angenommene Aufträge werden über den Service Layer ans Backend geliefert. Bei der Kopplung der Smart Devices an die Agenten spielt das TMS den Vermittler der Verbindungsinformationen; es hält sich stets aktuellste Informationen über die Aufträge und die FTF.

### Werkführung mit Smart Device

In der Produktionsumgebung der intelligenten Werkstattproduktion kommunizieren alle Systeme

untereinander. Als Schnittstelle zur Kommunikation mit dem Menschen bietet sich das Smart Device an, um mehr Transparenz und Interaktionsmöglichkeiten zu schaffen. Anstehende und in Ausführung befindliche Aufträge werden mit einem Smartphone, Tablet oder anderem Android lauffähigen Smart Device visualisiert.

Der Werker kann dadurch Aufträge gezielt vorziehen, ausführen und abrechnen. Bei der Ausführung eines Auftrages wird der Werker durch Positionsangaben, Quittierungsmechanismen und Visualisierung der Route geführt. SAFELOGs Kommissioniersysteme sind nach dem Poka Yoke Ansatz ausgerichtet. Dieser japanische Ausdruck steht für die Vorgehensweise, Fehler sofort erkennen und verhindern zu können. Klare Visualisierung und Quittierungsmechanismen sichern den Kommissionierprozess ab.

## HINTERGRUND

Die Aufgabe des Transports und die Teileversorgung aus dem Lager sollen zukünftig intelligente Lager- und Transportsysteme übernehmen. Der Mensch spielt in der Kommissionierung durch seine Kreativität, Individualität und einzigartigen motorischen Fähigkeiten eine wertvolle, nicht durch Maschinen ersetzbare, Rolle. Die Transportsysteme sollen ihm lediglich monotone und körperlich anstrengende arbeiten abnehmen und ihm im Kommissionierprozess effizient unterstützen und angenehmes Arbeiten ermöglichen. Ein schwerer Teiletransport aus dem Lager kann so automatisiert durch selbstfahrende Fahrzeuge ersetzt werden. Entnahme und Ablage erfolgt durch den Kommissionierer. Menschliche Arbeit wird so gesichert und gleichzeitig aufgewertet.

## ZIELSETZUNGEN

### Agentensystem für die Transportfahrzeuge

Im Laufe des Projekts iWePro wurde ein Agentensystem zur Ansteuerung der Transportfahrzeuge implementiert. Auf jedem selbstfahrenden Transportfahrzeug soll ein Software-Agent laufen, welcher Informationen mit anderen Transportfahrzeugen teilt. Das entwickelte fahrerlose Transportfahrzeug (FTF) wird durch einen Software-Agenten

durch den Prozess gesteuert. Der Software-Agent besitzt Informationen über jeden anderen Software-Agenten im System. Position und Beladezustand des jeweiligen FTF werden über die Agenten geteilt. Dieser ständige Informationsaustausch soll einen effizienteren Teiletransport ermöglichen. Sind ein oder mehrere Smart Devices an den Agenten gekoppelt, wird die Auftragsliste, Positionsdaten und weitere Statusinformationen an das Smart Device zur Visualisierung gesendet.

### Intelligentes Transport Management

Im Laufe des Projekts wurde das TMS entwickelt. Es diente als intelligente Transportverwaltungskomponente im System. Das TMS berücksichtigt freie Kapazitäten im System so, dass die Transportaufträge optimal auf die Transportfahrzeuge verteilt werden. Die freien Kapazitäten sollten auch zur Aushandlung der Transportaufträge mit dem RAS berücksichtigt werden.

### Userinterface und interaktive Benutzerführung

Als Userinterface wurde eine Android App erstellt. Sie übernimmt die Visualisierung der Auftrags- und Transportinformationen eines FTF und führt den Werker durch den Transport. Die ausgestattete Wegführung gibt Informationen über die Route und die aktuelle Position des FTF und unterstützt den Werker im Falle eines halbautomatischen Transportes. Bei der Erstellung der App wurde auf schlankes Design und Benutzerfreundlichkeit geachtet.

## TECHNOLOGIE UND IMPLEMENTIERUNG

### Transportsystem und seine Komponenten

Das Transportsystem besteht aus verschiedensten Komponenten. Daten werden per WLAN über die Protokolle UDP und TCP ausgetauscht. Die Webservices sind SOAP-basiert. Das Transportsystem erstreckt sich auf folgende drei Kernbereiche:

### Transport Management System

Das TMS besitzt eine integrierte Auftragsplanung. Vom RAS eingehende Aufträge werden vom TMS mit der optimalen verfügbaren Transportzeit als Transportangebot für das RAS zurückgeliefert. Bei Annahme eines Transportauftrages vom RAS wird

der Transportauftrag auf die Agenten der entsprechenden FTF verteilt. So werden Transporte optimal von den bereitgestellten Transportfahrzeugen durchgeführt.

Das TMS ist mit einem SOAP-basierten Webserver ausgestattet. Über den Webservice können Transportaufträge mit dem RAS ausgehandelt werden. Auftragsangebote können angenommen oder abgelehnt werden. Angenommene Angebote können gelöscht werden. Um die Schnittstelle zwischen TMS und RAS zu testen wurden Prototypen für beide Kommunikationspartner mit eigener Oberfläche implementiert. Der Zugriff auf die Stammdaten ist ebenfalls SOAP-basiert und erfolgt wie bei allen Partnern über den Service Layer. Eine WSDL Datei dient hier als Schnittstellenbeschreibung.

### Agent

Das TMS kommuniziert mit dem Agenten über das verbindungslose Netzwerkprotokoll UDP. Die Agenten verbinden sich auf das TMS und erhalten so ihre anstehenden Aufträge. Das TMS wird dabei über jeden Schritt in der Abarbeitung eines Auftrags informiert. Der Agent erhält Informationen wie Positionsangaben und Beladezustand über UDP vom FTF. Zur Ausführung des Auftrags sendet der Agent seinem gekoppelten FTF Fahrbefehle. Die Agenten selbst kommunizieren untereinander über Nachrichten mit dem UDP Protokoll.

### Smart Device

Im Falle eines halbautomatischen Transportes wird der Werker im gesamten Kommissionierprozess unterstützt. Mit einem NFC fähigen Android Smartphone kann der Werker das mobile Gerät mit dem Agenten des FTF verheiraten. Anstehende und ausgeführte Aufträge können so angezeigt werden. Bei der Ausführung eines Auftrags wird der Werker über den Weg und das Ziel informiert. Auch die Quittierung kann über das mobile Gerät erfolgen. Über die Benutzeransicht wird dem Werker ermöglicht, bestimmte Aufträge vorziehen zu können. Sobald ein Transportauftrag in Arbeit ist, erscheint eine Statusbar mit aktuellen Auftragsinformationen und ein Eingabefeld zum quittieren des Auftrages. Der Wechsel zur Detailansicht eines Auftrages ist jederzeit möglich. Die aktuelle Auftragsnummer und Position des FTF werden immer eingeblendet.

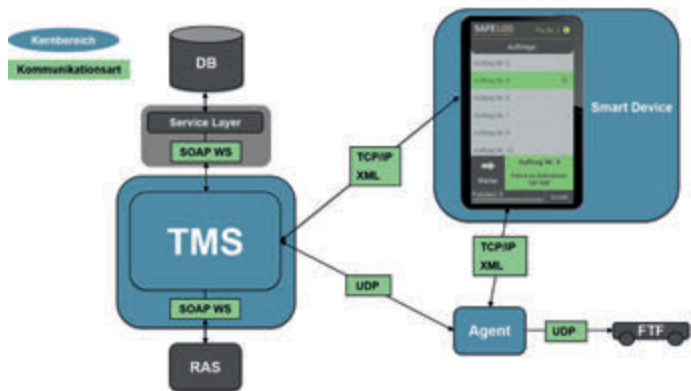


Abb. 8: Kommunikationsarten und Kernbereiche

Am FTF ist ein RFID-Chip befestigt. Das Smart Device liest die Daten auf dem Chip und verbindet sich mit dem TMS. Sobald die Verbindung steht, wird eine Verbindungsanfrage an das TMS geschickt. Die Verbindungsanfrage beinhaltet den Namen und Ort des jeweiligen FTF. Das TMS sendet die nötigen Verbindungsinformationen an das Smart Device zurück. Anschließend trennt das Smart Device die Verbindung zum TMS und koppelt sich an das jeweilige FTF. Das Smart Device zeigt nun aktuelle Statusinformationen und Aufträge vom gekoppelten FTF an.

## ERGEBNISSE

Im Verlauf des Projekts iWePro wurde zur Kommunikation der Transportfahrzeuge untereinander ein vernetztes Agentensystem entwickelt. Es entstand ein intelligentes Transportmanagementsystem zur Verteilung und Aushandlung der Aufträge sowie eine Android App als Userinterface und interaktiven Benutzerführung für den Werker.

## PERSPEKTIVEN

Die Ergebnisse werden genutzt, um Kommissioniersysteme in intelligente Umgebungen einzubinden und neue Produktlösungen für den Anwendungsbereich im Sinne Industrie 4.0 zu entwickeln. Hierzu gehört auch die geplante Entwicklung von Software für Android lauffähige Systeme um Lean Hardware zum Zweck der Interaktion einzusetzen. Die zu erwartenden Ergebnisse bieten eine Grundlage für weitere innovative Entwicklungen von Soft- und Hardwarelösungen für die Anwendung in intelligenten Fertigungsumgebungen.



Abb. 9: Verbindungsaufbau Smart Device zum Agenten über TMS

## ANSPRECHPARTNER

**Philipp Hell**

Software

**SAFELOG GmbH**

Ammerthalstraße 8

85551 Kirchheim bei München

Tel.: +49 (89) 318 294-26

Fax: +49 (89) 318 294-19

E-Mail: hell@safelog.de

Web: www.safelog.de

## TRANSPORT MANAGEMENT SYSTEM UND INNERBETRIEBLICHE LOGISTIK

### Zielsetzungen

- Vernetzte Transportsysteme
- Intelligente Auftragsplanung
- Werkerführung mit Smart Device

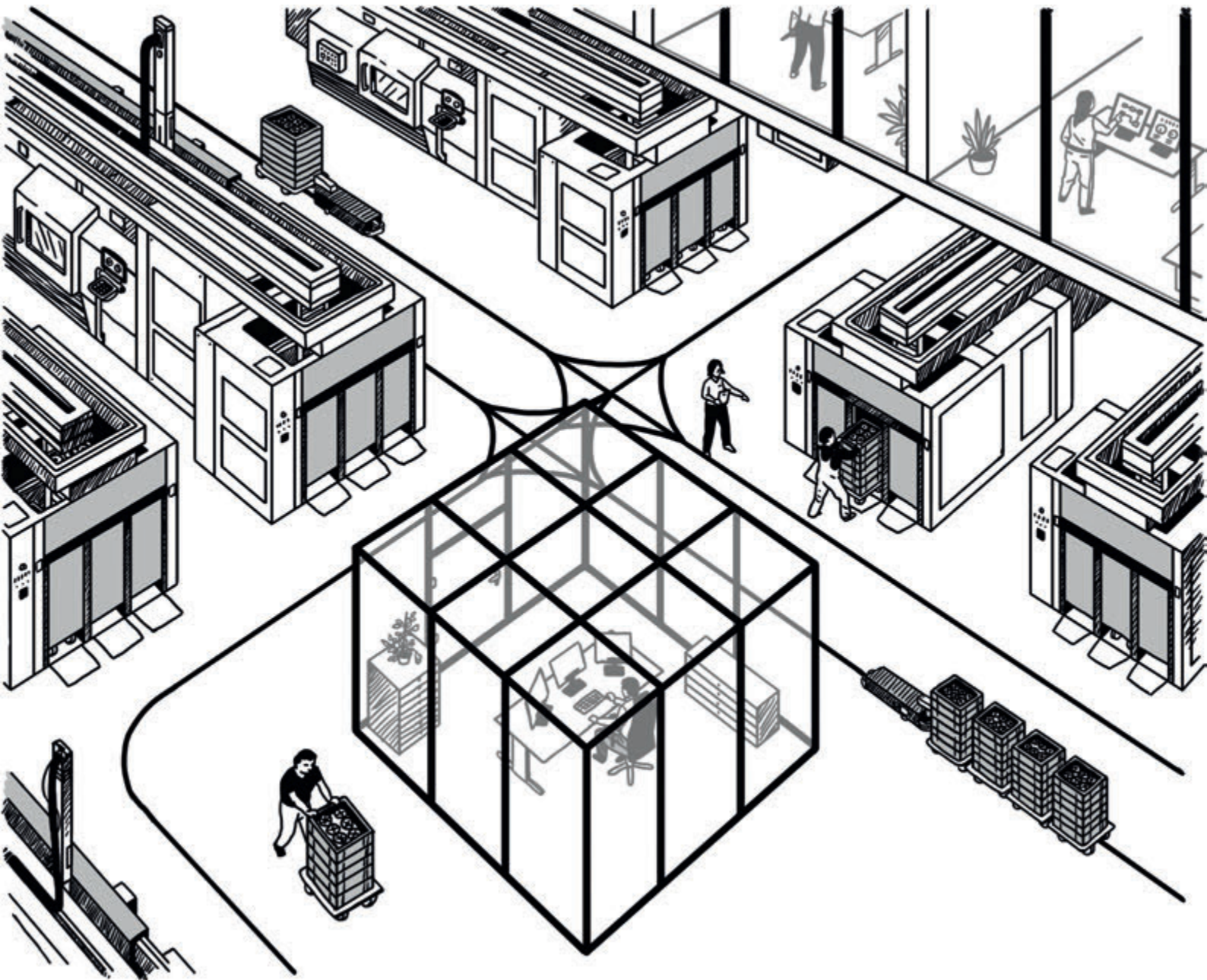
### Ergebnisse

- Agentensystem für fahrerlose Transportfahrzeuge
- Transport Management System
- Android App als Userinterface für den Werker

# Intelligente Vernetzung in der Produktion

## EDV Struktur und Schnittstellenlösung, RFID

TAGnology RFID



»Erst durch die Entwicklung einer intelligenten Infrastruktur ist es möglich, dass alle Systeme in die reale Werkstattumgebung eingebunden werden.«

- TAGnology RFID



## DIGITALE INFRASTRUKTUR

**Die Kommunikationsinfrastruktur in der intelligenten, selbstorganisierenden Werkstattproduktion muss gesamtheitlich die Anforderungen einer übergreifenden, selbstorganisierenden Fertigung und Logistik erfüllen und die größtmögliche Flexibilität für den Betrieb bieten. Gleichzeitig sollte die Infrastruktur eine möglichst kurze Einführungsdauer haben.**

Dies erforderte es, einen Service-Layer zu entwickeln, der die entstandenen Informationen, sei es durch die Bewegungen von RFID gekennzeichneten Objekten, durch Benutzereingaben oder systemische Aktivitäten eines der Partnersysteme, automatisch erfasst; diese für Auswertungszwecke speichert und die Informationen gezielt an die angebotenen Systeme weiterleitet, die diese benötigen, wie die Fertigungsplanung, die dezentrale Fertigungssteuerung, die Simulation und die Transportsysteme. Dafür ist eine zentrale Datenverwaltung und die Verbindung der virtuellen Welt der Planungs- und Steuerungssysteme mit den Ressourcen der realen Welt in der industriellen Fertigung, der Intralogistik und der Transportlogistik notwendig.

Der Mensch nimmt eine zentrale Rolle im Projekt iWePro ein. Dies erfordert eine geeignete Mensch-Maschine- bzw. Mensch-System-Schnittstelle. Dem Menschen, der in der Produktion und in der Logistik seinen Job verrichtet, wurde ein Werkzeug zur Verfügung gestellt, welches ihm bei seiner täglichen Arbeit unterstützt, in dem die vielen Informationen in kompakter Weise präsentiert werden und somit eine geeignete Entscheidungsgrundlage geschaffen wird.

### HINTERGRUND

Im Projekt iWePro war die Vernetzung zahlreicher Systeme ein wesentliches Merkmal. Die zentrale Produktionsplanung liefert Aufträge und Auftragsdaten, die dem Rechner-Agenten-System (RAS) zeitnah zur Verfügung gestellt werden müssen. Das RAS generiert aufgrund der internen Logik verschiedene Aufträge für Transporte oder das Befüllen und Entladen von Maschinen, welche wiederum an eine Simulation übergeben werden müssen.

Mit der Abarbeitung in der Simulation entstehen neue Systemzustände, die im RAS erneut zu Berechnungen führen. Zeitgleich zur Simulation können aber auch menschliche Interaktionen oder Bewegungen von RFID gekennzeichneten Objekten zu veränderten Systemzuständen führen. Auch die Bearbeitung von Aufträgen an realen Maschinen sowie ein reales Transportsystem bringen neue Informationen in das Gesamtsystem.

Alle entstandenen Informationen müssen durch den zentralen Service-Layer verwaltet werden. Somit werden zum einen Datenredundanzen vermieden und zum anderen verfügen alle Partner jederzeit über die identischen Informationen. Weiterhin werden die entstandenen Daten in geeigneter Form an mobile Geräte übertragen, um die Kommunikation mit dem Menschen zu ermöglichen.

## ZIELSETZUNGEN

Die Entwicklung einer Kommunikationsinfrastruktur ermöglichte es, Informationen von allen angebotenen Partnersystemen entgegenzunehmen und möglichst zeitnah alle anderen Partnersysteme mit den notwendigen Informationen zu versorgen.

Da alle angebotenen Partnersysteme unterschiedliche Daten generieren und diese für die interne Verarbeitung benötigen, lag der Fokus zunächst auf einem möglichst effizienten Datenmodell, welches mit allen Partnern abgestimmt wurde. Aufbauend auf dem Datenmodell wurde eine Verwaltungsplattform entwickelt, welche einerseits den exklusiven Zugriff zum Speichern und Laden der Daten im Datenmodell hatte und andererseits Schnittstellen für alle angebotenen Systeme zur Verfügung stellte.

Als externe Schnittstelle zu den Partnersystemen wurde die Webservice-Technologie gewählt, da diese sich gerade in heterogenen Systemen bewährt hatte und sich in Vorgesprächen herausstellte, dass hier bereits einschlägige und sehr positive Erfahrungen bei einigen Partnern gemacht wurden.

## TECHNOLOGIE

Innerhalb der Werkstattproduktion, im Rahmen des Projekts iWePro, generieren unterschiedliche Systeme verschiedene Daten und müssen diese mit den anderen Systemen austauschen. Daher wurde ein Datenmodell, basierend auf einer zentralen Datenbank, erarbeitet, in welchem alle notwendigen Daten abgespeichert werden.

### Service-Layer mit Web-Services und Trigger-Funktionalität

Da es beim Speichern und Laden der Daten zu konkurrierenden Zugriffen kommen kann und damit zu inkonsistenten Daten, wurde eine Verwaltungsschicht entwickelt, der sog. Service-Layer, der den exklusiven Zugriff auf die Datenbank erhielt. Der Service-Layer nimmt mittels Web-Services alle Anfragen zum Speichern, Ändern und Löschen von Datensätzen entgegen und führt die gewünschten Operationen aus. Um Inkonsistenzen zu vermeiden, wurde in allen Tabellen eine Versionsnummer eingefügt. Angebundene Systeme können somit nur Änderungen an einem Datensatz durchführen, wenn die übermittelte Versionsnummer des Datensatzes noch aktuell ist.

In der Regel wird aufgrund der Aktualisierung eines Datensatzes durch ein angebundenes System eine Aktion durch ein anderes Partnersystem erwartet. Damit nicht alle angebotenen Systeme ununterbrochen am Service-Layer anfragen müssen und somit die Datenbank belasten, wurde ein Trigger-System implementiert. Jedes Partnersystem kann einen oder mehrere Trigger über den Service-Layer in der Datenbank eintragen. Die Trigger gelten entweder für komplette Tabellen oder für einzelne Datensätze. Wenn sich an einer Tabelle oder an dem bestimmten Datensatz etwas ändert, dann kontrolliert der Service-Layer, ob für die Änderung ein Trigger-eintrag existiert. Sollte dies der Fall sein, dann wird die Änderung direkt an das jeweilige Partnersystem übertragen. Die meisten angebotenen Systeme – beispielsweise die zentrale Belegungsplanung, das RAS und die Simulation – kommen ohne Benutzerinteraktionen aus. Daneben gibt es aber auch einige Systeme, die in Abhängigkeit von Benutzereingaben Informationen im Gesamtsystem bereitstellen, für die entsprechende

Schnittstellen notwendig sind. Hierzu zählen beispielsweise die virtuelle Werkzeugmaschine und das Transportmanagementsystem.

Da der Mensch im Projekt iWePro eine zentrale Rolle spielt, sollte neben dem simulierten Produktionsablauf auch ein Eingriff durch Bediener ermöglicht werden. Hierzu wurde zunächst eine Web-Oberfläche entwickelt, auf der die aktuellen Auftragsdaten, sowie die aktuelle Belegung an den Maschinen und in den Puffern angezeigt wurde. Die Web-Oberfläche basiert auf dem Vaadin-Framework und kann neben normalen Monitoren auch auf mobilen Endgeräten problemlos angezeigt werden. Der Bediener bekommt weiterhin aktuell anstehende Aktionen angezeigt, also das Beladen einer Maschine, das Entladen einer Maschine und den Transport von einem Standort zu einem anderem. Die anstehenden Aktionen werden ständig aktualisiert, da diese nach und nach von der Simulation abgearbeitet werden. Innerhalb der Anzeige kann der Bediener auch selbst eine Aktion durchführen. Sobald er eine Aktion auswählt, bleibt diese von der Simulation unangetastet.

### RFID-Technologie

Damit eine Aktion physikalisch ausgeführt werden kann, wurden RFID-Lesegeräte bzw. RFID-Antennen an Maschinen, Puffer und RFID-Transponder am Transportsystem eingesetzt, die entsprechend in der System-Infrastruktur integriert wurden. Beispielsweise kann so der Bediener eine anstehende Aktion wie den Transport auswählen, woraufhin das Transportsystem an das vorgegebene Ziel fährt. Dort wird der jeweilige RFID-Transponder vom Lesegerät bzw. von der Antenne erkannt und die Daten werden entsprechend verbucht. Um einen Gesamtüberblick über die Produktion zu erhalten, wurde eine zusätzliche Anzeige entwickelt, in der die wichtigsten Produktionskennzahlen (KPIs), wie der Durchsatz, der Prozessgrad und die OEE, berechnet und angezeigt werden.

## IMPLEMENTIERUNG

Das Datenmodell wurde auf einer zentralen Datenbank implementiert. In zahlreichen gemeinsamen Tests wurden immer wieder die verschiedenen Abläufe, also das Zusammenspiel von Auftragsplanung,



Abb. 10: Prototyp für die Objektidentifikation mittels RFID

dem RAS, der Simulation und dem Service-Layer, analysiert. Von den Durchläufen wurden Datenbank-Dumps generiert, die dann für die Validierung der KPIs genutzt werden konnten. Zudem wurden auch die »realen« Komponenten, also das RFID-Lesegerät, das mobile Endgerät, das Maschinenterminal und das Transportmanagementsystem, in die Tests miteinbezogen. Durch diese Vorgehensweise konnte ein stabiles Gesamtsystem, bestehend aus den Partnersystemen und der Infrastruktur, entwickelt werden.

