



ANPASSUNGSINTELLIGENZ VON FABRIKEN IM DYNAMISCHEN UND KOMPLEXEN UMFELD

Forschungsbericht des
DFG-Graduiertenkollegs 2193



ANPASSUNGSINTELLIGENZ VON FABRIKEN IM DYNAMISCHEN UND KOMPLEXEN UMFELD

Forschungsbericht des DFG-Graduiertenkollegs 2193

gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)



Website:

<http://www.grk2193.tu-dortmund.de/>

Laufzeit (1. Förderphase):

01.04.2016 – 30.09.2020

Sprecher:

Prof. Dr. Jakob Rehof

Lehrstuhl für Software Engineering

Otto-Hahn-Str. 12, 44227 Dortmund

Telefon: 0231 755-7951

Koordinator:

Dipl.-Wirt.-Ing. M.Sc. David Scholz

Lehrstuhl für Unternehmenslogistik

Leonhard-Euler-Straße 5, 44227 Dortmund

Telefon: 0231 755-5779

Beteiligung von 20 Kollegiaten (Stand 12/17) an zehn Einrichtungen der TU Dortmund, dem RIF e.V. Institut für Forschung und Transfer sowie assoziierter Industrieunternehmen

INHALTSVERZEICHNIS

1.0	Vorwort	6
2.0.	Vision – Struktur – Qualifizierung	10
2.1.0.	Vision	12
2.2.0.	Struktur	16
2.2.1.	Lehrstühle und Einrichtungen	20
2.2.2.	Wissenschaftliche Partner	26
2.2.3.	Industriepartner	32
2.2.4.	Modellfabrik des GRK 2193	36
2.3.0.	Qualifizierung	38
3.0.	Management von Anpassungsprozessen	42
3.1.	Ausgangssituation	44
3.2.	Vorstellung der Promotionsvorhaben	58
4.0.	Smart Efficient Production Systems	98
4.1.	Ausgangssituation	100
4.2.	Vorstellung der Promotionsvorhaben	116
5.0.	Virtualisierung	144
5.1.	Ausgangssituation	146
5.2.	Vorstellung der Promotionsvorhaben	158
6.0.	Weitere Forschungsaktivitäten & Veranstaltungen	170



1.0

VORWORT

Geehrte Leserinnen, geehrte Leser,

wir befinden uns in Zeiten bedeutender technologischer Entwicklungen, die sich durch große und mitunter disruptive Veränderungen auch für das gesellschaftliche Zusammenleben auszeichnen. Allem voran hat die Digitalisierung sämtliche Lebens- und Arbeitsbereiche erfasst. Zahlreiche technologische Entwicklungsfelder im Bereich IoT, hybrider Geschäftsmodelle oder Virtual und Augmented Reality haben sich nachhaltig in Industrie und Wissenschaft in Deutschland etabliert.

Die Fabrikplanung als anwendungsorientierte Wissenschaft ist in besonderer Weise von den aktuellen Entwicklungen betroffen. Auf der einen Seite wandeln sich die in Fabrikssystemen zum Einsatz kommenden Ressourcen und Technologien in beeindruckender Geschwindigkeit. Die Entwicklung hinsichtlich der Flexibilisierungs- oder auch Rekonfigurationspotenziale eingesetzter Arbeits- und Produktionsmittel schafft neue Möglichkeiten der Anpassungs- und Reaktionsfähigkeit. Flankiert wird diese Entwicklung durch die voranschreitende datentechnische Vernetzung von Produktionsmitteln im Rahmen cyberphysischer Systeme, wodurch völlig neue Dimensionen der Selbstorganisation und der intelligenten Steuerung von Produktionssystemen ermöglicht werden.

Neben diesen maßgeblichen Weiterentwicklungen für den Shopfloor, verändern die aktuellen technologischen Entwicklungen, z.B. im Bereich Data Analytics, Simulation oder Virtualisierung, den eigentlichen Planungs- und Anpassungsprozess und insbesondere auch die kollaborative Zusammenarbeit von Beteiligten eines Fabrikplanungsprozesses gravierend. Die Unterstützung durch intelligente Softwarelösungen und deren Bereitstellung ist von besonderer Bedeutung für die Effektivität und Effizienz von Anpassungsprozessen und somit für die Anpassungsintelligenz von Fabriken.



Prof. Dr. Jakob Rehof



Dipl.-Wirt.-Ing. M. Sc. David Scholz

Das DFG-Graduiertenkolleg 2193 zeichnet sich in diesen veränderungsintensiven Zeiten durch eine national und international einzigartige interdisziplinäre Zusammenstellung von Anwendungs- und Methodenwissenschaften im Themenfeld der Fabrikplanung aus. Das Forschungsprogramm wird insgesamt durch zehn wissenschaftliche Einrichtungen der TU Dortmund, angesiedelt an den fünf Fakultäten für Informatik, Maschinenbau, Wirtschaftswissenschaften, Architektur und Bauingenieurwesen sowie Elektrotechnik und Informationstechnik, getragen und schafft somit eine übergeordnete Forschungsinfrastruktur für innovativen Austausch.

Seit dem Start des Förderprogramms im April 2016 sind zahlreiche Forschungsergebnisse entstanden, die insbesondere auf die Interdisziplinarität des Austausches zurückzuführen sind. Das vorliegende erste Forschungskompodium des GRK 2193 stellt die Struktur und die Vision des Programms, aber insbesondere auch die Forschungsergebnisse und Dissertationen der insgesamt 20 Doktorandinnen und Doktoranden in den Forschungsschwerpunkten Anpassungsmanagement, Smart Production und Virtualisierung vor.

Für die Förderung des GRK 2193 richten wir unseren besonderen Dank an die Deutsche Forschungsgemeinschaft.

Wir wünschen Ihnen eine spannende Lektüre unseres Forschungskompodiums.

Prof. Dr. Jakob Rehof

Sprecher des GRK 2193
Lehrstuhl für Software Engineering

Dipl.-Wirt.-Ing. M. Sc. David Scholz

Koordinator des GRK 2193
Lehrstuhl für Unternehmenslogistik



Frederik Döbbeler

Andreas Wirtz

Matthias Meißner

Johannes Dregger

Jürgen Schmelting

Lisa Theresa Lenz

Daniel Müller

Felix Zeidler

Hendrik Lager

Christin Schumacher

David Scholz

Prof. Dr. Jakob Rehof

Jan Winkels

Jonathan Falkenberg

Mustafa Güller

Julian Graefenstein

Sevda Tarkun

Philipp Regelmann

Sandra Kaczmarek

Tim Delbrügger

Suthamathy Sathananthan

Tobias Siebrecht



Gefördert durch
DFG Deutsche
Forschungsgemeinschaft



GRK 2193

VISION – STRUKTUR – QUALIFIZIERUNG

Das Graduiertenkolleg „Anpassungsintelligenz von Fabriken im dynamischen und komplexen Umfeld“ (GRK 2193) ist ein durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördertes koordiniertes Promotionsprogramm zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses im Themenfeld der interdisziplinären Fabrikanpassungsplanung.

Das Graduiertenkolleg umspannt Doktorandinnen und Doktoranden an insgesamt zehn wissenschaftlichen Einrichtungen der TU Dortmund, angesiedelt an den fünf Fakultäten Informatik, Maschinenbau, Wirtschaftswissenschaften, Architektur und Bauingenieurwesen sowie Elektrotechnik und Informationstechnik. Daneben sind das RIF e.V. Institut für Forschung und Transfer als partnerschaftliches Institut in direkter Nachbarschaft der TU Dortmund, das Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik IML sowie Industriedoktoranden mehrerer Industriepartner in das GRK eingebunden. Zum Zeitpunkt Dezember 2017 forschen insgesamt 20 Doktorandinnen und Doktoranden am übergeordneten Leitthema des GRKs. Der erste Förderzeitraum läuft vom 01. April 2016 bis 30. September 2020.

20

2.1.0 VISION

Das GRK 2193 ermöglicht Doktorandinnen und Doktoranden unterschiedlicher Fachdisziplinen, ihre Dissertation in einem sehr interdisziplinären wissenschaftlichen Umfeld im Bereich der Anpassungsplanung von Fabriksystemen zu erarbeiten. Die stark ansteigende Dynamik und Intensität von Umfeldveränderungen zwingt Unternehmen immer häufiger, ihre Fabriksysteme schnell und effizient anzupassen. Die hierbei entscheidenden Wettbewerbsfaktoren sind die Anpassungs- bzw. Reaktionszeit sowie die Effizienz der Anpassungsmaßnahmen. Die Planung und Anpassung von Fabriksystemen zeichnet sich in der Praxis durch eine ausgeprägte Multidisziplinarität aus, der jedoch auf Seiten der Wissenschaft kein ausreichender methodischer oder auch terminologischer Austausch der beteiligten Disziplinen gegenübersteht.

Die übergeordnete Vision des Kollegs besteht daher in der interdisziplinären Ausbildung und Zusammenarbeit von Doktorandinnen und Doktoranden im Bereich der Fabrikplanungsmaßnahmen, um mittelfristig auf eine Verbesserung der kollaborativen Zusammenarbeit und IT-Unterstützung in der Praxis hinzuarbeiten. Die kooperationsfördernden Strukturen eines Graduiertenkollegs sind hierbei als Befähiger zur Erreichung der wissenschaftlichen Ziele zu verstehen und zu nutzen.

Das zentrale Forschungsthema des GRK 2193 liegt in der systematischen, interdisziplinären und durchgängigen Unterstützung der Anpassung von Fabriksystemen. Der Prozess von Fabrikplanungsmaßnahmen, der im Zuge der Dynamisierung des Unternehmensumfelds in den letzten Jahren an Bedeutung hinzugewonnen hat, umfasst eine Vielzahl von Aufgaben und komplexen Entscheidungsvorgängen, deren angemessene Durchführung lediglich unter Einbeziehung von Experten unterschiedlicher Disziplinen gewährleistet werden kann.

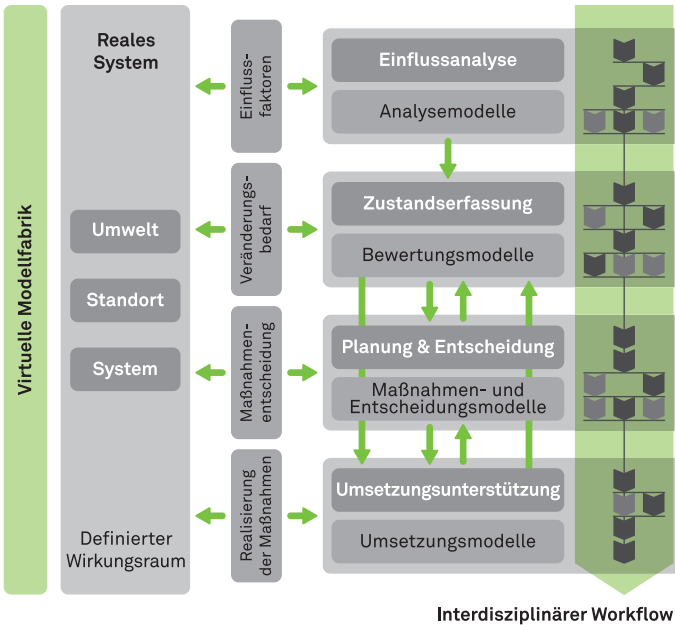


Abbildung 2-1: Interdisziplinäre Workflows entlang der vier Anpassungsphasen

Der Anpassungsprozess charakterisiert sich demnach als durchgängige Ursache-Maßnahme-Wirkungskette. Das Forschungsprogramm des Kollegs folgt dieser umfassenden Betrachtung von der Analyse-, Bewertungs-, Maßnahmen- und Entscheidungs-, bis zur Umsetzungsphase. Der Anpassungsprozess beginnt mit der Wahrnehmung einer Einflussfaktorveränderung und der Analyse der Relevanz dieser Veränderung für das betrachtete Fabrikssystem (Einflussanalyse). Um die Auswirkungen von Einflussfaktoren auf Fabrikssysteme hinreichend genau abschätzen zu können, müssen die Flexibilitätsgrenzen des Systems, beispielsweise hinsichtlich Kosten- oder Leistungsanforderungen, möglichst gut beschrieben und

bewertet sein. Einflussfaktorveränderungen, die eine Verschiebung des Anforderungsprofils über den aktuellen systemischen Flexibilitätskorridor hinaus bewirken, generieren einen Anpassungsbedarf und erfordern die nächste Phase der Maßnahmenplanung. Bei der Auswahl geeigneter Maßnahmenbündel handelt es sich um ein überaus komplexes Planungsproblem, da es Maßnahmenoptionen auf unterschiedlichen Fabriksystemebenen, aber auch unterschiedlicher Fachbereiche und -disziplinen betreffen kann. Die möglichen Anpassungsmaßnahmen sind zudem in hohem Maße interdependent. Neben der Maßnahmenplanung kommt somit der Entscheidungsphase eine maßgebende Bedeutung zu. Im Anschluss an die Entscheidung für geeignete Anpassungsmaßnahmen erfolgt die Maßnahmenumsetzung und im Anschluss die Wirkungsphase der Maßnahmenumsetzung.

Um den steigenden Anforderungen an die Umfeldwahrnehmung und Systemanalyse sowie die Planung und Umsetzung hinsichtlich Geschwindigkeit und Effizienz gerecht werden zu können, ist die Weiterentwicklung unterstützender digitaler Werkzeuge zwingend erforderlich.

Aktuelle Forschungsbemühungen mit dem Ziel der Steigerung der Anpassungsfähigkeit sind meist in isolierten Forschungsfeldern zu verzeichnen. Die Komplexität und Vielfalt von Anpassungsprozessen erfordern jedoch eine betont mehrdisziplinäre Herangehensweise. Eine Steigerung der Anpassungsintelligenz von Fabriken ist nur durch die systematische, aber vor allem disziplinübergreifende und kooperative Forschung im Bereich der permanenten Fabrikplanung möglich. Das GRK 2193 vereint dazu in umfassender und neuartiger Weise Anwendungs- und Methodenwissenschaften, um eine möglichst ganzheitliche Betrachtung eines Fabriksystems sowie möglicher Teilelemente wie Mensch, Organisation, Technik und Umwelt zu gewährleisten und

auf eine zielführende methodische Unterstützung hinzu-
arbeiten.

Ein bedeutendes Ziel des Kollegs besteht darin, ein besse-
res Verständnis für Interdependenzen der verschiedenen
Disziplinen zu entwickeln und die Synchronisierung der jeweili-
gen fachlichen Lösungsansätze zur Fabrikanpassungsplanung
deutlich voranzutreiben. Insgesamt können die Zielstellungen
des Graduiertenkollegs wie folgt zusammengefasst werden:

- Bearbeitung neuartiger Forschungsfragen im inter-
disziplinären Umfeld von Fabrikanpassungsprozessen und
Schaffung eines homogenen Wissens- und Kommunika-
tionsniveaus
- Durchgängige Nutzung disziplinärer Schnittstellen sowie
Definition konsistenter Daten-, Kennzahlen- und Informa-
tionsmodelle
- Forschungsbeitrag zur Befähigung zu intelligenter
Kollaboration und zu automatisierter, dynamischer
Konfiguration interdisziplinärer Planungsworkflows

2.2.0 STRUKTUR

Die Heterogenität und mangelhafte Vernetzung heutzutage verwendeter Planungs- und Analysemodelle und -systeme erfordern die interdisziplinäre Erarbeitung und Weiterentwicklung von Konzepten und Methoden zur Unterstützung eines durchgängigen Workflows auf Basis eines einheitlichen Begriffsverständnisses und Anpassungsprozessmodells. Bestehende Basiskonzepte und -methoden müssen auf ihre ablauforganisatorische Einbindungsmöglichkeit untersucht werden und als theoretische und methodische Grundlagen in die Erarbeitung neuer Ansätze einfließen.

Um der ausgeprägten Multidisziplinarität der Fabrikplanung im Allgemeinen und der Anpassungsplanung im Besonderen gerecht werden zu können, muss eine umfangreiche Integration von Fachdisziplinen erfolgen. Nur durch eine umfassende Betrachtungsweise ist es möglich, den anspruchsvollen, interdisziplinären Anforderungen intelligent und zielorientiert begegnen zu können.

Die resultierende Vielzahl beteiligter Kompetenzen und die hohe fachliche Heterogenität innerhalb des Kollegs führen zu einer großen Anzahl möglicher Schnittstellen, die in ihren Ausprägungen für die beteiligten Disziplinen zum Teil neue Arten der Forschungskooperation darstellen. Dies ist für die übergeordnete Zielstellung explizit gewünscht, erfordert jedoch ein systematisches Management und eine gezielte Steuerung der disziplinübergreifenden Zusammenarbeit.

Die Struktur des GRK 2193 sieht demnach eine Dreiteilung des Forschungsprogramms in sogenannte Interaktionsthemen vor (vgl. Abb. 2-2). Das erste Interaktionsthema liegt im Bereich des Managements von Anpassungsprozessen. Der Forschungsfokus des Bereichs, der primär durch die fünf Fachdisziplinen Software Engineering, Soziologie, Fabrikplanung, Simulation und Modellierung sowie Unternehmensrechnung und Cont-

rolling repräsentiert wird, liegt auf der Ablaufstrukturierung und zeitlichen Steuerung interdisziplinärer Anpassungsaufgaben. Zu den weiteren Forschungsschwerpunkten des Bereichs zählen zudem die Entwicklung kollaborativer, dezentraler Planungs- und Entscheidungskompetenz sowie die dynamische Bereitstellung von Methoden und Werkzeugen entlang von Anpassungsprozessen.

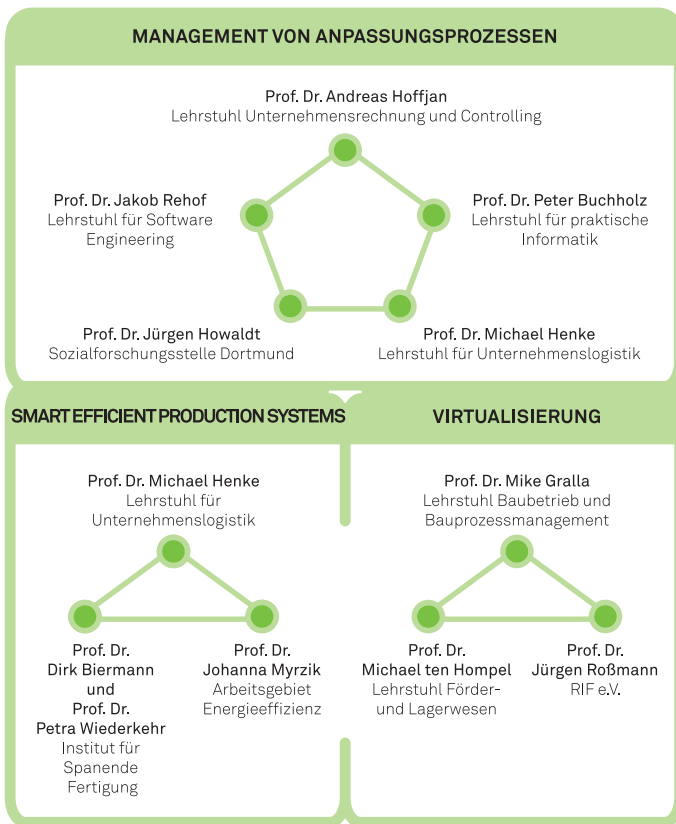


Abbildung 2-2: Forschungsbereiche des GRK 2193

Das zweite Interaktionsthema ist ausgerichtet auf die Konzept- und Methodenentwicklung entlang des Anpassungsprozesses mit dem Fokus Smart Efficient Production Systems. Der Forschungsbereich ist ausgerichtet auf die Gestaltung zukunftsfähiger, effizienter Produktionssysteme bzw. eine möglichst intelligente Migration bestehender Produktionssysteme. Die Ausrichtung des Interaktionsthemas beruht auf dem Industriewandel im Rahmen der Industrie 4.0-Bewegung und die getriebene Einführung und Anwendung cyberphysischer Systeme (CPS). Ziel ist es, bei der Entwicklung interdisziplinärer Konzepte und Methoden zur Unterstützung von Anpassungsprozessen die zentralen Elemente der Industrie 4.0 und die herausragenden Entwicklungschancen an den verschiedenen Technologie-Schnittstellen bspw. zwischen IT und Maschinen- und Anlagenbau oder Elektrotechnik zu berücksichtigen.

Das dritte Interaktionsthema Virtualisierung stellt die Nutzung virtueller Techniken zur Steigerung der Anpassungsintelligenz und somit einen zentralen Befähiger zukünftiger Planungs- und Gestaltungsprozesse in den Vordergrund. Virtuelle Fabrikmodelle und insbesondere die Nutzung virtueller Testbeds sind ferner unerlässlich zur Unterstützung kollaborativer Planung und Entscheidungsabsicherung. Als wichtige Forschungsumgebung ist in diesem Zusammenhang die virtuelle GRK-Modellfabrik zu nennen, die als Lern- und Forschungsumgebung bzw. experimentierbares Fabriksystem allen Beteiligten des GRKs zur Verfügung steht. (s. Kapitel 2.2.4).

Die gewählten Interaktionsthemen stellen die Entwicklung zukunftsfähiger Konzepte und Methoden zur Fabriksystemplanung und -umsetzung in den Fokus und orientieren sich u.a. an der Hightech-Strategie der Bundesregierung, den aktuellen Industrie 4.0-Gedanken sowie der notwendigen Einbindung virtueller Techniken. Die aktuellen Forschungsaktivitäten in-

nerhalb der drei Forschungsgruppen sowie die zugehörigen Dissertationsprojekte werden in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben. Die Teilprojekte und Dissertationsprojekte innerhalb der drei Forschungsverbünde zeichnen sich durch sehr hohe fachliche Interdependenzen aus.

Die Zusammenarbeit innerhalb der drei Verbünde wird daher durch wöchentliche Forschungsgruppentreffen gefördert. Zur Sicherstellung der Erreichung der übergeordneten Zielstellungen und der interdisziplinären Forschungsvision des GRK ist es ferner notwendig, den fachlichen Austausch zwischen sämtlichen Disziplinen und Forschungsbereichen zu nutzen und zu bestärken. Der dafür notwendige übergeordnete Austausch zwischen den drei Gruppen erfolgt bspw. über regelmäßig durchgeführte Doktorandenkolloquien, die monatlich stattfinden und sämtliche Teilnehmer einbeziehen.

Wie in den vorherigen Beschreibungen ersichtlich, zeichnet sich die Struktur des GRK 2193 durch seine interdisziplinäre Zusammenstellung von Fachdisziplinen aus. Insgesamt arbeiten zum aktuellen Zeitpunkt (Stand: 12/2017) im GRK zwanzig Doktorandinnen und Doktoranden von zehn unterschiedlichen wissenschaftlichen Einrichtungen der TU Dortmund bzw. aus dem unmittelbaren Umfeld (RIF e.V. & Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik IML) und aus zwei Industrieunternehmen zusammen. Die Einrichtungen sowie weitere wissenschaftliche Partner im GRK werden nachfolgend vorgestellt.

2.2.1 BETEILIGTE LEHRSTÜHLE UND EINRICHTUNGEN

FORSCHUNGSBEREICH ROBOTERTECHNIK

RIF Institut für Forschung und Transfer e.V.



**Prof. Dr.-Ing.
Jürgen Roßmann**



Forschungsfelder:

- Multi-Domain Simulation in virtuellen Testbeds
- Virtuelle Realität
- Virtuelle Produktion, virtuelle Inbetriebnahme
- Anwendungsfelder: Weltraum, Automatisierungstechnik und Umwelt

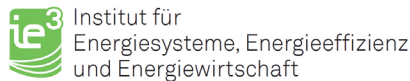
www.rif-ev.de

INSTITUT FÜR ENERGIESYSTEME, ENERGIEEFFIZIENZ UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik



**Prof. Dr.-Ing.
Johanna Myrzik**



Forschungsfelder:

- Simulation und Entwicklung von moderner Leistungselektronik und deren Regelungsverfahren
- Analyse der Wechselwirkung zwischen leistungselektronischen Komponenten und dem elektrischem Energieversorgungsnetz
- Regelung von dezentralen und erneuerbaren Energiequellen sowie flexiblen Lasten zur Unterstützung der Netzstabilität
- Bewertung und Optimierung der Energieeffizienz in der Produktionstechnik

www.ie3.tu-dortmund.de/cms/de/Institut/

INSTITUT FÜR SPANENDE FERTIGUNG

Fakultät Maschinenbau



Forschungsfelder:

- Simulations- und Prozessentwicklung
- Schleiftechnologie
- Zerspanung

www.isf.de/de/index.html



**Prof. Dr.-Ing.
Dirk Biermann**



**Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Inform.
Petra Wiederkehr**

LEHRSTUHL BAUBETRIEB UND BAUPROZESSMANAGEMENT

Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen



Forschungsfelder:

- Partnerschaftliche Projektabwicklung
- Vertrags- und Nachtragsmanagement
- Building Information Modeling und Virtual Reality
- Bauverfahrenstechnische, organisatorische und bauwirtschaftliche Optimierung der Projektabwicklung
- Optimierung von Kalkulationsverfahren

www.bauwesen.tu-dortmund.de/bb/de/Aktuell/



**Prof. Dr.-Ing.
Mike Gralla**

2.2.1 BETEILIGTE LEHRSTÜHLE UND EINRICHTUNGEN

LEHRSTUHL FÜR FÖRDER- UND LAGERWESEN

Fakultät Maschinenbau



**Prof. Dr. Dr. h. c.
Michael ten Hompel**

flw Lehrstuhl für
Förder- und Lagerwesen

Forschungsfelder:

- Logistik- & Materialflusssysteme
- Informations- & Intralogistik
- Betrieb eines eigenen Forschungszentrums als weltweit größtes Testfeld für cyberphysische Systeme in der Intralogistik

www.flw.mb.tu-dortmund.de/cms/de/flw/

LEHRSTUHL FÜR SOFTWARE ENGINEERING

Fakultät Informatik



**Prof. Dr.
Jakob Rehof**



Forschungsfelder:

- Algorithmische und logische Aspekte von Programmiersprachen und Typentheorie
- Automatische Synthese von Programmen aus Komponentensammlungen
- Synthese von Prozessen und Plänen
- Softwarekonfiguration, zum Beispiel bei Cloud Computing Installationen
- Spezifikation von Verhalten und anderen dynamischen Eigenschaften von verteilten Softwaresystemen

www.ls14-www.cs.tu-dortmund.de/cms/de/home/

LEHRSTUHL FÜR UNTERNEHMENSLOGISTIK

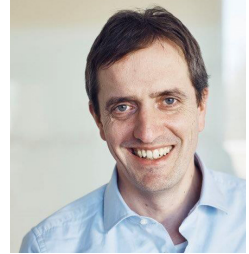
Fakultät Maschinenbau



Forschungsfelder:

- Produktionsmanagement & Fabrikplanung
- Supply Chain Management & Einkauf
- Instandhaltungs- & Servicemanagement
- Kompetenzmanagement & innovative Lernkonzepte

www.lfo.tu-dortmund.de/



Prof. Dr.
Michael Henke

LEHRSTUHL MODELLIERUNG UND SIMULATION

Fakultät Informatik



Forschungsfelder:

- Ereignisdiskrete stochastische Simulation
- Software zur quantitativen Systemanalyse
- Optimierung unter Unsicherheit
- Simulation und Optimierung von Produktions- und Logistikprozessen

www.ls4-www.cs.tu-dortmund.de/cms/de/ls4/



Prof. Dr.
Peter Buchholz

2.2.1 BETEILIGTE LEHRSTÜHLE UND EINRICHTUNGEN

LEHRSTUHL UNTERNEHMENSRECHNUNG UND CONTROLLING

Fakultät Wirtschaftswissenschaften



**Prof. Dr.
Andreas Hoffjan**

UC Unternehmensrechnung
und Controlling

Forschungsfelder:

- Controlling von Industrie 4.0
- Internationales Controlling
- Rechnungswesen entgeltregulierter Unternehmen (Energie und Wasser)
- Controlling von Non-Profit-Organisationen und öffentliches Preisrecht
- Risikomanagement

www.wiwi.tu-dortmund.de/wiwi/uc/de/lehrstuhl/

SOZIALFORSCHUNGSSTELLE DORTMUND

Zentrale Wissenschaftliche Einrichtung der TU Dortmund



**Prof. Dr.
Jürgen Howaldt**

sfs Sozialforschungsstelle
Zentrale Wissenschaftliche Einrichtung

Forschungsfelder:

- Sozialwissenschaftliche Arbeits- und Innovationsforschung
- Dynamisierung und Optimierung von Arbeitsorganisation
- Workplace Innovation, Partizipation und Mobilisierung von Erfahrungswissen
- Auswirkungen und Gestaltungsbedingungen der Digitalisierung (Arbeit 4.0)

www.sfs.tu-dortmund.de/cms/de/Aktuelles/

2.2.2 WISSENSCHAFTLICHE PARTNER

FORSCHUNGSGBIET INDUSTRIE- UND ARBEITSFORSCHUNG

Fakultät Wirtschaftswissenschaften



Prof. Dr.
Hartmut Hirsch-Kreinsen

Forschungsgebiet
Industrie- und
Arbeitsforschung

Forschungsfelder:

- Entwicklungstendenzen von Industriearbeit im Kontext der Digitalisierung
 - Reorganisation von Betrieben und Wertschöpfungsketten
 - Akzeptanz und Kompetenzentwicklung
- www.wiwi.tu-dortmund.de/neue-industriearbeit

FRAUNHOFER INSTITUT FÜR MATERIALFLUSS UND LOGISTIK IML



Prof. Dr. Dr. h. c.
Michael ten Hompel

Prof. Dr.
Michael Henke

Prof. Dr.
Uwe Clausen



Forschungsfelder:

- Materialflusssysteme
 - Unternehmenslogistik
 - Logistik, Verkehr und Umwelt
- www.Impl.fraunhofer.de/

DATALOGISK INSTITUT (COMPUTER SCIENCE); ALGORITHMS AND PROGRAMMING LANGUAGES SECTION (APL); UNIVERSITY OF COPENHAGEN



Forschungsfelder:

- Foundations, techniques, algorithmics, language design
- Enterprise systems, healthcare, finance, blockchain, contract management
- Formal Methods in Software Engineering
- Artificial Intelligence in Software Engineering
- Safe and secure distributed systems

www.diku.dk/



Prof. Dr. Fritz Henglein



Prof. Dr. Boris Döder

JUNGHEINRICH-STIFTUNGSLEHRSTUHL FÜR TECHNISCHE LOGISTIK

Tongji University, Shanghai (China), Chinesisch-Deutsches Hochschulkolleg (CDHK)



Forschungsfelder:

- Simulation von Logistiksystemen
- Prozessorientierte Planung des Logistiksystems
- Logistik-Ausrüstung und -Technologie

www.cdhk.tongji.edu.cn/fakultaeten/maschinenbau/technische-logistik/



**Prof. Dr.-Ing.
Dianjun Fang**

2.2.2 WISSENSCHAFTLICHE PARTNER

LEHRSTUHL FÜR SOFTWARE ENGINEERING, AG „VIRTUAL MACHINING“

Fakultät Informatik



**Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Inform.
Petra Wiederkehr**



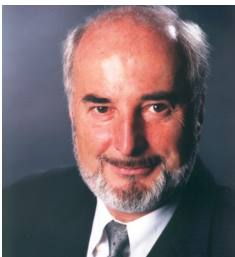
Forschungsfelder:

- Entwicklung von Prozessmodellen
- Simulation und Optimierung von Fertigungsprozessen
- Simulationsgestützte Prozessanalyse

<http://ls14-www.cs.tu-dortmund.de/cms/de/mitarbeiter/profs/Wiederkehr.html>

LEHRSTUHL FÜR UNTERNEHMENSLOGISTIK, OMBUDSMANN DES GRK 2193

Fakultät Informatik



**Prof. i. R. Dr.-Ing.
Axel Kuhn**



Forschungsfelder:

- Produktionsmanagement & Fabrikplanung
- Supply Chain Management
- Instandhaltungs- & Servicemanagement

Graduate School of Logistics (GSofLog)

Die Graduate School of Logistics (GSofLog) bietet eine rein drittmittelgeförderte Doktorandenausbildung. Dieses Modell ist bundesweit einzigartig. Unternehmen bieten den Stipendiaten die finanzielle Basis, um drei Jahre lang an ihrer Promotion zu arbeiten. Die Ausbildung ist strukturiert und praxisorientiert. Unternehmensvertreter, Wissenschaftler und Stipendiaten stehen im permanenten Austausch. Für besonders umfangreiche, vernetzte und interdisziplinäre Aufgaben werden Stipendienklassen eingerichtet. Zu den Förderern dieser Klassen zählen thyssenkrupp und die Audi AG. Darüber hinaus gehören aktuell die KHS GmbH, Vorwerk und PhoenixContact zu den Förderern.

Die GSofLog ist das zentrale Ausbildungsprogramm für Promovierende der Logistik. Die Promotion erfolgt in drei Jahren und gewährleistet ein schnelles Vorankommen in der beruflichen Ausrichtung. Unternehmen profitieren von der Gewinnung und Qualifizierung von neuen Führungskräften, innovativen Lösungen für das eigene Unternehmen und dem Transfer von Wissenschaft in Praxis. Als idealer Partner bietet die GSofLog ein umfangreiches Netzwerk und ist der kompetente Partner für den Einstieg in und die Umsetzung von Digitalisierung – Industrie 4.0.

Im Rahmen der Kooperation mit der GSofLog beteiligte sich das GRK 2193 an der PhD School of Logistics 2016, der Summer School der GSofLog. Im Fokus steht ein fachlicher und methodischer Austausch unter den Promovenden.

Darüber hinaus ist die GSofLog Exzellenzmerkmal im Leistungszentrum Logistik und IT. Das Leistungszentrum will die wissenschaftliche Reputation des Standorts Dortmund sowie die wissenschaftliche Bedeutung der Logistik national und international auf das nächste Level bringen. Kaum ein Wissen-

schaftsstandort hat mehr für die Logistik getan als Dortmund: Hier wurde die Logistik als eigenständige Wissenschaftsdisziplin begründet, hier wurde das „Internet der Dinge“ für die Logistik maßgeblich erdacht und entwickelt.

2.2.3

INDUSTRIEPARTNER



TAKATA Aktiengesellschaft

Das Graduiertenkolleg 2193 arbeitet eng mit dem international tätigen Automobilzulieferer TAKATA Aktiengesellschaft zusammen. Die TAKATA Aktiengesellschaft ist einer der global führenden Hersteller von automobilen Insassenschutzsystemen mit einem Umsatz von 662 Mrd. Yen (4,9 Mrd. Euro) und über 16.000 Mitarbeiter in Europa sowie ca. 45.792 Mitarbeitern weltweit.

Als kompetenter Partner der Automobilindustrie konzipiert, entwickelt und produziert das Unternehmen Insassenschutzsysteme und -komponenten. Das Produktportfolio umfasst Lenkräder, Airbags und Generatoren, Sicherheitsgurte, technische Kunststoffteile, Kindersitze, Elektronik sowie Sensorik.

Der Betrachtungsfokus der Kooperation mit der TAKATA Aktiengesellschaft liegt auf dem ungarischen Werk. Die ungarische Gesellschaft Takata Safety Systems Hungary Kft. wurde im Jahr 2013 in Miskolc, Ungarn gegründet. Die Gesellschaft produziert an diesem Standort Airbagmodule für die globale Automobilindustrie. Die Fertigung zeichnet sich durch eine enorme Variantenvielfalt und eine hohe Fertigungstiefe aus. Weiterhin eignet sich der Standort aufgrund seiner Aktualität (SOP im Jahr 2014) hervorragend, um zukünftige Industrie 4.0 Szenarien im Rahmen der Dissertationsvorhaben auf Basis eines modernen Fabriksystems zu erproben

Ein wichtiger Fokus der Zusammenarbeit besteht zudem in der Entwicklung einer virtuellen Modellfabrik, die auf Basis von Realdaten des TAKATA-Produktionsstandortes in Miskolc entwickelt wird und durch die Doktorandinnen und Doktoranden zur kollaborativen Forschung im Bereich der Anpassungsintelligenz von Fabriken genutzt wird.

TRUMPF



TRUMPF GmbH + Co. KG

Die TRUMPF GmbH + Co. KG ist ein Familienunternehmen mit Hauptsitz in Ditzingen bei Stuttgart. Im Geschäftsjahr 2016/17 erzielte TRUMPF einen Umsatz von 3,11 Milliarden Euro. 318 Millionen Euro wendete das Unternehmen für Forschung und Entwicklung auf. Dies entspricht einer F+E-Quote von 10,2 Prozent. Zum Ende des Geschäftsjahres 2017 beschäftigte TRUMPF weltweit 11.883 Mitarbeiter in über 70 Tochtergesellschaften, davon 6.023 Mitarbeiter in Deutschland und 1.843 weltweit in Forschung und Entwicklung.

Der größte Teil des Kerngeschäfts umfasst verschiedene Werkzeugmaschinen für die flexible Blech- und Rohrbearbeitung. TRUMPF bietet Maschinen zum Laserschneiden, zum Stanzen und für die kombinierte Stanz- und Laserbearbeitung, zum Biegen sowie für die Laserrohrbearbeitung an. Vielfältige Automatisierungslösungen, Maschinen zum Laserschweißen und ein breites Softwareangebot runden das Portfolio ab.

Die Kunden des Geschäftsbereichs Werkzeugmaschinen kommen vor allem aus der metallverarbeitenden Industrie: dem Maschinen- und Anlagenbau oder der Fahrzeug- und Flugzeugindustrie. Auch Automaten-, Elektrogeräte-, Landmaschinen- und Möbelbau sind typische Anwendungsfelder.

TRUMPF ist Weltmarkt- und Technologieführer bei Lasern und Lasersystemen für die industrielle Fertigung.

Das Produktprogramm in der Lasertechnik beinhaltet Lasersysteme für das Schneiden, das Schweißen und die Oberflächenbearbeitung dreidimensionaler Teile mit Hochleistungs-CO₂-Laser, Stab-, Scheiben- und Faserlaser, Diodendirektlaser, Ultrakurzpulslaser sowie Beschriftungslaser und -systeme.

Die ausgeprägten thematischen Schnittstellen des GRK 2193 mit TRUMPF betreffen u. a. die von TRUMPF verfolgte Digitalisierungsstrategie, die sich in mehrere Bereiche gliedert:

- Die interne digitale Transformation wird stark fachbereichsübergreifend vorangetrieben. Die Optimierung der Wertschöpfung soll sich auf den kompletten Order-to-Cash-Prozess auswirken.
- Die Smart Factory Lösungen bieten den Kunden die Möglichkeit, sehr modular in Industrie 4.0-Prozesse einzusteigen. Dies wird intensiv begleitet mit verschiedenen Beratungsangeboten.
- Die digitale Geschäftsplattform AXOOM für die horizontale und vertikale Vernetzung richtet sich an fertigende Unternehmen. Über AXOOM lassen sich Maschinen verschiedener Hersteller anbinden. Dadurch erhalten fertigende Unternehmen ein digitales Abbild ihrer kompletten Produktionshallen inklusive Performance Monitoring und Predictive Maintenance.

2.2.4 MODELLFABRIK DES GRK 2193

Das vordergründige Ziel der Kooperation mit dem Industriepartner TAKATA Aktiengesellschaft liegt in der Entwicklung eines auf Realdaten beruhenden virtuellen Fabrikmodells des Werks in Miskolc, Ungarn. Die Modellfabrik dient als Lernumgebung bzw. experimentierbares Fabriksystem und steht allen Disziplinen des GRKs zur Verfügung. Beispielsweise durch die Analyse und Optimierung verschiedener Produktionskonzepte, Materialflussstrategien oder Gebäudestrukturvarianten sowie durch die Simulation und Visualisierung von Materialflüssen und Fertigungsprozessen soll ein interdisziplinäres Experimentieren der Promovierenden der unterschiedlichen Fachdisziplinen ermöglicht werden. Die Modellfabrik dient ferner der Darstellung der Themenvernetzung sowie der Erarbeitung von Strategien zur Integration unterschiedlicher Disziplinen und Detailebenen.

Mit Beginn der Laufzeit des GRKs wurden, im Anschluss an ein erstes Zusammenkommen der Verantwortlichen von TAKATA Aktiengesellschaft und des GRKs in Miskolc, relevante Daten und Spezifikationen des Fabriksystems vor Ort erfasst. Diese beinhalten neben der Gebäude- und Layoutgestaltung die Stammdaten des Produktportfolios und aktuelle Betriebsdaten der Produktions- und Logistikprozesse.

Auf Basis der erlangten Informationen wird im Rahmen des Graduiertenkollegs, federführend durch die Forschungsgruppe Virtualisierung, ein virtuelles Abbild des Werks in Miskolc erstellt. Als beispielhafter Ausschnitt dieser virtuellen Modellfabrik ist in Abbildung 2-3 der Spritzgussbereich des ungarischen Werks dargestellt.

Das Modell visualisiert den vollständigen Fertigungsablauf und die damit verbundenen Materialflüsse. Zum einen lässt sich auf diese Weise die Komplexität der Prozesse eines realen Produktions- und Logistiksystems ganzheitlich auf-

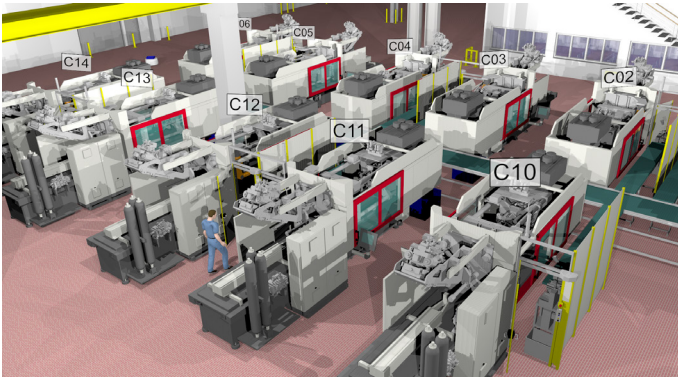


Abbildung 2-3: Spritzgussbereich der virtuellen Modellfabrik

zeigen und auf Basis dessen transdisziplinär Strategien zum Management der vorhandenen Komplexität entwickeln. Weiterhin bietet das Modell die Möglichkeit, ebenenübergreifend Simulationen durchzuführen. Neben ereignisdiskreten Betrachtungen des Materialflusses und damit der Steuerungslogik des Fabriksystems, lässt sich durch die simultane, kontinuierliche Visualisierung der operativen Abläufe beispielsweise die Komponentenbereitstellung durch Logistikmittel oder der Bewegungsvorgang eines Roboters hautnah erleben.

Damit ermöglicht die Modellfabrik die Identifizierung von derzeitigen und zukünftigen Engpassstellen beziehungsweise Problemstellen der Produktion im Allgemeinen. Zusätzlich zur klassischen Engpassermittlung (Ressource mit geringster Kapazität) schließt dies beispielsweise auch das Erkennen unsachgemäß dimensionierter Transportwege ein.

Das virtuelle Abbild einer Fabrik befähigt unterschiedliche Fachdisziplinen durch eine einheitliche und komplexitätsarme Darstellung das Partizipieren am gesamten Anpassungsprozess und dient als gemeinsame Kommunikationsplattform.

Die hohe Kollaborationsfähigkeit des virtuellen Modells wird im Graduiertenkolleg mit Hilfe von Technologien der virtuellen Realität umgesetzt. Neben der ortsgebundenen virtuellen Darstellung durch die am Institut für Forschung und Transfer (RIF e.V.) vorhandene und für das GRK nutzbare Panorama-Projektion, kann die dreidimensionale und interaktionsfähige Darstellung zudem durch VR-Brillen erfolgen.

Auf diese Weise wird das Interagieren mit dem Fabrikmodell ermöglicht, sodass Anpassungsmaßnahmen aufwandsarm implementiert werden können. Demnach eignet sich das Modell als sogenanntes virtuelles Testbed, um im Rahmen der Kooperation Auswirkungen von Anpassungen im System bewertbar machen zu können. Auf diese Weise entwickeln beide Kooperationspartner gemeinsam neue Lösungen und erzeugen Forschungsergebnisse im Bereich der Anpassungsplanung von Fabrikssystemen im dynamischen und komplexen Umfeld.

2.3.0 QUALIFIZIERUNG

Um die skizzierten Zielstellungen des GRK-Forschungsprogramms und die damit verbundene interdisziplinäre Herangehensweise zu unterstützen, aber auch die Doktorandinnen und Doktoranden zu exzellenten Forschungs- und Promotionsergebnissen innerhalb von drei Jahren zu befähigen, zeichnet sich das GRK 2193 durch eine individuelle Qualifizierung und ein kollegspezifisches Betreuungskonzept aus.

Ziel des Qualifizierungskonzepts ist es, bereits in der Anfangsphase im GRK ein möglichst homogenes Wissens- und Kommunikationsniveau der beteiligten Doktorandinnen und Doktoranden zu erreichen und kollaborative Forschung zu

ermöglichen. Hierfür wurden kollegenspezifische Vorlesungen entwickelt, die durch die Betreuerinnen und Betreuer, aber auch externe Dozentinnen und Dozenten angeboten und durchgeführt werden. Die kollegenspezifischen Veranstaltungen zielen sowohl auf die Vermittlung interdisziplinären Fachwissens als auch auf die methodische Qualifizierung ab.

Veranstaltungsart	Frequenz
Fachliche Qualifizierung	
Interdisziplinäre Anpassungsplanung von Fabrikssystemen	einmalig je Kohorte
Simulation und Modellierung	einmalig je Kohorte
IT in Produktion und Logistik	einmalig je Kohorte
Prozessorientierte Planung von Produktionssystemen	einmalig je Kohorte
Anwendungsorientierte Fabrikplanung	einmalig je Kohorte
Methodische Qualifizierung	
Regeln guter wissenschaftlicher Praxis	einmalig je Kohorte
Scientific Writing	einmalig je Kohorte
Rhetorik und Präsentationstechniken	einmalig je Kohorte
Arbeitsorganisation und Zeitmanagement	einmalig je Kohorte
Summer School	jährlich
Forschungsaustausch	
Forschungsgruppentreffen	zweiwöchig
Doktorandenkolloquien	monatlich
Doktorandenseminare	halbjährlich
Internationales Kolloquium	2 Kolloquien je Kohorte
Workshop Interdisziplinäre Forschungskompetenz	quartalsweise

Abbildung 2-4: Auzug aus dem GRK-Qualifizierungskonzept

Die fachliche Qualifizierung sieht Kompaktveranstaltungen über wenige Tage sowie Ringvorlesungen über mehrere Wochen vor. Im Rahmen der Veranstaltung „Interdisziplinäre Anpassungsplanung von Fabrikssystemen“ wird das notwendige Basiswissen im Bereich der phasen- und disziplinübergreifenden Fabrikanpassungsplanung vermittelt, die Schnittstellen zu den verschiedenen Fachdisziplinen verdeutlicht sowie beispielhafte prozessunterstützende Methoden und Werkzeuge der einzelnen Fachbereiche vorgestellt. Zusätzlich werden kollegenspezifische Veranstaltungen zu Grundlagen der

Modellierung und Simulation sowie des IT-Einsatzes in der Produktion und Logistik angeboten.

Neben der fachlichen Qualifizierung wird durch die frühzeitige methodische Qualifizierung (z.B. zu wissenschaftlichen Arbeitsweisen, Forschungsmethodik, Arbeitsorganisation oder wissenschaftlichem Publizieren) eine Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses und insbesondere des Promotionsprozesses gegeben. Das Konzept befähigt die Kollegiaten, einen Überblick über die verschiedenen Fachbereiche zu erhalten und ein zielführendes gemeinsames Kommunikationsniveau zu erreichen. Gleichzeitig gewährleistet das Qualifizierungskonzept eine rasche Einarbeitung in den Stand der Forschung im unmittelbaren Umfeld des Teilprojekts und zur Promotion innerhalb von drei Jahren.

Neben den Veranstaltungen zur fachlichen und methodischen Qualifizierung liegt eine wichtige Voraussetzung für die interdisziplinären Zielstellungen im GRK in einem ausgeprägten Forschungsaustausch und einer häufigen räumlichen Zusammenführung der Doktorandinnen und Doktoranden. Neben den Treffen in den Forschungsgruppen finden monatliche Forschungskolloquien für den Forschungsaustausch sämtlicher Fachdisziplinen und zur regelmäßigen Vorstellung der Promotionsvorhaben und -fortschritte statt. Die zusätzlich stattfindenden Doktorandenseminare finden in der Regel halbjährlich innerhalb der drei Forschungsgruppen statt und dienen der Vorstellung der Promotionsfortschritte vor den Betreuerinnen und Betreuern der jeweiligen Fachgruppe.

Die internationalen Kolloquien des GRK 2193 werden jeweils zweimal je Doktorandenkohorte veranstaltet und ermöglichen einen wertvollen internationalen Austausch des GRK 2193 mit renommierten internationalen Wissenschafts- und Industrievertretern. Zusätzlich zu der Einladung ausländischer

Gastredner zeichnet sich das Kolloquium durch die Vorstellung von Promotionsvorhaben und Forschungsaktivitäten des GRK aus.

Neben den genannten Bausteinen des Qualifizierungskonzepts bzw. Studienprogramms charakterisiert sich die Promotion im GRK durch ein kollegspezifisches Betreuungskonzept. Ein Eckpfeiler des Betreuungskonzepts ist der zu Beginn der Promotion mit den Betreuerinnen und Betreuern zu erarbeitende 3-Jahres-Plan. Der Arbeitsplan fördert die strukturierte Promotion und umfasst die Aufstellung forschungs- und qualifizierungsspezifischer Meilensteine. Der Arbeitsplan legt bspw. die zu besuchenden Veranstaltungen individuell fest und definiert Ziele hinsichtlich der passiven und aktiven Teilnahme an Konferenzen sowie des weiteren Wissenstransfers durch Publikationen.

Ein weiterer fester Bestandteil des Betreuungs- und Förderungskonzepts sind quartalsweise Entwicklungsgespräche, die einen umfassenden, regelmäßigen Austausch zwischen den Promovierenden und den jeweiligen Erst- und Zweitbetreuern darstellen und sowohl der Bewertung erbrachter Leistungen als auch der Planung weiterer wichtiger Zwischenziele dienen.

Die Doktorandinnen und Doktoranden werden entsprechend der thematischen Ausrichtung von einer/einem Erst- und Zweitbetreuer/-in im Rahmen einer Überkreuzbetreuung zur Promotion geführt. Die Erstbetreuerin bzw. der Erstbetreuer berät die Promovierenden fachlich und stammt aus dem primären Fachbereich des Teilprojekts. Die Zweitbetreuerin bzw. der Zweitbetreuer wird von den Promovierenden aus einem anderen Fachbereich gewählt, um die interdisziplinäre Erarbeitung der Promotionsthemen zu unterstützen.

MANAGEMENT VON ANPASSUNGSPROZESSEN

Beteiligte Doktoranden:

Julian Graefenstein

(Lehrstuhl für Unternehmenslogistik, Fakultät Maschinenbau)

Hendrik Lager

(Sozialforschungsstelle Dortmund, Zentrale Wissenschaftliche Einrichtung)

Philipp Regelman

(Lehrstuhl Unternehmensrechnung und Controlling, Fakultät Wirtschaftswissenschaften)

Christin Schumacher

(Lehrstuhl Modellierung & Simulation, Fakultät für Informatik)

Jan Winkels

(Lehrstuhl für Software Engineering, Fakultät für Informatik)

3.0

3.1.

AUSGANGSSITUATION

Die hohe Intensität und Dynamik von Umweltveränderungen erfordert im Kontext der vierten industriellen Revolution ein systematisches und adäquates Management von Anpassungsprozessen. Das Management von Anpassungsprozessen benötigt dabei insbesondere eine effektive und kollaborative Zusammenarbeit der Planungsbeteiligten mit einem Projektmanagement und -controlling, welches auf die Anforderungen der vierten industriellen Revolution abgestimmt ist. Darüber hinaus soll durch das phasenübergreifende, interdisziplinäre Management ein hoher Grad der Ausschöpfung von Effizienzpotentialen innerhalb der Planungs- und Arbeitsvorgänge der Fabrik gewährleistet werden. Das übergeordnete Forschungsziel dieser interdisziplinären Forschungsgruppe ist es, kurze Reaktionszeiten, hohe Effizienz und Prozessorientierung von Anpassungsmaßnahmen zu erreichen.

Durch die Zusammenarbeit der Fachdisziplinen Soziologie, Wirtschaftswissenschaften, Wirtschaftsingenieurwesen, Mathematik und Informatik können Anpassungsprozesse aus vielen verschiedenen Perspektiven betrachtet und gemeinsame Lösungen erarbeitet werden. Die gemeinsame Sicht des GRK auf Anpassungsprozesse und ein gemeinsames Anpassungsprozessmodell wurde bereits in einer gemeinsamen Veröffentlichung publiziert [1]. Insbesondere die Sicht auf das Management von Anpassungsprozessen soll nachfolgend weiter konkretisiert werden. In der genannten Veröffentlichung wird bereits deutlich, dass ein dynamisches Management nicht nur den Anpassungsprozess selbst, sondern auch die damit verbundenen zeitlichen, finanziellen sowie personellen Ressourcen berücksichtigen muss. Zusätzlich sollen die sich stetig verändernde Umwelt und die einhergehenden Veränderungen der Rahmenbedingungen in die Planung einfließen. Der Status Quo der Leistungsfähigkeit einer Fabrik wird durch Flexibilitätskorridore beschrieben.

Zeitgleich zur Abbildung des Status Quo dienen diese

Korridore als Entscheidungsgrundlage für den Bedarf einer konkreten Anpassung der Fabrik. Werden diese Korridore verlassen, muss eine Veränderung geplant und durchgeführt werden, um die Korridore entsprechend anzupassen. Durch geeignete und permanent genutzte Prognose- und Monitoring-tools können entsprechende Anpassungsbedarfe erkannt und für die Planung als Zielgröße ausgelegt werden. Zusätzlich werden geänderte Werte dynamisch in die laufende Planung eingesteuert. Durch diese Anpassung der laufenden Planung an die aktuellsten Änderungen der Werte aus dem permanenten Monitoring und Prognose können die Abläufe effizienter gestaltet und das Planungsziel präziser erreicht werden (s. Abb. 3-1).

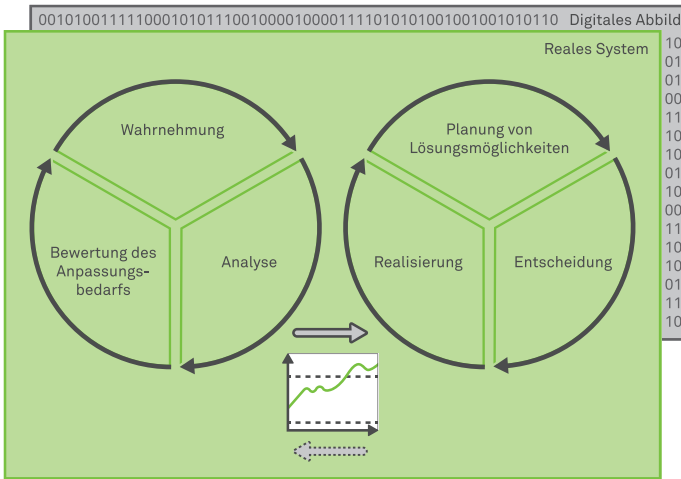


Abbildung 3-1: Anpassungsprozess [1]

Aktuelle Forschungsfelder und -ziele:

Ein erfolgreiches Management von Anpassungsprozessen erfordert einen ganzheitlichen Ansatz und damit die systematische Berücksichtigung technischer, (arbeits-)organisatorischer und sozialer Aspekte [2]. Entsprechend wichtig ist

eine interdisziplinäre und partizipative Ausgestaltung des Managements von Anpassungsprozessen. Angesprochen ist damit die frühzeitige Einbindung der betroffenen Stakeholder bereits zu Beginn bzw. bei der Planung von Anpassungsmaßnahmen, um Akzeptanzbarrieren zu reduzieren, die Wissensbestände und Erfahrungswerte der Beschäftigten zu erschließen und so ein hohes Maß an Prozessnähe der Fabrikanpassung zu erreichen. Dies stellt nicht nur für die Stakeholder erhebliche Herausforderungen dar, sondern auch für diejenigen betrieblichen Verantwortlichen, die für das Management und Controlling von Anpassungsprojekten zuständig sind.