## ERGEBNISSE

### Implementierung eines abgestimmten Datenmodells auf einer zentralen Datenbank

- Service-Layer mit Web-Services und Trigger-Funktionalität
- Benutzeroberfläche zur Interaktion mit dem Menschen
- Prototyp bestehend aus RFID-Lesegeräten mit Antennen und Transpondern zur Standorterkennung

## PERSPEKTIVEN

Der entwickelte Service-Layer eignet sich für die Anbindung verschiedener Fremdsysteme, um Datenredundanzen und -inkonsistenzen zu vermeiden. Speziell die Trigger-Funktionalität erlaubt schnelle Interaktionen zwischen den Systemen. Die entstandene Web-Oberfläche ist für die Einbindung des Menschen in das Industrie 4.0-Umfeld unumgänglich. Sie wird zukünftig auch in das eigentliche Standard-Produkt, die Softwareplattform TAGpilot, der TAGnology RFID GmbH eingebunden. Die RFID-Technologie ist geeignet, um eine Standortbestimmung oder Materialidentifikation durchzuführen, aber auch für komplette Track and Trace-Anwendungen und für den Diebstahlschutz oder zum Schutz vor Produktpiraterie.

## ANSPRECHPARTNER

### Markus Schriebl

Chief Executive Officer

### TAGnology RFID GmbH

Grazer Vorstadt 142  
8570 Voitsberg  
Österreich

Tel.: +43 3142 28 9 28-11

Fax: +43 3142 28 9 28-20

E-Mail: [m.schriebl@tagnology.com](mailto:m.schriebl@tagnology.com)

Web: [www.tagnology.com](http://www.tagnology.com)

## EDV STRUKTUR UND RFID-TECHNOLOGIE

### Zielsetzungen

- Kommunikationsinfrastruktur für alle angebundenen Partnersysteme
- Benutzeroberfläche für die Interaktion mit dem Menschen

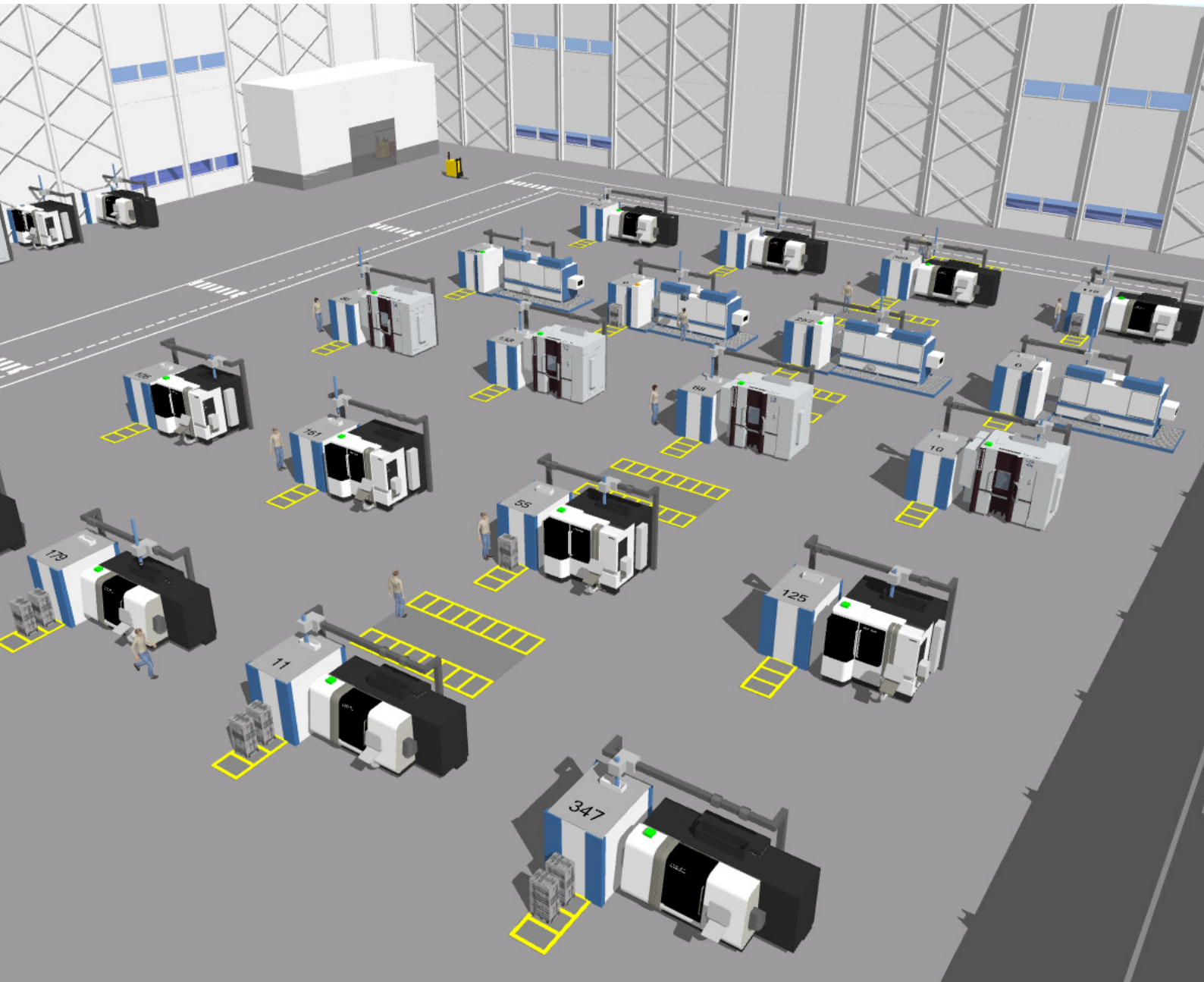
### Ergebnisse

- Abgestimmtes Datenmodell auf einer MySQL-Datenbank
- Service-Layer mit Web-Services und Trigger-Funktionalität
- Benutzeroberfläche zur Interaktion mit dem Menschen
- Anbindung von RFID-Technologie zur Standorterkennung

# Auslegung der Produktionsumgebung

## Simulation und Emulation der Opel-Getriebefertigung

SimPlan



## VIRTUELLES FERTIGEN VON REALEM MONTAGEBEDARF

Die Shop Floor Simulationssoftware Demo3D setzt die Aufträge aus dem RAS virtuell um und schreibt Statusänderungen aller Ressourcen über den Service Layer in die Datenbank. Sie ermöglicht eine Erprobung der Fertigung nach neuen Paradigmen ohne einen realen Shop Floor und somit zu überschaubaren Kosten.

### TECHNOLOGIE

#### Emulation vs. Simulation

**Eine Emulation statt einer Simulation war bei iWePro der optimale Weg.**

Eine Emulation unterscheidet sich von einer Simulation unter anderem darin, dass die Intelligenz – d. h. die Abbildungen von Strategien und Entscheidungen, die getroffen werden – nicht innerhalb der Umgebung liegt, sondern extern. Da innerhalb des Projekts sehr unterschiedliche Entscheidungsinstanzen miteinander verglichen wurden, war es notwendig, die Umgebung, die zur Abbildung und Bewertung des Systems genutzt wird, möglichst identisch zu halten. Aus diesem Grunde wurde eine einfache Emulationsumgebung entwickelt, die sich für jegliche externe Entscheidungsinstanz exakt gleich verhält um eine optimale Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Die Emulation führt verschiedene Befehle aus:

- Mitarbeiter bekommen Transportaufträge und bringen Produktionsaufträge aus Puffern zu Bereitstellflächen oder beladen Fertigungszellen
- Mitarbeiter bekommen Rüst- oder Störungsbehebungsaufträge
- Maschinen bekommen Bearbeitungsaufträge

Dabei prüft die Emulation keinerlei Restriktionen und befolgt keinerlei Strategien – sie ist lediglich Empfänger von Befehlen und führt diese im Rahmen vorgegebener Geschwindigkeiten aus. Selbst die Häufigkeit und Dauer von Störungen ist, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten, extern deterministisch vorgegeben.

#### Emulation Controller

**Technisch wurde vor die Emulation ein Controller geschaltet, der einheitliche Nachrichten in Befehle übersetzt, die der Emulation zur Ausführung übergeben werden.**

Es wurde innerhalb einer eigenen Software ein Interface geschaffen, welches normierte Nachrichten empfängt und nach einem immer gleichen Schema an die Emulation als Befehl zur Ausführung übergibt. Der Emulation-Controller ist dabei für verschiedene Punkte verantwortlich.

Zunächst muss der Emulation-Controller den Zustand der Emulation kennen. Dies ist beispielsweise der Ort eines jeden Produktionsauftrags, die Zustände der Fertigungszellen (er muss etwa wissen, ob eine Fertigungszelle sich in Störung befindet oder wie deren Rüstzustand ist), die aktuellen Füllstände der Puffer und die aktuellen Aufgaben der Mitarbeiter bzw. deren Qualifikation und Verfügbarkeit für die unterschiedlichen anstehenden Aufgaben.

Auf Basis dieser Informationen entscheidet der Emulation-Controller, ob er die empfangenen und gesammelten Nachrichten in Befehle umsetzen kann, die er der Emulation übergibt. Beispielsweise können Transportaufträge nur übermittelt werden, wenn der Puffer an der Zielstelle hinreichend Kapazität aufweist; ein Bearbeitungsauftrag kann nur gegeben werden, wenn die Maschine korrekt gerüstet ist usw.

Die dritte Aufgabe des Emulation-Controllers ist es, die Zustände und Ereignisse der Emulation als Events und Statusmeldungen in eine externe Datenbank zu schreiben oder der steuernden Instanz zeitnah zur Verfügung zu stellen. Dies ist einerseits wichtig, weil diese Statusmeldungen benötigt werden um gute Steuerungsentscheidungen treffen zu können. Andererseits werden diese Statusänderungen später zur Berechnung von KPI und generell zur Auswertung des Emulationslaufes benötigt.

Die Kombination aus Emulationsumgebung und Emulation-Controller wird als Simulationsumgebung bezeichnet. Hier wurden innerhalb des Projekts zwei Varianten entwickelt.

Die erste Variante – auch Hybrider Demonstrator genannt – läuft in Echtzeit und beinhaltet nur ein sehr kleines, vereinfachtes Modell. Der Hybride Demonstrator wurde entwickelt um auf Messen in optisch ansprechender Form das Gesamtsystem zu präsentieren. Er beinhaltet Komponenten zur interaktiven Kommunikation mit einem User, der selbst Befehle für einen dedizierten Werker generieren und die Reaktion des Systems direkt beobachten kann.

Die zweite Variante ist für das schnelle Simulieren von 20-tägigen Szenarien in einer komplexen Umgebung ausgelegt. Zugunsten der Laufzeit wurde hier auf optische Effekte verzichtet und die Performance in den Vordergrund gestellt. Es wird automatisiert nach bestimmten Eingabeformaten, ein Lauf in kürzester Zeit durchgeführt und die notwendigen Statusmeldungen erzeugt bzw. die relevanten KPI berechnet und exportiert.

### Gantt-Tracker

**Einen Soll-Ist Vergleich sowie eine Übersicht über den Zustand bekommt man am besten über ein Gantt-Diagramm.**

Die vom Emulation-Controller erzeugten Statusmeldungen können innerhalb eines Gantt-Diagrammes dargestellt werden. Hier sieht man die Belegungen der Fertigungszellen durch die Produktionsaufträge, die benötigte Zeit zum Rüsten und für Werkzeugwechsel sowie Stör- und Leerlaufzeiten. Sollte die Emulation auf einem vorberechneten Plan aufbauen, kann darüber hinaus ein direkter Vergleich zwischen dem Soll-Plan und dem simulierten Ist-Verlauf visualisiert werden. Ein sich zur Laufzeit anpassen- des Gantt-Chart wird dann als Flow-Gantt bezeichnet.

### KPI-Analyzer

**Die Bewertung eines Laufes erfolgt über Kennzahlen, die KPI. Deren Berechnung und Analyse ist ein zentraler Punkt.**

Die Simulationsumgebung erzeugt eine Vielzahl von Statusmeldungen, die die Basis für eine Berechnung der relevanten KPI bilden. Um diese KPI optimal beurteilen zu können, wurde eigens ein Tool zur Visualisierung entwickelt: der KPI-Analyzer. Der KPI-Analyzer filtert und gruppiert die Statusmeldungen des Emulation-Controllers und

berechnet alle relevanten KPI. Diese werden dann einzeln für den Lauf dargestellt und auch deren Entwicklung bzw. der zeitliche Verlauf wird graphisch dargestellt. Dies ist nötig, um einen relevanten Bewertungszeitraum zu definieren. Dies ist notwendig, da die Simulationsumgebung »leer« startet und erst eine Einschwingphase benötigt wird, bevor die gesamte Fertigung ausgelastet ist.

Der KPI-Analyzer stellt folgende Kennzahlen dar:

- Durchlaufzeit eines Auftrages
- Durchsatz
- Termintreue
- Fertigstellungstermin-Abweichungen
- Nutzungsgrad
- Prozessgrad
- Work in Process
- Auslastung
- Pufferfüllstände

### Simulationsparameter

**Der Detaillierungsgrad der Simulation muss hinreichend genau sein, um Aussagen auf die Praxis übertragen zu können.**

Zunächst bildet die Simulationsumgebung einen Bereich der Weichbearbeitung und einen Bereich der Hartbearbeitung ab. Zwischen diesen Bereichen durchlaufen die Produktionsaufträge einen Härteofen. Innerhalb der Bereiche werden die Produktionsaufträge in unterschiedlichen Fertigungsbereichen (OP) auf Fertigungszellen dieser bearbeitet (z. B. Drehen, Fräsen). Jede Fertigungszelle hat eine Beladezelle, in der Platz für zwei Produktionsaufträge ist. Einer wird bearbeitet, der andere ist entweder bearbeitet und wartet auf seinen Weitertransport, oder er ist unbearbeitet und wartet darauf, dass der aktuelle Produktionsauftrag fertig bearbeitet wird. Eine Fertigungszelle ist für bestimmte Typen von Aufträgen (Gang, Variante) gerüstet, bei einem Wechsel des Auftragsstypen wird ein Mitarbeiter benötigt um die Fertigungszelle passend zu rüsten. Die Härterei hat einen Sonderprozess, hier können Produktionsaufträge parallel zueinander bearbeitet werden.

Mitarbeiter können bestimmte Qualifikationen haben, d. h. sie sind entweder einer bestimmten OP zugeteilt, oder können nur bestimmte Tätigkeiten

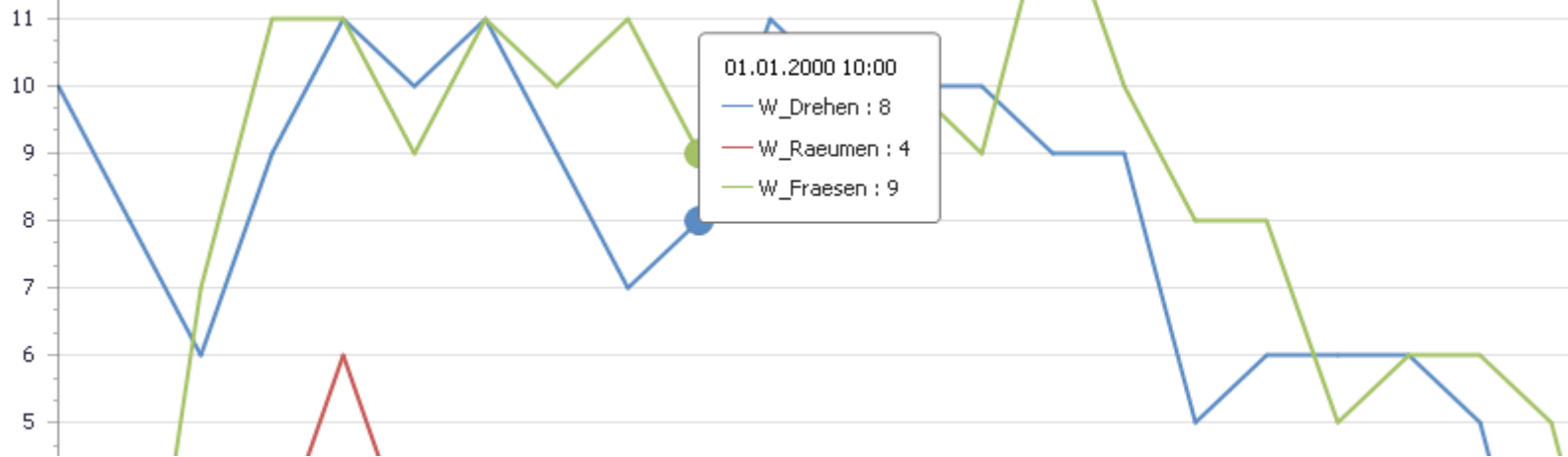


Abb. 11: KPI

verrichten (z. B. nur Transportieren, Rüsten oder Störungen beheben). Es gibt dazu Verkettungsgruppen, d. h. sobald ein Produktionsauftrag eine OP auf einer bestimmten Fertigungszelle bearbeitet wurde, ist die Fertigungszelle der nachfolgenden OP dadurch fixiert, auch wenn es in der nachfolgenden OP eigentlich mehrere Fertigungszellen gäbe. Dies soll eine teilweise starre Verkettung abbilden.

Ein weiterer Punkt sind nötige Zeiten für Werkzeugwechsel – Werkzeuge nutzen sich ab und müssen durch Werker ausgetauscht werden. Die Emulation bereitet die Standmengen der Werkzeuge und deren Verschleiß auf – es wird dann bei Bedarf im Emulation-Controller ein Werkzeugwechsel-Auftrag erzeugt. Störungen werden extern a priori definiert – die Emulation reagiert auf diese Störungsbefehle. Der Emulation-Controller generiert Störungsbehebungsbeefehle und teilt diese den Werkern zu.

## ERGEBNISSE

Es wurde eine Simulationsumgebung entwickelt, die an unterschiedliche Steuerungsinstanzen angeschlossen werden kann und die Kennzahlen zur Bewertung von Steuerungslogiken und Layoutvarianten berechnet.

- Ankopplung von Steuerungsmodulen über eine standardisierte Schnittstelle
- Detaillierte Abbildung von Prozessen und Systemeigenschaften
- Visuell ansprechende, effiziente sowie performante Anwendung
- Visualisierung der Ergebnisse im Gantt-Diagramm
- Berechnung und Visualisierung von KPI

## ANSPRECHPARTNER

### Jörg Kemper

Geschäftsführung

### SimPlan Integrations GmbH

Friedrich-Ebert-Straße 87  
58454 Witten

Tel.: +49 2302 20297-0

Fax: +49 2302 20297-19

E-Mail: joerg.kemper@simplan.de

Web: www.simplan.de

## SIMULATION UND EMULATION

### Zielsetzungen

- Effiziente und echtzeitfähige Simulation der realen Werkstattproduktion

### Ergebnisse

- Simulationsumgebung: Einflüsse von Layouts, Maschinenmengengeräten, Maschinenflexibilität und Steuerungsstrategien etc.
- Hybrider Demonstartor: Demonstration der Kombination von Simulation mit Interaktion

# Anwendungsbezogene Studie Einsatzgrenzen von Steuerungsstrukturen in der Werkstattfertigung

Opel Automobile





## ANWENDUNGSBEZOGENE STUDIE

**Ein Simulationsmodell einer Werkstattfertigung mit intelligenten Komponenten, welche die charakteristischen Prozesse einer Zahnradfertigung für Getriebe abbildet, wurde erstellt und validiert. Mit diesem Modell wurden Einsatzgrenzen zentraler und dezentraler Steuerungsstrukturen in Abhängigkeit des Rüstens, der Aktualität der Entscheidungsbasis und stochastischer Störungen ermittelt.**

## HINTERGRUND

### Auslegung von Fabriken

Eine Fertigung wird nach dem Produktionsprogramm ausgelegt. Das Produktionsprogramm enthält Informationen über die Reihenfolge zu fertigender Produkte mit Angaben zur jeweiligen Losgröße, Start- und Lieferterminen. Jedem Produkt liegt in der Planungsphase der Fertigung ein Arbeitsplan zu Grunde, in dem die Arbeitsgangfolge, die geplanten Bearbeitungszeiten, Rüst- und Werkzeugwechselfaufwände beschrieben sind. Diese Angaben sind die Grundlage zur Auslegung eines geeigneten Maschinenmengengerüsts. Unter Berücksichtigung verschiedener Störprofile dienen Materialflusssimulationen als Werkzeug für die Auslegung von Fabriken.

### Steuerungsstrukturen

Es kann zwischen zentral-hierarchischen, dezentral-hierarchischen und dezentral-heterarchischen Steuerungsstrukturen unterschieden werden. Bei zentral-hierarchischen Strukturen erfolgt die Produktionssteuerung auf Basis von Ablaufplänen, die von einem zentralen Algorithmus generiert werden. In dezentral-heterarchischen Strukturen entscheiden dezentrale logistische Elemente autonom auf welcher Maschine sie gefertigt werden.

### Zentrale vs. dezentrale Steuerung

In der Forschung wird seit längerem der Einsatz von dezentralen Steuerungen in der Fertigung als vielversprechender Ansatz in dynamischen Fertigungsumgebungen mit hoher Komplexität diskutiert, weil die dynamischen Anforderungen an Fertigungen durch sich verkürzende Produktlebenszyklen und steigende Marktschwankungen zunehmen. Den

dezentralen Ansätzen werden die Eigenschaften von dezentralen Ansätzen reaktionsschnell und flexibel einsetzbar zu sein attestiert. Im Gegensatz dazu können dynamische zentral-hierarchische Ansätze in turbulenten Fertigungen übersteuern. Das Potential von dezentral-heterarchischen Strukturen wurde in mehreren Studien bereits nachgewiesen.

Die Frage nach den Einsatzgebieten der Steuerungsstrukturen ist Gegenstand der aktuellen Forschung. Als entscheidenden Einflussfaktor auf die Auswahl einer zentralen bzw. dezentralen Steuerung wird die Komplexität eines Anwendungsszenarios angesehen. Diese kann unter anderem durch Komplexitätstreiber aus dem Bereich von Optimierungsproblemen beschrieben werden. Demnach ist beispielsweise nicht die absolute Höhe von Rüstzeiten entscheidend für die Auswahl von Steuerungs-algorithmen, sondern ob reihenfolgeabhängige Rüstzeiten (Rüstmatrizen) existieren.

## ZIELSETZUNGEN

Bei der Auswahl einer Produktionssteuerung ist idealerweise der Ansatz zu wählen, welcher über einen Zeitraum die bessere logistische Leistung erzielt. Bisherige Ansätze in Bezug auf die Frage ob dezentrale oder zentrale Steuerungen in einem jeweiligen Anwendungsszenario besser sind, vergleichen explizit vorhandene Algorithmen und versuchen diese unter anderem anhand der Komplexitätstreiber von Optimierungsproblemen zu untersuchen. Die Vielzahl von sowohl dezentral als auch zentral existierenden Algorithmen, kann nicht mit vertretbarem Zeitaufwand in Form einer Simulationsstudie untersucht werden. Daher fokussiert sich das Forschungsprojekt iWePro auf die Steuerungsstruktur, die die Art und Weise beschreibt wie Steuerungsentscheidungen ermittelt werden. Dabei soll der Einfluss der Entscheidungslogik nicht im Vordergrund stehen, sondern der Ermittlungsprozess von Steuerungsentscheidungen und dessen Eigenschaften.

## TECHNOLOGIE

### Steuerungsstrukturen

Zentral-hierarchische Strukturen sind bedingt durch einen größeren Planungshorizont und -umfang mit Hilfe von mehreren Optimierungszyklen in der Lage

Lösungen mit einer höheren Güte zu generieren. Je nach Güte der Lösung kann dieser Prozess unterschiedlich lange dauern und innerhalb der Rechenzeit die Entscheidungsgrundlage obsolet werden, sofern stochastische Ereignisse diese verändern. Demgegenüber fällen dezentrale Strukturen ihre Entscheidungen immer auf einer aktuellen, aber nur lokalen Informationslage. Da jedes dezentrale logistische Element autonom entscheiden kann, ist diese Struktur robuster gegenüber äußerlichen Einflüssen wie beispielsweise Störungen. Beide Strukturen werden, solange Heuristiken Anwendung finden, keine optimalen Lösungen liefern. Je nach Anwendungsszenario können zentrale Algorithmen unter Umständen die Anforderungen an die Geschwindigkeiten zur Generierung einer Lösung nicht erfüllen, weil diese beispielsweise zu turbulent sind. In diesen Fällen hat die dezentrale Struktur den Vorteil einer aktuelleren Entscheidungsgrundlage. Vorausgesetzt dezentrale Algorithmen entscheiden immer situativ, besitzen diese keinerlei planerische Funktion. Durch die Erstellung eines Ablaufplans hat die zentrale Struktur den Vorteil, Rüstbedarfe frühzeitig antizipieren und einleiten zu können. Dieser Vorteil macht sich bemerkbar, wenn, bedingt durch die Fertigungsparameter, Auslastungslücken in hinteren Arbeitsgängen existieren und rüstintensive Produktionsprogramme zu fertigen sind.

Die Logik nach der ein dezentraler Algorithmus Dispositionsentscheidungen trifft, kann in einer zentralen Struktur abgebildet werden. Durch Angleichen der Entscheidungslogik ist man in der Lage, den Einfluss von Parametern einer Fertigungsumgebung auf die Leistung einer Steuerungsstruktur zu messen. Darüber hinaus kann der Einfluss der Eigenschaften Aktualität und Antizipation von Rüstbedarfen in Abhängigkeit der Parameter der Fertigungsumgebung untersucht werden.

Die Aktualität der Entscheidungsbasis lässt sich bei der zentralen Steuerungsstruktur über Kontrollzyklen einstellen. Um in einer turbulenten Fertigung ein Übersteuern zu vermeiden, kann dieser Zyklus beispielsweise einen größeren Zeitraum umfassen. Um den Vorteil »Antizipation von Rüstbedarfen« näher zu untersuchen, ist ein Fertigungsszenario vorzusetzen, in dem der Engpass am Beginn der Fertigung angesiedelt ist.

Weiterhin sind die Häufigkeit und der zeitliche Aufwand von Rüstvorgängen entscheidend. In einer konvergierenden Fertigung, wie beispielsweise der Fertigung von Getrieben, existieren mehrere Varianten der verschiedenen Einzelteile. Eine Rüsthäufigkeit kann somit durch den Faktor »Variantenwechsel« beschrieben werden.

Ein weiterer Faktor ist das Verhältnis von zur Verfügung stehenden Maschinen und die Anzahl der zu fertigenden Einzelteile wie Zahnräder der verschiedenen Gänge eines Getriebes in Bezug auf die einzelnen Arbeitsgänge. Die Reihenfolge der Auftragsfreigabe ist durch die Angabe von Einzelterminen (Start- und Liefertermin) für jedes Los bzw. jeden Korbstapel fest vorgegeben. Den letzten Faktor bilden Störungsszenarien. Sie sind durch den Störanteil einer Maschine und verschiedene Stördauern beschreib- und parametrierbar.

Mit Hilfe der beschriebenen Faktoren lassen sich Einsatzgrenzen zentraler und dezentraler Strukturen unabhängig ihrer Logik in Bezug auf das Rüsten, die Aktualität der Entscheidungsbasis und den Einfluss stochastischer Störungen ermitteln.

## IMPLEMENTIERUNG

Im Zentrum der Simulationsumgebung stehen die Emulation und der Emulation Controller, die die reale Fertigung und die Umsetzung von Steuerungsentscheidungen abbilden. Für Simulationsläufe mit einer hohen Geschwindigkeit wurde die dezentrale Steuerung direkt in den Simulationsstand implementiert. Die zentrale Steuerung ist ein eigenständiges Software-Modul, welches über Textdateien mit der Simulationsumgebung kommuniziert. So ist man in der Lage, andere Optimierungsalgorithmen an die Simulationsumgebung anzuschließen.

Sowohl die zentrale als auch die dezentrale Dispositionslogik basieren auf dem Prinzip des Queue Length Estimators (QLE). Die zentrale Steuerung generiert auf Basis des Bergsteiger-Algorithmus eine Lösung für den Ablaufplan. Bei einer störungsfreien und rüstarmen Fertigung würden beide Steuerungen die gleiche logistische Leistung erzielen, da die Entscheidungen und deren Reihenfolge identisch und der Einfluss des frühzeitigen Rüstens

minimal wären. Im Falle von Störungen wird eine Umplanung (Rescheduling) sowohl beim Eintritt als auch beim Austritt einer Störung angestoßen. Diese Umplanung kann zeitnah bzw. Ereignis-basiert und zeitversetzt bzw. Zeit-basiert angestoßen werden.

Zur schnellen Generierung von Anwendungsszenarien wurde ein auf VBA-basierendes Excel-Tool entwickelt, mit dem sich verschiedene Fertigungen abbilden lassen. Die Auswertung der einzelnen Simulationsläufe erfolgt über das Modul zur Berechnung der Kennzahlen, dem Analyse-Modul bzw. KPI Analyzer.

## ERGEBNISSE

Die einzelnen Faktorkombinationen wurden sowohl in einem Flow Shop als auch in einem flexible Flow Shop simuliert. Dadurch sollte neben dem Einfluss der Fertigungsfaktoren auf die jeweilige Steuerungsstruktur zusätzlich die Leistung der Organisationsformen Linie und Werkstatt verglichen werden.

Die Ergebnisse zum Vergleich der Steuerungsstrukturen innerhalb von Werkstattfertigungen und zum Vergleich der Organisationsformen werden differenziert betrachtet. Ferner werden im Folgenden nur die Erkenntnisse zum Bewertungskriterium der Produktionszeit vorgestellt.

Bei niedrigen Störanteilen konnten zentrale Strukturen in Szenarien mit einem hohen Rüstanteil und dezentrale Strukturen bei niedrigen Rüstanteilen kürzere Produktionszeiten erzielen. Bei hohem Störanteil ergab sich kein eindeutiges Bild, tendenziell werden die Aussagen bei niedrigen Störanteilen bestätigt. Die Ergebnisse gelten für den Fall, dass zentrale Steuerungsstrukturen immer auf der aktuellsten Informationsbasis Entscheidungen treffen. In rüstintensiven Szenarien, in denen zentrale Strukturen nur schichtweise neuplanen, erzielten dezentrale Strukturen bessere Produktionszeiten.

Hinsichtlich der Organisationsform einer Fertigung erzielte die Linienfertigung in rüstarmen Szenarien bessere Ergebnisse gegenüber der Werkstattfertigung. Bei hohem Rüstaufkommen, erzwungen von Variantenwechseln innerhalb eines Produkts, war die Werkstattfertigung schneller.

## ANSPRECHPARTNER

### Dr.-Ing. Benjamin Kuhrke

Project Engineer  
Advanced Manufacturing Technologies

### Nils Willeke

Doktorand  
Advanced Manufacturing Technologies

### Opel Automobile GmbH

Bahnhofplatz  
65423 Rüsselsheim am Main

Tel.: +49 6142 7-72953  
Fax: +49 6142 7-61763  
E-Mail: benjamin.kuhrke@opel.com  
E-Mail: nils.willeke@opel.com  
Web: www.opel.com

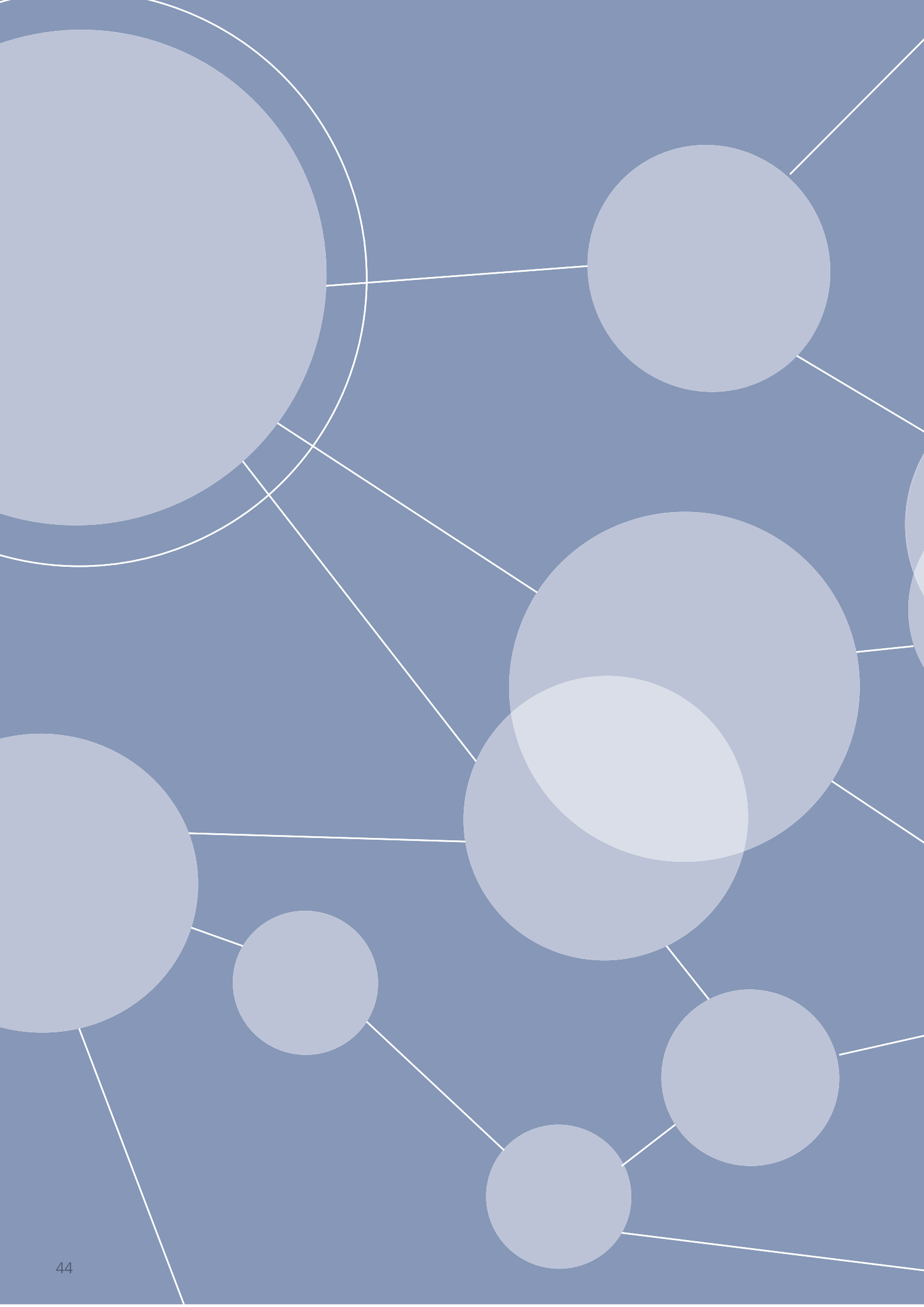
## EINSATZGRENZEN VON STEUERUNGSSTRUKTUREN IN DER WERKSTATTFERTIGUNG

### Zielsetzungen

- Identifizierung von Einsatzgrenzen zentraler und dezentraler Steuerungsstrukturen mit Hilfe von Materialflusssimulationen

### Ergebnisse

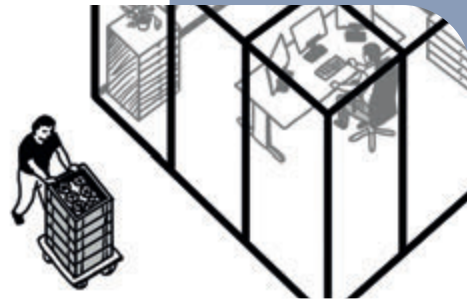
- Performanter Simulationsstand zur Untersuchung des Einflusses der Antizipation von Rüstbedarfen und der Aktualität der Entscheidungsbasis auf die Leistung von Steuerungsstrukturen
- Die Werkstattfertigung wird mit flexiblen Maschinen bei sinkenden Losgrößen und steigender Variantenvielfalt konkurrenzfähiger.
- Durch die Antizipation von Rüstbedarfen erzielen zentrale Steuerungsstrukturen bessere Ergebnisse bei rüstintensiven Anwendungsszenarien.





# iWePro

ARBEITSSOZIOLOGISCHE ASPEKTE  
IN DER PRODUKTION DER ZUKUNFT



# Soziotechnische Systemgestaltung

## Perspektiven von Arbeit bei iWePro

SOFI Göttingen



»Eine 'humanorientierte' Gestaltung von Industrie 4.0- Systemen bedarf der aktiven Mitwirkung auch der Shop Floor-Mitarbeiter.«  
- SOFI Göttingen

**Die Verbreitung immer leistungsfähiger digitaler Informations- und Kommunikationstechnologien in zunehmend vernetzten Wertschöpfungsprozessen wird – darin sind sich alle Beobachter einig – erhebliche Auswirkungen auf Arbeit und Beschäftigung in Industrie wie Dienstleistungen haben. Zugespitzt lautet die Frage zur Zukunft der (Erwerbs-)Arbeit: Wird menschliche Arbeit mit fortschreitender Digitalisierung aufgewertet und »humaner« oder schlichtweg technisch substituiert oder degradiert zu einem austauschbaren Anhängsel von »intelligenten Maschinen und Algorithmen«?**

## **ARBEITSSYSTEME ALS SOZIOTECHNISCHE SYSTEME VERSTEHEN UND GESTALTEN**

Zu Entwicklungstrends und Gestaltungsperspektiven »digitalisierter« Arbeit herrscht nach wie vor ein Mangel an gesicherten arbeits- und sozialwissenschaftlichen Erkenntnissen. Aufgrund der Erfahrungen mit vorangegangenen Technisierungsschüben gibt es aus arbeitssoziologischer Sicht gleichwohl zwei wichtige »Merkposten«, die auch für die gegenwärtige Diskussion wesentlich sind. Erstens: die Entwicklung von Arbeit in einer – wie auch immer im Detail aussehenden – Industrie 4.0 wird nicht durch die verfügbaren Technologien vorherbestimmt bzw. determiniert. Vielmehr werden neben wirtschaftlichen Erwägungen der Unternehmen auch gesellschaftliche und betriebliche Aushandlungs- und Gestaltungsprozesse eine bedeutende Rolle bei der Verbreitung digitalisierter Leistungsprozesse spielen. Zweitens: die Erfahrungen der Vergangenheit zeigen, dass eine wirtschaftliche und sozialverträgliche Umsetzung von Industrie 4.0-Anwendungen in den Betrieben kaum ohne eine aktive Mitgestaltung der Beschäftigten und – sofern vorhanden – ihrer Interessenvertretungen realisierbar sein dürfte.

Diese erfahrungsgesättigten »Merkposten« werden unterfüttert durch die konzeptionelle Überlegung, dass man industrielle Arbeitssysteme sinnvoller Weise als *soziotechnische* Systeme verstehen sollte. Damit trägt man der Tatsache Rechnung, dass es sich dabei eben nicht allein um eine Ansammlung »rein« technischer Artefakte im Rahmen einer

»objektiv« gegebenen Organisationsumwelt handelt, sondern vielmehr um von Menschen – also von sozialen Akteuren – gestaltete und immer wieder reproduzierte, komplexe Ordnungen und Systeme. So selbstverständlich dieser Gedanke erscheinen mag, so umstritten und gelegentlich deutlich in den Hintergrund gedrängt ist er freilich vor allem in den Ingenieur- und Technikwissenschaften und in einer unreflektierten betrieblichen Praxis; einer Praxis, die gelegentlich die Auffassung vertritt, technische Innovationen und die ihnen innewohnenden Potenziale würden sich quasi naturgesetzlich ausbreiten, »der Mensch« hätte diese technologischen Potenziale nur mehr ins Werk zu setzen und sich ihnen ansonsten anzupassen. Zudem nimmt diese Auffassung menschliches Handeln in komplexen technischen Systemen häufig lediglich als Störfaktor wahr. Diese als »Technikdeterminismus« schon lange kritisierte Position unterschlägt, wie oben erwähnt, dass neue Technologien eben nicht »einfach so« entstehen und sich »quasi-automatisch« innerhalb von Betrieben oder Gesellschaften verbreiten und ggf. durchsetzen, sondern bereits im Entstehungsprozess immer Ergebnis sozialen Handelns sind. Und das heißt eben auch: diese sozio-technischen Systeme sind letztlich als gestaltbare Systeme zu verstehen.

Im iWePro-Projekt wurde der Versuch unternommen, die teilweise Neugestaltung des soziotechnischen Systems einer Teilefertigung beim Projektpartner Opel mit dem Fokus einer ganzheitlichen Aufgabengestaltung unter Beteiligung der Mitarbeiter anzugehen. Ob und inwieweit dies gelungen ist und welche Ansprüche und Perspektiven die Beschäftigten im konkreten Anwendungsfall selbst an eine »Arbeit der Zukunft« haben, wird in den folgenden Abschnitten beschrieben.

## **WANDEL DER PRODUKTIONSARBEIT**

### **Use-Case »Autonome, dezentralisierte Fertigungssteuerung« in der Opel-Getriebe-fertigung**

Technisch ging es bei iWePro, wie in vorangegangenen Kapiteln gesehen, unter anderem um die Entwicklung einer selbstorganisierenden, dezentralen Produktionssteuerung, die der erhöhten Komplexität und den Flexibilitätsanforderungen

einer Werkstattproduktion gerecht wird. Im Steuerungsszenario ermitteln sog. Software-Agenten-Systeme die geeignete Maschinenbelegung durch dezentrale Verhandlung. »Dezentral« heißt in diesem Zusammenhang nicht notwendigerweise, dass Beschäftigte »auf dem Shop Floor« mehr Planungs- und Steuerungsbefugnisse bekommen, sondern bezeichnet zunächst einmal »autonome dezentrale Software-Agenten«. Ziel von iWePro war es aufzuzeigen, wie die Steuerung der Getriebeproduktion auf entketteten Maschinen durch den Einsatz dezentraler Software-Agenten und mit Hilfe von »Smart Devices« aussehen könnte. Die Produktionsbeschäftigten erhalten Belegungsvorschläge, auf solchen Endgeräten, angezeigt, quittieren diese und führen entsprechende Aktionen aus – Produktionsbeschäftigte hier konkret: Maschinenbediener in einer mechanischen Fertigung von Getriebeteilen.

Hinsichtlich der zukünftigen Tätigkeitsumfänge und Qualifikationsanforderungen dieser Beschäftigten ging das iWePro-Projekt von der Prämisse aus, dass sich deren Zuständigkeiten und Aufgaben in diesem Organisations- und Steuerungsszenario erweitern und sich die Qualifikationsanforderungen erhöhen.

Die Ausgangserwartung im arbeitssoziologischen Teilprojekt war, dass qualifizierte Produktionsarbeit im iWePro-Ansatz eher gestärkt, denn geschwächt wird. Jedoch: Welche Voraussetzungen für ein »Positivszenario« in Organisation und Belegschaft gegeben sind, welche Einschätzungen und Erwartungen die betrieblichen Akteure hinsichtlich des iWePro-Ansatzes und mittel- oder langfristig auch hinsichtlich einer zunehmenden Digitalisierung und Automatisierung im Sinne von »Industrie 4.0« in der Fertigung haben – dies empirisch zu untersuchen und kritisch zu begleiten war Gegenstand des sozialwissenschaftlichen Teilprojekts.

Bevor einige Ergebnisse präsentiert werden, noch ein wichtiger Hinweis: Weitgehend unabhängig vom iWePro-Verbundprojekt wurden im Projektverlauf für die Teilefertigung im Getriebewerk Veränderungen der Fertigungstechnik und der Arbeitsorganisation geplant und teilweise umgesetzt. Auch diese Veränderungen sollen höheren Flexibilitätsanforderungen Rechnung tragen, die aus der gestiegenen Anzahl von Getriebetypen und der

Produktion kleinerer Lose resultieren. Dazu soll die bestehende »Linienfertigung« mit fest verketteten Maschinen durch eine »Werkstattproduktion« abgelöst werden, in der die feste, »starre« Verkettung der Maschinen aufgehoben wird. Insofern finden sich also gewisse Analogien zum iWePro-Ansatz, jedoch handelt es sich um letztlich getrennt voneinander verfolgte Vorhaben. Dieser »Doppelcharakter« – der konkrete Veränderungs- und Umstellungsprozess einerseits und die weiterreichenden iWePro- und Industrie 4.0-Perspektiven andererseits – prägte auch die durchgeführten Workshops und empirischen Erhebungen die zwischen Ende 2014 und Mitte 2016 im Werk durchgeführt wurden. Anders formuliert: Während die »Industrie 4.0-Debatte« etlichen Befragten weitgehend unbekannt und mögliche Industrie 4.0-Anwendungen im Betrieb sich gewissermaßen noch außerhalb der Vorstellungswelt befanden, waren Erwartungen und Befürchtungen hinsichtlich der anstehenden Umstellungen sehr viel »realer« und handfester und rückten daher quasi von selbst immer wieder in den Vordergrund von Bewertungen und Kontroversen.

Workshops, Befragungen und die Präsentation und Diskussion von Ergebnissen im Werk sollten zudem, dem Auftrag der soziologischen Begleitforschung gemäß, die Einbeziehung der von den soziotechnischen Veränderungen konkret oder perspektivisch betroffenen Beschäftigten ermöglichen und deren Einschätzungen, Erfahrungen und Erwartungen berücksichtigen. Die nachfolgend präsentierten Ergebnisse beziehen sich vor allem auf die in der qualitativen Befragung vom SOFI gewonnenen Befunde, berücksichtigt aber auch Eindrücke aus den Workshops.

Insgesamt konnten in dem Werk 25 ausführliche Interviews in der Getriebefertigung, in indirekten produktionsnahen Bereichen, im Management und im Betriebsrat geführt werden. In der Mehrzahl waren die 14 befragten Fertigungsmitarbeiter seit Aufbau der bestehenden Getriebefertigung Anfang der 2000er Jahre im Bereich tätig. Die Interviews wurden mit qualifizierten Beschäftigten durchgeführt, welche über langjährige Erfahrungen mit technisch-organisatorischem Wandel verfügten. Die weiteren elf Befragten stammten aus produktionsnahen oder sonstigen Dienstleistungsbereichen,



wie Instandhaltung, Qualitätssicherung, Planung und Disposition oder waren im Werksmanagement tätig. Von starken Veränderungen hinsichtlich der zukünftigen betrieblichen Aufgaben und Rollen wird in der allgemeinen Industrie 4.0-Debatte, aber auch im konkreten »iWePro-Use-Case«, auch bezüglich der Funktionen des unteren und mittleren Managements, der Fertigungsplanung und der Instandhaltung ausgegangen – diese können mit den vorliegenden Projektergebnissen freilich nur angedeutet werden, der Schwerpunkt im Projekt lag auf den Voraussetzungen und Perspektiven auf dem »Shop Floor«.