Dabei sind für den Erfolg von Anpassungsprozessen die verfügbaren Qualifikationen und Kompetenzen der Beschäftigten auf den unterschiedlichen Ebenen von zentraler Bedeutung. Dies erfordert eine entsprechende Analyse des Qualifikations- und Kompetenzbedarfs ebenso wie der Entwicklung angemessener Qualifizierungskonzepte. Das erste zentrale Forschungsziel im Bereich Soziologie liegt daher in der Identifikation von Kompetenzbedarfen auf der Mitarbeiterseite in direkten und indirekten Bereichen, damit erforderliche Fabrikanpassungsprozesse reaktionsschnell und effizient ablaufen können. Ein weiteres Forschungsziel der Soziologie liegt in der Untersuchung und Formulierung von Gestaltungsanforderungen der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Darüber hinaus geht es auch um die Frage, welche arbeitsorganisatorischen Elemente z. B. Gruppenarbeit, Ausmaß der Handlungs- und Entscheidungsspielräume, Kommunikations- und Kooperationsbedingungen, Partizipationsmöglichkeiten) reaktionsschnelle und effiziente Anpassungsmaßnahmen begünstigen.

So geht Lager (2018) in seinem Beitrag „Gute digitale Arbeit in der Automobilindustrie 4.0“ der Frage nach, wie die Digitalisierung gezielt gestaltet werden kann, damit die Vorteile der insgesamt qualifizierten Arbeitskräfte in der Automobil-

industrie zukünftig erhalten und die Voraussetzungen für eine – im arbeitspolitischen Sinne – „gute“ Arbeit gewährleistet werden können [3]. Eine erfolgreiche Bewältigung der neuen (digitalen) Komplexität erfordert dabei, so die grundlegende Annahme, eine soziotechnische Betrachtungsweise, die technologische, organisationale sowie soziale und personelle Faktoren gleichermaßen in den Blick nimmt. Darauf aufbauend zeigt der Beitrag unter Bezugnahme auf das Konzept „Workplace Innovation“ arbeitsorganisatorische Rahmenbedingungen auf, die es den Beschäftigten ermöglichen, ihre subjektiven Potentiale aktiv zur Bewältigung von Komplexität einzubringen. Neben arbeitsorganisatorischen Rahmenbedingungen identifiziert Lager zudem zentrale Kompetenzen, die für eine erfolgreiche Bewältigung der digitalen Komplexität erforderlich sind. Dabei kommt er zu dem Ergebnis, dass eine Arbeitsorganisation nach dem Vorbild von „Workplace Innovation“ mit ihren ausgeprägten informellen Lernprozessen die Vermittlung und Anwendung entsprechender Kompetenzen begünstigen kann.

Anknüpfungspunkte der Arbeitsgruppe bestehen vor diesem Hintergrund auch zum GRK-Forschungsschwerpunkt der Virtualisierung. Hier stellt sich unter anderem die Frage, inwiefern beim Management von Anpassungsprozessen digitale Technologien (z.B. Simulationsmodelle, digitaler Zwilling, Virtual Reality) genutzt werden können, um hierarchie- und bereichsübergreifende Kommunikation und Kooperation zu verbessern, Partizipationsmöglichkeiten für Beschäftigte zu steigern und ihre Wissens- und Innovationspotentiale zu erschließen. Diese Frage wird derzeit in einer Zusammenarbeit der Disziplinen Bauingenieurswesen, Virtual Reality und Soziologie näher untersucht.

Wie bereits durch die Ausführungen zum sozialwissenschaftlichen Bereich des Managements von Anpassungsprozessen hervorgehoben wurde, führen die mit der Digitalisierung der

Produktion verbundenen Modifikationen darüber hinaus auch zu veränderten Aufgaben nachgelagerter Funktionen sowie zu neuen notwendigen Kompetenzen der jeweiligen Mitarbeiter. Davon ist, wie erwähnt, auch das Controlling betroffen.

Die aktuellen Hauptforschungsfelder des Controllings im Kontext von Fabrikanpassungen lassen sich in drei Schwerpunktbereiche gliedern: Unter Verwendung einer zeitlichen Abfolge ist an erster Stelle das Investitionscontrolling, welches sich vornehmlich mit Fragestellungen zur Wirtschaftlichkeit neuer Technologien beschäftigt, zu nennen. Eine aktuelle und besondere Herausforderung stellt dabei vor allem die Bewertung qualitativer Kriterien dar. Dem Investitionscontrolling zeitlich nachfolgend widmet sich das Projektcontrolling insbesondere der Unterstützung des Projektmanagements bei der Durchführung von Fabrikanpassungsprojekten. Gerade die hohe Unsicherheit in Bezug auf die Neuartigkeit der Technologien, wie sie beispielsweise bei Industrie 4.0 Projekten gegeben sind, stellt das Projektcontrolling vor neue Herausforderungen.

Derartige Projekte können mit dem Ziel angegangen werden, die Digitalisierung und Vernetzung der Produktion mittels cyberphysischer Systeme sowie die damit verbundene Schaffung einer Datenechtzeitübertragung zu ermöglichen, um Unternehmen einerseits effizienter und andererseits agiler und somit kundenorientierter aufzustellen. Nach erfolgreichem Abschluss solcher Industrie 4.0-Projekte wird dann eine Echtzeitsteuerung ermöglicht. Diese Echtzeitsteuerung hat ebenso Auswirkungen auf das Produktionscontrolling, welches den dritten Teilbereich bildet.

Die drei Funktionsbereiche vereint das Ziel, aufzuzeigen, in welcher Weise sich sowohl das Controlling als Funktion als auch der Controller in seiner Profession verändern sollte, um den an ihn gestellten Anforderungen zu genügen. In diesem

Zusammenhang sei auf die in 2017 auf dem Wissenschaftsforum Mobilität in Duisburg vorgestellte und in 2018 erschienene Publikation von Regelman et al. mit dem Titel „Business Partner oder Obsoleszenz – eine Inhaltsanalyse des Controllings im Zuge der Industrie 4.0“ verwiesen. Innerhalb dieser Publikation wird der aktuelle Status Quo anhand einer systematischen Literaturanalyse der drei Schwerpunktbereiche im Zuge der Industrie 4.0 erörtert, anhand derer erste Leitlinien für ein verändertes Rollenbild abgeleitet werden können [4].

Eine weitere mit der Echtzeitsteuerung einhergehende Thematik ist die Verarbeitung der neuen zur Verfügung stehenden Datenmengen. Als Echtzeitdaten werden laut ISO/IEC 2382 Daten bezeichnet, die innerhalb einer möglichst kurz definierten Zeitspanne generiert und übermittelt werden. Durch die aufkommende Verfügbarkeit von Echtzeitdaten wird in Logistikbetrieben und produzierenden Unternehmen erst im jetzigen Zeitalter der vierten industriellen Revolution eine Echtzeitsteuerung möglich. In diesem Zusammenhang gewinnt das Rollenbild des Data Scientist an Bedeutung [5].

Zukünftige Forschungsaktivitäten müssen sich der Frage annehmen, wie die Zusammenarbeit zwischen Controller und Data Scientist ausgestaltet werden kann. Insgesamt kann festgehalten werden, dass zwei zentrale Herausforderungen für das Controlling im Zuge von Fabrikpassungen existieren. Auf der einen Seite sind die Unsicherheiten aufgrund der Neuartigkeit der Technologien und der Komplexität von den Projekten eine herausfordernde Aufgabe. Auf der anderen Seite steht die Datenverarbeitung im Vordergrund.

Wie lässt sich adäquat mit Datenmengen umgehen, welche Datenschnittstellen können verbessert werden und welche Datenübertragungsgeschwindigkeit ist notwendig? Diese Fragestellungen sind nicht nur für das Controlling relevant.

Die Möglichkeit Daten in Echtzeit zu übertragen und Datenschnittstellen zu vereinheitlichen, ist auch für die weiteren Fachbereiche des GRKs von besonderem Interesse.

Echtzeitdaten bilden nicht nur im Controlling, sondern auch in der Produktionssteuerung einen großen Mehrwert. Um auf interne und externe Einflüsse bestmöglich reagieren zu können, soll es zukünftig ebenfalls möglich sein, innerhalb einer kurzen Zeitspanne über Anpassungen im Produktionsablauf zu entscheiden. Dabei sind die Fragen zu klären, welche Teile wann und auf welcher Maschine gefertigt werden sollen, ohne Ressourcen wie gegebenen Maschinen oder die Anzahl der angestellten Mitarbeiter zu verändern. Auch auf dieser Ebene wird für den Anpassungsprozess somit eine Echtzeitsteuerung angestrebt [6]. Eine Echtzeitsteuerung im Controlling und der Produktionsplanung ermöglicht es, deutlich präziser auf das Geschäftsziel ausgerichtet zu agieren als bisher.

Diese Herausforderungen einer Echtzeitsteuerung sowie des stärkeren Zusammenwachsens der Disziplinen innerhalb eines Unternehmens wurden nochmals im Artikel „Echtzeitsteuerung?“ näher untersucht. Insbesondere wurde gezeigt, dass der Controller vor allem softwareseitige Kenntnisse für die vermehrten Anforderungen im Bereich der systembildenden Koordination besitzen sollte. Somit wird der Controller beispielsweise nicht mehr für die monatliche Erstellung der einzelnen Reportings zuständig sein, sondern die Automatisierung eines qualitativ hochwertigen Reportingprozesses verantworten [7].

Praktische Anwendungen für Echtzeitsteuerungen wurden bereits für Paketumschlaganlagen getestet. Da die Probleme in Paketumschlaganlagen aus mathematischer Sicht mit den auftretenden Problemen in der Fabrik eng verwandt sind, können viele Erkenntnisse aus diesen Forschungsbemühungen auf

die Fabrik übertragen werden. Es wurden verschiedene mathematische Optimierungsverfahren für die operative Planung und Steuerung einer Paketumschlaganlage evaluiert und nachfolgend wurden diese Verfahren mit ereignisorientierter Simulation kombiniert.

In einem ersten Schritt entwickelten Clausen et al. (2017) exakte Algorithmen für das genannte Problem [8]. Die Rechenzeit von rund zwei Stunden ist in diesem Bereich jedoch noch nicht ausreichend und es bedurfte Weiterentwicklungen der mathematischen Verfahren, um eine Echtzeitsteuerung umsetzen zu können.

Innerhalb folgender Veröffentlichungen wurden Heuristiken für die Anwendung in Paketumschlaganlagen entwickelt und in einer realitätsnahen ereignisorientierten Simulationsumgebung getestet. Die Rechenzeiten dieser Verfahren wurden von Schumacher et al. (2017) optimiert und lagen unterhalb von vier Minuten und damit nah an einer Echtzeitfähigkeit [9]. Durch die Optimierung können damit im Vergleich zu der in der Praxis angewandten Anstellstrategie „first come, first serve“ (FCFS) und einer zufälligen Endstellenbelegung mehr als 40 Minuten Anlaufzeit eingespart werden. Die Anwendung der optimierten Anstellpläne sowie der Endstellenbelegung in einer realitätsnahen ereignisdiskreten Simulationsumgebung konnte zeigen, dass die Strategien für die Verwendung in der Praxis geeignet sind [9]. In der Publikation Pötting et al. (2017) wurde gezeigt, dass für Paketumschlaganlagen mit Hilfe der ereignisorientierten Simulation auch zwischen robusten und weniger robusten Lösungen unterschieden werden kann, indem der Anstellplan durch eine Vielzahl von Simulationsläufen in realitätsnahen Szenarien vorsimuliert wird [10].

Die Ergebnisse und Erfahrungen der Evaluation der genannten Optimierungsverfahren für Paketumschlaganlagen können im

hohen Maße auf mathematische Probleme innerhalb der Fabrik übertragen werden. Auch hier soll die Kombination von Heuristiken und ereignisdiskreter Simulation künftig einen effizienten und echtzeitfähigen Weg bieten, komplexe Entscheidungsprobleme zu lösen. Eine große Gruppe von Problemen, die innerhalb einer Fabrik auftreten und mathematisch sowie mit Hilfe ereignisorientierter Simulation gelöst werden können, stellt die Gruppe der Maschinenbelegungsprobleme dar. Die Entscheidung der Maschinenbelegung hat meist direkte Auswirkungen auf die genannten personellen, finanziellen und zeitlichen Ressourcen einer Fabrik und ist damit ein weiterer wichtiger Forschungspunkt innerhalb der Gruppe Management von Anpassungsprozessen. So müssen beispielsweise bei einer Erhöhung der Taktzahl an einer Maschine oder einer Umplanung der Maschinenbelegungsplanung unter anderem arbeitsrechtliche Vorschriften, die Belastungsfähigkeit der jeweiligen Beschäftigten, qualifikatorische und kompetenzbezogene Aspekte sowie Veränderungen von Kollaborationsmöglichkeiten berücksichtigt sowie analysiert werden. Um den größten Nutzen zu generieren, sollen in zukünftigen Forschungsvorhaben vor allem die Maschinenbelegungsprobleme mit der höchsten Praxisrelevanz für Fabriken identifiziert und die Grundlage für echtzeitfähige Lösungen der Probleme geschaffen werden.

Um schnell auf Veränderungen des Layouts der Fabrik oder einen Ausfall von Maschinen in einer Produktionslinie reagieren zu können, soll zudem die automatische Generierung von Lösungsalgorithmen für Maschinenbelegungsprobleme mit Hilfe modularer Programmierung vorangetrieben werden. Eine solche modulare Programmierung trägt dann im hohen Maße zu einer Anpassungsintelligenz der Fabrik bei, indem die Maschinenbelegungsplanung auch nach Veränderungen in der Fabrik schnell wieder automatisch funktionsfähig wird, ohne im Zuge jeder Veränderung vollständig neue Algorithmen implementieren zu müssen, um nahezu optimale Lösungen für die

Maschinenbelegungsplanung, bezogen auf das neue Layout, erhalten zu können.

An der Fächerschnittstelle Fabrikplanung und Software Engineering wird insbesondere das Problem der klassischen sequentiellen Planungsmodelle, welche die gestiegenen Anforderungen an das Produktionssystem, aber auch an die Anpassung selbst nicht mehr erfüllen können, adressiert.

Insbesondere die starken dynamischen Veränderungen von Randbedingungen wie stark schwankende Nachfragen, kürzere Produktlebenszyklen, aber auch die Vielfalt an Technologie, die neu in der Produktion eingesetzt werden kann, erfordern ein Planungsmodell, welches eine dynamische Reaktion auf Veränderungen ermöglicht [11]. Während aus der Fabrikplanungsperspektive die Standardisierung und Modularisierung der Prozesse im Vordergrund steht, arbeitet die Informatik daran, sich diese Standards und Module für Automatisierungsmechanismen nutzbar zu machen, indem diese mit Hilfe kombinatorischer Logik automatisch zu komplexen Prozessen zusammengefügt werden [12].

Ausgehend von dieser Idee behandelt die Veröffentlichung „Intelligente Orchestrierung von Planungsprozessen – Anwendung von logikbasiertem Constraint Solving in der Fabrikplanung“ die Möglichkeit eine kombinatorische Logik zur Dynamisierung von Planungsprozessen zu nutzen [13]. Diese schafft einen ersten Überblick über die Möglichkeiten einer Aufspaltung von großen Planungsaufgaben in kleinere Teilaufgaben und deren optimale und automatisierte Zusammenstellung mittels Constraint Solving-Methoden (s. Abb. 3-2).

So ist es möglich, den Planungsverlauf individuell vom vorhandenen Planungsfall und der vorhandenen Informationen zusammenzustellen. Zusätzlich kann dieser durch den

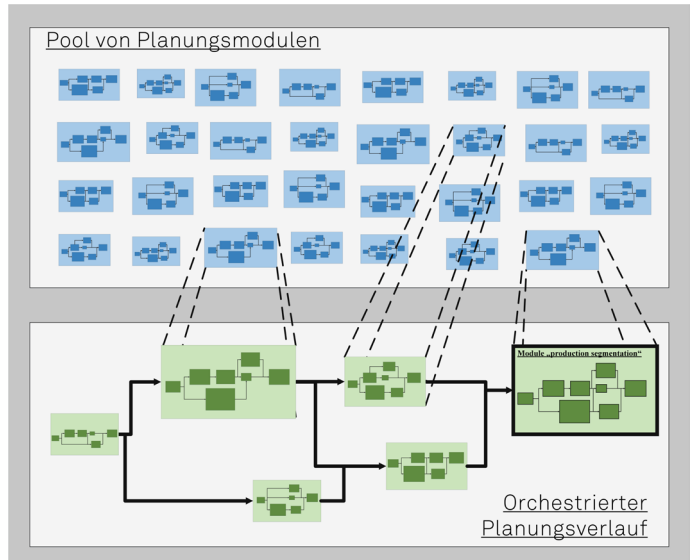


Abbildung 3-2: Zusammenstellung von Planungsprozessen

modularen Aufbau, abhängig von den sich ändernden Informationen und Umweltbedingungen, ständig geändert und angepasst werden.

Darauf aufbauend wurde die Methodik des constraint solving, welche am Beispiel der Prozess - Segmentierung vorgestellt und veranschaulicht wurde, konkretisiert und mit einem Softwareprototypen praktisch umgesetzt [14]. Durch die automatisierte Bearbeitung eines Planungsmoduls konnte gezeigt werden, dass durch diese Bearbeitung auch der planerische Zeitaufwand reduziert werden kann.

Am Beispiel der Fertigungssegmentierung und insbesondere der Teilefamilienbildung wurde gezeigt, dass sofern eine ausreichende Datenbasis etwa in Form eines Data Warehouses vorhanden ist und Planungsaufgaben vom System in idealer

Form bearbeitet werden können. Die Software ist in der Lage das Optimum, je nach Wahl der Zielparameter, zu ermitteln. Da monetäre Aspekte ein wesentlicher Bestandteil eines Planungsprojektes und somit der Forschungsgruppe Management von Anpassungsprozessen sind, soll dieser modulare Ansatz in folgenden Veröffentlichungen weiter auf anfallende Planungskosten ausgeweitet werden. Der Vorteil des modularen Ansatzes besteht in der vielfältigen Erweiterbarkeit. So können nach und nach einzelne Teilaspekte in das System integriert werden und auch auf deren Funktionalität überprüft werden. Das System ist dabei allerdings nicht beliebig erweiterbar, sondern hat Grenzen.

Bei kreativen Planungsaufgaben, etwa der Layoutgestaltung, wird das System lediglich als Hilfswerkzeug dienen können und nicht die Planungsaufgabe selbst bearbeiten können. Der Faktor Mensch spielt bei dem System die Hauptrolle und kann das Planungsmodell als Hilfswerkzeug nutzen, um effizienter die Planung durchzuführen.

Es ist geplant, die Zusammenarbeit weiter fortzusetzen. Ziel ist es, das Konzept auf weitere Use-Cases anzuwenden, um möglichst viele Aspekte der Fabrikplanung abzudecken und das Modulkonzept auf große Teile des Fabrikplanungsprozesses anzuwenden. Außerdem soll softwareseitig die Technik durch Verfeinerung der Constraintsolving-Methoden und durch Nutzung von kombinatorischer Logik weiter verbessert werden, um die Qualität der generierten Prozesse und Lösungen weiter zu erhöhen. Ebenso ist es geplant, die Möglichkeiten des Einsatzes solcher Techniken auch in Bereichen außerhalb dieser Arbeitsgruppe, beispielsweise in Zusammenarbeit mit dem Bauingenieurwesen, zu untersuchen.

Publikationsverzeichnis der Forschungsgruppe „Management von Anpassungsprozessen“:

- [1] Delbrügger, T.; Döbbeler, F.; Graefenstein, J.; Lager, H.; Lenz, L. T.; Meißner, M.; Müller, D.; Regelmann, P.; Scholz, D.; Schumacher, C.; Winkels, J.; Wirtz, A.; Zeidler, F. (2017): Anpassungsintelligenz von Fabriken im dynamischen und komplexen Umfeld. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 112. Jg., Heft 6, S. 364-368.
- [3] Lager, H.: „Gute“ digitale Arbeit in der Automobilindustrie 4.0 - Forschungsstand und Gestaltungskriterien, in: Proff, H., Fojcik, T. M. (Hrsg.): Mobilität und Digitale Transformation, Wiesbaden, 2018, S. 471-485.
- [4] Regelmann, P.; Schmelting, J.; Kordus, P.: Business Partner oder Obsoleszenz – eine Inhaltsanalyse des Controllings im Zuge der Industrie 4.0, in: Proff, H., Fojcik, T. M. (Hrsg.): Mobilität und Digitale Transformation, Wiesbaden, 2018, S. 153-166
- [5] Regelmann, P. (2017): Data Scientist. In: Controlling, 29. Jg., Heft 2, S. 88-89.
- [7] Hoffjan, A.; Schumacher, C.; Galant, I. (2017): Echtzeitsteuerung? In: Controlling, 29. Jg., Sonderheft 1, S. 31-34.
- [8] Clausen, U.; Diekmann, D.; Pötting, M.; Schumacher, C. (2017): Operating parcel transshipment terminals: A combined simulation and optimization approach. In: Journal of Simulation, 11. Jg., Heft 1, S. 2-10.
- [9] Schumacher, C.; Pötting, M.; Rau, J.; Tesch, C. (2017): Combining DES with metaheuristics to improve scheduling and workloads in parcel transshipment terminals. In: Proceedings MIC/MAEB, July 4-7, 2017, Barcelona, S. 720-729.
- [10] Pötting, M.; Schumacher, C.; Rau, J.; Clausen, U. (2017):

A combined simulation optimization framework to improve operations in parcel logistics, Proceedings of the Winter Simulation Conference 2017, December 3-6, Las Vegas, angenommen.

[13] Graefenstein, J.; Scholz, D.; Henke, M.; Winkels, J.; Rehof, J. (2017a): Intelligente Orchestrierung von Planungsprozessen – Anwendung von logikbasiertem Constraintsolving in der Fabrikplanung. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 112.Jg., Heft 4, S. 209-214.

[14] Graefenstein, J.; Winkels, J.; Scholz, S.; Seifert, O.; Henke, M.; Rehof, J. (2017b): Automated processing of planning modules in factory planning by means of constraint-solving using the example of production segmentation. Proceedings of MCPC 2017, November 21-22, Aachen, angenommen.

Publikationsverzeichnis externer Quellen:

[2] Ittermann, P.; Niehaus, J.; Hirsch-Kreinsen, H.; Dregger, J.; ten Hompel, M. (2016): Social Manufacturing and Logistics. Gestaltung von Arbeit in der digitalen Produktion und Logistik. Soziologisches Arbeitspapier, Nr. 47, Dortmund.

[6] Schuh, G.; Anderl, R.; Gausemeier, J.; ten Hompel, M.; Wahlster, W. (Hrsg.) (2017): Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten. Acatech STUDIE, München.

[11] Nöcker, J. C. (2012): Zustandsbasierte Fabrikplanung. Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2012. 1. Aufl. Aachen: Apprimus-Verl. (Edition Wissenschaft Apprimus, 2012, 6).

[12] Bessai, J.; Dudenhefner, A.; Düdler B., Martens, M. und Rehof, J. (2016): Combinatory Process Synthesis, Proceedings of 7th International Symposium On Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation. Ed. by Tiziana Margaria and Bernhard Steffen. Corfu, October 05-14 2016.

INTELLIGENTES REPOSITORY FÜR DIE AUTOMATISIERTE KOMPOSITION UND KONFIGURATION VON WORKFLOWS ZUR PLANUNG



JAN WINKELS

Studium: Informatik, TU Dortmund

Einrichtung: Lehrstuhl für Software Engineering (Fakultät für Informatik)

Betreuer: Prof. Dr. Jakob Rehof

Ausgangssituation und Problemstellung

Wird in einem Fabrikssystem ein Anpassungsbedarf erkannt, muss ein Anpassungsprozess gestartet werden. Dieser beinhaltet in der Regel eine Planungsphase, in der ein Projektteam das Vorgehen erarbeitet, in welcher Art und Weise die Anpassung vorzunehmen ist. Während Produktions-, Logistik- und Fertigungsprozesse bereits weitestgehend automatisiert wurden und werden, findet die Entwicklung eines solchen Planungsprozesses nach wie vor weitgehend manuell und individuell statt. Das Planungsteam entwickelt den jeweils benötigten Plan „von Hand“ und nach Bedarf. Die auf das Projekt zugeschnittene Planerstellung ergibt sich aus den spezifischen Anforderungen, die jedes (Anpassungs-) Projekt mit sich bringt. Die Erstellung des Plans, selbst unter diesen Anforderungen, erfolgt allerdings nach wiedererkennbaren Mustern. Ziel der Dissertation ist es eine Möglichkeit zu entwickeln, das Erstellen von Plänen und das Planen an sich zu automatisieren, indem ein Verfahren (bzw. eine Software) entwickelt wird, welches es ermöglicht, Pläne unter Berücksichtigung von zuvor angegebenen Rahmenbedingungen dynamisch nach Bedarf zu generieren. [1, 2]

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Um Prozesse dynamisch zu generieren folgt das Projekt einem Baukastenprinzip. Es wird eine Sammlung von standardisierten Prozessmodulen definiert, aus denen sich komplexe Prozesse und Pläne zusammenfügen lassen. Die Idee ist vergleichbar mit einem Lego-Baukasten: Ähnlich wie solche Bausteine je nach Wunsch zu beinahe jedem beliebigen Objekt zusammengefügt werden können, können auch die Prozessmodule jeden gewünschten Prozess ergeben. Am Ende des Dissertationsprojektes soll eine Software entstehen, die für jedes Projekt automatisch den passenden Workflow liefert. Der Planer gibt nur noch grundlegende Projektinformationen (z.B. Budget- und Zeitbeschränkungen) an und erhält eine Auswahl an möglichen Plänen zur Realisierung des Projektes. Treten während der

Durchführung des Plans Ereignisse auf, die Plananpassungen notwendig machen, so kann dies durch eine Neugenerierung des Plans ebenfalls automatisiert durchgeführt werden. [3]

Um dieses Ziel zu erreichen, werden Methoden der kombinatorischen Logik und des Constraintsolvings benutzt. Durch Nutzung von kombinatorischer Logik wird am Lehrstuhl für Software Engineering bereits erfolgreich Softwaresynthese betrieben. Das bedeutet, dass aus einer gegebenen Menge an Software-Komponenten individuelle Programme generiert werden können. Constraintsolving wiederum bezeichnet Verfahren zur Ermittlung von Lösungen für (mathematische) Probleme unter Berücksichtigung von einschränkenden Nebenbedingungen (Constraints). Diese beiden Technologien sollen in einer Erweiterung einer gängigen Projektplanungssoftware zusammengeführt werden. Darüber hinaus sollen durch Verwendung geeigneter Codegenerierungs-Frameworks die Applikationen, die zur Durchführung des jeweiligen Plans benötigt werden, automatisch miterzeugt werden. [4, 5]

Referenzen

[1] Delbrügger, T.; Döbbeler, F.; Graefenstein, J.; Lager, H.; Lenz, L. T.; Meißner, M.; Müller, D.; Regelmann, P.; Scholz, D.; Schumacher, C.; Winkels, J.; Wirtz, A.; Zeidler, F. (2017): Anpassungstelligenz von Fabriken im dynamischen und komplexen Umfeld. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 6/2017, S. 364-368.

[2] Luft, N. (2013): Aufgabenbasierte Flexibilitätsbewertung eines Vorgehensmodells zur Anpassungsplanung von Produktionssystemen. Dissertation. TU Dortmund, Verlag Praxiswissen, Dortmund, 2013.

[3] Graefenstein, J.; Winkels, J.; Scholz, S.; Seifert, O.; Henke, M.; Rehof, J. (2017): Automated processing of planning modules in factory planning by means of constraint-solving using the example of production segmentation. Proceedings of the MCPC 2017, November 21-22, Aachen, accepted.

[4] de Moura L., Bjørner, N. (2008): Z3: An Efficient SMT Solver, International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems - TACAS 2008: Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems, pp 337-340.

[5] Bessai J., A. Dudenhefner A., Düdler B., Martens M. and Rehof J. (2016): Combinatory Process Synthesis. Proceedings of 7th International Symposium On Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation. Ed. by Tiziana Margaria and Bernhard Steffen, Corfu, October 05-14 2016, DOI: 10.1007/978-3-319-47166-2_19.