### **PERSPEKTIVEN SOZIO-TECHNISCHER SYSTEMGESTALTUNG: ORGANISATION, TECHNIK, PERSONALEINSATZ**

Das arbeitssoziologische Interesse galt den Erwartungen, Einschätzungen und (Gestaltungs-) Ansprüchen der Befragten hinsichtlich der geplanten technischen und organisatorischen Umstellungen und den damit verbundenen Qualifikationsanforderungen, aber auch den weiteren Perspektiven einer »Industrie 4.0«. Welche veränderten Anforderungen an Arbeit und Beschäftigung und an die Qualifikationen sind dabei zu erwarten? Welche Voraussetzungen bestehen auf der Arbeitsebene, um die Um- und Neugestaltung der Produktion im Sinne einer »partizipativen Systemgestaltung« zum Erfolg zu führen? Wie bewerten Beschäftigte in direkten und indirekten Produktionsbereichen, aber auch Management- und Interessenvertreter die gegenwärtige Situation und die Perspektiven?

#### **Organisation: Perspektiven von »Werkstattproduktion« und Gruppenarbeit**

In der Getriebefertigung werden Räder unterschiedlicher Gänge und Typen bisher in Linien »starr« miteinander verketteter Maschinen produziert. Der Gesamtprozess wird von der Logistik – besser wäre eigentlich die Bezeichnung »Supply Chain Management« – koordiniert, bei der die Teileabrufe der Endmontagewerke auflaufen. Die Koordinierung erfolgt nach Expertenaussage heute noch weitgehend »händisch«, beispielsweise mit Hilfe von Kanban-Karten und per Telefon.

#### **Verrichtungs- oder Objektprinzip: Funktionsintegration oder Spezialisierung?**

Die Zuständigkeit der Fertigungsgruppen, die jeweils unterschiedliche Linien und »Gänge« umfasst, erstreckt sich sowohl auf die Weich- wie die Hartbearbeitung; die Härterei stellt einen eigenständigen Meisterbereich dar. In den unterschiedlichen Linien stehen jeweils Dreh-, Fräs- und Schabmaschinen desselben Typs, auch die eingesetzten Steuerungen sind identisch. Die Tätigkeit eines Maschinenbedieners in der Weich- bzw. Hartbearbeitung ist unterschiedlich umfangreich. In beiden Fällen sind es recht komplexe Aufgaben, da zum Tätigkeitsumfang neben dem Be- und Entladen und dem Anfahren und der Überwachung des Prozesses im engeren Sinne auch das Kalibrieren der Messvorrichtungen sowie das Messen selbst, gelegentliche Werkzeugwechsel und Umrüstungen auf einen anderen Typ und auch die Störungsbeseitigung gehören. Durch sinkende Stückzahlen und damit häufigere Programmwechsel, hat auch das Umrüsten zugenommen, was von den Bedienern je nach Häufigkeit entweder als Belastung oder – überwiegend – als willkommene Abwechslung gesehen wird. Das (Weich-)Drehen gilt als der Schwerpunkt der Tätigkeit, es ist ein vergleichsweise aufwendiger und mit mehr Prozessproblemen behafteter Prozess. Dort kommt es häufiger zu Störungen durch sog. Späneknäuel, die sich in den Maschinen sammeln und zu Qualitätsverlusten oder auch zum Maschinenstillstand führen können. Das Entfernen der Knäuel ist eine Routinetätigkeit, die aufgrund der in den Spänen unter Umständen verbliebenen Restspannung allerdings nicht ungefährlich ist. In der Vermeidung und ggf. Beseitigung solcherlei Probleme ist ein gehöriges Maß an Erfahrungswissen gefordert.

Wird die Verkettung in einer Werkstattproduktion aufgehoben, müssen die Werkstücke, die in der Produktion bisher durch die Linie verketteter Maschinen geflossen sind, auf eine andere Art und Weise transportiert und den Maschinen zugeführt werden. Das betrifft unter anderem die Frage, wie die Maschinen angeordnet werden sollen, also das Fabriklayout, und welche Transportwege und -mittel genutzt werden sollen. Diese Fragen waren zum Zeitpunkt der Erhebungen noch nicht geklärt. Fest stand jedoch, dass »Ladezellen« für das automatische Beladen der Maschinen mit den zu fertigenden

Getrieben zum Einsatz kommen sollen, wodurch an dieser Stelle das manuelle Beladen entfällt. Allerdings müssen in die Zellen Produktionsaufträge eingelegt werden, wobei dieser Beladeprozess von den Maschinenbedienern auf die Logistiker verlagert werden könnte. Für »alles, was zwischen den Maschinen bewegt wird«, werde – so ein Managementexperte – künftig die Logistik verantwortlich sein und nicht mehr die Fertigungsgruppe. Nicht vorgesehen ist der Einsatz von Robotern für die ergonomisch sehr fragwürdigen Pack- und Umpackvorgänge, die vor allem beim Wareneingang und -ausgang sowie bei der Befüllung und Entleerung der Öfen in der Härterei anfallen und die nach Meinung der Experten durch die Aufhebung der Verkettung nicht weniger, sondern eher mehr werden.

Die in Gruppen arbeitenden Maschinenbediener sind bisher für alle Maschinen ihres Bereichs (Weichbearbeitung, Hartbearbeitung) und ihrer Linie zuständig, im Bedarfsfall können einige auch von »ihrer« Linie in eine der anderen Linien wechseln, die auf einen anderen Gang ausgelegt ist. Den Wechsel zwischen Weich- und Hartbereich handhaben die Gruppen unterschiedlich. Auch in Gruppen, bei denen Beschäftigte häufig zwischen den Bereichen rotieren, haben Einzelne erklärte Vorlieben oder Präferenzen, denn auch Maschinen desselben Typs besitzen ihre Eigenheiten, der kompetente Umgang damit erfordert Erfahrungswissen und Bauchgefühl, und die »Zuständigkeit« einzelner Beschäftigter für eine Maschine erleichtert die Arbeit. Im Prinzip sollen alle Gruppenmitglieder sowohl die Tätigkeiten der Weich- wie Hartbearbeitung ausüben und rotieren, was aber nicht so praktiziert wird, sei es, weil nicht alle Arbeitsgänge gleichermaßen beherrscht werden, sei es, weil es bei manchen Abneigungen gegen Wechsel und Rotation gibt.

Während sich zum Zeitpunkt der Erhebung erste Konturen des Technikeinsatzkonzeptes abzeichnen begannen und verschiedene Teams mit der Planung der neuen Produktionstechnik und Systementwicklung beschäftigt waren, war das Arbeits- und Personaleinsatzkonzept für die flexible Linie bzw. die Werkstattproduktion noch weitgehend offen und durchaus umstritten. Denn in dessen Ausgestaltung steckt der arbeits- und qualifikationspolitische Sprengstoff des Umstellungsprojekts

(aber perspektivisch auch von Industrie 4.0-Anwendungen). Denn mit einer Werkstattproduktion und »intelligenten Steuerungssystemen« können eine stärkere Arbeitsteilung und Spezialisierung auf zwei Ebenen realisiert werden – mit ggf. gravierenden Konsequenzen für Arbeit, Qualifikation, Belastung und Entgelt:

- Horizontal: Bestimmte Operationen entlang des Prozesses (Drehen, Fräsen, Schaben usw.) können zu Inseln gebündelt werden. Mit Aufhebung der Verkettung und hinreichender Maschineneinsatzflexibilität wird im Prinzip eine völlig flexibilisierte Strukturierung der Fertigung denkbar.
- Vertikal: Die bisher von jedem einzelnen Maschinenbediener erbrachten Aufgaben – Be- und Entladen, Bedienen inkl. Messen, Rüsten, Werkzeugwechsel, Transport – können unterschiedlichen Beschäftigten zugewiesen, d. h. in unterschiedlichem Ausmaß arbeitsteilig organisiert werden. Transport- und Logistikaufgaben können nochmals stärker in unqualifizierte Packer, Transportarbeiter oder Steuerungstätigkeiten ausdifferenziert werden. Denkbar ist ein arbeitspolitischer »Roll-Back«.
- Beide können auch kombiniert werden. Angestoßen durch die Neustrukturierung der Fertigung, können also Qualifikationen und Verantwortlichkeiten, Belastungen und Entgelte in erheblich stärkerem Maße als es heutzutage der Fall ist, ausdifferenziert werden.

In den Workshops und Interviews wurden die Beschäftigten ausführlich nach ihren Orientierungen hinsichtlich der skizzierten Alternativen des Arbeitseinsatzkonzeptes befragt, ihr Votum war recht eindeutig: Von der ganz überwiegenden Mehrheit (wenige sind indifferent) wurde deutlich gemacht, dass sie an einem prozessübergreifenden Aufgabenzuschnitt und damit an einer »Gesamtverantwortung« für alle Operationen in der Gruppe festhalten wollen. Einer von Vertretern des Werks ebenfalls ins Spiel gebrachte Strukturierung der Fertigung nach dem Verrichtungsprinzip, d. h. der arbeitsteiligen Bündelung der Operationen Drehen, Fräsen usw., wird seitens der Beschäftigten eine eindeutige Absage erteilt: Ihrer Ansicht nach würde die Verantwortung der Gruppe für den

Gesamtprozess und das Gesamtergebnis verloren gehen, da in einer nach Operationen geteilten Zuständigkeit jeder nur noch auf das Ergebnis seines Teilprozesses achte. Es ist hier weniger ein Beharren auf dem Bekannten, was die Perspektiven der Maschinenbediener begründet, sondern befürchtete Dysfunktionalitäten eines strukturellen Egoismus, der einer stärker arbeitsteiligen Struktur innewohne. Hinzu kommen Befürchtungen einer mit dem Verrichtungsprinzip einhergehenden größeren Langeweile und Qualifikationsverluste. Auch die Bediener erkennen durchaus Spezialisierungsvorteile – insbesondere dann, wenn durch Arbeitsplatzrotation zeitliche Abstände zwischen der Bedienung verschiedener Maschinen entstehen und damit Routine und Spezialwissen verloren geht bzw. erst wieder aktualisiert werden muss. Aber letztlich tritt dieser Vorteil gegenüber den Nachteilen in ihren Augen deutlich in den Hintergrund. Aus arbeitswissenschaftlicher Sicht entscheidender ist schließlich, dass Spezialisierung einen flexiblen Personaleinsatz und die Flexibilisierungsstrategie des iWePro-Ansatzes insgesamt konterkariert. Eine gezielte und systematische Job-Rotation könnte ein Ansatz zur Vermeidung einer zu starken Spezialisierung und Verengung von Aufgabenzuschnitten sein.

### **(Informations-)Technologie: »Smart Devices« und »intelligente Fertigungssteuerung«**

»Intelligenter IT-Systeme« sollen die mit komplexeren Prozessen verbundenen Herausforderungen an die Fertigungssteuerung helfen. Das bisher genutzte Steuerungsprogramm soll dazu verfeinert und »genauer heruntergebrochen werden« (Experte). Auch wird es für erforderlich gehalten, dass die Fertigungsplanung bzw. steuerung, »direkt an die Maschine« durchgestellt wird (Experte) – hierzu sollen auch »intelligente Endgeräte« Verwendung finden. Diese Endgeräte – wie Smartphones, die an den Ladezellen bzw. Bodenrollern angebracht sind – sollen den Fertigungsmitarbeitern Informationen darüber bereitstellen, wohin eine Ladezelle mit Teilen gebracht werden muss.

Im Schnittbereich von Technikeinsatz- und Personaleinsatzkonzept stellte sich die Frage, ob das System den Beschäftigten künftig die Arbeiten, die sie ausführen sollen, »diktiert« oder ob und inwieweit es im Gegensatz dazu eine »Entscheidungshilfe« sein

wird, »die den Menschen unterstützt, aber nicht ersetzt« (Experte). Nicht zu erwarten ist jedenfalls, dass das System, an dessen Entwicklung gegenwärtig gearbeitet wird, im ersten Anlauf bereits das leistet, wozu es in Zukunft einmal in der Lage sein soll. Zwar bieten die neuen digitalen Technologien, etwa in Form von Assistenz- und Expertensystemen, Potenziale für eine »intelligente Unterstützung« von Entscheidungen. Gleichermäßen möglich sind freilich auch deutliche Einengungen von Handlungs- und Entscheidungsspielräumen und eine Intensivierung der Kontrolle von Arbeit und Leistung, womit auch Fragen des Datenschutzes und der Beteiligungs- und Persönlichkeitsrechte der Betroffenen wichtig werden.

Gegenüber der Nutzung von »Smart Devices« waren die Beschäftigten aufgeschlossen, sofern diese den softwareergonomischen Anforderungen genügen und ihr Funktionsumfang zufriedenstellend ist. Ablehnend reagierten die Beschäftigten indes auf dass mittels dieser Geräte gegenwärtig diskutierte Szenario einer »digitalen Werkerführung«. Dies konnte wenig überraschen, betrachtet man das in Aussicht gestellte Szenario, wie es ein Experte umreißt:

*»Also ich habe jetzt eine Änderung vom Materialfluss: Dieser Bodenroller, der jetzt fertig wird, den müssen sie jetzt nicht mehr zu der Maschine 8214, sondern zur 8219 bringen. Das kriegt er [der Mitarbeiter] dann angezeigt. Das heißt, okay, also der Bodenroller, ich habe jetzt eine Änderung drin vom Materialfluss und den schiebe ich eben dort hin. Das war es. Und das wird zentral von einer Leitstelle aus angestoßen als erste Maßnahme.«*

Die Ablehnung einer solcherart technisch gestützten »Führung« durch die befragten Beschäftigten gründet nicht nur auf arbeitsinhaltlichen Aspekten (sinkende kognitive und ggf. steigende physische Anforderungen, weniger Abwechslungsreichtum), sondern vor allem auch auf den sichtbaren Einschränkungen der Entscheidungsspielräume. Die Maschine bzw. das Rechner-Agenten-System (RAS) macht in diesem Szenario Handlungsvorgaben, die der Bediener dann nur noch abzuarbeiten hat. Damit sei aus Sicht der Beschäftigten auch ein

erweiterter Kontrollzugriff auf ihre Arbeit verbunden. Zudem sei dieses Entscheidungsmodell auf Grundlage ihrer langjährigen Erfahrung im Arbeitssystem nicht funktional, denn das technische System ist fehleranfällig und bedürfe immer wieder der erfahrungsgesättigten Feinjustierung und Anpassung durch die Bediener. In Bezug auf das Szenario einer Produktionssteuerung mit Hilfe autonomer Software-Agenten, legte das Werkstattpersonal also Wert darauf, nicht zum Anhängsel der Maschine zu werden. Während aus technikkwissenschaftlicher Sicht der Disponent tendenziell überflüssig und eingespart werden könnte, betonten die Bediener die Bedeutung eines persönlichen »menschlichen« Ansprechpartners für die erforderliche Nachjustierung der Planungszahlen.

### **Arbeit: Neue Arbeitsteilungsmuster in der »Werkstattproduktion«?!**

Bei der Einführung von CPPS und RAS stellte sich die Frage, wie (in Abhängigkeit von den jeweiligen betrieblichen Ausgangsbedingungen) die Aufgaben in veränderter Weise zwischen den automatisierten Systemen und den Menschen verteilt und wie ggf. insbesondere die Aufgaben der Beschäftigten zu den veränderten sozio-technischen Bedingungen angepassten Tätigkeits-, Qualifikationsprofilen und Arbeitsrollen gebündelt werden sollten. Das könnte in der Produktion die Zusammenfassung zuvor getrennter Funktionen wie Maschinenbedienung, Einrichten und Rüsten sein sowie die Integration (jetzt rechnerunterstützter) indirekter Funktionen ins Aufgabenprofil der Produktionsarbeiter (Wartung, Instandhaltung, Qualitätssicherung, Anlagenoptimierung, dispositive Funktionen und Anlagensteuerung usw.). Das ist ein Ansatz, der von arbeitssoziologischer Seite bereits vor »Industrie 4.0« unter dem Stichwort »Innovative Arbeitspolitik«<sup>2</sup> propagiert wurde, und der durch die Entwicklung und Nutzung »smarter Technologien« (beispielsweise Predictive Maintenance) für die Praxis deutlich an Bedeutung gewinnen könnte. Entscheidend ist dabei, dass der Erfolg und die Akzeptanz entsprechender Maßnahmen durch die Produktionsarbeiter erfahrungsgemäß erheblich davon abhängt, dass ihnen nicht nur zusätzliche Aufgaben und Funktionen übertragen werden, sondern auch die dafür erforderlichen Ressourcen zur Verfügung stehen. Nur unter dieser Voraussetzung und durch den Schutz vor

(kognitiver) Überforderung bleibt oder wird Produktionsarbeit attraktiv und können die Beschäftigtenpotenziale entwickelt werden.

Was die Frage nach den erwarteten Anforderungsniveaus im konkreten Anwendungsfall der Getriebebefertigung und deren Umgestaltung anbetrifft, so deutete sich entgegen eines innovativen arbeitspolitischen Ansatzes eine stärkere Auffächerung und Polarisierung zwischen qualifizierten und einfachen Tätigkeiten an. Auch ist eher mit zurückgehenden Selbststeuerungsmöglichkeiten in den Gruppen zu rechnen. Bereits heute sind fachlich besonders qualifizierte Einrichter im Bereich tätig, deren Aufgabe vor allem auch in Anpassungen der CNC-Steuerungsprogramme bei Typen- und Familienwechseln besteht. Deren Aufgabe wird bei steigender Varianten- und Typenvielfalt anspruchsvoll bleiben. Zumindest für eine Übergangszeit und unter der Voraussetzung des Einsatzes einer größeren Zahl von Leiharbeitnehmern ist vorgesehen, spezielle »Rüstteams« einzurichten, weil absehbar ist, dass die Anzahl der Rüstvorgänge steigt und das »Rüsten« eine vergleichsweise anspruchsvolle Tätigkeit ist, die in der Vergangenheit nicht selten zu Problemen geführt hat. Für die bisherige Stammbeschäftigung dürfte vor allem die dauerhafte Einrichtung von spezialisierten »Rüstteams« außerhalb der Gruppen zu einem großen Problem werden, da dies zu einer Abflachung des Anforderungs- und Qualifikationsprofils für einen größeren Teil der Beschäftigten führen würde. Nimmt man das so aufgefücherte Gesamtableau von Produktionstätigkeiten als wahrscheinliche Entwicklung an, so zeigen sich Konturen von drei unterschiedlichen Arbeitstypen auf der Ebene der direkten Produktion:

#### Typ 1: Einrichter (und Umrüster)

- Hohe bis sehr hohe berufsfachliche Kompetenz
- Prozesskompetenz und Umgang mit Daten und Informationen (Selbstorganisation, intelligente Systeme/ »mobile devices«)
- Problemlösekompetenz: Bewältigung unvorhersehbarer Anforderungen
- Kommunikation mit vor- und nachgelagerten Bereichen
- Personalführungsaufgaben: Quasi-Vorgesetzter in der Fertigung

Typ 2: Bediener mit reduziertem Tätigkeitsprofil

- Auf eine Vorrichtung eingeschränktes Profil
- Wegfall von Umrüsttätigkeiten
- Insgesamt reduziertes technisch-fachliches Anforderungsniveau
- Begrenze Gruppenselbstorganisation durch Wiedereinführung eines unteren Vorgesetzten

Typ 3: Bediener mit einfachem Tätigkeitsprofil

- Einfache Bedientätigkeiten des Befüllens und des Transports von Teilen zwischen Maschinen
- Geringes fachliches Anforderungsniveau; hohe physische Anforderungen.

Zwar sind angesichts des bisherigen Umsetzungs- bzw. Reifegrads keine eindeutigen Aussagen über die zukünftige Entwicklung möglich, doch deutet sich gegenwärtig eine Tendenz zur Verengung und Differenzierung von Beschäftigtenrollen und Qualifikationsanforderungen an. Damit wird die von iWePro intendierte Richtung eines Upgrading von Tätigkeitsprofilen und Verantwortlichkeiten eher konterkariert. Ein Upgrading (i.S. innovativer Arbeitspolitik) würde im konkreten Fall bedeuten, dass die gegenwärtigen Aufgabenumfänge und Entscheidungsspielräume zumindest erhalten bleiben; das technische System – der Software-Agent – wäre lediglich Unterstützer des Bedieners und »entscheidet« nicht für ihn, Dispositionsspielräume würden erweitert; die bisherigen Verrichtungen blieben in den Gruppen und es würde systematisch rotiert; einzelne Instandhaltungsaufgaben würden angelagert.

Bei den befragten Beschäftigten fand sich eine klare Präferenz für ein »Upgrading-Szenario«. Dem technologischen Fortschritt steht man skeptisch-abwartend und pragmatisch, aber nicht grundlegend ablehnend gegenüber, auch wenn die Erfahrung mit betrieblichen Restrukturierungs- und Rationalisierungsprozessen in der Vergangenheit vor allem auch eine des Beschäftigungsverlustes ist. Verbreitet war ebenfalls die auf Erfahrungen mit vorangegangenen Technisierungsprozessen beruhende Einschätzung, dass auch die anvisierten neuen Technologien grundsätzlich fehleranfällig und der Intervention berufsfachlich kompetenter und erfahrener Beschäftigter (und Vorgesetzter, v.a. auf Meisterebene) bedarf – eine Einschätzung, die letzt-

lich auch vom Management geteilt wird. Der Einsatz mobiler Endgeräte wird als durchaus hilfreich angesehen (z. B. Kommunikation Messraum), aber die Beschäftigten wollen kein Anhängsel von Maschinen sein. Man präferiert 'menschliche' Adressaten und will sich nicht verstärkt Anweisungen durch Maschinen unterwerfen. Deutlich ist, dass es für ein aus arbeitssoziologischer Sicht anzustrebendes »Upgrading-Szenario« betrieblicher Promotoren in Management und Interessenvertretung bedarf, um rein technokratische Lösungen möglichst abzuwenden. Zwar eint die betrieblichen Akteure ein gemeinsames Interesse an funktionsfähigen, produktiven sowie lernförderlichen und sozialverträglichen technischen Lösungen. Doch letztlich sind Promotoren eines Upgrading von Arbeit und Qualifikation hier nicht in ausreichendem Maße wirkmächtig, wozu auch die schwierigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der Standortwettbewerb im Konzernverbund beitragen.

## BETEILIGUNG UND EINFÜHRUNGSPROZESS

Im Kern handelt es sich bei der Einführung digitaler Technologien und vernetzter Systeme im Allgemeinen, wie auch beim Umstellungs-/iWePro-Use Case, um prozesshafte, evolutionäre Projekte zur Arbeits- und Organisationsgestaltung. Dabei kommt es darauf an, technische Systeme und Arbeitssysteme abgestimmt zu gestalten und die Systemgestaltung als einen partizipativen Prozess zu organisieren. Diesem Anspruch wurde der Umstellungsprozess in der Getriebefertigung nur teilweise gerecht, was vor allem an den insgesamt schwierigen Rahmen- und Ausgangsbedingungen und an den Vorerfahrungen der Beschäftigten mit Innovationsprozessen und deren Ergebnissen zu tun hatte. Bevor abschließend hierauf eingegangen wird, sollen zunächst einige allgemeinere Hinweise zur Prozesshaftigkeit solcherart Veränderungsprojekte gewissermaßen »vorgeschaltet« werden.

### Arbeitssystemgestaltung als evolutionäres Projekt organisationalen Lernens

Zu Beginn einer größeren Umgestaltung eines Arbeitssystems hat niemand eine vollständige Sicht auf das Soll-Konzept. Da sich auch die Anforderungen im Laufe eines solchen Vorhabens ändern,

ist ein reflexiv angelegtes, evolutionäres Vorgehen mit kurzen, überschaubaren Revisionsschleifen angebracht. Dabei sollten in iterativen Zyklen der Anforderungsanalyse, Systemgestaltung, Implementation, Erprobung, Aneignung und formativen Evaluation erreichter Resultate wiederholt durchlaufen werden, sodass die Nutzer mehrfach Gelegenheit zur Bewertung und Einflussnahme haben. Dabei geht es auch darum, das Lernen und die Lernfähigkeit der Organisation insgesamt zu fördern, und um eine Reflexion der im Betrieb etablierten Handlungsmuster: Der Einführungsprozess ist als kollektiver interdisziplinärer Lernprozess von Systementwicklern, Experten für die Organisations- und Personalentwicklung und Systemnutzern zu organisieren. Insbesondere sind die Systemnutzer als Experten ihrer Arbeit und Arbeitsprozesse zu beteiligen, weil sie am besten die Gebrauchstauglichkeit der Systeme und die Aufgabenangemessenheit der Arbeitsmittel beurteilen können. Da die Systemnutzer i.d.R. aber weniger Kenntnisse über die neuen technischen Optionen digitaler Technologien haben, ist die Kommunikation mit Experten für die Technik sowie für die Organisations- und Personalentwicklung wichtig. Auf diese Weise kann den Maschinenbedienern, d. h. den Systemnutzern, ein Teil der Systemkompetenz vermittelt werden, die ihnen voraussichtlich künftig verstärkt abverlangt wird. Das bedeutet schließlich, dass Problemlösung zunehmend vom Gelingen der bereichsübergreifenden Kommunikation abhängt – je mehr Fakultäten daran beteiligt sind, je »intelligenter«, komplexer und verzweigter die digitalen technischen Artefakte werden und je mehr »Wandlungsfähigkeit« das Gebot der Stunde ist, desto wichtiger wird eine solche Kommunikations- und Lernstruktur und Kultur. Auch im Interesse der Kompetenz- und Qualifikationsentwicklung sowie der Beherrschbarkeit und produktiven Nutzung zunehmend komplexer Systeme sollten bestehende Verständigungsbarrieren zwischen den Expertengruppen abgebaut werden.

### **Ansätze und Grenzen partizipativer Systemgestaltung im Umstellungsfall / iWePro**

Wie an anderer Stelle erwähnt, stellen die Ausgangsbedingungen für die Realisierung des iWePro-Ansatzes im vorliegenden Use-Case eine Herausforderung in mehrfacher Hinsicht dar. Eine bestand darin, dass iWePro ein Projekt zwischen

Grundlagenforschung und der Entwicklung eines Prototyps darstellt. Das bedeutete, dass die Projektpartner zunächst selbst erst einmal Lösungswege erkunden mussten, so dass den Beschäftigten (und anderen betrieblichen Experten) keine klaren Anwendungsszenarien präsentiert werden konnten. Hinzu tritt der erwähnte Doppelcharakter der Projektanlage: anlässlich der Workshops und der anderen Veranstaltungen bestand zwar die Möglichkeit zur partizipativen Systementwicklung und zu einem partizipativen Einführungsprozess, jedoch stand die Einführung eines cyber-physischen Produktionssystems in dem Werk de facto in absehbarer Zeit nicht zur Debatte. Das Hauptaugenmerk der Beschäftigten lag verständlicherweise zudem auf der bevorstehenden Umstrukturierung der Produktion (Entkettung) und den damit verbundenen möglichen Folgen für Arbeit und Beschäftigung. Das Management beklagte seinerseits die mangelnde Veränderungsbereitschaft der Produktionsbeschäftigten: Sie seien daran gewöhnt, sich »statisch in der Linie« aufzuhalten, müssten sich freilich zukünftig wechselnden Arbeitsanforderungen viel flexibler stellen.

Die Veranstaltungen, die zur beteiligungsorientierten Systementwicklung vom iWePro-Projektteam durchgeführt wurden, zeigen vor allem, wie sehr die Wahrnehmungen, Einstellungen und Veränderungsbereitschaften der Beschäftigten gegenüber dem, was als Innovation auf sie zukommt, von ihren zurückliegenden Erfahrungen (Ausgangsbedingungen) geprägt sind. Und diese Erfahrungen bestehen wesentlich in vielfach enttäuschten Beteiligungsansprüchen und bei etlichen auch in unerfüllten Hoffnungen auf beruflich-betriebliche Entwicklungsperspektiven. Grundsätzlich zeigte sich die Mehrheit an einer Weiterqualifizierung und Erweiterung ihrer Aufgaben (Qualifikationen, Kompetenzen) interessiert, nicht zuletzt weil sich Beschäftigte davon eine Verbesserung ihrer Beschäftigungs- und Arbeitssituation versprechen. Besonders jüngere Facharbeiter artikulieren Aufstiegsaspirationen (zum Techniker oder Meister). Die Erfahrung, die Beschäftigte in den letzten Jahren in dem Werk gemacht haben, war jedoch überwiegend die, dass Aufgabenerweiterungen – z. B. im Rahmen von Total Productive Maintenance – letztlich zu einer Intensivierung ihrer Arbeit geführt haben. Zudem wurden Qualifizierungsmaßnahmen

in der Vergangenheit regelmäßig nur Gruppensprechern zuteil, die wiederum, da sie in der Linie eingebunden waren, kaum ausreichende zeitliche Ressourcen für die Weitergabe ihres neu erworbenen Wissens hatten. Auch dominierte bei den Beschäftigten die Erfahrung, dass auf eingereichte Verbesserungsvorschläge (im Rahmen der Zielstellungen des Produktionssystems) oftmals keine hinreichende Rückmeldung durch die Zuständigen in den technischen Stäben erfolgte. Dies erleben Beschäftigte als Ausdruck fehlender Anerkennung ihres Expertenstatus und ihres Einsatzes für eine Optimierung von Prozessen. Dämpfend auf Beteiligungsmotivationen wirkt schließlich, dass die Arbeitsform »Gruppenarbeit« – so die Wahrnehmung aller betrieblichen Akteure – letztlich »nur noch auf dem Papier« existiert und dass für Gruppengespräche die erforderlichen Zeitspielräume fehlen.

Die im Rahmen von iWePro durchgeführten Workshops, an denen neben Gruppensprechern und betrieblichen Vorgesetzten auch Vertreter von indirekten und auch Planungsbereichen sowie Betriebsräte teilnahmen, haben die Kommunikation zwischen Systementwicklern und Nutzern im Vergleich zur Vergangenheit deutlich verbessert und wurden von allen Beteiligten als Gewinn aufgefasst. Gleichwohl stellen sie eher die Ausnahme von der Regel dar, die eher wenig ausgeprägte formelle oder auch informelle Kommunikationsprozesse vorsieht. Diese Ansätze gälte es innerbetrieblich zu stärken und auszubauen, auch in inhaltlicher Perspektive. Zwar bezogen sich die in den Workshops diskutierten Gestaltungsfragen auf die Anordnung der entketteten Maschinen und mögliche Formen des Personaleinsatzes an diesen Maschinen (mit oben geschilderter Kritik an den Planungen) und auf den Einsatz von »Smart Devices«. Damit blieb der Partizipationsgegenstand jedoch relativ eng gefasst und umfasste vor allem nicht die Gestaltung des sozio-technischen Arbeitssystems, der Gruppenarbeit, oder auch Qualifizierungsfragen im weiteren Sinne. Alle Stellungnahmen zu den bevorstehenden Restrukturierungsmaßnahmen und möglichen Konsequenzen, die sich mit Industrie 4.0 / iWePro verbinden könnten, standen unter dem Eindruck der Erfahrungen, die die Beschäftigten in den letzten Jahren in dem Werk gemacht haben. Unter den gegebenen Umständen führen diese Erfahrungen die

Beschäftigten zu einem wohl begründeten innovationspolitischen 'Konservatismus', der am Bestehenden nichts oder möglichst wenig ändern möchte. Gegen eine solche erfahrungsgesättigte Haltung ließe sich wohl nicht kurzfristig, sondern nur in einem längeren Prozess der Wiederaneignung einer Perspektive gemeinsamer, beteiligungsorientierter Arbeitssystemgestaltung nachhaltiges ändern. Dafür bräuchte es auf allen Seiten einen Ver- und Zutrauensvorschuss sowie hinreichende zeitliche, finanzielle und institutionelle Ressourcen. Diese immateriellen und materiellen Ressourcen sind die für eine partizipative, ‚humanorientierte‘ Gestaltung von zentraler Bedeutung. In Zeiten äußerst enger Kostenziele stellt eine erhebliche Herausforderung dar, diese Ressourcen tatsächlich frei zu machen. Ganz wesentlich bedarf Gestaltung im Sinne »Guter Arbeit« der (arbeits-)politischen und konzeptuellen Unterstützung auch durch die Organe der betrieblichen Mitbestimmung.

#### Literatur

- 1 Hirsch-Kreinsen, H. (2014): Wandel von Produktionsarbeit – »Industrie 4.0«. In: WSI-Mitteilungen, Jg. 67 (2014), H. 6, S. 421- 429.  
Hirsch-Kreinsen, H. (2015): Einleitung: Digitalisierung industrieller Arbeit, in: Hirsch-Kreinsen, H./ Ittermann, P./ Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen, Baden-Baden, S. 9 -
- 2 Kuhlmann, M./Sperling, H. J./Balzert, S. (2004): Konzepte innovativer Arbeitspolitik. Good-Practice-Beispiele aus dem Maschinenbau, der Automobil-, Elektro- und Chemischen Industrie, Berlin.

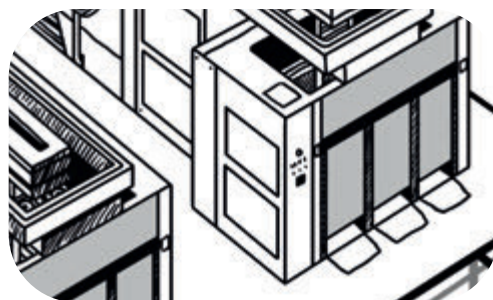






# iWePro

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG  
FÜR DIE PRAXIS



# Forschung und Entwicklung für die Praxis

## Experteninterview

### INTERVIEWTEILNEHMER

- **Dr.-Ing. Benjamin Kuhrke**  
Gesamtprojektleiter iWePro, Vorausentwicklung Produktionstechnik, Opel Automobile GmbH
- **Dipl.-Ing. Eckhard Hohwieler**  
Abteilungsleiter Produktionsmaschinen und Anlagenmanagement, Fraunhofer IPK
- **Dr. disc. pol. Knut Tullius**  
Arbeits- und Industriosozologie, SOFI Göttingen

*Herr Dr. Kuhrke, große Industrieunternehmen sind oft zögerlich, in Forschungsprojekten mitzuwirken, weil sie selbst interne Stabs- und Planungsabteilungen haben und sich zeitlich nicht noch mit externen Partnern abstimmen wollen. Warum haben Sie sich entschlossen bei iWePro mitzumachen?*

**Dr. Kuhrke:** Einerseits haben wir im Werk Rüsselsheim in der Getriebefertigung einen aktuellen Bedarf, flexibler zu produzieren und nicht nur die Varianten zu beherrschen, sondern auch fähig zu sein, verschiedene Getriebefamilien in einem Fertigungsbereich zu bearbeiten. Zu diesem Ziel passte die vor 15 Jahren optimal, d. h. starr verkettet gestaltete Fertigungsstruktur nicht mehr. Wir haben mit diesem Projekt neutralen Sachverstand von den Partnern für die mögliche Umgestaltung unserer Fertigung bekommen und zwar nicht nur von den Wissenschaftlern, sondern auch von den Maschinen- und Softwareanbietern des Projektteams. Weiterhin bin ich für die Vorausentwicklung im Konzern tätig. Man erwartet also von mir, dass ich über das Tagesgeschäft hinaus Produktionsmethoden und

-technologien identifiziere, die sich in den nächsten Jahren und Fahrzeuggeneration bei GM einsetzen lassen. Das geht von der Handhabungstechnologie bis zur Virtuellen Realität, wir experimentieren auf vielen Technikfeldern.

*Herr Hohwieler, Sie koordinieren die Industrie 4.0-Aktivitäten an ihrem Institut. Industrie 4.0 ist ein in die Zukunft greifendes, vielleicht noch unscharfes Konzept der Digitalisierung und intelligenten Produktion, welche konkreten Lösungen konnten Sie im Projekt entwickeln und verwirklichen?*

**Hohwieler:** Zunächst einmal haben wir uns auf die Fertigung und dabei auf die Auftragssteuerung beschränkt, also Themen wie Produktentwicklung, Montage, Distribution wurden nicht betrachtet. Wir haben eine übertragbare Software-Simulationslösung entwickelt, uns aber auch an dem Anwendungsfall Getriebefertigung orientiert, dafür Prozessmodelle gebildet, eine Datenbank entwickelt, Agenten für Verhandlungen und Berechnungen programmiert. Zusammen mit den Partnern haben wir einen interaktiven Demonstrator realisiert, den auf der Hannover Messe 2016 Besucher sehen und erleben konnten.

Mit dem durchgeführten wissenschaftlichen Vorprojekt SoPro – Selbstorganisierende Produktion konnten wir bereits Ergebnisse im Sinne von Industrie 4.0 erarbeiten, als das Wort Industrie 4.0 noch nicht in aller Munde war, auf die wir heute zurückgreifen. So entwickelten wir die Prinzipien der Selbstorganisation und Kommunikationsformen zwischen Agenten in cyber-physischen Systemen, das System war aber nicht an eine reale Produktionsumgebung angedockt. Außerdem war das Projekt SoPro auf Einzelwertfertigungen – etwa im Maschinen- und Anlagenbau – orientiert, dort sind Ortung von Bauteilen und Einzelsteuerung von großem Wert. Als wir mit Opel diesen ganz anderen Anwendungsfall, nämlich variantenreiche Serienfertigung in einer Werkstattstruk-

tur, diskutierten, waren wir von der Aufgabe fasziniert. In SoPro hatte sich angedeutet, dass eine selbstorganisierende Fertigung auch den Aspekt der Fremdbestimmung über den Mitarbeiter beinhalten kann. Diesen Fragen wollten wir mit mehr Energie, einem interdisziplinären Ansatz durch Einbindung eines sozialwissenschaftlichen Forschungspartners und mit Beteiligung von Mitarbeitern einer realen Anwendungsumgebung nachgehen.

*Herr Hohwieler, Sie sind der wissenschaftliche Koordinator eines großen Projektkonsortiums. Hat Ihnen das nicht Kopfschmerzen bereitet?*

**Hohwieler:** In der Tat war das sehr mühsam und deutlich aufwändiger als geplant. Wir haben aber bewusst Anwender und Partner aus dem Bereich der Fertigungsplanung und Simulation, der Logistik, einen Maschinenhersteller und einen Spezialisten für Kommunikationsschichten in das Projekt eingebunden, um nahe an den Problemen und Lösungen der Praxis zu sein.

*Herr Dr. Tullius, Industrie 4.0 ist doch ein technisches Thema. Wie passt das SOFI überhaupt in so ein Projektkonsortium?*

**Dr. Tullius:** Zunächst einmal ist es bemerkenswert, dass der Arbeitssoziologie ein wichtiger Platz in diesem Projekt eingeräumt wurde. Wie Herr Hohwieler mit Blick auf das Vorläuferprojekt SoPro eben angesprochen hat, zeigt sich bei vorgeblich rein technologischen Innovationen doch immer wieder, dass es sich dabei um letztlich soziale Prozesse handelt. Gerade Industrie 4.0 und die digitale Transformation insgesamt kann man nicht als ein rein technisches Thema verstehen und ggf. umsetzen. Vielmehr ist von einem soziotechnischen Entwicklungs-, Gestaltungs- und Einführungsprozess auszugehen. Auch in iWePro hat sich gezeigt, wie eng Aufgabengestaltung, Organisation und das technische System zusammen gestaltet werden müssen.

*Wenn man die einschlägigen Veröffentlichungen, beispielsweise der Acatech zu Industrie 4.0 liest, dann wird das Bild einer interessanteren, freier bestimmbaren Arbeit für die Beschäftigten gezeichnet. Teilen sie diese Einschätzung?*

**Dr. Tullius:** Nein die teile ich nicht – zumindest nicht im Sinne eines bei solcherlei Zukunftsszenarien häufig unterstellten scheinbaren Automatismus der Entwicklung von Arbeit. Dafür gibt es mehrere Gründe, zwei will ich hier einmal herausgreifen.

Erstens wissen wir aus den Erfahrungen mit vorangegangenen Technisierungsschüben, dass die Art wie wir arbeiten nicht durch die verfügbaren Technologien determiniert, also gewissermaßen vorherbestimmt ist, sondern vielmehr gestaltet wird. Ob »Arbeit 4.0« den Menschen zum »Anhängsel« der Maschinen oder aber zum »Dirigenten der Wertschöpfung« macht, ist gestaltbar. Wie Arbeit gestaltet wird, das hat natürlich auch etwas mit Interessen und Ressourcen der betrieblichen und gesellschaftlichen Gruppen zu tun.

Zweitens sind Industrie 4.0-Konzepte oder -Anwendungen gegenwärtig noch nicht so weit entwickelt und untersucht, dass man gesicherte Erkenntnisse zu Arbeitsfolgen, Arbeitsbelastungen, Qualifikationsanforderungen usw. hätte. Modell- und Pilotvorhaben geben freilich durchaus einen Eindruck von möglichen Entwicklungen – und diese sind uneinheitlich und auch ambivalent. Eine generelle Aufwertung menschlicher Arbeit in der industriellen Produktion infolge von Industrie 4.0 dürfte es in einer Smart Factory nicht geben.

*Herr Dr. Kuhrke, welchen Gestaltungsansatz haben Sie im iWePro-Projekt bei Opel verfolgt?*

**Dr. Kuhrke:** Vom Ansatz her geht das Projekt von der Prämisse aus, dass sich Zuständigkeiten und Aufgaben der Beschäftigten erweitern und die Qualifikationsanforderungen sich erhöhen. Das deshalb, weil die Dezentralisierung der Fertigungssteuerung und die höhere Flexibilität der Prozesse ein erweitertes Prozess- und Überblickswissen erfordern. Zudem stellen die intensivere Nutzung von Informationstechnik und mobilen Kommunikationsmitteln im Arbeitsvollzug neue Anforderungen. Und schließlich erfordern mehr Flexibilität und Komplexität des Gesamtprozesses verstärkte Methodenkompetenz, mehr Eigenverantwortung und Selbstorganisation. Im Ergebnis würde qualifizierte Produktionsarbeit in unserem Ansatz eher gestärkt, denn geschwächt.

*Herr Dr. Tullius, was haben denn Ihre eigenen Forschungen in iWePro ergeben?*

**Dr. Tullius:** Zunächst einmal ist es auf Anregung des Projektträgers gelungen, dass wir uns zusätzlich zu unserer eigenen Erhebungen mehrfach mit drei weiteren Projekten – MetamoFAB, S-CPS und ELIAS – ausgetauscht haben. Diese Projekte haben ebenfalls die Rolle der Beschäftigten in Industrie 4.0

thematisiert, so dass wir einen fachlichen Austausch pflegen konnten. In der Hauptsache haben wir gemeinsam mit IPK und Opel einige Workshops mit Beschäftigten aus direkten und indirekten Fertigungsbereichen und der Planung sowie ausführliche Beschäftigten- und Expertenbefragungen im Getriebewerk durchgeführt. Ziel war es, die gegenwärtigen Problemlagen und vor allem auch die Perspektiven und Gestaltungsinteressen der von den Veränderungsprozessen potentiell Betroffenen zu erfassen. Zwei Befunde möchte ich kurz aufzeigen: Erstens: Vorherrschend ist bei den Beschäftigten heute eine pragmatisch-fatalistische Einstellung zu Technisierungs- und Restrukturierungsprozessen nach dem Motto: »Es kommt halt was Neues, ob das für uns ein Vorteil oder Nachteil ist, wird sich zeigen. Auf die Gestaltung des Arbeitssystems haben wir ohnehin keinen Einfluss.« Auf diesem Hintergrund artikulieren die Maschinenbediener wenig eigene Vorstellungen über eine zukünftige Arbeitsorganisation, die ihren Interessen möglicherweise besser entspricht.

Zweitens: Der betriebliche Planungs- und bisherige Umsetzungsprozess zeigt, es handelt sich um einen gestaltungsoffenen und auch umstrittenen Prozess. Ein Dreh- und Angelpunkt ist die Aufgabenverteilung zwischen Maschinenbedienern, Gruppensprechern und Einrichtern. Hier deuten sich gegenwärtig neue Differenzierungen zugunsten ganzheitlicher geschnittener Tätigkeitsprofile an. Wenn es keine Promotoren für ein positiv formuliertes Gestaltungskonzept gibt, dann ist wahrscheinlich, dass sich technokratische Lösungen durchsetzen und Beschäftigteninteressen bei der Gestaltung nicht hinreichend berücksichtigt werden.

**Herr Dr. Kurke, wie haben Sie denn diese vom SOFI und IPK angestoßenen Prozesse in ihrem Unternehmen empfunden?**

**Dr. Kuhrke:** Ich selbst bin ja nicht in der Linienverantwortung und nicht täglich mit den Werkstattmitarbeitern zusammen, sondern in der Vorentwicklung und habe doch sehr unterschätzt, wie vorsichtig die Produktionsverantwortlichen sind, überhaupt in Zukunftsdiskussionen mit den Mitarbeitern einzusteigen. Unsere Mitarbeiter haben in der Vergangenheit einiges an Personalabbau erlebt und sind sehr misstrauisch, was Technisierungs- und Restrukturierungsmaßnahmen anbetrifft. Aber auch

in Unternehmen der anderen Industrie 4.0-Projekte gibt es eine eher geringe Beteiligungskultur, scheint mir. Insofern hat das Projekt iWePro sicherlich geholfen, die Betriebsleitung, den Betriebsrat und Mitarbeiter der Planungs- und Ausbildungsabteilungen zu mehr Beteiligung der Mitarbeiter zu überzeugen.

**Da es ja noch keine realisierten Anwendungen von Werkstattfertigung mit Industrie 4.0 gibt, wie konnten sie den Mitarbeitern das mögliche zukünftige Arbeitsumfeld und die Abläufe erläutern?**

**Dr. Kuhrke:** Das war in der Tat ein Problem. Für die ersten Workshops mit den Mitarbeitern haben wir uns damit beholfen, dass wir eine vom IPK erstellte animierte Präsentation verwendet haben. Als dann die Hannover Messe vor der Tür stand, erstellten wir einen Film und griffen auf die interaktive Simulation in Demo3D vom Partner SimPlan zurück. Es entstand der hybride Demonstrator, den wir dann mit den Mitarbeitern bei Einzelbefragungen nutzten, ebenso wie gegenüber unserem Management. Vielleicht kann dieser Demonstrator auch im Opel Trainingscenter zu Schulungszwecken eingesetzt werden.