PROJEKTCONTROLLING BEI FABRIKANPASSUNGEN IM KONTEXT DER INDUSTRIE 4.0 – EINE EMPIRISCHE ANALYSE



PHILIPP REGELMANN

Studium: Wirtschaftswissenschaften,
TU Dortmund

Einrichtung: Lehrstuhl Unternehmensrechnung und Controlling (Fakultät Wirtschaftswissenschaften)

Betreuer: Prof. Dr. Andreas Hoffjan

Ausgangssituation und Problemstellung

Die digitale Transformation erfasst nach der Musik- und der Medienbranche sowie dem Handel nun auch den Wirtschaftszweig der Industrie [1]. Die in Aussicht gestellten Potenziale werden als derart groß angesehen, dass die Digitalisierung neben den beiden weiteren Säulen der Automatisierung und der Individualisierung [2] bereits proaktiv als vierte industrielle Revolution, als Industrie 4.0, bezeichnet wird [3]. Um die in Aussicht gestellten Potenziale der Industrie 4.0 erwirtschaften zu können, bedarf es zunächst logischerweise einer Anpassung der eigenen Fabrikssysteme mittels Neu- oder Umbau. Gerade bei der Realisierung von Industrie 4.0-Elementen sehen sich Unternehmen – neben allgemeinen Problemen bei Projekten [4] – zusätzlichen Unsicherheiten und Herausforderungen gegenüber [5].

Die bisher dargestellte praxisorientierte Problemstellung wird durch einen Missstand in der wissenschaftlichen Forschung erweitert. Bisherige Literatur zum Thema Industrie 4.0 fokussiert sich überwiegend auf die technische Perspektive von Industrie 4.0-Umsetzungen [6], betriebswirtschaftliche Fragestellungen bleiben eher außen vor.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Aufgrund der hohen Unsicherheit im Zuge der Implementierung von Industrie 4.0-Technologien in der Praxis und der fehlenden wissenschaftlichen Literatur gliedert sich die Arbeit in einen wissenschaftlichen (literaturgestützten) Teil und einen praxisorientierten (empirischen) Teil. Wesentlich für den Erfolg des Forschungsvorhabens ist es, neben der zunächst durchzuführenden wissenschaftlichen Aufarbeitung des Themas, ein Verständnis für Industrie 4.0-Projekte in der Praxis und den Umgang des Projektcontrollings mit diesen zu erhalten. Im Mittelpunkt des praxisorientierten Teils steht eine qualitativ empirische Untersuchung via Experteninterviews. Unmittelbar nach der Durchführung der empirischen Untersuchung werden die

Experteninterviews mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet.

Wie bereits festgehalten wurde, verändert die Digitalisierung tiefgreifend eine Branche nach der anderen. Es ist daher anzunehmen, dass es auch unmittelbare Auswirkungen auf Funktionen sowie Berufsbilder geben wird. Im Kontext dieses Forschungsvorhabens wird daher davon ausgegangen, dass die besonderen Spezifika von Industrie 4.0-Projekten einer adäquaten Anpassung des Projektcontrollings bedürfen. Zusätzlich zu den zu erwartenden Änderungen bei der Ausgestaltung des Projektcontrollings ist es notwendig, die Rolle des Projektcontrollers als Stelleninhaber und dessen mitzubringende Fähigkeiten zu betrachten sowie diese auf die Gegebenheiten der Industrie 4.0 vorzubereiten.

Referenzen

- [1] Maier, Astrid/Student, Dietmar (2014): Made in Germany – Industrie 4.0, in: Manager Magazin, 44 Jg., Heft 12, S. 92-98.
- [2] Henke, Michael (2016): Vorstudie Einkauf 4.0 Digitalisierung des Einkaufs, Grusswort, https://www.bme.de/fileadmin/_horusdam/4190Vorstudie_Einkauf_40.pdf.
- [3] Singh, Maurizio (2015): Am Vorabend der vierten industriellen Revolution, in: Controlling & Management Review, 59. Jg., Heft 5, S. 8-14.
- [4] Fiedler, Rudolf (2015): Erfolgsfaktoren für den Einsatz von Kennzahlen im Projektcontrolling, in: Controlling - Zeitschrift für Erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung, 27. Jg., Heft 7, S. 368-375.
- [5] Acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML, equeo GmbH (2016): Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen, München, http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Publikationen/Kooperationspublikationen/acatech_DOSSIER_Kompetenzentwicklung_Web.pdf.
- [6] Horváth, Peter (2015): Editorial, in: Controlling - Zeitschrift für Erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung, 27. Jg., Heft 8-9, S. 439.

STANDARDISIERUNG UND TEILAUTOMATISIERUNG DES PLANUNGSPROZESSES ZUR FABRIKANPASSUNG



JULIAN GRAEFENSTEIN

Studium: Wirtschaftsingenieurwesen,
TU Dortmund

Einrichtung: : Lehrstuhl für Unternehmens-
logistik (Fakultät Maschinenbau)

Betreuer: Prof. Dr. Michael Henke

Ausgangssituation und Problemstellung

Unternehmen stehen vor der Herausforderung nicht nur den stetigen Wettbewerb im Fokus zu behalten, sondern auch den steigenden Anforderungen der Kunden gerecht zu werden. Die stark zunehmende Dynamisierung der Unternehmensumwelt und Produktvielfalt hat zur Folge, dass eine Anpassung der Fabrik in immer kürzeren Zeitabständen notwendig wird. Damit eine Anpassung koordiniert und effizient abläuft, existieren etablierte Vorgehensmodelle der Fabrikplanung [1,2], welche den Projektplanern als durchgehendes Hilfsmittel für eine Fabrikumplanung bzw. Anpassungsplanung zur Verfügung stehen. Die Fabrikplanungsmodelle der vergangenen Jahrzehnte sind zum größten Teil gleich aufgebaut und prägen sich durch eine sequentielle Abfolge von Planungsphasen aus. Zusätzlich sind sie sehr allgemeingültig gehalten, um eine breite Anwendung zu ermöglichen [3]. In der Realität sind einzelne Fabrikplanungsprojekte jedoch stark individuell und einzigartig geprägt, weshalb es schwer ist, mit allgemeingültigen Vorgehensmodellen ideale Planungsabläufe zu ermöglichen [4].

Neue Fabrikplanungsmodelle aus der Forschung setzen daher auf dynamischere Ansätze, wie beispielsweise der Modularisierung von Planungsaufgaben [4, 5]. Diese Planungsmodule sind in sich so definiert, dass sie lediglich Eingangsinformationen für eine spezielle Planungsaufgabe als Basis benötigen und losgelöst von einer starren Anordnung im Planungsverlauf bedarfsorientiert bearbeitet werden können. So können Module sehr individuell auf den jeweiligen Planungsfall zugeschnitten angeordnet und auch parallel bearbeitet werden.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Dieser modulare Ansatz ist essentiell für eine effiziente Anpassungsplanung. Insbesondere bei geänderten Informationen während der laufenden Planung ist die Anpassung des Planungsverlaufs eine der entscheidenden Eigenschaften, um

schnell reagieren und effizient planen zu können. Daher soll im Rahmen der Dissertation ein Fabrikplanungsmodell entwickelt werden, welches den modularen Ansatz aufgreift und dahingehend erweitert, dass nicht nur die dynamische Zusammenstellung von Planungsmodulen zu einem Planungsverlauf, sondern auch die Möglichkeit der Anpassung an die geänderten Rahmenbedingungen ermöglicht werden. Wesentlich für eine Bearbeitung der einzelnen Planungsmodule ist zudem die benötigte Informationsgrundlage [6]. Damit die entsprechenden Module bearbeitet werden können, sind unterschiedliche Daten über Prozesse, Produkte, Betriebsmittel etc. notwendig. Ebenfalls müssen die jeweiligen Planungsmodule in ihrer Ausprägung definiert werden, sodass eine problemlose und standardisierte Bearbeitung möglich ist. Dafür werden bestehende Fabrikplanungsmodelle und die damit verbundenen Planungsaufgaben analysiert und auf Schnittstellen sowie die notwendigen Informationen hin untersucht. Unterstützend dazu werden Case-Studies an realen Fabrikplanungsprojekten durchgeführt um die theoretische Grundlage mit Erkenntnissen aus der Praxis zu untermauern und zu ergänzen. Ist diese definierte Gestaltung der Module gegeben, können einzelne Module, abhängig von der jeweiligen Ausprägung, automatisch bzw. teilautomatisiert mittels softwareseitiger Unterstützung bearbeitet werden. So soll zusätzlich Aufwand reduziert werden, um eine schnelle Anpassungsplanung zu gewährleisten.

Mit dieser modularen Planungssystematik soll eine schnelle und effiziente Planung zur Fabrikanpassung ermöglicht werden, welche zusätzlich auf geänderte Rahmenbedingungen reagiert und sich entsprechend anpassen kann. So kann die Systematik dem Planer als Assistenzsystem dienen, welches nicht nur den optimalen Planungsverlauf aufzeigt, sondern auch bei der Bearbeitung unterstützt.

Referenzen

[1] Aggteleky, Béla (1987): Fabrikplanung. Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung. 2., durchges. Aufl. der Neuausg. München: Hanser.

[2] Kettner, Hans; Schmidt, Jürgen; Greim, Hans-Robert (1984): Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München, Wien: Hanser.

[3] VDI Richtlinie 5200, 2011: Fabrikplanung - Planungsvorgehen.

[4] Nöcker, Jan Christoph (2012): Zustandsbasierte Fabrikplanung. Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2012. 1. Aufl. Aachen: Apprimus-Verl. (Edition Wissenschaft Apprimus, 2012,6).

[5] Schuh, G.; Kampker, A.; Wesch-Potente, C. (2011): Condition based factory planning. In: Prod. Eng. Res. Devel. 5 (1), S. 89–94. DOI: 10.1007/s11740-010-0281-y.

[6] Graefenstein, J.; Winkels, J.; Scholz, S.; Seifert, O.; Henke, M.; Rehof, J. (2017): Automated processing of planning modules in factory planning by means of constraintsolving using the example of production segmentation. Proceedings of MCPC 2017, November 21-22, Aachen, angenommen.

BETRIEBLICHE STRATEGIEN ZUR BEWÄLTIGUNG VON UMFELDDYNAMIK UND DIE ROLLE VON BESCHÄFTIGTEN: VORAUSSETZUNGEN UND KOMPETENZENTWICKLUNG IN ANPASSUNGS- INTELLIGENTEN FABRIKEN



HENDRIK LAGER

Studium: Soziologie,
Georg-August-Universität Göttingen

Einrichtung: Sozialforschungsstelle
(Zentrale Wissenschaftliche Einrichtung der
TU Dortmund)

Betreuer: Prof. Dr. Jürgen Howaldt

Ausgangssituation und Problemstellung

Die Dynamisierung und Intensivierung von Markt- und Umfeldveränderungen zwingen Unternehmen immer häufiger, ihre Fabrikssysteme schnell und effizient anzupassen. In diesem Kontext wird zzt. vor allem über den Einsatz neuer digitaler Technologien diskutiert. Unklar ist vor dem Hintergrund der eher technikorientierten Debatte um Digitalisierung jedoch, welchen Stellenwert diese derzeit in der betrieblichen Praxis zur Bewältigung von Umfelddynamik und -komplexität konkret einnehmen. Die Erkenntnisse aus der langen Tradition der Arbeitsforschung sowie verschiedene Ansätze organisationaler Anpassungsfähigkeit implizieren in diesem Zusammenhang, dass nicht nur technische, sondern auch andere Faktoren für eine hohe Anpassungsfähigkeit relevant sind. [1, 2, 3] Von herausragender Bedeutung für die Effizienz und den Erfolg von Anpassungsmaßnahmen sind etwa die Kompetenzen der Beschäftigten auf den unterschiedlichen Ebenen, ebenso wie auch arbeitsorganisatorische Aspekte. [4] Auf diese beiden Elemente wird aktuell vergleichsweise wenig Aufmerksamkeit gelegt.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Ausgehend von einem sozio-technischen Verständnis von Anpassung, welches die Dimensionen Mensch, Technik und Organisation gleichermaßen in den Fokus der Analyse rückt, verfolgt das Dissertationsvorhaben ein offenes, exploratives Vorgehen. Das Forschungsvorhaben kennzeichnet die Anwendung qualitativer Methoden der empirischen Sozialforschung sowie die Durchführung von Betriebsfallstudien. Ziel ist es zu klären, welche Strategien sich im Kontext der Digitalisierungsdebatte in den Betrieben erkennen lassen, um Umfelddynamik und -komplexität zu bewältigen. Hier gilt es, spezifische soziotechnische Faktoren und deren Schnittstellen zu identifizieren, über welche die Betriebe jeweils Anpassungsfähigkeit generieren. Dabei liegt das primäre Erkenntnisinteresse des

Promotionsvorhabens in den folgenden Fragestellungen: Welche Rolle spielen die Beschäftigten bei Fabrikanpassungsprozessen und unter welchen Voraussetzungen können sie einen aktiven Beitrag zur Anpassungsintelligenz leisten? Welche Kompetenzen sind auf der Mitarbeiterseite erforderlich und wie können diese gezielt entwickelt werden?

Es wird angenommen, dass das Wissens- und Innovationspotential sowie die Kompetenzen der Beschäftigten auf den unterschiedlichen Ebenen von herausragender Bedeutung für erfolgreiche Anpassungsmaßnahmen sind. Dies macht eine von Beginn an partizipative Auslegung von Anpassungsmaßnahmen und -prozessen erforderlich. Erwartet wird darüber hinaus, dass ein kontinuierlicher Beitrag der Beschäftigten zur Effizienz und zu kurzen Reaktionszeiten von Anpassungsmaßnahmen an entsprechende soziotechnische Gestaltungsbedingungen geknüpft ist. Angesprochen sind damit neben entsprechenden Kompetenzen auf der Beschäftigtenseite und einer Unterstützung durch digitale Technologien auch eine humanorientierte Arbeitsorganisation.

Referenzen

[1] Ambrosini, V.; Bowman, C. (2009): What are dynamic capabilities and are they a useful construct in strategic management? In: International Journal of Management Reviews, Jg. 11, Heft 1, S. 29–49.

[2] Ittermann, P.; Niehaus, J.; Hirsch-Kreinsen, H.; Dregger, J.; ten Hompel, M. (2016): Social Manufacturing and Logistics. Gestaltung von Arbeit in der digitalen Produktion und Logistik. Soziologisches Arbeitspapier, Nr. 47, Dortmund.

[3] Mumford, E. (2006): The story of socio-technical design: reflections on its successes, failures and potential. In: Information Systems Journal, Jg. 16, Heft 4, S. 317–342.

[4] Sprafke, N. (2016): Kompetente Mitarbeiter und wandlungsfähige Organisationen. Zum Zusammenhang von Dynamic Capabilities, individueller Kompetenz und Empowerment. Dissertation. Wiesbaden: Springer Gabler (Research).

SIMULATION ALS EINFLUSSANALYSE- UND SYSTEMBEWERTUNGS- INSTRUMENTARIUM



CHRISTIN SCHUMACHER

Studium: Wirtschaftsmathematik,
Technische Universität Dortmund

Einrichtung: Lehrstuhl Modellierung und
Simulation (Fakultät für Informatik)

Betreuer: Prof. Dr. Peter Buchholz

Ausgangssituation und Problemstellung

Im Zuge der vierten industriellen Revolution verändern sich auf operativer Ebene für die Maschinenbelegungsplanung relevante interne und externe Einflussfaktoren zunehmend schneller. Außerdem werden Maschinen- sowie Produktionsdaten in Zukunft in Echtzeit verfügbar und damit zur Steuerung nutzbar sein. Als finaler Schritt sollen mit Hilfe dieser Daten auf allen Ebenen, somit insbesondere auch in der Maschinenbelegungsplanung, automatische Entscheidungen mit kurzen Anpassungszeiten getroffen werden können. [1-7]

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Ziel des Dissertationsvorhabens ist es daher, Methoden zur Echtzeitsteuerung innerhalb der Maschinenbelegungsplanung von Fabriken zu entwickeln und zu evaluieren. Um dieses Ziel zu realisieren, ist eine hohe Prognosequalität interner sowie externer Einflussfaktoren notwendig. Durch die Kombination von statistischen Prognoseverfahren, Simulationsexperimenten und mathematischen Optimierungsmethoden sollen ausgewählte Maschinenbelegungsprobleme optimal auf das Geschäftsziel ausgerichtet gelöst werden.

Neben Echtzeitdaten der betrachteten Fabrik werden verstärkt auch Daten des Gesamtunternehmens in Echtzeit in Cloud-Umgebungen verfügbar sein und können damit für das Vorhaben genutzt werden. Diese Daten werden mit Hilfe von Simulations- und Prognosetechniken weiterverarbeitet, um Aussagen über das künftige Systemverhalten herzuleiten. In diesem Simulations- und Prognoseschritt sollen beispielsweise die Verfahren „Multiple replications in parallel“ mit Auslöse-, Abbruch- und Prioritätskriterien und Forecast Validierung getestet werden, mit deren Hilfe mögliche Fabrikszenarien im Rechner simuliert und bewertet werden können. Für die Konstruktion und Auswahl möglicher Szenarien ist der Aufbau einer automatischen Modellierungsunterstützung denkbar. Mit Hilfe der genannten

Methoden können zukünftige Abläufe in der Fabrik vorsimuliert werden, um Entwicklungen von Fabrikparametern beobachten zu können. Auf Basis dieser erzeugten Daten werden im Dissertationsvorhaben nachfolgend Optimierungsmodelle konstruiert und Optimierungsmethoden angetrieben. Im Feld der Optimierungsverfahren sollen vor allem Heuristiken und Metaheuristiken zum Einsatz kommen, da die auftretenden Optimierungsprobleme in der Regel eine hohe Komplexität aufweisen, so dass eine exakte Lösung für reale Szenarien praktisch unmöglich ist. Heuristische Verfahren liefern hingegen oft in kurzer Zeit sehr gute Lösungen für die Maschinenbelegung. Um die Praxistauglichkeit und dabei insbesondere die Robustheit einzelner Lösungen der Optimierungsmodelle vor dem Einsatz in der Praxis evaluieren zu können, wird anschließend wiederum die Simulation eingesetzt, indem die ermittelten Maschinenbelegungen unter variierenden Zufallseinflüssen vorsimuliert werden.

Nach Abschluss des Dissertationsvorhabens wird beantwortet werden können, in welcher Form Optimierung, Simulation und Prognoseverfahren für die angestrebte Echtzeitsteuerung kombiniert werden sollten und welcher Prognosegrad, für welches der ausgewählten Maschinenbelegungsprobleme notwendig ist, um zu praktikablen Lösungen zu gelangen. Darüber hinaus werden die nachgelagerten Fragen beantwortet werden können, wie die entwickelte Methode zu einer erhöhten Anpassungsgeschwindigkeit von Fabriken beitragen kann und welche Echtzeitdaten letztendlich bereitgestellt werden müssen, um eine solche zukunftsorientierte echtzeitfähige Maschinenbelegungsplanung anwenden zu können.

Referenzen

[1] Bertsch, S.; Nyhuis, P. (2012): Gestaltung und Nutzung produktionslogistischer Wandlungsfähigkeit, ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 107. Jg., H. 6, S. 437-442.

[2] Delbrügger, T.; Döbbeler, F.; Graefenstein, J.; Lager, H.; Lenz, L. T.; Meißner, M.; Müller, D.; Regelmann, P.; Scholz, D.; Schumacher, C.; Winkels, J.; Wirtz, A.; Zeidler, F. (2017): Anpassungsintelligenz von Fabriken im dynamischen und komplexen Umfeld. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 6/2017, S. 364-368.

[3] Gudehus, T. (2015): Dynamische Märkte: Grundlagen und Anwendungen der analytischen Ökonomie, Springer Gabler, Berlin.

[4] Kuhn, A. (2008): Simulation logistischer Systeme. In: Dieter Arnold, Heinz Isermann, Axel Kuhn, Horst Tempelmeier und Kai Furmans (Hg.): Handbuch Logistik. 3. Aufl. Berlin: Springer (VDI-Buch), S. 73-94.

[5] Schmidt, K. (2013): Beste Fabrik Europas – BMW-Werk in Leipzig ausgezeichnet, <http://www.wiwo.de/unternehmen/auto/beste-fabrik-europas-bmwwerk-in-leipzig-ausgezeichnet/8857582.html>, Abrufdatum: 05.10.2017.

[6] Scholl, A. (2008): Modellierung logistischer Systeme. In: Dieter Arnold, Heinz Isermann, Axel Kuhn, Horst Tempelmeier und Kai Furmans (Hrsg.): Handbuch Logistik. 3. Aufl. Berlin: Springer (VDI-Buch), S. 35-57.

[7] Schuh, G.; Anderl, R.; Gausemeier, J.; ten Hompel, M.; Wahlster, W. (Hrsg.) (2017): Industrie 4.0 Maturity Index: Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten. Acatech STUDIE, München.

AUSWIRKUNGEN DER DIGITALISIERUNG INDUSTRIELLER FERTIGUNGSPROZESSE AUF DAS OPERATIVE PRODUKTIONS- CONTROLLING



JÜRGEN SCHMELTING

Studium: Wirtschaftsingenieurwesen,
Universität Duisburg-Essen

Einrichtung: Lehrstuhl Unternehmensrech-
nung und Controlling (Fakultät Wirtschafts-
wissenschaften)

Betreuer: Prof. Dr. Andreas Hoffjan

Ausgangssituation und Problemstellung

Die mit der Industrie 4.0 verbundene Digitalisierung von Fertigungssystemen fordert neben dem Produktionsumfeld auch produktionsnahe Prozesse, wie das Produktions-Controlling, heraus [1]. Über Jahre hinweg eingespielte Prozesse und Strukturen müssen womöglich aufgebrochen werden, um auch zukünftig eine adäquate Steuerung des wertschöpfenden Fachbereichs produzierender Unternehmen sicherzustellen – Teilaufgaben werden hinfällig, neue Aufgaben kommen hinzu [2-4]. Die Steuerung von Fertigungsprozessen sowie die effektive Bereitstellung entscheidungsrelevanter Informationen für Entscheidungsträger innerhalb von Unternehmen werden allerdings wohl auch zukünftig unabdingbar sein [5]. Daher ist eine Adaption des Produktions-Controllings unabdingbar [6]. Offen ist hingegen die Frage, wie ein adäquates Controlling an der Schnittstelle zur Fertigung aussehen kann.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Das Promotionsvorhaben adressiert die skizzierte Problemstellung. Das eigens durch Experteninterviews erhobene Datenmaterial wird dazu einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen [7]. Durch eine Spiegelung mit dem einschlägigen Schrifttum wird es so ermöglicht, potenzielle Diskrepanzen zwischen der Forschung auf diesem Gebiet und der unternehmerischen Praxis zu identifizieren. Des Weiteren wird innerhalb des Samples analytisch auf mögliche Unterschiede in der Ausgestaltung des Produktions-Controllings in Abhängigkeit des individuellen Digitalisierungsgrades eingegangen.

Es ist zu erwarten, dass sich das Produktions-Controlling durch die Digitalisierung industrieller Fertigungsprozesse in seiner generellen Ausrichtung weiter an die primär sachzielorientierten Anforderungen der Fertigung anpassen muss, damit den Anforderungen innerhalb der Fertigung Rechnung getragen wird. Damit einher ist die Wandlung des Rollenverständnisses

des Produktions-Controllers, weg von der reinen Kostenplanung und -steuerung und hin zur ganzheitlichen Betrachtung als Business Partner, ein möglicher Entwicklungspfad.

Referenzen

[1] Singh, M. (2015): Am Vorabend der vierten industriellen Revolution. In: Controlling & Management Review, Bd. 59, Nr. 5, S. 6–15.

[2] Ford, M. (2015): Industry 4.0: Who Benefits? In: SMT Magazine, Bd. 30, Nr. 7, S. 52–55.

[3] Horváth, P. (2015): „Industrie 4.0 und der Controller“. In: Controlling, Bd. 27, Nr. 8-9, S. 439–441.

[4] Mertens, P. (2015): „Industrie 4.0 - Herausforderungen auch an Rechnungswesen und Controlling im Überblick“. In: Controlling, Bd. 27, Nr. 8-9, S. 452–454.

[5] Gleich, R.;Thiele, P.;Munck, J. C. (2016): Auswirkungen von Industrie 4.0 auf das Produktionscontrolling von morgen. In: Controller Magazin, Bd. 41, Nr. 3, S. 80–84.

[6] Spath, D.;Ganschar, O.;Gerlach, S.;Hämmerle, M.;Krause, T.;Schlund, S. (2013): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0: [Studie]. Stuttgart: Fraunhofer-Verl.

[7] Mayring, Philipp (2015): Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. 12. Aufl. Weinheim: Beltz.

DER EINFLUSS VON SPIELMECHANISMEN AUF DIE LERNMOTIVATION IN SPIELBASIERTEN LERN- KONTEXTEN - AM BEISPIEL DER INNERBETRIEBLICHEN LOGISTIK IM KONTEXT VON DIGITALISIERUNG



SANDRA KACZMAREK

Studium: Erziehungswissenschaft,
TU Dortmund

Einrichtung: Lehrstuhl für Unternehmens-
logistik (Fakultät Maschinenbau)

Betreuer: Prof. Dr. Uwe Wilkesmann; Prof. Dr.
Michael Henke

Ausgangssituation und Problemstellung

Die Arbeitswelt in der Logistik charakterisiert sich in Zukunft durch die sich grundlegend ändernden Tätigkeiten der Mitarbeiter insbesondere im operativen Bereich. Durch die neue Form der Arbeit 4.0 lassen sich in einem von Anforderungen zwei wesentliche Faktoren für eine effektive Systembeherrschung in der Industrie 4.0 herauskristallisieren [1, 2, 3, 4, 11]:

1. Selbststeuerung der Mitarbeiter
2. Multidisziplinäre Problemlösefähigkeit bei hoher Prozesskomplexität

In diesem Zusammenhang sind spielbasierte Lehr- und Lernformen, wie Serious Games, zu betrachten. Spielbasierte Lernansätze enthalten Prinzipien, denen ein positiver Einfluss auf Lernprozesse und Motivation zugeschrieben wird [9,10]. Nachhaltiges Lernen etwa erfolgt aktiv, konstruktiv, selbstgesteuert, sozial, emotional und situiert. All diese Eigenschaften weisen auch Spielmechanismen auf [12,13]. Der didaktischen Einbettung von Spielmechanismen in innovative Lernkonzepte wird insbesondere in der Theorie ein positiver Einfluss auf Lernprozesse sowie eine motivationsfördernde Wirkung zugeschrieben. Dieser positive Zusammenhang ist bislang jedoch empirisch nicht hinreichend belegt. [5,6,7]

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Dieser Einfluss auf Motivation und Lernprozess soll in der vorliegenden Arbeit, insbesondere im Kontext der Selbststeuerung, anhand eines empirischen Vergleichs untersucht werden. Hierbei werden zweierlei Ziele verfolgt. Zum einen sollen die qualitativen Zusammenhänge und konkreten Wirkweisen von Spielmechanismen auf die motivationalen Komponenten im selbstgesteuerten Lernprozess erhoben und systematisiert werden. Zum anderen soll deren quantitativer Einfluss bemessen werden. Auf Basis der empirischen Untersuchung werden

konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet, wie die Selbststeuerung des Lernprozesses durch eine veränderte Lernmotivation in Serious Games unterstützt werden kann und welche Gestaltungsparameter bei der Konzeptionierung von Serious Games zu dieser didaktischen Zielsetzung beitragen. Forschungsleitende Fragestellungen sind:

- Wie lassen sich Veränderungen der Lernmotivation durch den Einsatz von Spielmechanismen bewerten?
- Welche Formen der Lernmotivation sind durch welche Art von Spielmechanismen direkt oder indirekt beeinflussbar?
- Wann führen Serious Games zu einer Steigerung der subjektiv empfundenen Selbstbestimmtheit im Lernprozess?
- Bei welchen Lernern wirkt sich eine hohe subjektiv empfundene Selbstbestimmtheit des Lernprozesses positiv auf die intrinsische Lernmotivation aus?