**Erarbeiten Sie mit Aus- und Weiterbildungsanbietern neue Qualifizierungsangebote oder bieten Sie selbst Qualifizierungsmaßnahmen an?**

**Dr. Kuhrke:** In der Tat hatten wir kürzlich in einem Treffen mit den Trainings- und Ausbildungsabteilungen von SOFI und IPK festgestellt, dass das Hauptaugenmerk der Trainingsabteilung auf maschinenbezogenen Schulungen liegt. Allgemein bekommt jeder Opel Mitarbeiter eine praktische eintägige Einweisung in Lean Production mit fünf Management Methoden von Fehlervermeidung bis Taktung. In der Ausbildungsabteilung ist man noch sehr weit weg von Inhalten, die sich auf Industrie 4.0 beziehen. Beide Abteilungen würden es sehr begrüßen, eine kleine Industrie 4.0-Lernumgebung zur Verfügung zu haben. Weiterhin haben wir im Laufe des Projekts uns auch mit anderen General Motors-Standorten und Getriebewerken anderer Hersteller über Einsatzerfahrungen von CPS und über Gruppenarbeit, Steuerungsphilosophien sowie Automatisierungsgrade ausgetauscht. Wir sind zuversichtlich, dass sich diese interne Kommunikation sowie die externe über das Projekt hinaus verstetigen.

*Herr Hohwieler, an Sie die Frage: Was bleibt nach iWePro? Was wurde erreicht?*

**Hohwieler:** Ausgehend von der Idee der selbstorganisierenden Werkstattfertigung als Alternative zu Fertigungslinien wurde ein Systemansatz realisiert, der die Kombination von zentraler Planung und dezentraler Fertigungssteuerung unterstützt. Die technische Lösung verbindet in der erarbeiteten Referenzarchitektur die beteiligten Systeme und erforderlichen Informationen in einem Datenmodell, auf das diese über einen Service Layer als Plattform zugreifen und sich austauschen können. Es liefert ein kontinuierlich aktualisiertes Abbild der realen Fertigungssituation. Dabei ist es mit diesem Architekturansatz möglich, statt der realen Produktion eine virtuelle Fertigungsumgebung über Simulation einzubinden. So kann man das Verhalten der selbstorganisierenden Werkstattfertigung untersuchen und für Mitarbeiter erlebbar machen. Es sind also Werkzeuge verfügbar, mit denen Management und Produktionsmitarbeiter zukünftige Fertigungskonzepte erfahren und gestalten können.

*Was wünschen Sie sich noch für die weitere Entwicklung ihres Projektthemas?*

**Hohwieler:** Wir wussten, dass die Projektlaufzeit nicht Raum für eine vollständige Implementierung und Evaluation der Lösung geben würde. Trotzdem hatten wir uns vorgenommen, simulativ mehr Alternativen der selbstorganisierenden Steuerung durchzuspielen. Wir wollen auch über das Projekt hinaus mit Opel und anderen Partnern in Kontakt bleiben und sehen, wie sich die Teillösungen im Alltag bewähren und von den Mitarbeitern angenommen werden. Denn Industrie 4.0 bedeutet, evolutionär soziotechnische Systeme zu gestalten.

*Die Erprobung und Validierung der selbstorganisierenden Werkstattfertigung erfolgte für ein Anwendungsszenario zur Teilefertigung mit hohem Variantenreichtum im Automobilbau bei Opel Automobile in Rüsselsheim. Können auch andere Systemanbieter und Hersteller die Projektergebnisse nutzen?*

**Hohwieler:** Durch die Projektergebnisse ist es in Zukunft möglich, dass Einzelkomponenten intelligent vernetzt interagieren und aufgaben- und situationsorientiert mit den Werkern kooperieren. Eine solche smarte Werkstattfertigung ermöglicht eine

vorausschauende Bewirtschaftung und zeitgerechte Bereitstellung für die anstehenden Fertigungsaufträge. Die zu erwartenden Ergebnisse werden sich auch durch andere Systemanbieter und Branchen der Herstellung von variantenreichen hochwertigen Produkten nutzen lassen, wie in der metallverarbeitenden Industrie mit ihren Zulieferfirmen, im Maschinenbau, dem Fahrzeugbau oder in der Medizintechnik. Die Lösungen für die selbstorganisierende Werkstattfertigung bieten das Potenzial für einen breiten Transfer insbesondere in kleine und mittelständische Fertigungsbetriebe.

*Glauben Sie, dass Industrie 4.0 den deutschen Standort spürbar stärken wird?*

**Hohwieler:** Ich darf mal so antworten: Es war gut, das Ziel der intelligenten, digitalisierten Produktion, also Industrie 4.0 auszurufen und die Komponentenhersteller, Anwender und Wissenschaftler zu gerichteten Entwicklungsarbeiten aufzufordern. Wie der wirtschaftliche Effekt dieser Technologien sein wird, mag ich nicht zu beziffern – ich gehe von langfristigen Effekten der Stärkung der Industrie und Produktion durch diese Innovationen aus.

Ich möchte eine Analogie aus der CIM-Technologie anführen, die Kollegen aus unserem Institut in den frühen 80er Jahren identifiziert haben. In den USA fanden sie stärker informatisierte Büroabläufe als in Europa, in Japan eine Konzentration auf den Robotereinsatz, in Europa ein eher gleichmäßiges Bemühen um rechnergestützte Prozesse in der Entwicklung, in der Auftragsabwicklung und Logistik sowie zur Steuerung von Maschinen und Handhabungsgeräten. So kann auch heute Deutschland durch eine sinnvolle Gestaltung und Nutzung von Industrie 4.0 Lösungen, die ganzheitlich die Geschäftsprozesse, die Produktion und die Mitarbeiter mit ihren Fähigkeiten in den Vordergrund stellen, profitieren.

**Baumgarten:** *Meine Herren, vielen Dank für das Gespräch.*







# iWePro

UNTERNEHMENSPROFILE



# iWePro Unternehmensprofile

## Konsortium

**iWePro stellt vor allem den Assistenz- und nicht den Steuerungscharakter in den Vordergrund und zielt nicht auf eine autonome Maschinenbelegungsplanung durch die Software-Agenten. Die Mitarbeiter stehen im Mittelpunkt und treffen die Entscheidung zur Umplanung von Fertigungsaufträgen falls notwendig. Das Assistenzsystem gibt Empfehlungen für diese Planungsentscheidungen und versorgt die Mitarbeiter mit allen notwendigen Informationen auf ihren Smart Devices.**

Das Projektkonsortium von iWePro ist mit zwei akademischen Partnern und sechs Industriepartnern besetzt: SOFI e.V. und Fraunhofer IPK (Forschungsinstitute), SimPlan AG, flexis AG und TAGnology RFID GmbH (Informationstechnik), SAFELOG GmbH und DMG MORI (Hersteller und Ausrüster) und die Opel Automobile GmbH (Anwender Produktion).

iWePro macht eine zukünftige Werkstattproduktion gemäß Industrie 4.0 mit Hilfe des Hybriden Demonstrators erfahrbar und stellt einen Simulationsstand zur Verfügung, der verschiedenste Fertigungsszenarien und Planungs- und Steuerungsansätze (zentral und dezentral) durchspielen lässt.

### INFORMATIONSTECHNIK

#### flexis

Seit über 17 Jahren konzentriert sich die flexis AG darauf, den gesamten Kundenauftragsprozess zu planen und zu steuern. Das umfasst die durchgängige Planung und Steuerung der Supply Chain – vom Vertrieb über die Produktion und Logistik bis in die Beschaffungskette hinein.

[flexis.de](http://flexis.de)

#### SimPlan

Die SimPlan AG wurde 1992 als Dienstleister für die Simulation betrieblicher Abläufe gegründet und ist heute mit 116 Mitarbeitern der führende deutsche Komplettanbieter von Simulationsdienstleistungen und -software. Wir begleiten unsere Kunden mit umfangreichem Fachwissen, langjähriger Erfahrung und modernen Methoden in der Analyse und Optimierung ihrer Unternehmensabläufe.

[simplan.de](http://simplan.de)

#### TAGnology RFID

TAGnology RFID GmbH ist seit über 13 Jahren Anbieter umfangreicher Produkte und Dienstleistungen für den Bereich RFID (Radio Frequency IDentification) und NFC-Applikationen (Near Field Communication), also im Bereich automatischer Identifikationsverfahren und kontaktloser Kommunikationstechnik.

[tagnology.com](http://tagnology.com)



## FORSCHUNGSINSTITUTE

### Fraunhofer IPK

Das Fraunhofer IPK bietet anwendungsorientierte Systemlösungen für die ganze Bandbreite industrieller Aufgaben – von der Produktentwicklung über den Produktionsprozess, die Instandhaltung von Investitionsgütern und die Wiederverwertung von Produkten bis hin zu Gestaltung und Management von Fabrikbetrieben.

[ipk.fraunhofer.de](http://ipk.fraunhofer.de)

### SOFI Göttingen

Das Soziologische Forschungsinstitut Göttingen (SOFI) an der Georg-August-Universität wurde im Jahr 1968 als nichtkommerzielles, universitätsnahes Institut gegründet. Die Rechtsform ist ein eingetragener gemeinnütziger Verein. Angewandte, um Zeitdiagnostik bemühte Grundlagenforschung steht im Mittelpunkt der Institutsarbeit.

[sofi.uni-goettingen.de](http://sofi.uni-goettingen.de)

## ANWENDER IN DER PRODUKTION

### Opel Automobile

Opel Automobile GmbH wurde im Jahr 1862 von Adam Opel im hessischen Rüsselsheim gegründet und ist einer der größten europäischen Automobilhersteller. Das Unternehmen verkauft jährlich mehr als eine Million Fahrzeuge.

[opel.com](http://opel.com)

## HERSTELLER UND AUSRÜSTER

### SAFELOG

Die SAFELOG GmbH mit Hauptsitz in Kirchheim bei München und Niederlassungen in Bremen und Baden-Württemberg ist seit 20 Jahren innovativer Spezialist für effiziente, fehlersichere Kommissioniertechnologie und Materialversorgung.

[safelog.de](http://safelog.de)

### DMG MORI

Die DMG MORI Software Solutions Germany GmbH (bis zum 1.7.2016 DMG Electronics GmbH) liefert im Konzern DMG MORI AG zentral softwarebasierte Technologietools für das Produktprogramm der Dreh-, Fräs- und Lasermaschinen.

[dmgmori.com](http://dmgmori.com)



flexis

## Planung und Steuerung der Supply Chain

Seit über 17 Jahren konzentriert sich die flexis AG darauf, den gesamten Kundenauftragsprozess zu planen und zu steuern. Das umfasst die durchgängige Planung und Steuerung der Supply Chain – vom Vertrieb über die Produktion und Logistik bis in die Beschaffungskette hinein.

Ein erfahrenes, leistungsfähiges und hoch motiviertes Team betreut die international tätigen Kunden individuell und kontinuierlich vor Ort. So gewährleistet die Gesellschaft, dass sich der Nutzen der Lösungen im vollen Umfang auszahlt.

Vor, während und nach der Implementierung bringt flexis umfassendes Know-how und langjährige Erfahrung ein, um mit dem Kunden die zentralen Herausforderungen zu analysieren und die effizienteste Lösung zu finden.

Das oberste Ziel der Gesellschaft ist es, gemeinsam mit den Kunden echten Mehrwert zu schaffen. So werden kontinuierliche vertrauensvolle Geschäftsbeziehungen zu Kunden und Partnern gepflegt, um zu deren Erfolg beizutragen. flexis liefert leistungsstarke unternehmenseigene Technologien, regelmäßige Updates und zukunftssichere Methoden.

Bei flexis kommt der Service aus einer Hand: Die Entwicklung leistungsstarker Kerntechnologien, die Beratung von Kunden entsprechend ihrer Anforderungen und die Bereitstellung innovativer Lösungen. Dazu gehört auch die Installation und Wartung der Software.

### SCHWERPUNKTE UND KOMPETENZEN

#### Sales & Operations Planning

Das integrierte Sales & Operations Planning (S&OP)-Framework bildet durchgängig die notwendigen Planungsdimensionen ab – vom Markt über das Produkt und die Produktion bis zu den benötigten

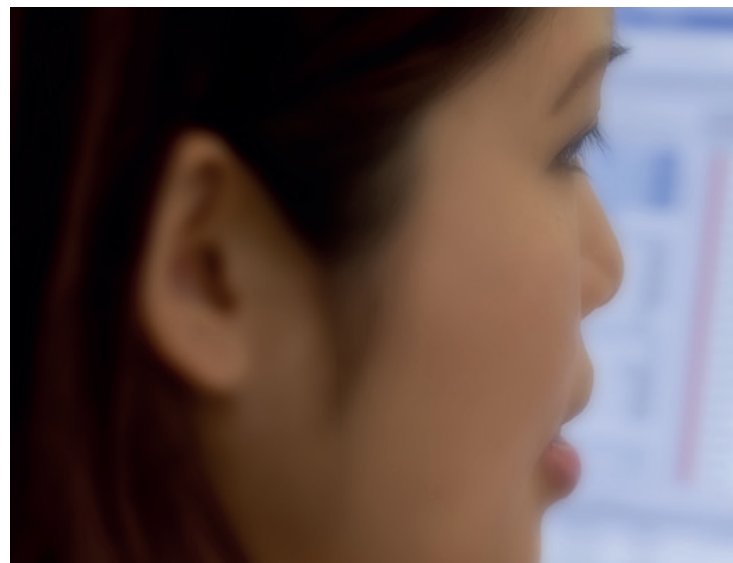
Teilen und logistischen Prozessen. Das Framework setzt diese Faktoren in eine logische Verbindung, sodass die erforderlichen Informationen in Echtzeit zur Verfügung stehen.

Teile- und Ressourcenwelt werden mit der langfristigen Vertriebsplanung synchronisiert. S&OP kann durchgängig mit einem Kapazitätsmanagement abgesichert werden, Engpässe und Überkapazitäten werden offensichtlich, Handlungsbedarfe erkennbar. Das Ergebnis ist eine agile und bedarfsorientierte Planung, die gleichzeitig Restriktionen auf Produkt- und Teileebene einbezieht. Die integrierte Echtzeitplanung verknüpft alle kritischen Planungsdimensionen, stabilisiert die Planung und bildet die Basis für einen bedarfsgerechten und ertragsoptimierten Gesamtplan.

#### Advanced Planning & Scheduling

Die flexis-Lösungen im Umfeld von Advanced Planning & Scheduling ergänzen bestehende Systeme wie Enterprise-Resource-Planning (ERP) und Manufacturing Execution System (MES).

Abb. 12: Vertriebs- und Produktionsplanung von flexis





## KONTAKT

### Hansjörg Tutsch

Vice President Research

### flexis AG

Schockenriedstraße 46  
70565 Stuttgart

Tel.: +49 711 78 23 80 - 82

E-Mail: [hansjoerg.tutsch@flexis.de](mailto:hansjoerg.tutsch@flexis.de)

Web: [www.flexis.de](http://www.flexis.de)

### Leistungen

- Advanced Planning & Scheduling
- Sales & Operations Planning
- Supply Chain Management
- Consulting

Sie liefern die notwendigen höheren Planungsfunktionen zur Erstellung von:

- Master Schedule für Auftragsplanung und -einplanung,
- Auftragsreihenfolge(n) für eine schlanke Produktion sowie
- Maschinenbelegung in den Fertigungsstufen.

Die flexis-APS-Plattform unterstützt dabei unterschiedliche Philosophien der Auftragsplanung und Produktion in einem modularen, integrierten Systemansatz. Das Daten- und Lösungsmodell der Plattform stellt die durchgängige Planung und Umplanung von Bedarfen und Reihenfolgen bis zum Maschinenauftrag sicher. Das Modell lässt sich schrittweise einsetzen und während des Projekts nach und nach erweitern. Die höheren Planungsfunktionen und Entscheidungsunterstützungen in Echtzeit erlauben eine termintreue, kostenoptimale, schlanke Planung und Steuerung. Sie machen die Abhängigkeiten und Zielkonflikte der Wertschöpfungsketten beherrschbar.

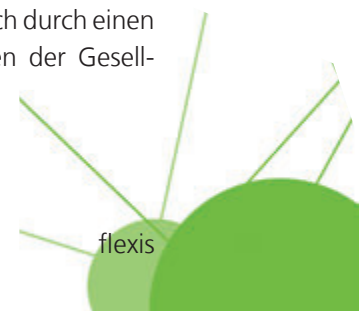
## PROJEKTBEISPIELE

### Standardisierung – Kundennutzen im Fokus

flexis entwickelt und realisiert auf Basis von standardisierten Technologien wie die firmeneigene In-Memory-Technologie und standardisierten Softwaremodulen wie Shift Calendar, Constraint Manager, Optimizer kundensorientierte Lösungen, die sowohl einen schlanken Kundenauftragsprozess als auch eine durchgängige Vertriebs- und Produktionsplanung ermöglichen. flexis unterstützt die Planung und Steuerung von Produktionsprozessen und deren Versorgung nach dem Pull-Prinzip. Die Produkte sind an Standorten namhafter OEMs und Zulieferer in Europa, Nordamerika, Südamerika und Asien im Einsatz: Von der langfristigen Bedarfs-Kapazitäts-Planung bis zur Sequenzierung im Kurzfristbereich bietet flexis ein ganzheitliches Lösungsspektrum zur Optimierung des Kundenauftragsprozesses.

### Know-how – Erfahrung und Kompetenz

flexis hat in den zahlreichen Industrieprojekten durch die unterschiedlichsten Kundenanforderungen und die für die Kunden implementierten Lösungen einen Know-how-Vorsprung gegenüber nationaler und internationaler Konkurrenz, der sich durch einen Best-of-Breed-Ansatz in den Lösungen der Gesellschaft niederschlägt.



## SimPlan

# Simulationslösungen für Produktions- und Logistikprozesse

Die SimPlan AG wurde 1992 als Dienstleister für die Simulation betrieblicher Abläufe gegründet und ist heute mit 116 Mitarbeitern der führende deutsche Komplettanbieter von Simulationsdienstleistungen und -software. Wir begleiten unsere Kunden mit umfangreichem Fachwissen, langjähriger Erfahrung und modernen Methoden in der Analyse und Optimierung ihrer Unternehmensabläufe.

Stammsitz des Unternehmens ist Maintal in Hessen. Zur SimPlan-Gruppe gehören die Tochterunternehmen SimPlan Integrations GmbH (Witten) und SimPlan Systems GmbH (Maintal), Niederlassungen in Braunschweig, Dresden, Holzgerlingen, München und Regensburg sowie eine österreichische Vertretung in Neufelden. Im Juni 2010 wurde die Gesellschaft SimPlan China in Shanghai gegründet.

## SCHWERPUNKTE UND KOMPETENZEN

### Simulation - vorher wissen, was nachher kommt

Unsere Dienstleistungen erstrecken sich von der Prozessanalyse und -beratung über die Materialfluss- und Logistiksimulation.

Mit Hilfe von Simulationen lassen sich komplexe Produktions- und Logistikprozesse am Computer modellieren, anschaulich darstellen und untersuchen. Sie ermöglicht realitätsnahe und schnelle Vorhersagen über die Funktionsfähigkeit sowie praxisnahe Prognosen zu Produktivität und Effizienz dieser Prozesse. Damit können bereits in der Planungsphase Prozessalternativen gegenübergestellt und bewertet und so das Optimum ermittelt werden. Die Prozesse können unter beliebigen Rahmenbedingungen und Einflussgrößen getestet werden. Das stellt die Flexibilität und somit die Zukunftsfähigkeit der Unternehmen sicher. Zudem sind wir ein neutraler Distributor für Simulationssoftware und stehen unseren Kunden sowohl bei der Auswahl,

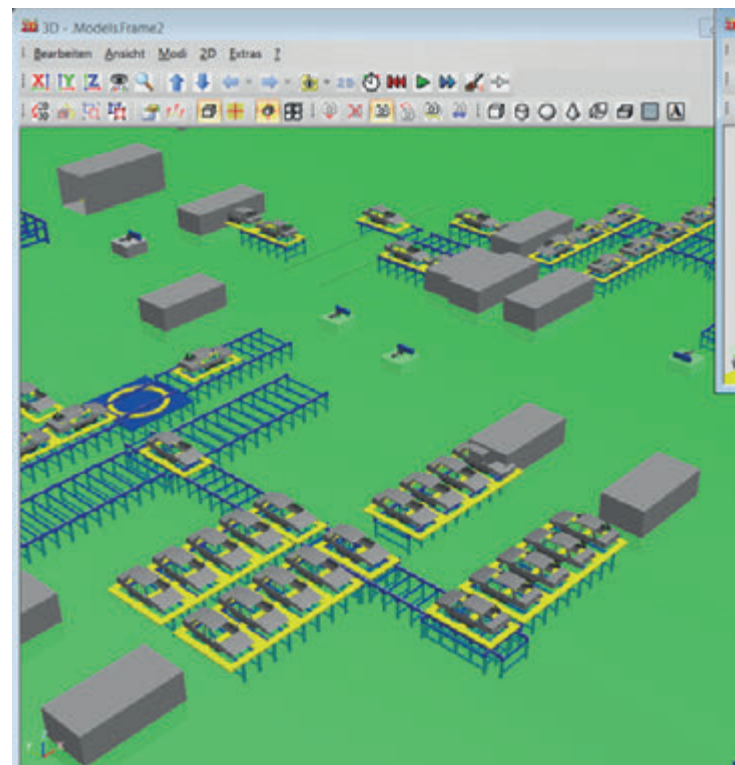
als auch bei Schulungen und der Einführung im Unternehmen zur Seite. Die Einsatzfelder für Simulation sind in allen Unternehmensbereichen und allen Branchen zu finden und werden zunehmend vielfältiger. Auf folgende Anwendungsfelder der Simulation konzentrieren wir uns im Besonderen und haben bereits vielfach Projekte mit Kunden realisiert:

- Anlaufsimulation
- Lager und Logistik
- Leitstand und Produktionsfeinplanung
- Personal
- Produktion
- Supply Chain
- 3D-Animation

## PROJEKTBEISPIELE

### Software-Toolbox für flexible Produktionssysteme

Das vom siebten Rahmenprogramm der Europäischen Kommission geförderte Projekt PRIME entwickelte eine Software-Toolbox und Methodik, mit deren Hilfe Fertigungssysteme nach dem »Plug and Produce« Prinzip betrieben werden können.



### Jörg Kemper

Geschäftsführung

### SimPlan Integrations GmbH

Friedrich-Ebert-Straße 87

58454 Witten

Deutschland

Tel.: +49 2302 20297-0

E-Mail: joerg.kemper@simplan.de

Web: www.simplan.de

### Leistungen

- Logistiksimulation
- Produktionsplanung
- Digitale Fabrik
- Fabrik- und Hallenplanung
- Supply Chain Simulation
- Materialflusssimulation
- Emulation

PRIME umfasst eine Steuerung, die auf Multi-Agenten-Technologie basiert, dynamischen Wissensaustausch, integriertes Monitoring und innovative Werkzeuge zur Mensch-Maschine-Interaktion. Dadurch wird etwa die Inbetriebnahme von Produktionsanlagen verkürzt sowie Fehlerbehebung und Leistungsverbesserung im laufenden Betrieb optimiert.

### Simulationsgestützte Planung und Bewertung der Energieeffizienz für Produktionssysteme in der Automobilindustrie

Aufgrund steigender Energiekosten und der Forderung nach mehr Energieeffizienz in der Produktion wird vermehrt versucht, während der Planungsphase einer Anlage neben der dynamischen Betrachtung von Prozessen mittels Simulation auch den Energieverbrauch und die Energieeffizienz zu ermitteln und zu optimieren. Im Rahmen des vom Land Hessen geförderten Forschungsprojekts SimEnergy wurde die Möglichkeit geschaffen, basierend auf bestehenden und am Markt etablierten Simulationswerkzeugen die Einzelaspekte Material- und Energiefluss über miteinander verknüpfte Simulationsmodelle abzubilden, so dass eine energetische Bewertung von Produktions- und Logistikprozessen möglich wird.