Referenzen

- [1] Acatech (2016): Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.), München. <http://www.acatech.de/de/projekte/projekte/kompetenzentwicklungsstudie-industrie-40.html>. Zugegriffen: 10.01.2017
- [2] Asche, S.; Hartbrich, I (2016): Das Regal misst den Puls. In: VDI Nachrichten 21 (2016), S. 19.
- [3] BMWi (2016): Arbeiten in der digitalen Welt. Mensch, Organisation, Technik, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.), Berlin. <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/arbeiten-in-der-digitalen-welt,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>.
- [4] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Lernen und Beruf digital verbinden. Projektband des Förderbereiches „Digitale Medien in der beruflichen Bildung“. URL: https://www.bmbf.de/pub/eQualification_2016.pdf. Abrufdatum: 27.09.2016.
- [5] Deterding, S.; Dixon, D.; Khaled, R.; Nacke, L. (2011): From Game Design Elements to Gamefulness: Defining „Gamification“. MindTrack¹¹, September 28-30, 2011, Tampere, Finnland.
- [6] Deterding, S. (2008): Serious Games. GME-BASED-Learning. Chancen und Grenzen. Educamp Ilmenau, TU Ilmenau 19.-20.02.2008.
- [7] Deterding, S. (2012): Gamification: Design for Motivation. In: McCarth, J.: Social Mediator Forum, 2012.
- [9] Gee, J. P. (2008). What video games have to teach us about learning and literacy, revised and updated, pg. 14. Basingstoke: Palgrave Macmillan.

[10] Gentile, D. A. & Gentile, J. R. (2008). Violent video games as exemplary teachers: A conceptual analysis. *Journal of Youth and Adolescence*, 9, 127-141

[11] Hirsch-Kreinsen, H. (2014): Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“, Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38/2014, TU Dortmund.

[12] Meier, Ch.; Seufert, S.: Game-based learning: Erfahrungen mit und Perspektiven für digitale Lernspiele in der beruflichen Bildung. In: Hohenstein, Andreas (Hrsg.); Wilbers, Karl (Hrsg.): *Handbuch E-Learning: Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst*, 2003, S. Ergänzungslieferung 5, 2003.

[13] Randel, J. M., Morris, B. A., Wetzel, C. D., & Whitehill, B. V. (1992). The effectiveness of games for educational purposes: A review of recent research. *Simulation & Gaming*, 23(3), 261-76.

ASSISTENZSYSTEM- ORIENTIERTE ENTWICK- LUNG EINES „FLEXIBILITY MANAGEMENT MODEL“ IM KONTEXT DER INTELLIGENTEN FABRIKANPASSUNG



FREDERIK DÖBBELER

Studium: Logistik, TU Dortmund

Einrichtung: Lehrstuhl für Unternehmenslogistik (Fakultät Maschinenbau)

Betreuer: Prof. Dr. Michael Henke

Ausgangssituation und Problemstellung

Unternehmen wirtschaften unter herausfordernden Rahmenbedingungen, die insbesondere durch Dynamik, Turbulenz und Intensität von Veränderungen geprägt sind. Durch Systemvernetzung, künstliche Intelligenz, neue Fertigungstechnologien uvm. eröffnet die Entwicklung der Industrie 4.0 gleichzeitig neue Möglichkeiten, um die Effizienz der Wertschöpfung zu steigern und den Kunden die gewünschten individualisierten Erzeugnisse zukommen zu lassen.

Die Vernetzung der Elemente eines Unternehmens untereinander sowie unternehmensübergreifend führt dabei zu einer steigenden Komplexität des Produktionsbetriebs, welche neben der Produktkomplexität in Erscheinung tritt, die durch die individualisierte Produktion hervorgerufen wird.

Unternehmen bzw. ihren Produktionssystemen wird somit ein optimales Maß an Flexibilität und Wandlungsfähigkeit abverlangt. Auftretende Flexibilitätsdefizite führen hierbei zu einem Handlungsbedarf, der mit geeigneten Maßnahmen beantwortet werden muss.

Identifikation ebendieser Defizite sowie deren schnelle sowie ursachengerechte und zielführende Beantwortung, gehören zu den Aufgaben des modernen Management 4.0, welche Bestandteil des zukünftigen intelligenten Anpassungsprozesses ist.

Intelligente Anpassungsprozesse sind durch die Verwendung moderner sowie digital assistierender Assistenzsysteme charakterisiert und ermöglichen die Vereinbarung hoher Planungskomplexität und –anforderungen mit einem stetig kürzer werdenden Anpassungszeitraum.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Vor diesem Hintergrund wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit festgestellt, dass vorliegende Messansätze der Flexibilität und Wandlungsfähigkeit u.a. durch ihren hohen Problembezug, ihre funktionale Limitation sowie ihre fehlende Prozessorientierung nicht zur ganzheitlichen Messung und Bewertung der Flexibilität und Wandlungsfähigkeit geeignet sind.

Entsprechend wird auf Basis eines deduktiven Vorgehens, mit Hilfe von Modellierungstechniken ein assistenzsystemorientiertes ‚Flexibility Management Model‘ entwickelt, welches aus einem Aufgabenmodell und den dazugehörigen Mess- und Bewertungsinstrumenten für produktionssystemische Flexibilität und Wandlungsfähigkeit besteht.

Erprobt wird das ‚Flexibility Management Model‘ anhand eines Anwendungsfalls, der durch ein deutsches mittelständisches Unternehmen der Stückgutfertigung bereitgestellt wird. Durch die ganzheitliche Sicht des ‚Flexibility Management Model‘ gelingt es, vorliegende Flexibilitätsdefizite zu identifizieren, ihre Ursachen zu beschreiben und geeignete Gegenmaßnahmen zu skizzieren.

Bemerkenswert ist, dass erstmals die sogenannte Blindflexibilität Einzug in die Flexibilitätsdiskussion hält und das Prinzip der Flexibilitätskorridore erweitert. Blindflexibilität ist als die Differenz zwischen der technisch möglichen und der real vorliegenden Flexibilität zu interpretieren. Die Berücksichtigung der Blindflexibilität bei der Interpretation der Flexibilität des Produktionssystems führt dazu, dass fehlgeleitete Investitionen vermieden werden können.

Für die Identifizierung zu bevorzugender Handlungsmaßnahmen wird im Rahmen der Arbeit weiterhin ein Vektormodell entwickelt, welches eine situationsgerechte Analyse und

Bewertung und somit Priorisierung alternativ zur Verfügung stehender Maßnahmen ermöglicht. Hierdurch gelingt eine Reduktion der Planungskomplexität, welche dem Grundgedanken intelligenter Anpassungsprozesse zuträglich ist.

Die grundlegende Ausrichtung der Modellierung und Entwicklung der Ergebnisse dieser Arbeit, am Grundgedanken der Assistenzsystemunterstützung, bildet die notwendigen Grundlagen für ein Assistenzsystem, welches die beschriebenen Aufgaben zur Flexibilitätsmessung, -bewertung und schließlich zur Maßnahmenableitung und -auswahl beinhaltet. Die Ergebnisse der Arbeit bilden somit einen wertvollen Beitrag auf dem Weg zur intelligenten Fabrikanpassung.

ANTIZIPATIVE ENTSCHEIDUNGSFINDUNG IN KOMPLEXEN PRODUKTIONSSYSTEMEN IM KONTEXT INDUSTRIE 4.0



DR. MUSTAFA GÜLLER

Studium: Produktion und Logistik,
Universität Duisburg-Essen

Einrichtung: Lehrstuhl für Unternehmens-
logistik, Fakultät Maschinenbau

Betreuer: Prof. Dr. Michael Henke

Ausgangssituation und Problemstellung

Der Hauptunterschied heutiger Produktionssysteme ist die Echtzeitverfügbarkeit von Informationen. Diese wird durch Industrie-4.0-Technologien ermöglicht und wird die Effektivität der Entscheidungsphase deutlich steigern. Alle an der Produktion beteiligten verfügen über genaue Kenntnisse zum Produktionsstatus und allen darin enthaltenen Objekten. Die Verfügbarkeit von Echtzeitinformationen und Technologien zur Echtzeitinformationsverarbeitung erschafft neue Handlungsoptionen für Produktionssysteme schnell auf sich ändernde Bedingungen innerhalb des Systems angepasst zu werden [1]. Dennoch ändert sich die Produktionskontrolle ständig, da Echtzeitdaten und deren Analyse benötigt werden, um auf unvorhergesehene Ereignisse oder Störungen in der Produktion zu reagieren. Ziel der Echtzeitfähigkeit ist es, zu wissen wie die momentane Realität in der Fertigung aussieht und mit diesem Wissen eine bessere und aktuellere Entscheidungsfindung für alle Akteure zu ermöglichen. Jüngste Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnologie haben bereits wesentlich zur Transparenz beigetragen. Aufgrund von fehlender Koordination und fehlenden Entscheidungsmechanismen mangelt es aktuellen Entscheidungskonzepten noch immer an der Fähigkeit ein adaptives und kollektives Verhalten in den autonomen dezentralisiert verteilten Produktionsnetzwerken zu erreichen. Zeitgleich tragen autonome und selbstorganisierte Systeme, intelligente Maschinen und intelligente Güter zur Komplexität dieser Netzwerke bei. Aufgrund der dynamischen und strukturellen Komplexität heutiger Produktionsnetzwerke, kann die Soll-Leistung nicht länger mittels zentraler Entscheidungsfindung und Kontrollsysteme erreicht werden [2]. Es ist unerlässlich Entscheidungen auf Basis von Vorhersagen, Erwartungen oder Überzeugungen über zukünftige Produktionsstatus zu treffen. Ohne die Kenntnis über zukünftige Zustände des Produktionssystems und Verhaltensweisen von autonomen Systemakteuren ist es schwierig, eine Entscheidung zu treffen.

Demzufolge ist es notwendig, ein intelligentes Entscheidungssystem zu entwickeln, um die Komplexität zu managen und die Leistung über das erweiterte Netzwerk zu verbessern.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Obwohl Simulationen als unterstützendes Werkzeug für eine Entscheidungsfindung in Produktionssystemen genutzt werden können, um Einsicht in die Dynamik solcher Systeme zu erlangen, reichen konventionelle Modellierungsansätze aufgrund der in autonomen dezentralisierten Systemen auftretenden Interdependenzen der Akteure und deren heterogenem Verhalten nicht aus. Eine Möglichkeit unser Verständnis der Dynamiken und der Evolution komplexer Netzwerke zu verbessern besteht in der Erstellung von Simulationen auf Basis agentenbasierter Modellierung. Diese Methode wird vermehrt genutzt, um das Verhalten und die Dynamiken von komplexen Systemen in verschiedenen Disziplinen, darunter Wirtschaftswissenschaften, Management, Soziologie, Biologie und Ingenieurwissenschaften, zu erforschen. Agentenbasierte Modellierung ist ein neues Simulationsparadigma für die Beschreibung von Verhaltensweisen und Interaktionen einer Ansammlung von autonomen Instanzen, welche Agenten genannt werden. In agentenbasierten Simulationen agieren die Agenten auf nichtlinearer Weise miteinander. Das gesamte Systemverhalten ergibt sich aus den Resultaten für jeden einzelnen Agentenprozess sowie dessen Wechselwirkungen [3]. Es ermöglicht Forschern die ersehnte Flexibilität, welche nötig ist, um die Probleme der realen Welt verstehen und ihre Effekte auf Mikro- und Makroebene des Systems analysieren zu können. Demzufolge können zukünftige Produktionssysteme als Multi-Agenten-Systeme modelliert werden. Agenten können sich in ihren Präferenzen, Zielen, Fertigkeiten, Entscheidungsregeln, Strategien etc. unterscheiden, daher erlauben agentenbasierte Modellierungen den individuellen Instanzen autonome Entscheidungen zu treffen, sich anzupassen, zu verändern oder

über die Zeit zu lernen. Die Entwicklung einer agentenbasierten Simulation für komplexe Systeme ermöglicht eine proaktive und intelligente Entscheidungsfindung sowie eine quantitative Analyse von Störungen. Die Hauptaufgabe besteht jedoch darin, die intelligenten Verhaltensweisen der Agenten zu erstellen und zu modellieren. Dieser Prozess wird außerdem durch den Mangel an theoretischen Grundlagen zur Modellierung solcher realistischer intelligenter Verhaltensweisen und ihrer Integration in einen Entscheidungsfindungsprozess erschwert.

Darüber hinaus kann die Auswahl vorausschauender Maßnahmen auf Grundlage des zukünftigen Verhaltens jedes einzelnen Netzwerkakteurs ein Schlüsselbestandteil bei der Entwicklung eines selbstadaptiven Systems sein. Ein solches System nutzt Laufzeitinformationen, um seine Struktur neu zu konfigurieren, sich an Änderungen anzupassen und um sein Verhalten, zur Laufzeit, den Zwecken des Systems entsprechend zu modifizieren. Ein antizipatives System, verbunden mit der Wahrnehmung von Veränderungen, ist ein generelles Konzept, welches in vielen verschiedenen Bereichen wie Physik, Biologie, Soziologie, Volkswirtschaftslehre, Politikwissenschaften und Betriebswirtschaftslehre umfassend untersucht wurde. Es ist nicht nur ein wichtiger Aspekt solcher Systeme, die Fähigkeit zu besitzen vorausschauend zu sein, sondern auch, dass sie sich auf Handlungen oder Entscheidungen beziehen, die aufgrund von Vorhersagen zur Vorbereitung auf mögliche zukünftige Ereignisse getroffen wurden [4]. In diesem Konzept werden alle Entscheidungen auf Grundlage möglicher sowohl interner als auch externer Änderungen des Betriebsumfelds getroffen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Hauptziel die Entwicklung eines vorausschauenden Entscheidungsrahmens ist, der in der Lage ist, zukünftige Zustände der Produktion vorzusehen, sowie eine agentenbasierte Simulationsplattform zu entwickeln, die den autonomen Verhaltensaspekt der Akteure des Produktionssystems berücksichtigt.

Methoden können zukünftige Abläufe in der Fabrik vorsimuliert werden, um Entwicklungen von Fabrikparametern beobachten zu können. Auf Basis dieser erzeugten Daten werden im Dissertationsvorhaben nachfolgend Optimierungsmodelle konstruiert und Optimierungsmethoden angetrieben. Im Feld der Optimierungsverfahren sollen vor allem Heuristiken und Metaheuristiken zum Einsatz kommen, da die auftretenden Optimierungsprobleme in der Regel eine hohe Komplexität aufweisen, so dass eine exakte Lösung für reale Szenarien praktisch unmöglich ist. Heuristische Verfahren liefern hingegen oft in kurzer Zeit sehr gute Lösungen für die Maschinenbelegung. Um die Praxistauglichkeit und dabei insbesondere die Robustheit einzelner Lösungen der Optimierungsmodelle vor dem Einsatz in der Praxis evaluieren zu können, wird anschließend wiederum die Simulation eingesetzt, indem die ermittelten Maschinenbelegungen unter variierenden Zufallseinflüssen vorsimuliert werden.

Nach Abschluss des Dissertationsvorhabens wird beantwortet werden können, in welcher Form Optimierung, Simulation und Prognoseverfahren für die angestrebte Echtzeitsteuerung kombiniert werden sollten und welcher Prognosegrad, für welches der ausgewählten Maschinenbelegungsprobleme notwendig ist, um zu praktikablen Lösungen zu gelangen. Darüber hinaus werden die nachgelagerten Fragen beantwortet werden können, wie die entwickelte Methode zu einer erhöhten Anpassungsgeschwindigkeit von Fabriken beitragen kann und welche Echtzeitdaten letztendlich bereitgestellt werden müssen, um eine solche zukunftsorientierte echtzeitfähige Maschinenbelegungsplanung anwenden zu können.

Referenzen

[1] Güller, M. et al., 2014. A Simulation-based Decision Support Framework for Real-Time Supply Chain Risk Management. In 7th European Conference on Information and Communication Technology. Dortmund, 2014.

[2] Hongler, M.O. et al., 2010. Centralized versus decentralized control — A solvable stylized model in transportation. *Physica* – 389(19), pp.4162–71

[3] Chen, X. et al., 2013. Agent-Based Modeling and Simulation for Supply Chain Risk Management – A Survey of the State-of-the-Art. In 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Manchester, United Kingdom, 2013.

[4] Rhodes, D.H. & Ross, A.M., 2009. Anticipatory capacity: Leveraging model-based approaches to design systems for dynamic futures. In International Conference on Model-Based Systems Engineering. Haifa, 2009. IEEE

SMART EFFICIENT PRODUCTION SYSTEMS

Beteiligte Doktoranden:

Matthias Meißner

(Institut für Energiesysteme, Energieeffizienz & Energiewirtschaft)

Daniel Müller

(Lehrstuhl für Unternehmenslogistik)

Andreas Wirtz

(Institut für Spanende Fertigung)

4.0

4.1.

AUSGANGSSITUATION

Die zunehmende Digitalisierung von Produktionsprozessen und der Einzug des Internets der Dinge in die industrielle Produktionsumgebung wird im Allgemeinen unter dem Begriff Industrie 4.0 subsumiert. Das Ziel der Industrie 4.0 ist die Produktion mit Hilfe intelligenter und vernetzter Fabriksysteme. Dieser Wandel wird getrieben durch die Einführung von cyber-physischen Systemen (CPS) und ubiquitärer Informations- und Kommunikationssystemen [1]. CPS stellen als wesentliches Element der Industrie 4.0 einen Verbund aus eingebetteten Systemen sowie elektrotechnischen und mechanischen Komponenten dar. Diese erfassen mit Hilfe von Sensoren physikalische Daten in Echtzeit und sind in der Lage durch Aktoren auf physikalische Vorgänge einzuwirken [2]. Mittels digitaler Netze sind die CPS untereinander und in globalen Netzwerken verbunden und nutzen dabei Daten und Dienste weltweit [1, 3, 4]. CPS werden durch die eingebetteten Computersysteme kontrolliert, überwacht und koordiniert und verfügen über eine Reihe multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen [5]. Durch die beschriebenen Charakteristika sind die Systeme in der Lage, mit Menschen, Maschinen und Produkten zu interagieren und eigene Entscheidungen zu treffen. Im Idealfall besitzen sie die Fähigkeit, ihre Verhaltensweisen zu verändern und anzupassen [6, 7].

Cyber-physische Produktionssysteme (CPPS), als Ausprägung von CPS in der Produktion und häufig auch als Smart Efficient Production Systems oder Smart Factory bezeichnet, umfassen intelligente Arbeitsmittel, Lagersysteme und Arbeitshilfsmittel, die durchgängig mittels Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) vernetzt sind [1]. Ein Kernbestandteil smarterer Produktionssysteme ist die Online-Datenerfassung und -auswertung von Betriebszuständen in Echtzeit, sodass die physikalische und virtuelle Welt in einem digitalen Zwilling zusammengeführt werden [1, 6]. Diese neuartige Qualität und Quantität der Rückmeldedaten ermöglicht dynamische,

echtzeitoptimierte und selbstorganisierende Wertschöpfungsketten, die durch die Anpassung verschiedenster Faktoren kurzfristig optimiert werden können [1]. Damit besitzen CPPS ein enormes Potential für die zukünftige industrielle Wertschöpfung. Im Verbund sind sie in der Lage, die Produktion teilweise dezentral und kontextadaptiv über alle Unternehmensgrenzen hinweg zu steuern [8]. Mit der vernetzten Produktion wird eine flexiblere und dynamischere Produktionsplanung und -steuerung erreicht, welche mit dem Begriff Smart Operations bezeichnet wird [9]. Darunter werden Bestrebungen zu einem „digital veredelten Produktionsmanagement“ verstanden, welche mit Hilfe von Tools, Systematiken und Prinzipien die Leistung und Führung des Unternehmens nachhaltig verbessern [9]. Durch die Anwendung von CPPS-Technologien werden hierarchielose Kommunikationsstrukturen geschaffen, in denen, anstelle einer zentralen Steuerung, sich das zu fertigende Bauteil selbst dezentral steuert [10].

Diese neuartige Form der Produktionsorganisation erlaubt es, der steigenden Komplexität im Produktionsumfeld, insbesondere aufgrund der zunehmenden Variantenvielfalt [11] in Produktionsunternehmen, entgegenzuwirken. Weiterhin wird durch die hohe Datentransparenz und -verfügbarkeit die Möglichkeit geschaffen, auf kurzfristige Störungen und Ausfälle in der Produktion kontextadaptiv zu reagieren [1], sowie Fehler [12] und Anomalien im Produktionsprozess [13] zu identifizieren. Auf Basis dessen ergeben sich neue Möglichkeiten bei der Entwicklung von Wartungs- und Instandhaltungskonzepten in Form von Condition Monitoring und Predictive Maintenance [14].

Die erwartete Flexibilitätssteigerung durch den Einsatz von CPPS ebnet zudem den Weg für die wirtschaftlich rentable Massenfertigung mit Losgröße 1, um individuelleren Kundenwünschen nachzukommen [1].

Bei Betrachtung der Ressourcen- und Energieeffizienz ergeben sich durch den Einsatz von CPPS und der damit verbundenen Echtzeitdatenverfügbarkeit umfassende Optimierungspotentiale. Die gesammelten Produktionsdaten können verwendet werden, um vorhandene Interdependenzen zwischen verschiedenen Produktionsprozessen auf Systemebene zu identifizieren, sodass Fabrikssysteme ganzheitlich und multikriteriell analysiert und auf Basis dessen optimiert werden können.

Insbesondere in Kombination mit neuartigen Technologien wie der additiven Fertigungstechnik sorgt die Industrie 4.0 allgemein für die Entwicklung neuer Formen der Wertschöpfung und disruptiv geänderte Geschäftsmodellparadigmen [8]. Viele Szenarien der Industrie 4.0 erfordern Geschäftsmodelle, die für gewöhnlich nicht mehr durch einzelne Unternehmen, sondern durch hochdynamische Wertschöpfungsnetzwerke realisiert werden [1].

Nach Kagermann [1] gliedert sich der Forschungsbedarf zur erfolgreichen Migration und Potentialnutzung von Industrie 4.0 im industriellen Umfeld in die drei zentralen Elemente:

- Horizontale Integration über Wertschöpfungsketten,
- Vertikale Integration und vernetzte Produktionssysteme sowie
- Digitale Durchgängigkeit des Engineerings über die gesamte Wertschöpfungskette

Die horizontale Integration beschreibt die Vernetzung unterschiedlicher Prozessschritte der Produktions- und Unternehmensplanung entlang der Material-, Energie- und Informationsflüsse durch IT-Systeme. Dabei werden Daten innerhalb eines Unternehmens, aber auch entlang mehrerer Wertschöpfungsnetzwerke ausgetauscht und Optimierungspotenziale realisiert [1, 15, 16]. Um eine durchgängige Integration zu gewährleisten, sind standardisierte und offene

Schnittstellen sowie Prozesse von Bedeutung. Sie erzeugen Sicherheit und Vertrauen für alle beteiligten Akteure in der Wertschöpfungskette. Damit diese Zielsetzung erreicht werden kann, ist das bereits angesprochene Monitoring und weiterhin ein kontinuierliches Feedback einzurichten, welche entlang des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks in Echtzeit stattfinden. Damit lassen sich in der Produktion die Möglichkeiten von deutlich stärker ausdifferenzierten Steuerungs- und Regelprozessen nutzen. Unter Industrie 4.0 versteht man daher nicht allein die Optimierung bestehender IT-gestützter Prozesse, sondern auch die Erschließung von Potenzialen aus einer noch differenzierteren Verfolgung von detaillierten Abläufen und den Gesamteffekten im Globalen [1].

Unter der vertikalen Integration hingegen wird die Integration verschiedener IT-Systeme auf unterschiedlichen Hierarchieebenen eines Unternehmens zu einer durchgängigen Gesamtlösung verstanden [1, 15]. Auf diese Weise werden Daten und Informationen auf dem Shopfloor erhoben und über die Steuerungs-, Leit-, Betriebs- sowie Unternehmensebene verarbeitet. Die daraus resultierenden Ergebnisse über Steuerungsinformationen werden anschließend an die Produktionsanlagen zurückgemeldet [8, 17].

Unter dem Begriff der digitalen Durchgängigkeit des Engineerings wird die durchgängige Unterstützung des Produktentstehungsprozesses entlang der Wertschöpfungskette durch den Einsatz von Anwendungssystemen verstanden [18]. Somit umfasst der Bereich die Produktion, Entwicklung, Nutzung, und den Rückbau bzw. das Recycling der Produkte. Die anfallenden Informationen entlang des Lebenszyklus werden durchgängig verknüpft [15].

Die hohe Flexibilität und Datenverfügbarkeit in CPPS ermöglicht die durch das volatile Unternehmensumfeld benötigten

dynamischeren, sogenannten adaptiven, Geschäftsprozesse. Die daraus resultierenden regelmäßigen Änderungen stellen enorme Herausforderungen an die Flexibilität und Wandlungsfähigkeit der heutigen Fabrikstrukturen dar. Dies ist vor allem damit begründet, dass die Lebenszyklen der Produktionsanlagen aus Rentabilitätsgründen um ein Vielfaches länger sind als die der herzustellenden Produkte. Diese Problematik erzwingt eine permanente Bereitschaft zur Planung und Umsetzung von Anpassungen des Fabriksystems. Insbesondere die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) als Kernelement zur Organisation des Produktionsablaufs unterliegt einer hohen Dynamik und sieht sich mit kurzzyklischen Planungs- und Entscheidungsprozessen konfrontiert. Neben dem rein quantitativen Anstieg der Planungsfälle erhöht sich zudem, infolge der vielen funktionsübergreifenden Schnittstellen der PPS, die Komplexität der Planung massiv. Es mangelt an einer disziplinübergreifenden und simulativ unterstützten PPS, die ausgehend von der technischen Prozesssimulation und unter Einbezug der Energieeffizienz die Fertigungs- und Logistikabläufe der Produktion entlang der gesamten Prozesskette ganzheitlich bewertet und stets kontextadaptiv anpasst. Auf diese Weise sollen Insellösungen vermieden und ein Gesamtoptimum des Fabrikbetriebs erreicht werden.

Um die genannten Potentiale zu erschließen, liegt der Forschungsfokus der Arbeitsgruppe Smart Efficient Production Systems auf der Betrachtung eben dieser Problemstellung an den Schnittstellen der verschiedenen Disziplinen zur Planung und Realisierung von anpassungsintelligenten und effizienten Produktionsprozessen.

Aktuelle Forschungsfelder und -ziele:

Um die eingangs genannten Potentiale der vertikalen und horizontalen Integration und Vernetzung von Wertschöpfungsnetzen in zukünftigen Fabrikssystemen zu erschließen, forscht die Arbeitsgruppe Smart Efficient Production Systems

insbesondere in den Bereichen:

- Energieeffizienz von Produktionssystemen mit Fokus auf den Interdependenzen zwischen unterschiedlichen Produktionsprozessen,
- Analyse und Bewertung von Zerspanprozessen durch Nutzung und Erweiterung geometrisch-physikalischer Zerspansimulationen und
- dynamische Selbststeuerung der internen Auftragsdisposition zur Steigerung der Flexibilität in Smart Factories.

Neben diesen Einzelprojekten, welche gleichzeitig die Disziplingebiete innerhalb der Forschungsgruppe darstellen und im weiteren Textverlauf vorgestellt werden, befindet sich aktuell ein disziplinübergreifendes gemeinsames Forschungsprojekt in Durchführung. Im Rahmen dieses Vorhabens beabsichtigt die Arbeitsgruppe Smart Efficient Production Systems gemeinsam mit der GRK-Arbeitsgruppe „Virtualisierung“ eine Multi-Level-Simulationsmethodik eines Produktionssystems mit dem interdisziplinären Aufbau gemäß Abbildung 4-1 zu entwickeln.

Dementsprechend werden in dem Projekt die Kompetenzen der einzelnen Disziplinen Elektrotechnik, Produktionstechnik, Unternehmenslogistik und Informatik verbunden und anhand eines virtuell modellierten Produktionssystems zusammengeführt.

Das Ziel der Methodik ist es, Simulationen mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen und Betrachtungshorizonten miteinander zu verknüpfen, um die Wirkbeziehungen zwischen den einzelnen Disziplinen zu analysieren. Dies beabsichtigt die Unterstützung der Anpassungs- und Neuplanung von Produktionssystemen sowie der Produktionsplanung und -steuerung. Prinzipiell besteht die Möglichkeit, zukünftig weitere Disziplinen in das Projekt einzubinden.