### Assistenzfunktionen für die Simulation logistischer Prozesse im Automotive-Bereich

Aktuelle Simulationswerkzeuge ermöglichen eine detaillierte Modellierung von produktionslogistischen Abläufen, wie zur Untersuchung der Versorgung des Fertigungsbands durch Zulieferteile oder der Entkopplung unterschiedlicher Produktionsbereiche durch die Einrichtung von Lagerbereichen. Die hohe Anzahl an Parametern und Freiheitsgraden bei Simulationsmodellen stellt jedoch eine große Herausforderung bei Simulationsstudien dar, so dass viel Aufwand durch Routinetätigkeiten entsteht, um prozessrelevante kritische Situationen zu identifizieren. AssistSim setzt genau an dieser Stelle an. Zielsetzung des Projekts war die Entwicklung von Methoden und Softwarekomponenten zur simulationsgestützten Unterstützung von logistischen Prozessen im Automotive-Bereich. Die entwickelten Komponenten bieten eine Assistenz für die Planung und Durchführung von Simulationsexperimenten.

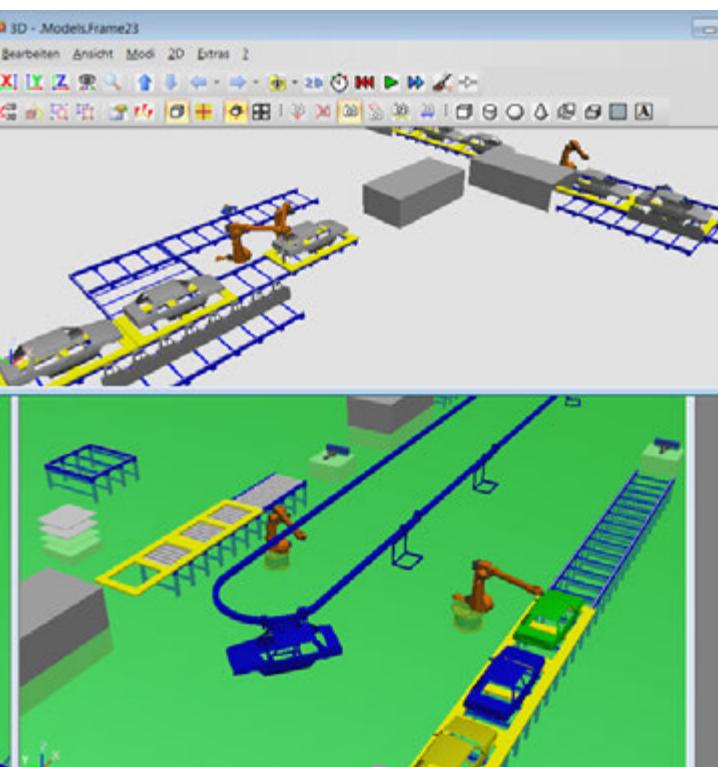


Abb. 13: SimPlan Simulationsmodell

# TAGnology RFID SMART Solutions

TAGnology RFID GmbH ist seit über 13 Jahren Anbieter umfangreicher Produkte und Dienstleistungen für den Bereich RFID (Radio Frequency Identification) und NFC-Applikationen (Near Field Communication), also im Bereich automatischer Identifikationsverfahren und kontaktloser Kommunikationstechnik.

Das langjährige RFID Entwicklungs- sowie Projekt-Know-how gekoppelt mit einem unternehmensinternen, internationalen Netzwerk von Spezialisten aus verschiedensten Bereichen, wie Hardware und Software, bietet den Kunden umfangreiche Möglichkeiten, Lösungen sowie High-Tech auf höchstem Niveau. Die TAGnology RFID GmbH hat sich darauf spezialisiert, Gesamtlösungen im Bereich RFID, NFC und AutoID auf dem stetig wachsenden Markt anzubieten und fungiert somit als branchenunabhängiger Gesamtlösungsanbieter auf dem Technologiesektor.

TAGnology RFID GmbH pflegt Kooperationen aus Wissenschaft und Wirtschaft und erweitert das Portfolio an technischem Know-how durch internationale Partnerschaften im Bereich Industrie und Logistik.

Das im steirischen Voitsberg gegründete Unternehmen bietet kreative Produktentwicklungen und Projekt-Know-how als General- oder Subunternehmer. TAGnology begleitet, entwickelt, fertigt oder setzt Applikationen um. Internationale Partnerschaften zu Spezialisten erweitern das Portfolio und bieten Raum für branchenunabhängige Möglichkeiten. Die hauseigene Versuchs- und Entwicklungsabteilung ist spezialisiert auf kundenspezifische Entwicklungen, Anpassungen oder OEM Produktion.

## SCHWERPUNKTE UND KOMPETENZEN

Schwerpunkte von TAGnology RFID GmbH liegen sowohl in der Entwicklung und Vermarktung von neuen RFID Anwendungen, als auch bei anwendungsbezogenen Systemlösungen, umfangreicher Erfahrung in der Transpondertechnik, Partnerschaften mit RFID Technologieherstellern sowie im Bereich der Projektbegleitung im Kundenauftrag. Die Kernkompetenzen liegen dabei einerseits im Bereich Softwareentwicklung und Service für Auto-ID Lösungen mit der Softwareplattform TAGpilot® und andererseits in der Entwicklung von individuellen Produkten und Lösungen für die automatische elektronische Erfassung von Objekten und Gegenständen. Weitere Themenschwerpunkte des Unternehmens liegen in der Optimierung von Logistikprozessen, in der kundenspezifischen Beratung im Projektmanagement sowie im Bereich Forschung & Entwicklung von Hard- und Software.

Abb. 14: RFID-Systemlösung von TAGnology RFID



Die Identifikation durch RFID kann in vielen Bereichen angewendet werden, wie in der Produktion, im Gesundheitswesen, in der Luftfahrt sowie im Automobilssektor. Das Unternehmen ist nicht nur auf die Entwicklung von Softwareprogrammen in den Bereichen NFC, RFID und Auto-ID spezialisiert, sondern tritt auch als branchenunabhängiger Gesamtlösungsanbieter auf dem internationalen Technologiemarkt auf.

### PROJEKTBEISPIELE

Basis für vernetzte Wertschöpfungsketten ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch die Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen, sowie die Fähigkeit aus den Daten den zu jedem Zeitpunkt optimalen Wertschöpfungsfluss abzuleiten. Hierfür bietet TAGnology RFID GmbH die Software-Plattform TAGpilot® für individuelle Anwendungen.

#### Markus Schriebl

Chief Executive Officer

#### TAGnology RFID GmbH

Grazer Vorstadt 142  
8570 Voitsberg  
Österreich

Tel.: +43 3142 / 28 9 28-11

E-Mail: [m.schriebl@tagnology.com](mailto:m.schriebl@tagnology.com)

Web: [www.tagnology.com](http://www.tagnology.com)

#### Leistungen

- RFID-, NFC- und Auto ID- Lösungen, Machbarkeitsstudien und Prototypen
- Softwareplattform TAGpilot für AUTO-ID Gesamtlösungen, Big Data, Smart Factory Bus
- Praxisorientierte Schulungen und Trainings für Identifikationslösungen

#### Container Management mit Auto-ID

In der Produktion pharmazeutischer End- und Zwischenprodukte werden zum Transport Behälter eingesetzt. Diese Behälter sind sehr teuer und stellen einen Versorgungsengpass dar. Ziel der Lösung ist das Tracking und Tracing von Behältern in der Pharma-Produktion und eine Überwachung der Prozesse, Lagerung, Reinigung, Transport und Nutzung zur Optimierung der Produktionsabläufe.

#### Identifikation KLT's im Automotiv-Bereich

Um zu einer höheren Granularisierung der Fertigungsprozesse zu gelangen, hat TAGnology eigene TAGs entwickelt, die direkt auf die Klein-Ladungsträger (KLT's) montiert werden können, um so nicht nur den Ladungsträger-Carrier, sondern auch die einzelnen Ladungsträger zu erkennen. Dabei sind spezielle Anforderungen zu erfüllen, die sich aus den Umgebungsbedingung und dem Anwendungsprofil ergeben.



# Fraunhofer IPK

## Technologien für die Digital Integrierte Produktion

Das Fraunhofer IPK in Berlin steht seit fast 40 Jahren für Exzellenz in der Produktionswissenschaft. Es betreibt angewandte Forschung und Entwicklung für die gesamte Prozesskette produzierender Unternehmen – von der Produktentwicklung über den Produktionsprozess, die Instandhaltung von Investitionsgütern und die Wiederverwertung von Produkten bis hin zu Gestaltung und Management von Produktionsbetrieben. Das Institut gliedert sich in die sechs Geschäftsfelder Unternehmensmanagement, Virtuelle Produktentstehung, Produktionssysteme, Füge- und Beschichtungstechnik, Automatisierungstechnik sowie Qualitätsmanagement.

Wir begreifen Industrie 4.0 als große Chance, Produktion durch den Einsatz modernster Informationstechnologien flexibler und effektiver zu gestalten und damit individuelle Kundenwünsche kostengünstig umzusetzen. In unserem Anwendungszentrum »Digital Integrierte Produktion« kommunizieren und kooperieren Maschinen miteinander sowie mit Werkstücken und Produktionsmitarbeitern. Informationen zum Auftragsstatus und zu Maschinenzuständen werden jederzeit und überall verfügbar gemacht. All dies trägt dazu bei, Produktionsprozesse zu optimieren und Arbeitsabläufe flexibel zu gestalten. Produktion muss dann nicht mehr zentral organisiert und vorgeplant werden – Mitarbeiter auf allen Ebenen im Betrieb können größere Verantwortung für die Steuerung des Produktionsablaufs übernehmen, intelligente Technologien unterstützen sie dabei.

Wir arbeiten daran, diese Vision so umzusetzen, dass sie für Produktionsbetriebe jeder Größe ökonomisch interessant ist. Unser Ziel dabei ist es, neue Entwicklungskooperationen anzustoßen, die Industrie 4.0 wirtschaftlich auf den Hallenboden bringen – insbesondere auch in kleinen und mittleren Betrieben.



Abb. 15: Digital Integrierte Produktion am Fraunhofer IPK

### SCHWERPUNKTE UND KOMPETENZEN

Zu den wesentlichen Aufgaben des Fraunhofer IPK gehört es Basisinnovationen in funktionsfähige Anwendungen zu überführen. Im Mittelpunkt stehen Methoden und Verfahren zur Produktivitätssteigerung bei der Entwicklung und Herstellung von Produkten und deren Umsetzung in Systemlösungen. Hierzu gehören auch die Konzeption und Realisierung von intelligenten Produktionsmitteln sowie deren Integration in komplexe Produktionsanlagen.

### PROJEKTBEISPIELE

In dem Anwendungszentrum »Digital Integrierte Produktion« bearbeitet das IPK Fragen der Machine-to-Machine-Kommunikation und der





## KONTAKT

### Dr.-Ing. Julian Polte

Abteilungsleitung Fertigungstechnologien,  
Produktionsmaschinen und Anlagenmanagemen

### Fraunhofer IPK

Pascalstraße 8–9  
10587 Berlin

Tel.: +49 30 39006-433

E-Mail: [julian.polte@ipk.fraunhofer.de](mailto:julian.polte@ipk.fraunhofer.de)

Web: [www.ipk.fraunhofer.de](http://www.ipk.fraunhofer.de)

### Leistungen

- Machbarkeitsstudien und Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- Projektierung und Engineering
- Management unternehmensinterner und -übergreifender Projekte
- Entwicklung von Verfahren, Geräten und Softwaresystemen
- Prototypische Realisierung
- Systemerprobung
- Schulungen, Seminare, Coaching

### MetamoFAB – Metamorphose zur intelligenten vernetzten Fabrik

Ziel ist es, sukzessive cyber-physische Systeme in bestehende Modernisierungs- und Entwicklungsvorhaben zu integrieren und den Unternehmen so die Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Produktion zu ermöglichen.

### VIB-SHP – Virtuelle Inbetriebnahme mit SMART Hybrid Prototyping

Mit der Bereitstellung einer skalierbaren Steuerungsplattform für cyber-physische Systeme in industriellen Produktionen ist es möglich Robotersteuerungen mit Hilfe des App-Konzepts, zentral bereitgestellter Software und skalierbarer Rechenleistung zu optimieren.

### Industry Cockpit - Fit für kundenindividuelle Prozesse und Produkte

Das modellbasierte Managementsystem ermöglicht die Abbildung komplexer Abläufe und Zusammenhänge in der Produktion und die auftragsindividuelle Anpassung.

Zusammenarbeit von Menschen und Robotern sowie der global vernetzten Geschäftsmodelle:

### SoPro – Selbstorganisierende Produktion

Produkte und Fertigungsressourcen werden mit intelligenten Process-eGrains ausgestattet, die im Produktionsnetzwerk verhandeln und so unabhängig von der Prozessleitebene selbstorganisierend die Produktionsabläufe beeinflussen können.

### piCASSO – Industrielle Cloud-basierte Steuerungsplattform

Skalierbare Steuerungsplattform für cyber-physische Systeme in industriellen Produktionen bieten Potenziale für die Umgestaltung von Robotersteuerungen mit Hilfe des App-Konzepts, zentral bereitgestellter Software und skalierbarer Rechenleistung.

# SOFI Göttingen

## Soziologisches Forschungsinstitut

Das Soziologische Forschungsinstitut Göttingen (SOFI) an der Georg-August-Universität wurde im Jahr 1968 als nichtkommerzielles, universitätsnahes Institut gegründet. Die Rechtsform ist ein eingetragener gemeinnütziger Verein. Angewandte, um Zeitdiagnostik bemühte Grundlagenforschung steht im Mittelpunkt der Institutsarbeit. Mit der Gründung des SOFI erhielt die empirische Sozialforschung zu zentralen gesellschaftlichen Fragen der Entwicklung von Arbeit, Bildung und Sozialstaat in Göttingen eine breite und kontinuierliche Basis. Seit der Institutsgründung besteht eine enge Anbindung an die sozialwissenschaftliche Fakultät der Universität. Im Jahr 1983 hat der Senat der Universität dem SOFI den Status eines »Instituts an der Universität« zuerkannt.

Am SOFI waren im Jahr 2014 fast 30 Beschäftigte tätig, davon 21 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, der Institutshaushalt belief sich auf knapp 3,2Mio.€. Neben einer institutionellen Grundfinanzierung durch das Land Niedersachsen, erfolgt die Finanzierung zu mehr als Zweidrittel durch eingeworbene Forschungsgelder von Landes- und Bundesministerien, von der Europäischen Union, der Deutschen Forschungsgemeinschaft, verschiedenen Stiftungen sowie gelegentlich auch von Verbänden

und Unternehmen. Die Leitung des Instituts liegt bei einem von der Mitgliederversammlung gewählten Direktorium, das dabei von einem Präsidium unterstützt wird. Ein Kuratorium begleitet und begutachtet die Forschungsarbeit des Instituts.

### SCHWERPUNKTE UND KOMPETENZEN

Seit seiner Gründung beschäftigt sich das SOFI schwerpunktmäßig mit Problemen der Arbeits-, Industrie- und Berufsbildungssoziologie. Erwerbsarbeit und deren Veränderungsdynamik bildeten das Zentrum der Forschung. Ging es anfangs vor allem um die Wirkungen des technisch-organisatorischen Wandels auf Anforderungsstrukturen, Arbeitsteilung, Qualifikationsentwicklung und Arbeitsbewusstsein in der industriellen Produktion, wurde später zunehmend auch die Entwicklung von Angestelltenarbeit in Industrie und Dienstleistungssektor und somit der »systemische« Charakter von Rationalisierungsprozessen in den Blick genommen. Damit konnte die mit dem Wandel der Arbeit verbundene Ausdifferenzierung von Arbeits-, Berufs- und Interessenorientierungen analysiert werden. In den letzten Jahrzehnten hat sich eindrücklich gezeigt: Trotz aller Veränderungen ist die deutsche Gesellschaft vor allem eine Erwerbsgesellschaft, in der Erwerbsarbeit die Lebenschancen und persönlichen Entwicklungsmöglichkeiten von einzelnen und Teilkollektiven prägt.

In dem Maße, in dem sich Produktionsstrukturen sowie Produkt- und Arbeitsmärkte dynamisiert haben, wurde jedoch ebenfalls unabweisbar, dass die Veränderung von Arbeit immer weniger allein über die innerbetrieblichen Prozesse der Rationalisierung angemessen analysierbar ist. Die für das SOFI »klassische« Fokussierung auf den Wandel von Arbeit wurde daher durch eine zweite Forschungsperspektive ergänzt, die ihre Aufmerksamkeit auf Struktur und Umstrukturierung von Produktions- und



Abb. 16: SOFI an der Georg-August-Universität © KPW-Photo

# SOFI

## KONTAKT

**Dr. disc. pol. Knut Tullius**

Arbeits- und Industriosozologie

**Soziologisches Forschungsinstitut  
Göttingen (SOFI)**

an der Georg-August-Universität

Friedländer Weg 31

37085 Göttingen

Tel.: +49 551 522 05 11

E-Mail: [knut.tullius@sofi.uni-goettingen.de](mailto:knut.tullius@sofi.uni-goettingen.de)

Web: [www.sofi.uni-goettingen.de](http://www.sofi.uni-goettingen.de)

### Leistungen

- Soziologische Untersuchungen von Arbeitsprozessen
- Konzepte zu Beteiligungs- und Bildungsprozessen
- Trenduntersuchungen der veränderten Arbeitsumgebung

Innovationsmodellen richtet, d. h. auf die institutionellen und organisatorischen Konfigurationen, in denen sich Wandlungsprozesse von Arbeit und Wertschöpfung national und unter Bedingungen der Globalisierung auch international vollziehen. Eine dritte Forschungsperspektive entwickelte sich schließlich in Auseinandersetzung mit Charakter und Entwicklungsdynamik des deutschen Sozialmodells, da die Rückkehr von Massenarbeitslosigkeit, der Umbau des sozialstaatlichen Institutionengefüges sowie die Erosion kollektiver Solidaritätsressourcen die Erwerbsgesellschaft tiefgreifend verändert und neuartige Ausgrenzungsrisiken geschaffen haben. Die aktuelle Forschung bündelt sich also in folgenden Forschungsschwerpunkten:

### Arbeit im Wandel

Die Forschung leistet hier einen Beitrag zu den Debatten zum Strukturwandel der Arbeitsgesellschaft, zur Bedeutung neuer Arbeitsformen und Branchen – gegenwärtig vor allem unter den Chiffren »Industrie 4.0« und »Digitalisierung« – sowie zur »Individualisierung« und »Subjektivierung« von Erwerbsarbeit.

### Wandel von Produktions- und Innovationsmodellen

Wichtige Themen in diesem Bereich sind Fragen der Globalisierung, Wechselwirkungen zwischen institutionellem Wandel und betrieblichen Produktions- und Innovationsstrategien sowie die soziale Wirkungen neuer Technologien - insbesondere im Bereich Information und Kommunikation.

### Sozialmodell

Arbeit – Bildung – Lebensweise im Umbruch: Hier stehen die Themen Prekarisierung von Arbeit und der Umbau des Sozialstaates, aber auch veränderte Bedingungen und Folgen individueller Bildungsprozesse und Verläufe im Zentrum verschiedener Forschungsprojekte.

Diese drei Forschungsperspektiven charakterisieren das spezifische Profil des SOFI, aufeinander bezogen schaffen sie die Voraussetzung für eine vergleichsweise umfassende Analyse gesellschaftlicher Wandlungs- und Umbruchsprozesse. Entsprechend bezeichnen diese Perspektiven und Projektlinien nicht gegeneinander abgeschottete Forschungsbereiche, sondern forschungsstrategische Schwerpunktsetzungen, auf deren Themen und Gegenstände sich die SOFI-Forschung gegenwärtig konzentriert.

Mit einem solchen Themenzugriff sucht das SOFI an seinem, bisherigen Institutsarbeit prägenden Anspruch festzuhalten: Mit praxisnaher Grundlagenforschung gesellschaftliche Veränderungen frühzeitig transparent zu machen und sie rationaler Diskussion und Steuerung zu erschließen. Dieses Erkenntnisinteresse ordnet die Institutsarbeit einer Sozialforschung zu, die einen gesellschaftlichen Bedarf an Analyse und Aufklärung wahrnimmt und darüber am Diskurs über langfristige Reformziele mitwirkt.

# Opel Automobile

## Flexible und smarte Produktion

Opel wurde im Jahr 1862 von Adam Opel im hessischen Rüsselsheim gegründet und ist einer der größten europäischen Automobilhersteller. Das Unternehmen verkauft jährlich mehr als eine Million Fahrzeuge.

Opel investiert in Wachstum und befindet sich in der größten Produktoffensive der Unternehmensgeschichte: Von 2016 bis 2020 bringt die Marke 29 neue Modelle auf den Markt. Im Jahr 2015 hat Opel einen Meilenstein seiner Offensive präsentiert – den neuen Astra: Er ist ein Quantensprung in Sachen Effizienz, Vernetzung und innovativer Ausstattung. Darüber hinaus hat die Marke mit Fahrzeugen wie dem kompakten SUV Mokka, dem Lifestyle-Kleinwagen ADAM und dem eleganten Cabrio Cascada erfolgreich neue Segmente besetzt.

Anspruch von Opel ist es, Hightech für alle in allen Segmenten zu bieten – zu bezahlbaren Preisen. Das Unternehmen macht deutsche Ingenieurskunst einer breiten Bevölkerungsschicht zugänglich und überrascht mit Innovationen, die man sonst nur aus der Oberklasse kennt. Im Astra finden sich zum Beispiel hochmoderne Fahrerassistenz-Systeme und das blendfreie Matrix-Lichtsystem IntelliLux LED®.

Die Marke versteht sich als Wegbereiter der digitalen Vernetzung zwischen Mensch und Auto und setzt mit dem persönlichen Online- und Service-Assistenten Opel OnStar mit 4G/LTE WLAN-Hotspot Maßstäbe im Volumensegment. Auf dem Weg zum umfassenden Mobilitätsdienstleister wurden innovative Konzepte wie die Carsharing-App CarUnity auf den Markt gebracht.

Opel war bis Ende Juli 2017 Teil von General Motors und gehört seit dem 1.8.2017 zur PSA-Gruppe. Die Unternehmenszentrale befindet sich am Traditionsstandort Rüsselsheim. Das Unternehmen produziert in zehn Werken und betreibt drei Ent-



Abb. 17: Fanuc CR35-iA im Einsatz

wicklungs- und Testzentren in sieben europäischen Ländern; es hat rund 35.600 Mitarbeiter, davon mehr als 18.250 in Deutschland. Opel und seine britische Schwestermarke Vauxhall sind in mehr als 50 Ländern vertreten.

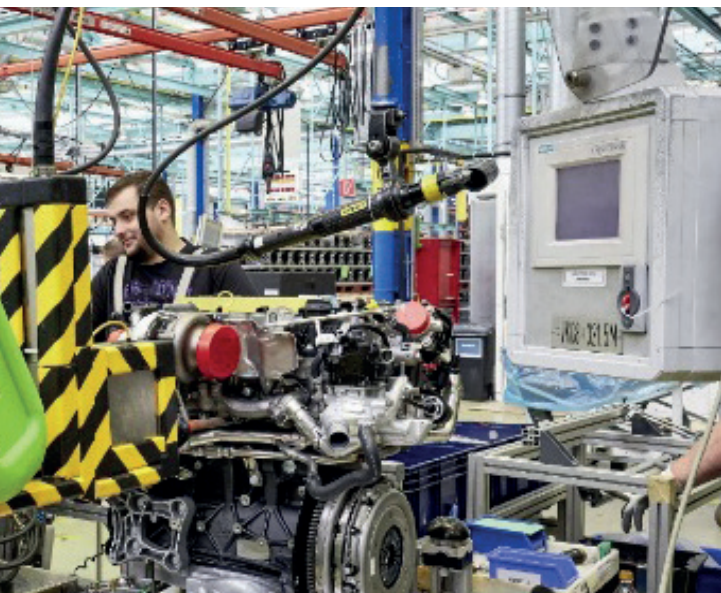
Die Abteilung Powertrain Manufacturing Process Engineering ist für die Entwicklung und Planung für Motoren und Getriebeproduktion in den europäischen Werken verantwortlich. Die Aufgabenstellung erstreckt sich über die Konzepterstellung bis hin zur Start-Up Unterstützung von Fertigungs- sowie Montageanlagen.

Die Abteilung Advanced Manufacturing Technologies (AMT) initiiert, koordiniert und unterstützt Forschungsprojekte der Fertigungsplanungsabteilungen der Opel Automobile GmbH.

### SCHWERPUNKTE UND KOMPETENZEN

#### Automobilproduktion

Opel hat das komplette Know-how zur Entwicklung und Fertigung von Fahrzeugen und seiner Kompo-



## KONTAKT

### Dr.-Ing. Benjamin Kuhrke

Project Engineer  
Advanced Manufacturing Technologies

### Opel Automobile GmbH

Bahnhofplatz  
65423 Rüsselsheim am Main

Tel.: +49 6142 7-72953  
E-Mail: [benjamin.kuhrke@opel.com](mailto:benjamin.kuhrke@opel.com)  
Web: [www.opel.com](http://www.opel.com)

### Leistungen

- Vorausentwicklung Fertigungsplanung für Powertrain und Energieeffizienz
- Technologiefeldleiter Smart Factory
- Koordination von Forschungsprojekten

nenen. Die Produktion startet mit der Blechumformung über die Prozessschritte Fügen und Lackieren bis hin zum Zusammenbau des Fahrzeuges. Bevor die Karosserie zusammen mit den Komponenten zu einem Fahrzeug montiert werden können, müssen zum Beispiel Motoren und Getriebe eigene Prozessketten durchlaufen. Die Prozesskette zur Fertigung eines Getriebes umfasst das Weichbearbeiten, das Härten, das Hartbearbeiten und das Montieren.

### Fertigungsplanung

Opel verfügt über eigene Fertigungsplanungsabteilungen, die bereits eine Vielzahl von Produktionswerken in Deutschland und Europa geplant und errichtet haben. Zu den Kompetenzen zählen neben der Planung und der Inbetriebnahme der Fertigungseinrichtungen, entsprechendes Know-how in den Bereichen Fertigungssteuerung sowie der Intralogistik.

### Technologiefeld Smart Factory

Im Zuge der vierten industriellen Revolution wurde bei Opel das interdisziplinäre Technologiefeld Smart Factory geschaffen, welches sich mit den zukünftigen

Herausforderungen der Produktion auseinandersetzt. Die Digitalisierung und Vernetzung in der Fertigung bieten ein enormes Potenzial, die Prozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu verbessern. Die zielgerichtete Auswertung von Daten zur Verbesserung der Qualität, Produktivität und der Ergonomie gehört dabei genauso zu den Kernfeldern wie die Unterstützung der Mitarbeiter mit modernsten Kommunikationsmitteln.

### PROJEKTBEISPIEL

Im Rahmen von Industrie 4.0 wird der Mensch-Roboter-Kollaboration eine entscheidende Bedeutung beigemessen. Intelligente, agile, sensitive Roboter arbeiten gemeinsam mit ihren menschlichen Kollegen in der Fertigung. Um dieser Vision ein Stück näher zu kommen, arbeitet Opel gemeinsam mit führenden Institutionen Europas im Forschungsprojekt LIAA (Lean intelligent assembly automation) an der Entwicklung schlanker Engineeringwerkzeuge zur Planung kollaborativer Arbeitsplätze. Opel setzt einen kollaborativen Roboter bereits im Werk in Kaiserslautern ein.

# SAFELOG

## Intralogistik: Effizient und fehlersicher

Die SAFELOG GmbH mit Hauptsitz in Kirchheim bei München und Niederlassungen in Bremen und Baden-Württemberg ist seit 20 Jahren innovativer Spezialist für effiziente, fehlersichere Kommissioniertechnologie und Materialversorgung. Die Kommissionierung von kleinteiligen Gütern nach dem Mann-zur-Ware-Prinzip gehört seit jeher zur Kernkompetenz von SAFELOG. Zur durchgängigen Versorgung von Montageorten und Versandplätzen mit Material und Warenkörben aus »einer Hand« hat SAFELOG das Produktspektrum konsequent um intelligente, agentenbasierte Fahrerlose Transportsysteme (FTS) erweitert.

Typische Einsatzgebiete sind die Teileversorgung am Montageband, Distribution von Ersatz- bzw. Zubehörteilen und Bereitstellung von Nachschub für Filialen. Namhafte Unternehmen aus den Branchen Automotive, Reinigungstechnik, Möbel und Augenoptik setzen seit Jahren auf unsere Expertise. Doch auch in den branchenübergreifenden Bereichen der Auftragskommissionierung und des Fulfillment genießen die Lösungen von SAFELOG einen ausgezeichneten Ruf.

Auf Basis unserer modularen Hard- und Softwarekomponenten realisieren wir maßgeschneiderte Kundenlösungen und erreichen dabei ein Maß an Effizienz und Fehlersicherheit, das Maßstäbe setzt.

### SCHWERPUNKTE UND KOMPETENZEN

#### Kommissionierung nach dem Poka Yoke Prinzip und Multi-Order Picking

Eine entscheidende Rolle spielt die Vermeidung von Fehlern durch konsequente Anwendung des Poka Yoke Prinzips. Unter wirtschaftlichen Aspekten nicht weniger wichtig ist die Steigerung der Kommissionierleistung durch Entfall vermeidbarer Vorgänge, wie manuelles Quittieren von Entnahme oder Ablage. Die Reduzierung anteiliger Wegezeit

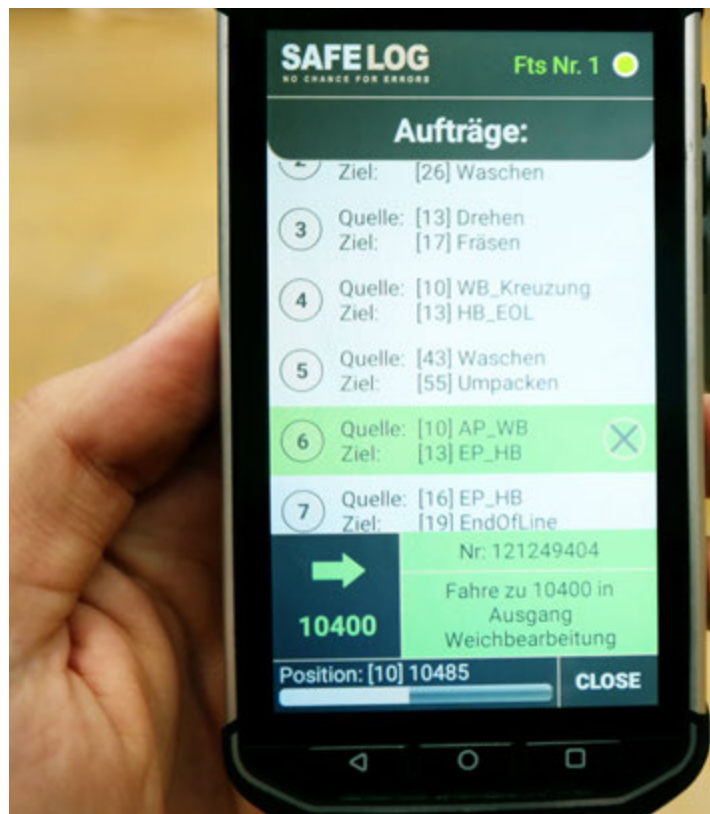


Abb. 18: Android App als Benutzerführung

durch überwachtetes Multi-Order-Picking erhöht die Prozesseffizienz zusätzlich.

Die technische Realisierung der individuellen Prozesse erfordert neben einem hohen Maß an Erfahrung ein flexibles modulares System, das zudem bestmöglich skalierbar ist. Patentierte Entwicklungen, die den Aufbau eines vollständig sensorisch überwachten Pick by Light (Put to Light) Systems ohne Installation am Regal ermöglichen, sind dabei inzwischen ein maßgeblicher Bestandteil der logistischen Prozesskette.

#### Agentenbasierte FTS

Intelligente, agentenbasierte FTS, die ohne zusätzlichen Leitstand die Materialversorgung sicherstellen

## KONTAKT

### Philipp Hell

Software

### SAFELOG GmbH

Ammerthalstraße 8  
85551 Kirchheim bei München

Tel.: +49 89 318 294 - 26

E-Mail: [hell@safelog.de](mailto:hell@safelog.de)

Web: [www.safelog.de](http://www.safelog.de)

### Leistungen

- Kundenspezifische Aufnahme und Analyse der logistischen Prozesse
- Erstellung eines optimalen Kommissionierkonzepts
- Integration des Kommissioniersystems in ein bestehendes Logistiksystem und Optimierung durch Zusammenführung von Prozessen
- Konstruktion, Bau und Installation von schlüsselfertigen Kommissioniersystemen
- Nachhaltige Betreuung im laufenden Betrieb

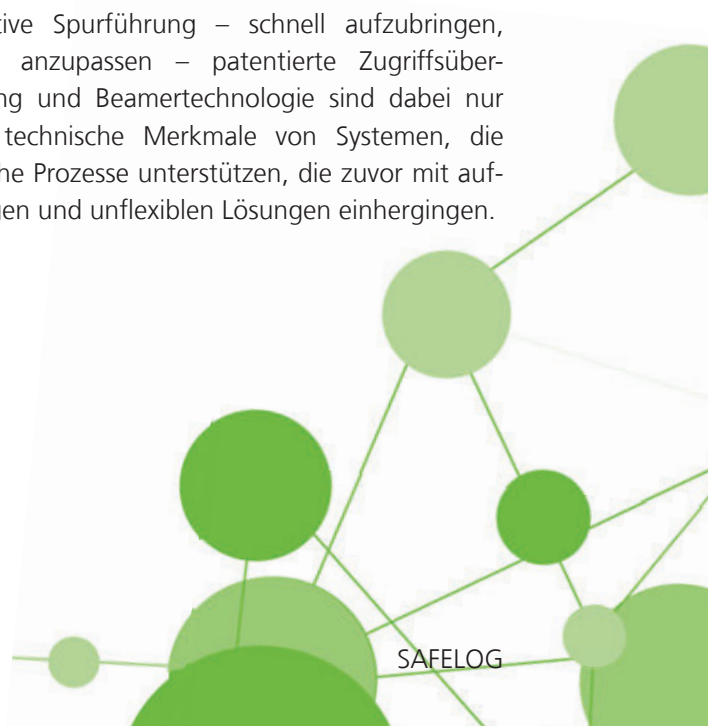


sind ein weiterer Baustein zur ganzheitlichen Intra-logistik. Die durch hybride Ausrüstung der Fahrzeuge flexibel einsetzbare magnetische und optische Technologie zur Spurführung wird dabei unterschiedlichsten Randbedingungen gerecht. Boost-Cap Technologie und Schnellladung ermöglichen den 24/7 Betrieb ohne nächtliche Stillstandzeiten zur Akkuladung oder aufwendigen Batteriewechsel.

Ob als Routenzug, Shooter oder Unterfahr-FTS kennt jedes Fahrzeug Position und Beladezustand der jeweils anderen und kann dem Mitarbeiter über mobile Anwendungen ort- und zeitungebunden sämtliche Informationen über das Gesamtsystem übermitteln und falls notwendig Eingriffe ermöglichen.

### Flexibilität und Skalierbarkeit durch modulare Software und Hardware Architektur

Innovative Spurführung – schnell aufzubringen, flexibel anzupassen – patentierte Zugriffsüberwachung und Beamertechnologie sind dabei nur einige technische Merkmale von Systemen, die sämtliche Prozesse unterstützen, die zuvor mit aufwendigen und unflexiblen Lösungen einhergingen.



# DMG MORI Software Solutions

Die DMG MORI Software Solutions Germany GmbH (bis zum 1.7.2016 DMG Electronics GmbH) liefert im Konzern DMG MORI AG zentral softwarebasierte Technologietools für das Produktprogramm der Dreh-, Fräs- und Lasermaschinen. Wichtigste Tools sind dabei die »DMG Prozesskette« und die »DMG Virtual Machine« sowie die neue CNC-Steuerung »CELOS«.

Die DMG MORI AG ist der weltweit führende Hersteller von zerspanenden Werkzeugmaschinen, Schwerpunkte sind dabei die Dreh- und Fräsmaschinen, aber auch die neuen Technologien »ULTRASONIC« und »LASERTEC« werden intensiv erweitert. Der Konzern hat aktuell neun Produktionswerke in Deutschland, Italien, Polen und China sowie in Russland. Neben diesem Bereich »Maschinenproduktion« gibt es noch den wichtigen Bereich »Services« sowie die neue Sparte »Energy Solutions«. Die DMG MORI AG verfügt mit dem Partner DMG MORI CO in Japan über ein weltweites Vertriebs- und Servicenetz.

## SCHWERPUNKTE UND KOMPETENZEN

Eine wichtige Aufgabe des Unternehmens im Konzern ist, die Entwicklungstools in den produzierenden Werken weltweit zu standardisieren. Dazu gehören im Wesentlichen die Elektro-CAD-Software und die Tools zur eigenen Software-Entwicklung. Diese Aufgabe automatische Nachjustierung des sogenannten »Competence-Centers« wird ergänzt um die Abstimmung der CNC-Steuerungen mit den



Abb. 19: CELOS Panel

verschiedenen Lieferanten Siemens, Heidenhain, Fanuc und Mitsubishi. Diese CNC-Steuerungen sind das Herzstück jeder Werkzeugmaschine und tragen wesentlich zum Verkaufserfolg bei. Also wird beispielsweise jede CNC-Steuerung durch von uns entwickelte Technologiezyklen aufgewertet, damit unsere Kunden optimal mit unseren Maschinen arbeiten können.

Seit 2013 bietet der Konzern die neue CNC-Steuerung »CELOS« an. Dazu wurden auf einem 21,5 Zoll-Full HD-Multitouch-Monitor eine neue zukunftsorientierte Bedienung geschaffen. Diese kann weiterhin die nativen Funktionen der unterlagerten CNC-Steuerung von beispielsweise Siemens, hat aber mit ihrer APP-basierten Oberfläche außerdem



alle Funktionen eines kleinen ERP-Systems integriert. Somit kann sich der kleine Lohndreher oder Lohnfräser mit »CELOS« seine Auftragsdaten sowie seine Maschinenbelegungen einfach verwalten.

Die »DMG Prozeßkette« fängt mit der Erstellung einer Werkstückzeichnung (CAD) an. Diese wird dann mit dem CAM-Modul technologisch und fertigungstechnisch bearbeitet. Mit einem »Postprozessor« wird dann ein CNC-Programm maßgeschneidert für eine bestimmte CNC-Steuerung sowie eine bestimmte Werkzeugmaschine erzeugt.

Die »DMG Virtual Machine« ist derzeit die einzige virtuelle Maschinensimulation, welche neben der Maschinenkinematik und des Materialabtrages auch alle anderen Funktionen der NC-Steuerung mit der kompletten PLC sowie allen relevanten weiteren Schaltschrankfunktionen einbindet. Das Ergebnis ist dann eine vollständige Simulation der gesamten Werkzeugmaschine, wobei natürlich mögliche Kollisionen und auch die genaue Fertigungszeit dargestellt werden. Mit Softwaretools wie »DMG MORI Messenger« kann sich ein Kunde den aktuellen Status seiner Maschinen per Web-Browser auf seinem Smartphone anzeigen lassen. Voraussetzung dafür ist natürlich eine Vernetzung aller Maschinen.

## PROJEKTBEISPIELE

Wichtigstes Produkt für zukunftsorientierte Fertigungsstrategien ist die »DMG Virtual Machine«. Diese Maschinensimulation wird im EU-Projekt »Advanced Intelligent Machine Adaptive Control System (AIMACS)« genutzt, um durch parallele Prüfung mehrerer möglicher Bearbeitungsstrategien die optimale Strategie auszuwählen. Dieses Verfahren wird derzeit im BMBF-Projekt »Intelligente Arbeitsvorbereitung auf der Basis Virtueller Werkzeugmaschinen (InVorMa)« im Rahmen des Spitzencluster »Intelligente Technische Systeme

### Wolfgang Pieper

Strategische CNC Koordination

### DMG MORI

#### Software Solutions Germany GmbH

Gildemeisterstraße 60  
33689 Bielefeld

Tel.: +49 5205 74 12899

E-Mail: wolfgang.pieper@dmgmori.com

Web: www.dmgmori.com

### Leistungen

- Verkauf von Softwaretools
- Entwicklung der CNC-Steuerung CELOS für DMG MORI - Werkzeugmaschinen

Ostwestfalen (it's OWL)« weiterentwickelt, um neben reinen Auswahlverfahren auch Optimierungen einzelner Prozesse durchzuführen. Zudem wird versucht, aus Konstellationen unterschiedlicher Werkstückbearbeitungen auf verschiedenen Maschinen die optimale Konfiguration zu erreichen. Dazu müssen viele verschieden parametrisierte Simulationsläufe mit der virtuellen Werkzeugmaschine, natürlicher mit 10-fach erhöhter Geschwindigkeit gegenüber Echtzeit, durchgeführt werden. Da dieses nicht sequenziell ablaufen kann, wird ebenfalls im Projekt InVorMa mit einer parallelen Beauftragung dieser virtuellen Maschinensimulationsläufe in der Cloud experimentiert. Dabei werden bislang jedoch keine Rückschlüsse von Fertigungsergebnissen oder Nachoptimierungen an den Maschinen berücksichtigt, was ein wesentliches Schlüsselement zur fortlaufenden Qualitäts- und Ausbringungssteigerung einer Fabrik auf wirtschaftlich erschwinglichen Rechenplattformen darstellt.

Insbesondere das von DMG MORI erarbeitete virtuelle Einrichten der Maschine, die Auftragsverteilung und die Lösungen zur intelligenten Vernetzung wurden im iWePro-Projekt für die geplante Einbindung der Maschinen in eine intelligente Werkstattproduktion genutzt und weiterentwickelt.

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

GEFÖRDERT VOM



**Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung**

BETREUT VOM



**PTKA**  
**Projektträger Karlsruhe**  
Karlsruher Institut für Technologie



## PROJEKTKOORDINATION

Dr.-Ing. Benjamin Kuhrke  
Opel Automobile GmbH  
Tel.: +49 6142 7-72953  
E-Mail: benjamin.kuhrke@opel.com

## PROJEKT BETREUUNG

Martina Kühnapfel M.A.  
PTKA - PFT  
Tel.: +49 721 608-24979  
E-Mail: martina.kuehnafel@kit.edu

DIE INDUSTRIE WILL KÜNFTIG NEUE TECHNOLOGIEN FÜR DEZENTRALE STEUERUNGEN BIS HIN ZUR SELBSTORGANISIERENDEN PRODUKTGESTEUERTEN FERTIGUNG BEREITSTELLEN UND EINSETZEN. ANBIETER VON SOFTWARELÖSUNGEN FÜR DIE PLANUNG UND OPTIMIERUNG VON PRODUKTIONSPROZESSEN WOLLEN FÜR ZUKÜNFTIGE, INTELLIGENT VERNETZTE PRODUKTIONSSYSTEME NEUE FUNKTIONEN UND DIENSTE BEREITSTELLEN. DABEI GEHT ES INSBESONDERE UM DIE VERKNÜPFUNG DER VIRTUELLEN WELT MIT REALEN OBJEKTEN SOWIE DIE ÜBERTRAGUNG VON AUFTRAGSINFORMATIONEN AN INTELLIGENTE, MOBILE GERÄTE UND DIE SYNCHRONISATION ZENTRALER UND DEZENTRALER STEUERUNGS- UND ÜBERWACHUNGSFUNKTIONEN.

## IMPRESSUM

### Herausgeber

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

### Autor

Eckhard Hohwieler

### Wichtiger Hinweis

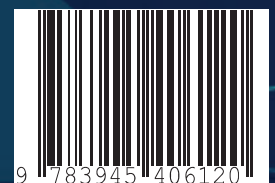
Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urhebergesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2017

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK  
Pascalstraße 8-9, 10587 Berlin  
Tel.: +49 30 39006-100  
Fax: +49 30 39110-37

eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de  
www.ipk.fraunhofer.de

ISBN: 978-3-945406-12-0



The logo for iWePro, featuring a stylized lowercase 'i' in a green square followed by the text 'WePro' in white on a dark blue background.

iWePro

# iWePro

INTELLIGENTE KOOPERATION  
UND VERNETZUNG FÜR  
DIE WERKSTATTFERTIGUNG

## PROJEKTKOORDINATION

Dr.-Ing. Benjamin Kuhrke  
Opel Automobile GmbH  
Tel.: +49 6142 7-72953  
E-Mail: benjamin.kuhrke@opel.com

## PROJEKT BETREUUNG

Martina Kühnapfel M.A.  
PTKA - PFT  
Tel.: +49 721 608-24979  
E-Mail: martina.kuehnafel@kit.edu

DIE INDUSTRIE WILL KÜNFTIG NEUE TECHNOLOGIEN FÜR DEZENTRALE STEUERUNGEN BIS HIN ZUR SELBSTORGANISIERENDEN PRODUKTGESTEUERTEN FERTIGUNG BEREITSTELLEN UND EINSETZEN. ANBIETER VON SOFTWARELÖSUNGEN FÜR DIE PLANUNG UND OPTIMIERUNG VON PRODUKTIONSPROZESSEN WOLLEN FÜR ZUKÜNFTIGE, INTELLIGENT VERNETZTE PRODUKTIONSSYSTEME NEUE FUNKTIONEN UND DIENSTE BEREITSTELLEN. DABEI GEHT ES INSBESONDERE UM DIE VERKNÜPFUNG DER VIRTUELLEN WELT MIT REALEN OBJEKTEN SOWIE DIE ÜBERTRAGUNG VON AUFTRAGSINFORMATIONEN AN INTELLIGENTE, MOBILE GERÄTE UND DIE SYNCHRONISATION ZENTRALER UND DEZENTRALER STEUERUNGS- UND ÜBERWACHUNGSFUNKTIONEN.

## IMPRESSUM

### Herausgeber

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann

### Autor

Eckhard Hohwieler

### Wichtiger Hinweis

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urhebergesetzes ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2017

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK  
Pascalstraße 8-9, 10587 Berlin  
Tel.: +49 30 39006-100  
Fax: +49 30 39110-37

eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de  
www.ipk.fraunhofer.de

ISBN: 978-3-945406-12-0