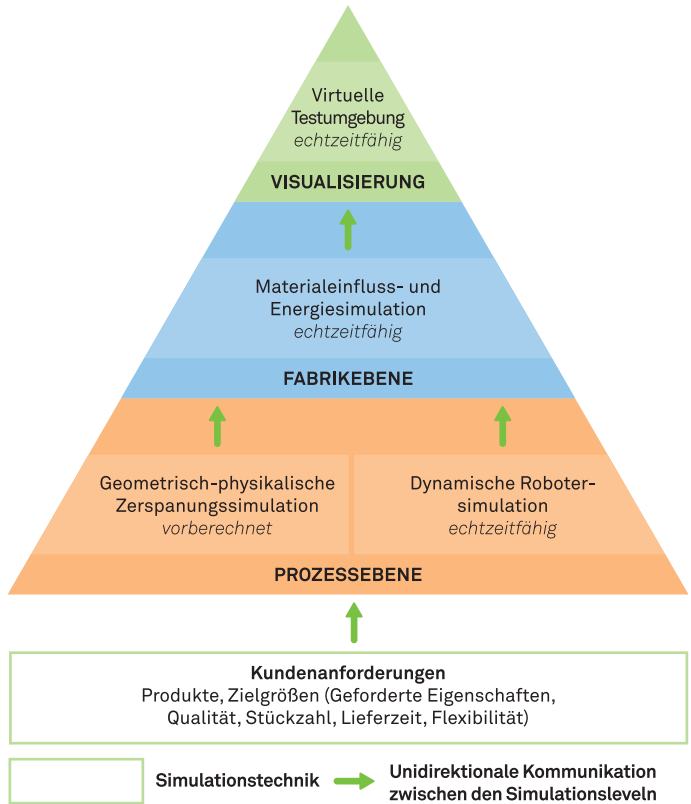


Abbildung 4-1: Schematische Darstellung der Multi-Level-Simulation zur ganzheitlichen Optimierung von Produktionssystemen

Hierbei ist zu beachten, dass jede Disziplin für gewöhnlich unterschiedliche Simulationstechniken verwendet, die speziell auf den jeweiligen Fachbereich angepasst sind. So kann im Bereich der spanenden Produktionstechnik beispielsweise die Finite-Elemente Methode zur Analyse und Optimierung der Prozessparameterwerte oder der Werkzeuggeometrie mit

Fokus auf das thermomechanische Werkstoffverhalten eingesetzt werden [19, 20, 21]. Geometrisch-physikalische Prozesssimulationen ermöglichen es, Prozesse und Prozessketten im Hinblick auf die Prozessstabilität und Qualität der gefertigten Bauteile [22] sowie Prozesszeiten und Leistungsaufnahme [23] mit im Vergleich zu Finite-Elemente-Simulationen kurzer Rechenzeit zu analysieren. Sie sind für Bearbeitungsprozesse mit geometrisch bestimmter Schneide wie das Fräsen [22, 24, 25] und mit geometrisch unbestimmter Schneide wie das Schleifen [26, 27] und Finishen [28] einsetzbar. Im Gegensatz dazu werden für logistische Fragestellungen oftmals ereignisdiskrete oder agentenbasierte Simulationen angewandt. Diese sind unter anderem in der Lage, komplexe Materialflüsse innerhalb eines Produktionssystems abzubilden. Ein Vorteil ereignisdiskreter Simulationen ist, dass sehr lange Simulationszeiten innerhalb kurzer Realzeit abgebildet werden können [29]. Energieverbrauchsprofile von Anlagen und Maschinen können zudem als arithmetischer Mittelwert oder Polynomfunktionen Berücksichtigung finden [30].

Ein weiterer Teilaspekt der Multi-Level-Simulation ist die Virtualisierung des Produktionssystems in einer virtuellen Testumgebung, um beispielsweise den Einsatz von fahrerlosen Transportfahrzeugen im Hinblick auf die Transportwege in einem virtuellen Abbild der realen Fabrik zu testen und zu optimieren. Im Zuge dessen bieten sich vor allem Kollisionsprüfungen und die Identifizierung von räumlich ungünstigen Gegebenheiten an. Ein weiterer Aspekt einer dreidimensionalen virtuellen Nachbildung eines realen Produktions- und Logistiksystems ist zudem dessen Potential für ein verbessertes kollaboratives Zusammenwirken verschiedener Fachbereiche durch vereinfachte und intuitive Kommunikation. Beispielsweise kann die simultane Berücksichtigung von baulichen Restriktionen den Fabrikanpassungsprozess entscheidend unterstützen oder ergonomische Anforderungen direkt am virtuellen Modell

abgesichert werden. Zur ganzheitlichen Optimierung von Produktionssystemen müssen zunächst die Kundenanforderungen in den Dimensionen Lieferzeit, Qualität, Kosten und Stückzahl festgelegt werden. Anschließend kann auf Prozessebene analysiert werden, welche Anlagen sich prozesstechnisch zur Produktion dieses Bauteils mit den geforderten Produkteigenschaften eignen. Dazu werden in Abhängigkeit der Kundenanforderungen mit Hilfe der geometrisch-physikalischen Prozesssimulation Qualitätsmerkmale, Bearbeitungszeiten und die elektrische Leistungsaufnahme der Zerspanprozesse für verschiedene Kombinationen von Prozessparameterwerten und potentiell belegbaren Maschinen ermittelt. Wichtig ist hierbei, dass lediglich Varianten mit der geforderten Mindestqualität berücksichtigt werden. Auf Basis dieser Daten lassen sich auf Fabrikebene von der Produktionsplanung und -steuerung verschiedene Herstellungsmöglichkeiten eines Produkts innerhalb des vorliegenden Fertigungssystems ableiten.

Eine Analyse und Bewertung dieser Varianten wird mit Hilfe von Materialflusssimulationen anhand der logistischen Zielgrößen Durchlaufzeit, Auslastung, Bestand und Termintreue durchgeführt. Im Rahmen einer externen Optimierung werden diese Kenngrößen um den ursprünglich auf Prozessebene ermittelten Energieverbrauch erweitert, um ein Gesamtoptimum ableiten zu können, welches eine gesteigerte Energie- und Logistikeffizienz ermöglicht. Anschließend können durch Variation der Prozessparameterwerte weitere Varianten geplant und simulativ bewertet werden, um eine sukzessive Optimierung der betrachteten Produktionssysteme durchzuführen.

In diesem expliziten Fall werden Zerspanungsprozesse betrachtet, allerdings ist es auf der Prozessebene auch möglich, andere Fertigungsprozesse detailliert zu betrachten, solange ein entsprechendes Simulationsmodell zur Verfügung steht. Weiterhin ist an dieser Stelle von Bedeutung, dass die

verwendeten geometrisch-physikalischen Zerspansimulationen vorab berechnet werden, da die Simulationszeit dieser im Gegensatz zu den anderen verwendeten Simulationstechniken, die eine vielfache Beschleunigung der Realzeit ermöglichen, um ein Vielfaches höher ist. Die Ergebnisse der fachspezifischen Simulationen werden in einer virtuellen Testumgebung zusammengeführt, welche virtuelle Realitätstests ermöglicht und durch eine detailreiche Visualisierung die interdisziplinäre Kommunikation stärkt. Weiterhin ist es Ziel des Projekts, eine Möglichkeit zu entwickeln, um eine ganzheitliche Optimierung von Fabrikssystemen unter Einbeziehung aller Fachbereiche durchzuführen. Der aktuelle Fokus der Forschungsgruppe Smart Efficient Production Systems liegt auf der Implementierung des interdisziplinären Simulationsmodells sowie der Erprobung der geplanten Vorgehensweise anhand eines fiktiven Produktionssystems, das in Abbildung 4-2 dargestellt wird und zur Herstellung eines fiktiven Produkts genutzt werden soll.

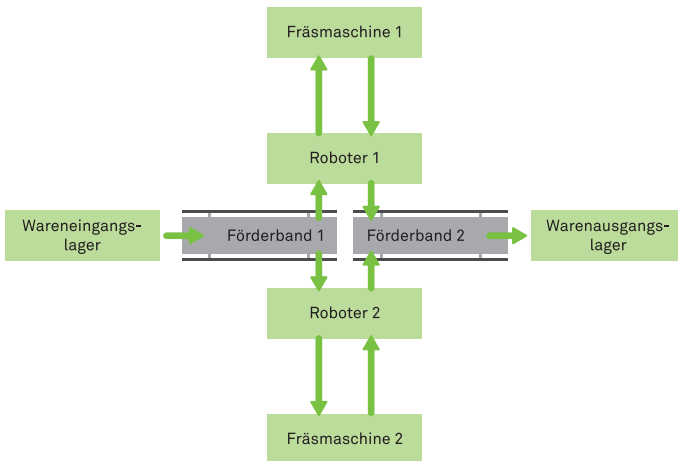


Abbildung 4-2: Schematische Darstellung des fiktiven Produktionssystems

Die verwendeten Modelle beruhen dabei dennoch auf realen Produktionssystemen und Daten. So basieren die modellierten Fräsmaschinen auf ausgewählten realen Bearbeitungszentren, dessen dynamisches Verhalten und Energieverbrauch ermittelt und abgebildet werden [23, 30]. Weitergehend werden die Roboterarme im Hinblick auf ihre Kinematik, die wirkenden Kräfte und Drehmomente sowie dem damit einhergehenden Energieverbrauch modelliert [31, 32].

Publikationsverzeichnis der Forschungsgruppe „Smart Efficient Production Systems“:

Meißner, M.; Wirtz, A.; Myrzik, J. (2017): Modeling of Power Profiles of Milling Machines for the Use in Factory Models to Optimize Energy Efficiency. In: IEEE 2017 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management - IEEE IEEM, Singapur, 2017. Akzeptiert

Wirtz, A.; Meißner, M.; Wiederkehr, P.; Myrzik, J. (2017): Simulation-assisted Investigation of the Electric Power Consumption of Milling Processes and Machine Tools. In: 11th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - CIRP ICME, 17, Ischia, Italien.

Wirtz, A.; Wiederkehr, P. (2017): Mit Virtual Machining Prozesse optimieren. In: NC-Fertigung, 05 (2017), S. 26-29.

Delbrügger T.; Döbbeler F.; Graefenstein J.; Lager H.; Lenz L.; Meißner M.; Müller D.; Regelman P.; Scholz D.; Schumacher C.; Winkels J.; Wirtz A.; Zeidler, F. (2017): Anpassungsintelligenz von Fabriken im dynamischen und komplexen Umfeld,“ ZWF - Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 6 (2017), S. 364-368

Publikationsverzeichnis externer Quellen:

[1] Kagermann, H. (2013): Umsetzungsempfehlungen für das

Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0.

[2] Simon, W. (2013): Blick in die Zukunft: Industrie 4.0 – Die Fusion von Produktionstechnik, Informationstechnologie und Internet. In: Industrial Engineering 2 (2013).

[3] Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik WGP e. V. (Hrsg.); Bauernhansl, T.; Krüger, J.; Reinhart, G.; Schuh, G. (2016): WGP-Standpunkt Industrie 4.0.

[4] acatech (Hrsg.) (2011): Cyber-Physical Systems – Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion, Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, Deutschland.

[5] Geisberger, E.; Cengarle, M. V.; Keil, P.; Niehaus, J.; Thiel, C.; Thönnißen-Fries, H.-J. (2011): Cyber-Physical Systems: Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion, acatech Position (2011), Springer, Berlin, Heidelberg.

[6] Bauernhansl, T. (2015): Geschäftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0: Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau, Stuttgart.

[7] Amberg, J. (2015): Industrie 4.0 und Cyber-physische Systeme – Einordnung und Praxisbeispiel.

[8] Roth, A. (2016): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

[9] Hering, N.; Brandenburg, U.; Frey, D.; Ihne, M.; Meißner, J.; Reschke, J.; Schenk, M. (2015): Whitepaper - Smart Operations.

[10] Kleinemeier, M. (2014): Von der Automatisierungspyramide zu Unternehmenssteuerungsnetzwerken. In: Bauernhansl, T.;

ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.) (2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer, Wiesbaden, S. 571-579.

[11] Grundig, C.-G. (2015): Fabrikplanung: Planungssystematik - Methoden - Anwendungen, 5. Auflage, Hanser, München.

[12] Marwala, T. (2012): Condition Monitoring Using Computational Intelligence Methods, Springer, London.

[13] Mirylenka, K.; Marascu, A.; Palpanas, T.; Fehr, M.; Jank, S.; Welde, G.; Groeber, D. (2013): European Advanced Process Control and Manufacturing Conference (APC|M).

[14] Balz, B.; Bison, M. (2017): Praxisbeispiel: Retrofit 4.0. In: Manzei, C.; Schleupner, L.; Heinze, R. (Hrsg.): Industrie 4.0 im internationalen Kontext – Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends. 2. Auflage, VDE Verlag, Berlin, Offenbach, S. 215-222.

[15] Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V. (BITKOM e. V.); Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA e. V.); Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e. V. (ZVEI e. V.) (Hrsg.) (2015): Umsetzungsstrategie Industrie 4.0: Ergebnisbericht der Plattform 4.0.

[16] Sendler, U. (2013): Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. In: Sendler, U. (Hrsg.): Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. Springer, Berlin, Heidelberg.

[17] Schlick, J.; Stephan, P.; Loskyll, M.; Lappe, D. (2014): Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.) (2014): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer, Wiesbaden, S. 57-84.

[18] Leyh, C.; Schäffer, T.; Bley, K.; Forstehäusler, S. (2016): SIMMI 4.0 – A Maturity Model for Classifying the Enterprisewide IT and Software Landscape Focusing on Industry 4.0, S. 1297-1302.

[19] Yen, Y.-C.; Jain, A.; Altan, T. (2004): A finite element analysis of orthogonal machining using different tool edge geometries. In: Journal of Materials Processing Technology 146 (2004), Nr. 1, S. 72–81.

[20] Ghandehariun, A.; Kishawy, H. A.; Umer, U.; Hussein, H. M. (2016): On tool-workpiece interactions during machining metal matrix composites: investigation of the effect of cutting speed. In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 84 (2016), Nr. 9, S. 2423–2435.

[21] Glänzel, J.; Herzog, R.; Ihlenfeldt, S.; Meyer, A.; Unger, R. (2016): Simulation-based Correction Approach for Thermoelastic Work-piece Deformations During Milling Processes. In: Procedia CIRP 46 (2016), S. 103–106.

[22] Altintas, Y.; Kersting, P.; Biermann, D.; Budak, E.; Denkena, B.; La-zoglu, I. (2014): Virtual process systems for part machining operations. In: CIRP Annals - Manufacturing Technology 63 (2014), Nr. 2, S. 585-605.

[23] Wirtz, A.; Meißner, M.; Wiederkehr, P.; Myrzik, J. (2017): Simulation-assisted Investigation of the Electric Power Consumption of Milling Processes and Machine Tools. In: 11th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - CIRP ICME ,17, Ischia, Italien.

[24] Wiederkehr, P.; Siebrecht, T. (2016): Virtual Machining: Capabilities and Challenges of Process Simulations in the Aerospace Industry. In: Procedia Manufacturing 6 (2016), S. 80–87.

[25] Biermann, D.; Surmann, T.; Kersting, P. (2013): Oscillator-based approach for modeling process dynamics in NC milling with position- and time-dependent modal parameters. In: *Production Engineering* 7 (2013), Nr. 4, S. 417–422.

[26] Aurich, J. C.; Kirsch, B. (2012): Kinematic simulation of high-performance grinding for analysis of chip parameters of single grains. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 5 (2012), Nr. 3, S. 164–174.

[27] Siebrecht, T.; Rausch, S.; Kersting, P.; Biermann, D. (2014): Grinding process simulation of free-formed WC-Co hard material coated surfaces on machining centers using poisson-disk sampled dixel representations. In: *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 7 (2014), Nr. 2, S. 168–175.

[28] Kersting, P.; Joliet, R.; Kansteiner, M. (2015): Modeling and simulative analysis of the micro-finishing process. In: *CIRP Annals - Manufacturing Technology* 64 (2015), Nr. 1, S. 321–324.

[29] Hedtstück, U. (2013): *Simulation diskreter Prozesse – Methoden und Anwendungen*, Berlin Heidelberg: Springer Vieweg Verlag, Deutschland.

[30] Meißner, M.; Wirtz, A.; Myrzik, J. (2017): Modeling of Power Profiles of Milling Machines for the Use in Factory Models to Optimize Energy Efficiency. In: *IEEE 2017 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management – IEEE IEEM*, Singapur, Akzeptiert.

[31] Roßmann, J.; Kaigom, EG.; Atorf, L.; Schlette, C. (2013): From space to manufacturing industry: New approaches of eRobotics to serve today's and future manufacturing needs. In: *Dangelmaier, W.; Laroque, C.; Klaas, A. (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik - Entscheidungsunterstützung von der*

Planung bis zur Steuerung, Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, S. 417-426.

[32] Kaigom, EG.; Priggemeyer, M.; Roßmann, J. (2014): 3D Advanced Simulation Approach to Address Energy Consumption Issues of Robot Manipulators - An eRobotics Approach. In: Proceedings for the joint International Conference of ISR/ROBOTIK 2014 – 45th International Symposium on Robotics (ISR 2014) and the 8th German Conference on Robotics (ROBOTIK 2014), VDE Verlag Berlin, S. 737-742.

ENTWICKLUNG EINES INTELLIGENTEN ENERGIEEFFIZIENZZYKLUS FÜR ADAPTIVE PRODUKTIONSSYSTEME



MATTHIAS MEIßNER

Studium: Elektro- und Informationstechnik,
TU Dortmund

Einrichtung: Institut für Energiesysteme,
Energieeffizienz und Energiewirtschaft
(Fakultät für Elektro- und Informationstechnik)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Johanna Myrzik

Ausgangssituation und Problemstellung

Der industrielle Sektor weist in Bezug auf die Ressourcen- und Energieeffizienz ein großes Potential auf, welche insbesondere für die Erreichung der weltweiten Klimaziele genutzt werden muss. Weiterhin bietet die Steigerung der Effizienz aber auch einen wirtschaftlichen Vorteil für die Unternehmen im Bereich der Energiekosteneinsparungen [1]. Insbesondere im Rahmen der Energieeffizienz ergibt sich aber die Problematik, dass das Wissen über die Energiebedarfsstrukturen von Fabrikssystemen nur begrenzt vorhanden ist. Vor allem fehlen Informationen über die Interdependenzen zwischen verschiedenen Produktionsprozessen in Bezug auf die Energieeffizienz. Es ist also von Interesse herauszufinden, wie ein Prozess die Effizienz eines anderen Prozesses beeinflusst. Dieses Wissen kann im Folgenden dann verwendet werden, um die Energieeffizienz des gesamten Fabriksystems zu optimieren. Hierdurch können demnach nicht nur einzelne Produktionsprozesse, sondern vollständige Systeme samt den Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Prozessen betrachtet und optimiert werden [2]. Weitergehend spielt dieses Wissen auch für den intelligenten Anpassungsprozess eine Rolle.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Zur Darstellung der Interdependenzen zwischen den Produktionsprozessen wird ein Kennzahlensystem entwickelt, welches sowohl die Effizienz einzelner Prozesse als auch die Interaktionen zwischen unterschiedlichen Prozessen beschreibt. Dabei wird darauf Wert gelegt, dass die Kennzahlen in der Lage sind, Prozesse zu beschreiben, die über eine beliebige Anzahl von Ein- und Ausgangsgrößen verfügen. Als Basis dient an dieser Stelle ein Kennzahlensystem, welches vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit entwickelt worden ist [3]. Zur Beschreibung der Effizienz einzelner Prozesse werden insgesamt drei Prozesszustandskennzahlen genutzt. Dabei beschreibt der Energy Performance Indicator (EPI) die Ef-

fizienz in Bezug auf eine Ein- und eine Ausgangsgröße. Mithilfe der EPIs werden anschließend die Combined Performance Indicators (CPI) berechnet, welche den Zusammenhang zwischen allen Eingangsgrößen und einer Ausgangsgröße beschreiben. Hierbei werden die unterschiedlichen Eingangsgrößen mithilfe von Gewichtungsfaktoren bewertet, sodass beachtet wird, dass nicht jede Größe den gleichen Einfluss auf die Effizienz hat. Unter Verwendung der CPIs kann der sogenannte Grade Performance Indicator (GPI) bestimmt werden. Dieser beschreibt unter Zuhilfenahme eines Referenzsystems die gesamte Energieeffizienz eines Produktionsprozesses in Abhängigkeit aller Ein- und aller Ausgangsgrößen.

Dieses Referenzsystem beschreibt dabei den idealen Produktionsprozess. Durch Bildung des Verhältnisses der GPIs zweier Produktionsprozesse werden dann weitergehend die Prozessinterdependenzkennzahlen ermittelt. Erste simulative Analysen haben gezeigt, dass die drei Prozesszustandskennzahlen in der Lage sind, die Energieeffizienz von Produktionsprozessen korrekt abzubilden. Hierbei wird ein schematischer Produktionsprozess genutzt, dessen diverse Parameter, wie Ein- und Ausgangsgrößen oder Bearbeitungs- und Leerlaufzeiten, variiert werden, um das Verhalten der Kennzahlen zu analysieren. Weitergehend wird als nächstes das Verhalten der Interdependenzkennzahlen auf ähnliche Weise untersucht.

Referenzen

[1] Hopf, H. (2016): Methodik zur Fabrikssystemmodellierung im Kontext von Energie- und Ressourceneffizienz. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, Deutschland, 2016.

[2] Meißner, M.; Wirtz, A.; Myrzik, J. (2017): Modeling of Power Profiles of Milling Machines for the Use in Factory Models to Optimize Energy Efficiency. In: IEEE 2017 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management – IEEE IEEM, Singapur, 2017. Akzeptiert

[3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Entwicklung einer Methodik zur Aufstellung von Energiekennzahlen zur Steigerung der Energieeffizienz in Unternehmen: Methodik zur Aufstellung von Energiekennzahlen. Berlin, Deutschland, 2015.

SIMULATIONSGESTÜTZTE BEWERTUNG VON ZERSPANPROZESSEN IM RAHMEN DER ANPASSUNGSPLANUNG



ANDREAS WIRTZ

Studium: Maschinenbau, TU Dortmund

Einrichtung: Institut für Spanende Fertigung
(Fakultät Maschinenbau)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Inform. Petra
Wiederkehr, Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann

Ausgangssituation und Problemstellung

Die Neu- und Anpassungsplanung von Fabrikssystemen erfordert im Bereich der Fertigungsplanung effiziente und effektive Prozesse zur Analyse und Bewertung verschiedener Handlungsalternativen. Zur Unterstützung der Anpassungsplanung ist eine detaillierte und schnell anpassbare Datenbasis zu wichtigen Prozesskennzahlen, wie beispielsweise Durchlaufzeiten, Qualität der gefertigten Bauteile sowie Energieverbrauch, notwendig.

Diese Daten sind allerdings für neue Produkte sowie für Prozesse, die noch nicht durchgeführt worden sind, in der Regel noch nicht vorhanden. Um aufwändige und langwierige Versuchsreihen zu reduzieren, können Prozesssimulationen eingesetzt werden. Bisher bestehen allerdings verschiedene Simulationsansätze mit unterschiedlichen Betrachtungshorizonten und Detaillierungsgraden, die nur bedingt zusammenarbeiten und Prozesse für die Fabrikplanung nicht ausreichend interdisziplinär abbilden. Geometrisch-physikalische Prozessmodelle ermöglichen beispielsweise Zerspanprozesse unter Berücksichtigung der Prozesskräfte, Prozessstabilität, der Bearbeitungszeiten sowie thermisch bedingter Werkstückdeformationen zu analysieren und zu optimieren; aber ermöglichen bisher keine ebenenübergreifenden Simulationen.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Das Ziel dieser Dissertation besteht darin, effiziente Prozesssimulationen für die Integration in den Fabrikplanungsprozess zu qualifizieren, um eine anforderungsgerechte Auswahl geeigneter Werkzeugmaschinen sowie eine optimierte Prozessauslegung zu ermöglichen. Hierzu werden zunächst relevante Kennwerte zur Bewertung von Zerspanprozessen mit geometrisch bestimmter Schneide identifiziert, die zur Bewertung der Bauteilqualität, Bearbeitungszeit, Prozesssicherheit und Energieeffizienz genutzt werden können. Anschließend wird eine

bestehende geometrisch-physikalische Prozesssimulation erweitert, um eine anwendungsgerechte effektive Möglichkeit zur Bestimmung, Analyse und Bewertung dieser Daten zu schaffen. Hierzu wird unter anderem eine Modellierung der elektrischen Leistungsaufnahme bzw. des Energieverbrauchs von Zerspanprozessen und Bearbeitungszentren erarbeitet und hinzugefügt. Anhand von Messungen an verschiedenen ausgetesteten 4- und 5-Achs-Bearbeitungszentren wird eine empirische Datenbasis generiert, die zur Beschreibung der Grundlast in verschiedenen Betriebszuständen sowie der Verlustleistungen der verschiedenen Antriebe genutzt werden kann.

Hierbei werden Faktoren, wie die Beschleunigung und Verfahrgeschwindigkeit der Vorschubantriebe, sowie Zusatzaggregate, wie die Kühlschmierstoffversorgung, berücksichtigt. In Verbindung mit einem Modell zur Bestimmung der benötigten Prozessleistung wird die Gesamtleistungsaufnahme bestehender Werkzeugmaschinen bestimmt.

Die simulierten Ergebnisse fließen anschließend unter Nutzung eines virtuellen Fabrikmodells in den Anpassungsplanungsprozess ein. In diesem Kontext wird eine Vorgehensweise zur sukzessiven Optimierung der Prozessauslegung unter Berücksichtigung der Vorgaben der im Anpassungsplanungsprozess übergeordneten Fabrikebene erarbeitet und anhand exemplarischer Prozesse erprobt.

ENTWICKLUNG EINES AUFTRAGSFREIGABE- VERFAHRENS BEI SELBSTSTEUERUNG IN EINER FREI VERKETTEN MONTAGE



DANIEL MÜLLER

Studium: Maschinenbau, Universität Siegen

Einrichtung: Lehrstuhl für Unternehmens-
logistik (Fakultät Maschinenbau)

Betreuer: Prof. Dr. Michael Henke

Ausgangssituation und Problemstellung

In einem Produktionsumfeld, das durch einen hohen Grad an Dynamik und Komplexität geprägt ist, gelten dezentral-heterarchische Fertigungssteuerungsstrukturen hinsichtlich der logistischen Zielerreichung gegenüber gängigen zentral-hierarchischen Systemen mit deterministischer Vorausplanung als vielversprechender [1 - 6]. Die aktuellen technologischen Entwicklungen in Richtung cyber-physischer Produktionssysteme schaffen mit durch eine Verfügbarkeit von Rückmeldedaten in Echtzeit die Voraussetzung zur praktischen Umsetzung selbststeuernder Steuerungsverfahren [5,7]. Situationsabhängige Entscheidungen dieser Systeme führen jedoch zu erraticem Systemverhalten, sodass zukünftige Systemzustände lediglich stochastisch beschrieben werden können [8]. Dies steht der in der Praxis gelebten Produktion anhand eines deterministisch festgelegten Produktionsplans entgegen. Die wesentliche Herausforderung bei der Anwendung selbststeuernder Verfahren ist daher die Gewährleistung einer permanent hohen logistischen Zielerreichung. Dazu bedarf es weiterer Erkenntnisse über die Interdependenzen und Ursache-Wirkungszusammenhänge autonomer Steuerungsverfahren zur Konfiguration zeitgemäßer Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung.

Die Auftragsfreigabe hat als Aufgabe der Produktionssteuerung und Bindeglied zur Produktionsplanung entscheidenden Einfluss auf die logistische Zielerreichung eines Produktionssystems [9, 10]. Bei der Gestaltung autonomer Steuerungsverfahren kommt der Auftragsfreigabe daher eine zentrale Rolle zu.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Das Dissertationsvorhaben behandelt die Gestaltung eines Auftragsfreigabeverfahrens im Kontext selbststeuernder Steuerungsverfahren. Das Betrachtungsszenario der Dissertation stellt ein innovatives Endmontagekonzept gemäß dem

Internet- der-Dinge-Prinzip dar. Das System besteht aus einzelnen Montagestationen mit verschiedenen Prozessfähigkeiten, die durch fahrerlose Transportfahrzeuge (FTF) logistisch verknüpft sind. Dieser frei verketteten Aufbau zeichnet sich durch eine deutlich erhöhte Durchlaufflexibilität und Robustheit gegenüber Montagen nach dem Fließprinzip aus. Durch die Echtzeitdatenverfügbarkeit ermöglicht das System den Einsatz autonomer Steuerungsverfahren. Auf Basis des Montagekonzepts werden zunächst Anforderungen an ein Auftragsfreigabeverfahren abgeleitet, sodass die Zweckmäßigkeit von in der Literatur bestehenden Verfahren ermittelt wird. Das zentrale Ziel der Arbeit ist der Aufbau eines spezifischen Verfahrens zur Auftragsfreigabe in Kombination mit einer autonomen Produktionssteuerung. Eine simulative Evaluierung soll die Verbesserung der logistischen Zielerreichung infolge des entwickelten Auftragsfreigabekonzepts aufzeigen. Damit schafft die Arbeit Erkenntnisse im Bereich dezentraler Steuerungsverfahren und trägt zum Fortschritt dieses Forschungsbereichs bei.

Referenzen:

- [1] Gan, H.; Wirth, A. (2005): Comparing deterministic, robust and online scheduling using entropy. *International Journal of Production Research* 43 (2005) 10, S. 2113-2134.

- [2] Windt, K.; Becker, T.; Jeken, O.; Gelessus, A. (2010): A classification pattern for autonomous control methods in logistics. *Logistics Research*, 2(2): S. 109-120.

- [3] Schubert, A. (2013): Voraussicht zur Verbesserung der Zielerreichung bei prioritätsregelgesteuerter Produktion. Dissertation, Universität Passau, Passau.

- [4] Scholz-Reiter, B.; Rekersbrink, H.; Görges, M. (2010): Dynamic flexible flow shop problems—Scheduling heuristics vs. Autonomous control. *CIRP Annals – Manufacturing Technology* 59 (2010), S. 465-468.

[5] Scholz-Reiter, B.; Freitag, M.; Schuhkraft, S.; Grundstein, S. (2015): Planorientierte autonome Fertigungssteuerung. Simulationsbasierte Untersuchung der Planeinhaltung und der logistischen Zielerreichung. In: Werkstatttechnik online 105 (4), S. 220-224.

[6] Valckenaers, P.; Brussel, H. van (2005): Holonic Manufacturing Execution Systems. CIRP Annals – Manufacturing Technology 54 (2005) 1, S. 427-430.

[7] Schmidt, M.; Fronia, P.; Fisser, F.; Nyhuis, P. (2007): Decentralized planning and control for assembly areas driven by Gentelligent@ parts. In: Helander, M. (Hrsg.) (2007): IEEM 2007. [Piscataway, NJ]: IEEE 2007, S. 1088-1092.

[8] Böckenkamp, A.; Mertens, C.; Prasse, C.; Stenzel, J.; Weichert F. (2017): A Versatile and Scalable Production Planning and Control System for Small Batch Series. In: Jeschke, S.; Brecher, C.; Song, H.; Rawat, D. B. (Hrsg.) (2017): Industrial Internet of Things. Cham: Springer International Publishing, S. 540-559.

[9] Wein, L. M.; Chevalier, P. B. (1992): A broader view of the job shop scheduling problem. Management Science, 38(7): S. 1018-1033.

[10] Qi, C.; Sivakumar, A. I.; Gershwin, S. B. (2009). An efficient new job release control methodology. International Journal of Production Research, 47(3), S. 703-731.

SIMULATION VON SPANENDEN BEARBEITUNGSVERFAHREN MIT GEOMETRISCH UNBESTIMMTER SCHNEIDE



TOBIAS SIEBRECHT

Studium: Informatik, TU Dortmund

Einrichtung: Institut für Spanende Fertigung
(Fakultät Maschinenbau) und „Virtual
Machining“, Lehrstuhl 14 für Software
Engineering (Fakultät für Informatik)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Dirk Biermann,
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Inform. Petra Wiederkehr

Ausgangssituation und Problemstellung

Für unterschiedliche Anwendungen im Bereich der Produktionstechnik werden Simulationssysteme entwickelt und eingesetzt, um Prozesse auszulegen und zu optimieren. Die Zielgrößen dabei sind beispielsweise die Prozesskräfte oder die charakteristischen Oberflächentopographien, die bei Fräsprozessen durch Ratterschwingungen hervorgerufen werden. Hierzu wurden geometrisch-physikalische Simulationsmodelle entwickelt, mit denen etwa eine Prozessoptimierung durch die Berechnung von Stabilitätsdiagrammen möglich ist. Derartige Simulationsansätze lassen sich auf Prozesse mit geometrisch unbestimmter Schneide übertragen, wie beispielsweise das Schleifen oder Honen. Ein Einsatzziel ist dabei die Strukturierung von Funktionsflächen bei der Fertigung von Umformwerkzeugen, um deren Standzeit zu erhöhen. Hierzu ist eine Vorhersage der entstehenden Oberflächentopographien notwendig, die stark durch den Verschleiß der Schleifwerkzeuge beeinflusst werden. Somit ist eine Modellierung des Werkzeugverschleißes und der auftretenden Werkzeugbelastung notwendig.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Der Fokus dieser Arbeit liegt in der simulativen Betrachtung von spanenden Bearbeitungsverfahren mit geometrisch unbestimmter Schneide. Neben einer Betrachtung der makroskopischen Eingriffssituation auf Basis geometrischer Ersatzmodelle der Umhüllenden des Werkzeugs werden zusätzlich einzelne Körner betrachtet. Für die Abbildung der Körner werden möglichst effiziente Modelle entwickelt und eingesetzt, sodass die Simulation eines vollständigen Werkzeugs trotz der hohen Anzahl an Schneiden realisierbar ist. Die Darstellung der einzelnen Körner kann dabei beispielsweise als Höhenfeld oder Punktwolke erfolgen. Um einen handhabbaren Speicherbedarf zu gewährleisten, erfolgt eine stochastische Verteilung exemplarischer Korntypen, sodass nicht jedes Korn

explizit gespeichert werden muss. Anhand der berechneten Überschneidung dieser Kornmodelle mit dem Werkstück werden die unterschiedlichen Materialabtragsmechanismen abgebildet und die entstehende Oberflächentopographie vorhergesagt. Elastisches und plastisches Materialverhalten wird dabei ebenfalls durch effiziente Ersatzmodelle repräsentiert, um beispielsweise die Entstehung von Aufwürfen zu simulieren.

Anhand der auftretenden mechanischen Werkzeugbelastung soll der Verschleiß der Werkzeuge und der einzelnen Körner modelliert werden. Die Einzelkornmodelle erlauben dabei eine Darstellung unterschiedlich stark verschlissener Kornformen, wodurch auch der Einfluss auf die entstehende Werkstückoberfläche berücksichtigt wird. Mit dem entwickelten Simulationssystem soll es möglich sein, Bearbeitungsprozesse für Funktionsflächen auszulegen und gezielt Oberflächenstrukturen zu erzeugen. Mit diesen Oberflächenstrukturen soll eine zielgerichtete Beeinflussung des Materialflusses bei Umformprozessen ermöglicht werden. Hauptaugenmerk ist dabei die Betrachtung von fünfsichtigen NC-Formschleifprozessen auf Bearbeitungszentren mit galvanisch- und kunstharzgebundenen Diamantschleifstiften.

TAYLORS AGENTEN. EINE ARBEITSSOZIOLOGISCHE ANALYSE MOBILER ASSISTENZSYSTEME FÜR INDUSTRIE 4.0



JONATHAN FALKENBERG

Studium: Wirtschaftswissenschaften,
TU Dortmund

Einrichtung: Forschungsgebiet Industrie-
und Arbeitsforschung (Fakultät Wirt-
schaftswissenschaften)

Betreuer: Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen

Ausgangssituation und Problemstellung

Das Promotionsvorhaben rückt die mit der zunehmenden Verbreitung digitaler Assistenzsysteme – wie Datenbrillen oder Smartwatches – einhergehenden Folgen für Industriearbeit in den Fokus. Unter Assistenzsystemen werden mobile Geräte verstanden, die Arbeitsanweisungen, Lerninhalte und Informationen audio-visuell aufbereiten. Zu den typischen Anwendungsgebieten zählen die Kommissionierung, Montage sowie Instandhaltung. Die grundlegende Intention ihres Einsatzes liegt darin, auf Basis formalisierter Wissensbestände sowie im Betrieb anfallender Daten zu anpassungsfähigeren sowie effizienteren Wertschöpfungs- und Kommunikationsprozessen beizutragen, indem diese Daten als mehr oder weniger vordimensionierte Informationen, Handlungsempfehlungen oder Anweisungen an die Beschäftigten weitergereicht werden.

Eine zentrale Befürchtung indes ist, dass Assistenzsysteme für die Umsetzung weitreichender Leistungs- und Verhaltenskontrollen genutzt werden. Dies erscheint mit dem Einsatz von Assistenzsystemen in zweierlei Hinsicht realisierbar: Erstens, indem die Systeme den Beschäftigten detaillierte Vorgaben über ihre Arbeitsinhalte sowie ihre -geschwindigkeit machen und Abweichungen beispielsweise durch Fehlermeldungen sanktionieren.

Zweitens, indem sie die geleistete Arbeit selbst sowie dabei anfallende Standort- oder Bewegungsdaten dokumentieren und damit ein individuelles Leistungsprofil offenlegen. In der Konsequenz entstünde durch Assistenzsysteme eine permanente Drohkulisse der Überwachung und Kontrolle, die die Beschäftigten disziplinieren. Zugespielt formuliert, es verbinden sich mit ihnen Dystopien über eine Perfektionierung tayloristischer Arbeitsteilung und einer Degradierung von Arbeit, indem sie die Handlungssouveränität der Beschäftigten beschränken.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Neben einer systematischen Darstellung von Assistenzsystemen und ihren industriellen Anwendungsgebieten richtet sich der Blick insbesondere auf die Frage nach den jeweiligen betrieblichen Einsatzmotiven. Anhand von qualitativen Betriebsfallstudien wird untersucht, ob und wie Assistenzsysteme zur Kontrolle der Beschäftigten eingesetzt werden und welche Arbeitsfolgen damit einhergehen. In diesem Kontext soll auch betriebs- und arbeitspolitischen Fragen nachgegangen werden, wie den Gestaltungsstrategien von Betriebsräten bei Datenschutz, Leistungs politik und Qualifizierung.

Es wird erwartet, dass Assistenzsysteme vor allem in logistischen Funktionsbereichen anzutreffen sind, weil sie eine schnelle und ergonomische Informationsübermittlung bei kurzen Amortisationszeiträumen gewährleisten können. Diese Tätigkeitsfelder werden von repetitiven und kurzzyklischen Arbeitsprozessen dominiert, in denen die Beschäftigten immer schon mit exakten Vorgaben konfrontiert waren, was durch den Einsatz von Assistenzsystemen verstärkt wird.

ENTWICKLUNG VON REGELUNGSTECHNISCHEN KONZEPTEN FÜR PRODUKTIONSSYSTEME DER BLECHINDUSTRIE



CARINA MIETH

Studium: Elektro- und Informationstechnik,
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Einrichtung: Lehrstuhl für Unternehmens-
logistik (Fakultät Maschinenbau)

Betreuer: Prof. Dr. Michael Henke

Ausgangssituation und Problemstellung

Der zunehmende Wunsch nach Personalisierung [1] [2] sowie die neuen Möglichkeiten durch cyber-physische Systeme [3] und Cloud-Dienste [3] führen auch in der Blechindustrie zu komplexeren Prozessen auf Shopfloor-Ebene [4]. Die Produktion der Zukunft muss schneller und flexibler werden [5], um die zunehmende Variantenvielfalt beherrschen zu können. Für ein tiefgehendes Verständnis von Produktionssystemen und zur objektiven Entscheidungsunterstützung, wie z.B. beim Priorisieren von Produktionsaufträgen, kann der digitale Zwilling der Fabrik herangezogen werden. Bisher gibt es jedoch keine Standardmodellierung für die Abbildung einer Smart Factory durch ihren digitalen Zwilling [6]. Daher wird ein generisches Fabrikmodell auf Shopfloor-Ebene benötigt [7], welches alle am Produktionsprozess beteiligten Maschinen und Individuen berücksichtigt und welches als Grundlage für die Entwicklung von regelungstechnischen Verfahren dienen kann. Ein solches Modell kann darüber hinaus eine Quantifizierung des Produktnutzen von I4.0 Produkten noch vor dem ersten Prototypen ermöglichen (Frontloading).

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

In dieser Arbeit sollen Ansätze und Methoden aus der Intralogistik und der Regelungstechnik auf Shopfloor-Ebene vereint werden. Die zu entwerfenden Regelungskonzepte zielen darauf ab, die Anpassungsintelligenz der Fabrik bei ungeplanten Ereignissen (Störungen) zu verbessern. So können sich zukünftige Prozesse adaptiv an geänderte Rahmenbedingungen anpassen. Mögliche Handlungsfelder auf Shopfloor-Ebene sollen aufgezeigt werden, mit denen die Produktionszielfunktion optimiert werden kann.

Zunächst wird ein modularer ressourcenorientierter Modellierungsansatz abgeleitet, welcher den gesamten Produktionsprozess auf Shopfloor-Ebene abzubilden vermag. Als Eingangsgrößen des Fabrik-Modells fungieren z.B.

Auftragsdaten, das Fabriklayout und die ermittelten Positionen eines Indoor Positioning Systems (IPS). Damit wird das Tracking bestimmter Materialien und Werkstücke im Produktionsprozess ermöglicht. Als Ergebnis der Simulation eines Beispielmodells erhält man u.a. relevante Informationen über bestimmte KPI's wie z.B.: die Durchlaufzeiten.

Zur Verifikation des Modellierungskonzepts sollen auch Simulationsmodelle von realen Produktionssystemen erstellt und validiert werden, wie z.B. von der TRUMPF Smart Factory in Chicago.

Referenzen:

[1] Rebecca Duray, Peter Ward, Glenn Milligan, William Berry, Approaches to Mass Customization Configurations and Empirical Validation, In Journal of Operations Management, Volume 18, Issue 6, 2000, Pages 605-625, ISSN 0272-6963, [https://doi.org/10.1016/S0272-6963\(00\)00043-7](https://doi.org/10.1016/S0272-6963(00)00043-7).

[2] Joanna Daaboul, Catherine Da Cunha, Alain Bernard, Florent Laroche, Design for Mass Customization: Product Variety vs. Process Variety, In CIRP Annals, Volume 60, Issue 1, 2011, Pages 169-174, ISSN 0007-8506, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2011.03.093>.

[3] Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg“; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) und Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden-Württemberg; Dominik Lucke, David Görzig, Marvin Kacir, Johannes Volkmann, Christoph Haist, Marco Sachsenmaier, Hannes Rentschler; 2014; https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Innovation/IPA_Strukturstudie_Industrie_4.0_BW.pdf

[4] Klaus-Dieter Thoben, Stefan Wiesner, and Thorsten Wuest. „Industrie 4.0“ and Smart Manufacturing – A Review of

Research Issues and Application Examples.“ International Journal of Automation Technology Vol. 11.1 (2017).

[5] Article (Mehrabi2000) Mehrabi, M. G.; Ulsoy, A. G. & Koren, Y. Reconfigurable Manufacturing Systems: Key to future manufacturing Journal of Intelligent Manufacturing, 2000, 11, 403-419.

[6] R. Petrasch and R. Hentschke. Process Modeling for Industry 4.0 Applications: Towards an Industry 4.0 Process Modeling Language and Method. In 2016 13th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE), pages 1—5, July 2016.

[7] Prof. Dr. Henning Kagermann, Prof. Dr. Wolfgang Wahlster, Dr. Johannes Helbig; Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0; 2.10.2012; Online: https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/21752/Umsetzungsempfehlungen_Industrie_4.0_final_2012-10-02.pdf?command=downloadContent&filename=Umsetzungsempfehlungen_Industrie_4.0_final_2012-10-02.pdf.

SOZIOTECHNISCHE SYSTEMGESTALTUNG IN DER INTRALOGISTIK VOR DEM HINTERGRUND DIGITALER TRANSFORMATION



JOHANNES DREGGER

Studium: Logistik, TU Dortmund

Einrichtung: Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen (Fakultät Maschinenbau)

Betreuer: Prof. Dr. Dr. h. c. Michael ten Hompel, Prof. Dr. Hartmut Hirsch-Kreinsen

Ausgangssituation und Problemstellung

Die fortschreitende Digitalisierung hat nicht nur erheblichen Einfluss auf das Privatleben und die Gesellschaft, sondern auch auf die Geschäftsprozesse in Logistik und Produktion. Die Auswirkungen dieser digitalen Transformation sind mit weitreichenden Auswirkungen auf die Arbeitssysteme in der Intralogistik verbunden. Neue Organisationsformen (bspw. Autonomie und Dezentralität) und Technologien (bspw. Assistenzsysteme oder Roboter) haben unmittelbaren Einfluss auf manuelle Arbeitsprozesse. Eine zentrale Funktion der Intralogistik stellt die Kommissionierung dar, die zugleich deren personalintensivster Bereich ist. Die digitale Transformation hat in diesem Bereich folglich die weitreichendsten Auswirkungen auf die Mensch-Technik-Interaktion. Wie diese Arbeitssysteme zukünftig aussehen werden, ist jedoch insbesondere in zweierlei Hinsicht unklar. Zum einen, unter welchen Rahmenbedingungen sich welche Technologien verbreiten werden. Zum zweiten, was die daraus resultierenden Auswirkungen auf das sozio-technische Arbeitssystem sind.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Der Teilbereich der Kommissioniersysteme, der als Betrachtungsrahmen der Arbeit dient, ist durch eine große Bandbreite hinsichtlich des Digitalisierungsgrads charakterisiert. Die jeweiligen Systeme können sich maßgeblich durch Branche oder Zielgrößen unterscheiden. Die Verbreitung digitaler Technologien unterscheidet sich folglich nach den Anforderungen der jeweiligen Systeme. Primäres Ziel der Arbeit ist die Untersuchung domänenspezifischer Entwicklungsperspektiven von Mensch-Technik-Interaktion in der Kommissionierung. Dies wird deduktiv mithilfe der Systemtheorie hergeleitet, basierend auf einer Potentialanalyse digitaler Technologien in der Kommissionierung. Des Weiteren werden Einflussfaktoren (d.h. Systemparameter) abgeleitet, die eine digitale Gestaltung von Kommissioniersystemen beeinflussen. Diese ergeben sich aus

technologischen und branchenspezifischen sowie aus gesellschaftlichen und sozialen Anforderungen und Rahmenbedingungen. Durch diese Kombination entsteht eine ganzheitliche Betrachtungsperspektive. Anschließend wird die Verbreitung der identifizierten Kerntechnologien hinsichtlich ausgewählter Einflussfaktoren untersucht. Erreicht wird dies durch eine quantitative Studie mit Logistikexperten. Dies ermöglicht in der Folge eine Ableitung domänenspezifischer Entwicklungsperspektiven der Mensch-Technik-Interaktion in Kommissioniersystemen. Domänen in diesem Sinne sind Systeme, die durch individuelle Charakteristika gekennzeichnet sind und sich aus den o.g. Einflussfaktoren ableiten.

Anhand der entwickelten Entwicklungsperspektiven für eine Mensch-Technik-Interaktion erfolgt die Betrachtung von Kommissioniersystemen als soziotechnische Systeme. Dies stellt das sekundäre Ziel der Arbeit dar. Basierend auf den Wechselwirkungen zwischen Mensch, Technik und Organisation innerhalb der domänenspezifischen Entwicklungsperspektiven werden zum einen Lösungen in Form von Handlungsempfehlungen für die Gestaltung von Kommissioniersystemen generiert. Zum anderen werden Elemente einer ganzheitlichen Gestaltung von Kommissioniersystemen unter den Rahmenbedingungen der digitalen Transformation abgeleitet.

VIRTUALISIERUNG

Beteiligte Doktoranden:

Tim Delbrügger

(Robotertechnik / RIF Institut für Forschung und Transfer e.V.)

Lisa Theresa Lenz

(Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen / Lehrstuhl Baubetrieb und Bauprozessmanagement)

Felix Zeidler

(Fakultät Maschinenbau / Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen)

5.0

5.1.

AUSGANGSSITUATION

Um die immer schneller zunehmende Variantenvielfalt und Absatzvolatilität im Umfeld der industriellen Produktion beherrschen zu können, werden neue Methoden und Werkzeuge benötigt, die möglichst alle beteiligten Disziplinen eines Unternehmens vereinen und Entscheidungen bei der Planung oder Anpassung einer Fabrik umfassend unterstützen. Kernbegriff ist hierbei die Virtualisierung.

Virtualisierung beschreibt die Erstellung eines digitalen Abbildes (des sogenannten digitalen Zwillinges) auf Basis eines realen Systems, wobei nicht nur die statische Geometrie gespeichert, sondern auch das dynamische Verhalten der Objekte innerhalb des betrachteten Systems vom digitalen Zwilling imitiert wird. Damit geht Virtualisierung über den Begriff der Digitalisierung hinaus, welche lediglich einen digitalen Schatten des Realsystems erzeugt, jedoch dessen Verhaltensstruktur unberücksichtigt lässt. Wird bspw. ein Brief mittels Scanvorgang in ein PDF-Dokument überführt, so wird dieser digitalisiert (das PDF-Dokument stellt den digitalen Schatten des physischen Briefes dar). Wird jedoch bspw. ein Tablet verwendet, um mittels Stiftfunktion Änderungen bzw. Ergänzungen an dem Brief vorzunehmen, so wurde der Brief virtualisiert. Durch die zusätzliche Übernahme des realen Verhaltens (Brief kann mittels Stift geändert/erweitert werden) in die virtuelle Welt wurde ein digitaler Zwilling des Briefes erzeugt.

Im DFG Graduiertenkolleg 2193 „Anpassungsintelligenz im dynamischen und komplexen Umfeld“ stellt die Entwicklung des digitalen Zwillinges einer realen Fabrik die zentrale Plattform zur interdisziplinären Zusammenarbeit dar. Analog zum vorherigen Beispiel beschäftigt sich die Forschungsgruppe Virtualisierung insbesondere damit, auch das Verhalten und die Semantik von Fabriken und ihrem komplexen Innenleben virtuell abzubilden. Dabei gibt es drei Bausteine: das Fabrikgebäude bildet den Rahmen, Produktion und Logistik füllen diesen mit

dynamischem Innenleben und das virtuelle Testbed sorgt für die technische Zusammenführung.

In der Planung und Abwicklung von Bauprojekten lassen eine Vielzahl verschiedener Projektbeteiligter, Projektmanagement- sowie Projektabwicklungsaufgaben, die Berücksichtigung von Witterungseinflüssen und differierende Standorteigenschaften sowie viele weitere Parameter, ein Bauprojekt per se zu einer hochkomplexen Aufgabe werden. Im Rahmen des Forschungsprojektes „Anpassungsintelligenz von Fabriken in einem dynamischen und komplexen Umfeld“, werden diese bauprojektspezifischen Charakteristiken zusätzlich aufgrund der gesamtheitlichen Betrachtung des soziotechnischen Systems Fabrik durch weitere Disziplinen beeinflusst. Ergänzend wird in Zusammenspiel mit Faktoren, wie Bauen im Bestand sowie unter laufendem Betrieb daraus resultierend, die Komplexität maßgeblich erhöht.

Ziel des Vorhabens aus Sicht der Gebäudeplanung ist die Zusammenführung der Informationen rund um das Gebäude in einem sogenannten Bauwerksinformationsmodell (Building Information Model). Die bauteilorientierte 3D-Planung, die sowohl geometrische Informationen der Bauteile als auch alle weiteren für das Bauteil relevanten Informationen enthält, wird durch Zeitansätze ergänzt. Das bedeutet, dass die Abhängigkeiten hinsichtlich beispielsweise der Bauzeit mit einem 3D-Modell verknüpft werden, um die erforderlichen baulichen Anpassungen am Gebäude in Hinblick auf terminliche Abläufe und Abhängigkeiten optimieren zu können. Als weitere Dimension werden Daten- und Prozessanbindungen der Kalkulation in das Modell implementiert. Diese Informationen können zu unterschiedlichsten Zwecken, wie zur Entscheidungsunterstützung, Auslösung von Bestellungen, Abrechnung, Inbetriebnahme und Wartung, o.ä. genutzt werden. Dieses Prinzip wird in Abbildung 5-1 am Beispiel des Bauteils Bodenplatte verdeutlicht.

Durch ein Gebäudeinformationsmodell mit den für die zu betrachtende Fabrik relevanten Daten, soll der Anpassungsprozess in der Vorbereitungsphase verkürzt sowie unterstützt werden.

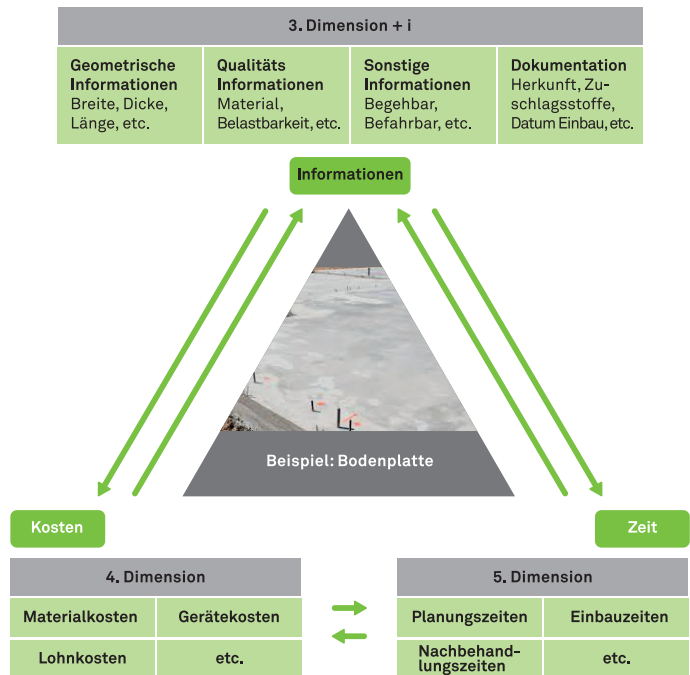


Abbildung 5-1: in Anlehnung an BIM-Datenmanagement

Die Tatsache, dass die Prozesse der **Intralogistik** in vielen Unternehmen auch heute noch als Verschwendung angesehen werden, führt u. a. zu einer mangelnden Berücksichtigung bei der Planung von Fabrikssystemen. Im Rahmen der klassischen Fabrikplanung werden zu Beginn die wertschöpfenden Arbeitsstationen wie Produktions- oder Montagestationen berücksichtigt, bevor anschließend die intralogistischen Pro-

zesse bestmöglich in den Status Quo eingepasst werden. Aufgrund der enormen Komplexität eines Fabrikplanungsprojektes kommt hinzu, dass jede Fachabteilung im ersten Schritt ihre eigenen Konzepte und Lösungen isoliert von anderen Bereichen entwickelt. Bei der im zweiten Schritt stattfindenden Komposition der unabhängig voneinander erarbeiteten Lösungen können massive Schnittstellenprobleme zu Tage treten (technische Inkompatibilität, bauliche Restriktionen o. ä.). Diese mangelnde Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen einzelnen Gewerken führt im Rahmen eines klassischen Planungsprozesses zu zahlreichen, unvorhergesehenen Konzeptanpassungen und damit zu einem erhöhten Kapital- und Zeitbedarf. Die beispielhaft anhand eines gesamten Fabrikplanungsprojektes beschriebene Problematik behält auch im kleineren Maßstab ihre Gültigkeit, z. B. bei Systemanpassungsplanungen während des Fabrikbetriebes.

Um der steigenden Dynamik und Komplexität des Unternehmensumfeldes zukünftig gerecht werden zu können, müssen Fabriken ihre Anpassungsintelligenz steigern. Bezogen auf das zuvor genannte Beispiel der Fabrikplanung bedeutet das u. a. eine Verkürzung der Planungszyklen sowie den Einsatz anpassungsintelligenter Technologien. Eine Beschleunigung der Planungszyklen kann nur erreicht werden, wenn klassische, primär an Abteilungszielen ausgerichtete Planungsvorgehen durch ganzheitliche, interdisziplinär ausgerichtete Planungsansätze ersetzt werden, bei denen Abteilungsgräben überwunden und strategische Unternehmensziele in den Vordergrund gerückt werden. Um den während des Fabrikbetriebes aufkommenden Umfeldveränderungen mit einer hohen Anpassungsfähigkeit begegnen zu können, müssen im Rahmen der Planungsphase technische Lösungen und innerbetriebliche Steuerungsverfahren ausgewählt werden, die eine intelligente Verknüpfung von Flexibilität und Wandlungsfähigkeit zulassen.

Genau hier setzt die Virtualisierung an. Der digitale Zwilling stellt ein virtuelles Modell des Planungsobjektes dar und schafft damit von Projektbeginn an eine kollaborative Arbeitsumgebung, in der zum einen alle relevanten Abteilungsvertreter interagieren können und in der zum anderen technische Konzepte und Lösungen bereits in einem frühen Entwicklungsstadium miteinander verknüpft, simulativ getestet und analysiert werden können. Die Virtualisierung ermöglicht mit diesem ganzheitlichen Planungsansatz die frühzeitige, abteilungsübergreifende Berücksichtigung von Kompatibilitätsaspekten, Restriktionen und Wechselwirkungen. Bei notwendigen Anpassungsplanungen kann der digitale Zwilling zudem genutzt werden, um parallel zum laufenden Fabrikbetrieb diverse Szenarien zu entwickeln, zu simulieren und zu optimieren. Durch die beispielhaft genannten Möglichkeiten der Virtualisierung können u. a. Planungszyklen sowie Inbetriebnahmezeiträume verkürzt und damit erhebliche Kosteneinsparungen generiert werden. Ein dabei nicht zu vernachlässigender Vorteil der virtuellen Arbeitsumgebung ist die verbesserte Wahrnehmung. Die geschaffene Umgebung macht den Planungsprozess erlebbar, was u. a. dazu beiträgt Problemstellen innerhalb des Planungsobjektes schneller zu erkennen, kreative Lösungsideen zu entwickeln, Optimierungspotentiale zu identifizieren, aber auch einen marketingseitigen Nutzen zu generieren.

Virtuelle Testbeds sind Experimentierumgebungen, die digitale Zwillinge und ein virtuelles Modell ihrer relevanten Umwelt enthalten. Sie sind beispielsweise ein wichtiger Bestandteil bei der Systementwicklung für Weltraummissionen, wo aufgrund der hohen Investitionen der reale Einsatz häufig der erste umfassende Systemtest ist. Hier ermöglichen virtuelle Testbeds nicht nur eine frühzeitige Zusammenarbeit von verteilten, interdisziplinären Teams, sondern auch eine weitgehende Verifikation des Gesamtsystems. Wechselwirkungen zwischen

den Komponenten können frühzeitig erkannt und modelliert werden, das Systemverhalten in unterschiedlichen Systemzuständen und unter unterschiedlichen Umweltbedingungen auf Knopfdruck verifiziert und Entwicklungsfortschritte schnell beurteilt werden. Die Folge ist eine signifikante Steigerung sowohl der Entwicklungsgeschwindigkeit als auch der Robustheit der Implementierung. Aufgrund dieser Vorteile finden virtuelle Testbeds auch immer mehr Verwendung im Industriekontext. Als Beispiel zeigt Abbildung 5-2 ein virtuelles Testbed einer Felgenlackieranlage. Besonders für die Erstellung von digitalen Zwillingen ganzer Fabriken ist noch zu erforschen, wie die verschiedenen virtuellen Modelle aus den beteiligten Disziplinen funktionserhaltend und aufwandsarm kombiniert werden können. Für Building Information Models aus dem Bauwesen gibt es Vorarbeiten; für ereignisdiskrete Materialflusssimulationen existiert jedoch beispielsweise kein anerkanntes, anwendungs-unabhängiges Dateiformat.

Da virtuelle Testbeds Daten aus verschiedenen Disziplinen vereinen können, sind sie eine bessere Basis für Entscheidungsunterstützungssysteme als anwendungsspezifische Simulationswerkzeuge, welche nur Daten aus der eigenen Domäne zur Verfügung haben.

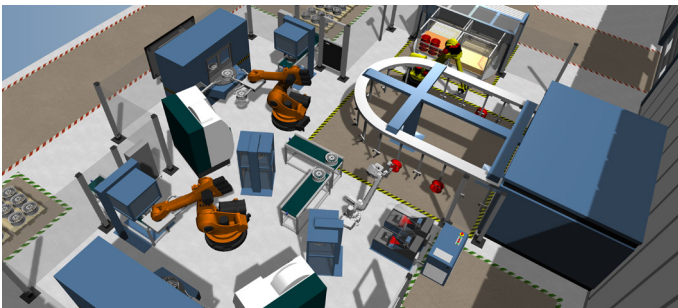


Abbildung 5-2: Virtuelles Testbed einer Felgenlackieranlage

Aktuelle Forschungsfelder und -ziele:

Navigation für digitale Zwillinge von Fabriken auf Basis von Building Information Models.

In einem virtuellen Testbed einer ganzen Fabrik müssen die Wege von Arbeitern, Routenzügen und anderen Fahrzeugen automatisch geplant werden. Dies gilt für den normalen Betrieb, kann aber beispielsweise auch für Evakuierungsszenarien genutzt werden. Als Basis dieser Bewegungsplanung bietet sich die dreidimensionale Gebäudegeometrie an, wie sie in Building Information Models vorhanden ist. Zusätzlich enthalten diese Gebäudemodelle wertvolle Metainformationen wie etwa die Belastungsfähigkeit von Bodenplatten

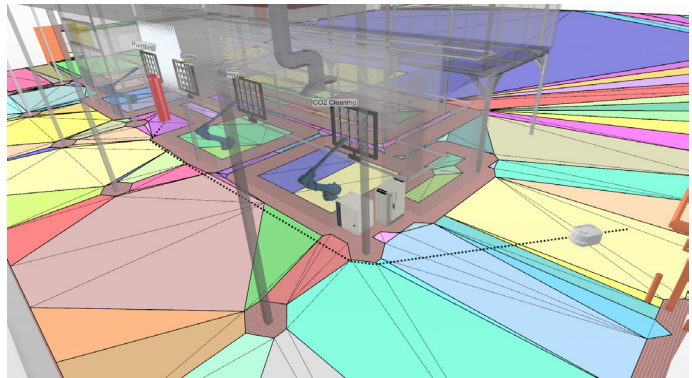


Abbildung 5-3: Ein fahrerloses Transportfahrzeug navigiert im Bereich einer Lackieranlage. Dargestellt wird ein Navigation-Mesh, wobei die Farben jeweils Knoten im Navigationsgraphen darstellen.

Mit einem in dieser Forschungsgruppe entwickelten Framework lässt sich das Building Information Model einer Fabrik mit sämtlichen Informationen in ein virtuelles Testbed impor-

tieren und direkt für die Navigation nutzen. Durch geschickt gewählte Abstraktionen kann auch das dynamische Innenleben der Fabrik wie Maschinen, Roboter oder Förderbänder mit sehr geringem Aufwand bei der Navigation berücksichtigt werden. Abbildung 5-3 zeigt ein autonomes Fahrzeug, das in der Nähe einer Lackieranlage durch den digitalen Zwilling der Takata Fabrik navigiert. Somit kombiniert das virtuelle Testbed das Gebäudemodell effektiv mit den anderen Bestandteilen der Fabrik und stellt eine Funktionalität bereit, die keines der Einzelmodelle allein bieten kann.

Digitalisierung im Baubetrieb – Building Information Management und virtuelle Zwillinge

Ansätze zur Digitalisierung der Bauwirtschaft sowie der digitalen Fertigung sind in fast allen Bereichen zu finden. Diese reichen von robotergestützten Fertigungsmethoden über den Einsatz von Drohnen zur Visualisierung und Aufnahme von Baustellen, Laserscannern zur Aufzeichnung von Bestandsgebäuden, bis hin zum Einsatz von AR-Brillen, die u. a. zur visuellen Unterstützung von Wartungsarbeiten genutzt werden können. Der derzeit relevante Digitalisierungstreiber der Bauindustrie wird unter dem Akronym „BIM“, Building Information Modeling, subsumiert. Unter Zuhilfenahme der Arbeitsmethode BIM wird ein Bauwerksinformationsmodell, d.h. ein mit verschiedenen Informationen aus der Planungs-, Bau- und Betriebsphase gekoppeltes, virtuelles Abbild der Planung bzw. des realen Bauwerks („as-built-Modell“) erzeugt. Mit dieser neuen Planungsmethode einhergehend wird die Anpassung von Prozessen impliziert. Daraus resultierend können somit Veränderungen in einzelnen Unternehmen und auch Projektteams notwendig werden und diese zudem zur Erfüllung des BIM-Gedankens als von elementarer Bedeutung identifiziert werden. Der wesentliche und entscheidende Unterschied zwischen der konventionellen Art ein Projekt abzuwickeln und dem digitalen Planen und Bauen mit BIM liegt in der

Ausgestaltung des virtuellen Bau-Zwillings. Ein einfacher virtueller Zwilling, der aus einem geometrischen Bauwerksmodell besteht, steht hierbei einem virtuellen Zwilling gegenüber, der auf einem Bauwerksinformationsmodell basiert und mit sämtlichen für den Betrachtungsfall relevanten Informationen, also einer Art Datenbank, verbunden ist. Dieser kann bei durchgängiger Implementierung der Informationen, teilautomatisiert mit Hilfe der klassischen Kennzahlen, wie Qualität, Zeit und Kosten, in kürzester Zeit bewertet werden.

Innovationslabor – Hybride Dienstleistungen in der Logistik

Mit dem Internet der Dinge und der Industrie 4.0 entstehen grundlegend neue Formen der hybriden Interaktion von Menschen und Maschinen. Auf der Basis von cyber-physischen Systemen wird eine kooperative Arbeitsumgebung geschaffen, in der Menschen und Maschinen miteinander im Dialog stehen und gemeinsam Arbeitsaufgaben erledigen. Mit dem gerade im Aufbau befindlichen Forschungszentrum verfolgt der Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen das Ziel, genau diese neue Form der Mensch-Maschine-Interaktion zu untersuchen und weiterzuentwickeln. Der neuartige und zentrale Erfolgsfaktor des Zentrums liegt in der interdisziplinären Zusammenarbeit von Experten aus den Fachbereichen der Logistik, IT, Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften sowie der Soziologie.

Da die thematische Ausrichtung als auch der interdisziplinäre Charakter des Forschungszentrums mit der Intention und den Werten des Graduiertenkollegs kongruieren, bietet es den Kollegiaten des Graduiertenkollegs eine ideale Plattform für Präsentationen, Workshops, Erfahrungsaustausche oder auch für die gemeinsame Entwicklung neuer Forschungsansätze und -ideen.

Ein Forschungsschwerpunkt des Zentrums liegt in der Entwicklung, Gestaltung und Analyse dezentraler Intralogistik-

systeme. Neben den klassisch, technisch und organisatorisch ausgerichteten Forschungsbereichen entstehen dabei - im Rahmen der Mensch-Maschine-Interaktion - neue Bereiche, die sich u. a. mit der Sicherheit von Mitarbeitern beschäftigen, die auf dem Shopfloor in direktem Kontakt bzw. in direkter Zusammenarbeit mit technischen Einheiten stehen. Der Einsatz solch hybrider Wertschöpfungsnetzwerke, in denen Menschen von Maschinen unterstützt werden und Maschinen sich gegenseitig ergänzen, verlangt die Entwicklung neuer Steuerungsverfahren, welche eine effiziente sowie kurzfristige Ausführung von Prozessschritten ermöglichen. Um u. a. die Entwicklung und Analyse solch neuartiger Steuerungsverfahren weiter voranzutreiben, ist das Forschungszentrum mit unterschiedlichen modular sowie frei skalierbaren Systemen ausgestattet. Die eingesetzten Systeme lassen sich abhängig von deren Verwendungszweck in Referenz- und Experimentiersysteme unterteilen und weisen als zentrales Merkmal die Möglichkeit einer bedarfsabhängigen Interoperabilität auf. Zusammenfassend zeigt Abbildung 5-4 einen virtuellen Einblick in das entstehende Forschungszentrum.



Abbildung 5-4: Virtueller Einblick in das Forschungszentrum

Publikationsverzeichnis der Forschungsgruppe „Virtualisierung“:

Delbrügger T., Döbbeler F., Graefenstein J., Lager H., Lenz L., Meißner M., Müller D., Regelmann P., Scholz D., Schumacher C., Winkels J., Wirtz A., Zeidler, F. (2017): Anpassungsintelligenz von Fabriken im dynamischen und komplexen Umfeld. In: ZWF 112 Jahrgang (6/2017), Carl Hanser Verlag, S. 364-368, DOI: 10.3139/104.111731.

Lenz, L.; Gralla, M. (2017): Building Information Modeling und 5D-Planung im dynamischen und komplexen Umfeld. In: Tagungsband 28. BBB-Assistententreffen, TU Kaiserslautern (2017), S. 186.

Zeidler, F.; Bayhan, H.; Ramachandran, A.; ten Hompel, M. (2017): Referenzfeld zur Erforschung und Entwicklung neuartiger hybrider Formen der Zusammenarbeit von Menschen und Maschinen in der Logistik. In: Proceedings des 13. Fachkolloquium der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Technische Logistik e. V. (WGTL), S. 285-292, DOI: 10.2195/lj_Proc_zeidler_de_201710_01.

Ramachandran, A.; Bayhan, H.; Zeidler, F.; ten Hompel, M. (2017): Human Machine Synergies in Intra-Logistics - Creating a Hybrid Network for Research and Technologies. In: Ganzha, M.; Maciaszek, L.; Paprzycki, M. (Hrsg.): Proceedings of the 2017 Federated Conference on Computer Science and Information Systems / 5th Workshop on Information Technologies for Logistics (IT4L'17), IEEE Xplore Digital Library, ACSIS, Vol. 11, S. 1065–1068, DOI: 10.15439/2017F253.

Gralla, M.; Lenz, L. (2017): Digitalisierung im Baubetrieb – Building Information Management und virtuelle Zwillinge. In: Jörg

Fenner (Hrsg.): Festschrift zum 60.Geburtstag von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Christoph Motzko, Institut für Baubetrieb der Technischen Universität Darmstadt (2017), S. 205 –216.

Delbrügger, T.; Lenz, L.; Losch, D.; Roßmann, J. (2017): A Navigation Framework for Digital Twins of Factories based on Building Information Modeling. In: Proceedings of 22nd IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, DOI: 10.1109/ETFA.2017.8247712.

Zeidler, F.; ten Hompel, M.; Emmerich, S.: Materialbereitstellung On-Demand - Entwicklung eines bedarfsorientierten Materialbereitstellungskonzeptes für den Einsatz im bestandsmaschinenbasierten Produktionsumfeld, in: Proff, H., Fojcik, T. M. (Hrsg.): Mobilität und Digitale Transformation, Wiesbaden, 2018, S.487-501.

Bayhan, H.; Ramachandran, A.; Dregger, J.; Zeidler, F.; Roidl, M.; ten Hompel, M.: A Concept of an Industry 4.0 Research Lab for Future Intralogistics Technologies and Services. In: Proceedings of the 3rd Interdisciplinary Conference on Production, Logistics and Traffic (ICPLT), voraussichtliche Veröffentlichung: 2018.

PRODUCTION CONTROL BY CYBER PHYSICAL SYSTEMS - EIN SYSTEM ZUR AUTO- NOMEN, DEZENTRALEN PRODUKTIONSSTEUERUNG



FELIX ZEIDLER

Studium: Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen, Duale Hochschule Baden-Württemberg

Einrichtung: Lehrstuhl für Förder- und Lagerwesen (Fakultät Maschinenbau)

Betreuer: Prof. Dr. Dr. h. c. Michael ten Hompel

Ausgangssituation und Problemstellung

Eine zunehmende Produktindividualisierung sowie verstärkt volatile Absatzmärkte stellen für Unternehmen die primären Herausforderungen unserer Zeit dar und führen zu dem übergeordneten Ziel einer effizienten Herstellung kundenspezifischer Produkte. Klassische deterministische Verfahren zur Produktionssteuerung, wie der Einsatz von Kanban oder der Einsatz eines zentralorganisierten Produktionsplanungs- und Steuerungssystems (PPS), geraten jedoch in einem solchen dynamischen und komplexen Unternehmensumfeld an ihre Grenzen. Der von den klassischen Verfahren bereitgestellte Grad der Anpassungsintelligenz, definiert durch eine anforderungsgerechte Bereitstellung und intelligente Verknüpfung von Flexibilitäts- und Wandlungsfähigkeitspotentialen, reicht nicht aus, um der steigenden Dynamik und Komplexität im Bereich der Produktionssteuerung gerecht zu werden.

Es fehlen derzeit geeignete Verfahren zur dynamischen, selbstorganisierten Produktionssteuerung sowie Werkzeuge, die eine formale Beschreibung, strukturierte Modellierung und vollständige Bewertung der Effizienzpotentiale einer solchen dynamischen Steuerung ermöglichen.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Gesetztes Forschungsziel ist die Entwicklung, Beschreibung und Bewertung eines Verfahrens zur dezentralen Produktionssteuerung. Die Dissertation zeigt auf, welchen Beitrag der Einsatz eines solchen Verfahrens zur Steigerung der Anpassungsintelligenz leisten kann. Der Fokus liegt dabei auf einer dezentralen Steuerung, deren Entscheidungen autonom, ad-hoc und auf Basis lokaler Informationen getroffen werden. Zur praktischen Realisierung des angestrebten Steuerungsmechanismus soll die kleinste im Produktionsbereich eingesetzte Transporteinheit (i. d. R. ein entsprechender Kleinladungsträger) mit einer intelligenten Einsteckkarte ausgestattet werden.

Diese intelligente Einsteckkarte nimmt, in Verbindung mit dem entsprechenden Kleinladungsträger, als cyberphysisches System (CPS) an einem dezentral gesteuerten Wertschöpfungsnetzwerk teil und ist als Entität eines Multiagentensystems in der Lage, notwendige Informationen lokal zu sammeln und autonom Ad-hoc-Entscheidungen zu treffen.

Zur Bearbeitung des Dissertationsvorhabens wird eine deduktive Vorgehensweise gewählt. Im ersten Schritt gilt es, das neue Verfahren zur dezentralen Produktionssteuerung auf theoretischer, allgemeingültiger Basis zu entwickeln und zu beschreiben. Anschließend wird im zweiten Schritt ein ausgewählter Use-Case in die Betrachtung eingebunden. Der Use-Case und die darauf basierenden Szenarien werden verwendet, um mit Hilfe von empirischen Untersuchungs- und Evaluationsergebnissen einen Nachweis über die Funktionalität sowie den Nutzen des beschriebenen Verfahrens zu führen.

BIM-BASIERTE ENTSCHEIDUNGSUNTER- STÜTZUNG VON FABRIKEN IM DYNAMISCHEN UND KOMPLEXEN UMFELD



LISA THERESA LENZ

Studium: Bauingenieurwesen, Technische Hochschule Nürnberg, Hochschule Augsburg

Einrichtung: Lehrstuhl Baubetrieb und Bauprozessmanagement (Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen)

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Mike Gralla

Ausgangssituation und Problemstellung

Bei Betrachtung eines konventionellen Bauprojektes werden mit bzw. nach einer gewissen Frist nach der Abnahme Bestandsunterlagen, die sogenannten Dokumentationsunterlagen, übergeben. Im Falle eines konventionellen, nicht mit der BIM-Methode abgewickelten Projekts sind dies eine Vielzahl von Papierdokumenten (Baubeschreibungen, Planunterlagen, etc.) sowie deren digitales Abbild. Der Umfang dieser ist von der jeweiligen Größe und Komplexität des Projektes abhängig.

In einigen Fällen ist ein 3D-Modell vorhanden, welches in der Regel aufgrund der einfachen Darstellung des dreidimensionalen Raumes lediglich zur Veranschaulichung dient, aber keinerlei Informationen über geometrische Daten enthält. Ist eine Anpassung eines Bauprojektes (Fabrik, etc.) erforderlich, so müssen die Bestandsunterlagen geprüft werden und eine oftmals aufwendige Planung der Anpassung zur Definition der relevanten, anzupassenden Bauteile stattfinden, um diese schlussendlich bewerten zu können. Zusammengefasst kann somit formuliert werden, dass mit konventionellen Planungsmethoden (2D-Planung, 3D-Planung, Baubeschreibungen, etc.) ein effizienter, schneller Anpassungsprozess nicht in ausreichendem Maße unterstützt wird. Weiter ist daraus resultierend eine ganzheitliche, interdisziplinäre Bewertungsmöglichkeit von Anpassungsszenarien nur bedingt und mit hohem Aufwand möglich. Eine interdisziplinäre Betrachtungsweise der potentiellen Anpassungsszenarien ist jedoch essentiell, um eine vollumfassende Analyse und Bewertung sowie daraus folgende Entscheidungen vornehmen zu können.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

Im Rahmen dieses Promotionsvorhabens werden die für Fabrik-anpassungsprozesse aus baulicher Sicht erforderlichen Daten analysiert und mit Hilfe der BIM-Methode in einer Repräsentation des realen Anpassungsobjektes der Fabrik zusammengeführt. Building Information Modeling respektive Management ist eine modellbasierte Methode zur effizienten Datenkomposition in Form eines virtuellen Zwillings des Bauwerks in jeder Lebenszyklusphase. Die BIM-Methode unterscheidet sich von den konventionellen Herangehensweisen in der Datenverarbeitung, die über die geometrischen Daten der klassischen 2D- oder 3D-Planung hinausgehen. Dies bedeutet, dass die geometrischen Daten in der Stufe 3D+i mit einer Vielzahl an möglichen Informationen des Fabrikgebäudes gekoppelt werden. In der 4. und 5. Dimension werden zudem Kosten- und Zeitansätze, die eine gesamtheitliche Bewertung ermöglichen in das Bauteil bzw. Fabrikmodell implementiert. Durch die Verfügbarkeit der für den Anpassungsprozess notwendigen Bauteilinformationen im BIM-Modell einer Fabrik wird eine effiziente Bewertbarkeit von Anpassungsszenarien mittels der Parameter Qualität, Kosten und Zeit möglich.

Das Ziel der Forschungsarbeit in der Disziplin Baubetrieb und Bauprozessmanagement ist, mit dem Fokus auf die technische Wandlungsfähigkeit des Fabrikgebäudes und unter Anwendung der BIM-Methode, die Vorbereitungsphase des Anpassungsprozesses zu optimieren. Dies soll zum einen durch eine modellbasierte Verkürzung von Planungszeiten und zum anderen durch eine modellbasierte Entscheidungsunterstützung zur effizienteren Gestaltung des Wandels erreicht werden.

ADVANCED STRATEGIES FOR COLLABORATIVE VR-BASED DECISION SUPPORT IN THE FIELD OF FACTORY AUTOMATION



TIM DELBRÜGGER

Studium: Informatik, TU Dortmund

Einrichtung: RIF Institut für Forschung und Transfer e.V.

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Roßmann

Ausgangssituation und Problemstellung

Um bei Fabrikanpassungen die vielfältigen Auswirkungen abschätzen zu können, sind Simulationen ein wichtiges Hilfsmittel. Für eine ganzheitliche Betrachtung müssen jedoch unterschiedliche Simulationsarten und -lösungen zusammen eingesetzt werden, beispielsweise eine Materialfluss- und eine Energiesimulation. Da es kein einheitliches Datenformat für den Austausch von Simulationsmodellen gibt, müssen diese Modelle separat voneinander aufgebaut werden, was mehrfachen Aufwand und eine große Fehlerquelle bedeutet. Die schließlich erreichten Simulationsergebnisse müssen mühsam von Hand zusammengefasst und mit Unternehmenskennzahlen verknüpft werden, um als Entscheidungsgrundlage dienen zu können. Zusätzlich zu dem hohen Aufwand schafft die hierbei übliche abstrahierende Nutzung kumulierter Werte einen großen Abstand zwischen Entscheidern und dem realen System, was die Einbeziehung von Mitarbeitern erschwert und das gegenseitige Verständnis behindert.

Virtuelle Testbeds zeigen einen Ausweg auf, weil sie in einem Modell verschiedene Simulationsarten kombinieren und mit weiteren Daten verbinden können. Mittels hochwertiger Visualisierungen können sie eine Verbindung zwischen abstrakten Kennzahlen und dem konkreten Fabrikbetrieb herstellen und so auch eine Brücke zwischen Entscheidern und Arbeitern bauen.

Vorgehen und erwartete Ergebnisse

In diesem Promotionsvorhaben wird eine Systemarchitektur entwickelt, die verschiedene Methoden kombiniert, um Entscheidungen bei der Planung von gesamten Fabriken oder der Anpassung von Fabrikteilen besser und effizienter als bisher kollaborativ zu unterstützen. Kernelement bildet dabei ein virtuelles Testbed, welches einen digitalen Zwilling der Fabrik enthält und mehrere Simulationsarten bündelt. Dieses virtuelle Testbed kann die relevanten Informationen aller Fachbereiche

zusammenfassen und schafft so eine gemeinsame Datenbasis und Diskussionsgrundlage. Der Detailgrad kann angepasst werden, um einen ökonomischen Kompromiss zwischen Präzision von Simulationsergebnissen und Zeitaufwand bei der Modellierung zu finden.

Heutige VR-Headsets bieten dabei eine zeitgemäße Benutzerschnittstelle zu dem virtuellen Testbed, welches sich intuitiv zur kollaborativen Entscheidungsfindung nutzen lassen soll. Entscheider sollen immersiv erleben können, welche Auswirkungen bestimmte Anpassungen auf relevante Kennzahlen und den alltäglichen Fabrikbetrieb haben. Die zu entwickelnde Systemarchitektur ermöglicht auch eine automatische Optimierung vieler Detailparameter, deren Wechselwirkungen auch für menschliche Experten nur schwer überblickt werden können.

Um den Zeitaufwand bei der Modellerstellung bei gleichem Informationsgehalt minimal zu halten, muss doppelte Arbeit weitgehend vermieden werden. So kann etwa ein Building Information Model, das bei der Bauplanung eingesetzt wird, direkt für das virtuelle Testbed genutzt werden.

VORSTELLUNG WEITERER FORSCHUNGS- AKTIVITÄTEN UND VERANSTALTUNGEN

Themen:

Datengestützte Steigerung der Anpassungsintelligenz von Fabriksystemen

Internationales Kolloquium „Adaption Intelligence of Factories“
(18./19.05.2017)

Vernetzungstreffen der Informatik-GRKs auf Schloss Dagstuhl
(12.-14.06.2017)

6.0

6.1.

WEITERE AKTIVITÄTEN & VERANSTALTUNGEN

Datengestützte Steigerung der Anpassungsintelligenz von Fabrikssystemen

Der Einzug cyber-physischer Produktionssysteme befähigt durch eine permanente Echtzeitdatenverfügbarkeit auf dem Shopfloor zu einer neuen Dimension der Qualität und Quantität von Rückmeldedaten der Produktions- und Logistikprozesse [1]. An dieser Entwicklung partizipiert auch das Graduiertenkolleg. Innerhalb der Forschungsgruppen werden fachübergreifend Lösungen zur kontextbezogenen, vorteilhaften Nutzung von Rückmeldedaten entwickelt.

Um die aktuelle Situation in Industrieunternehmen in Bezug auf die Erfassung und Nutzung von Rückmeldedaten zu ermitteln, haben sich mehrere produktionstechnische Forschungsinstitute im Rahmen einer gemeinsamen Studie zusammengeschlossen. Dabei hat sich gezeigt, dass der Großteil der Unternehmen aus dem industriellen Sektor (~80 %) die Rückmeldedaten ihrer Produktions- und Logistikprozesse noch klassischerweise manuell erfasst und eine vollautomatisierte Erfassung (z.B. via Radio Frequency Identification (RFID)) lediglich ausgewählten Großunternehmen vorbehalten ist. 58 % der teilnehmenden Unternehmen gaben hingegen an, zumindest in Teilbereichen Rückmeldedaten automatisiert zu erheben [2]. Typische Rückmeldedaten sind Start- und Endzeiten eines Fertigungsvorgangs, Unterbrechungen und Laufzeiten einer Maschine, Fertigungs- oder Montageaufträge, Ressourcenauslastungen oder die produzierten Stückzahlen [3].

Die in sequentiellen Einzelphasen strukturierte Darstellung eines Anpassungsprozesses in Abbildung 6-1 visualisiert das Verständnis des Graduiertenkollegs von einem Fabrik-Anpassungszyklus. Dieser unterteilt sich in die konsekutiven Phasen der Erkenntnis, der Vorbereitung und der eigentlichen Anpassung, welche sich jeweils in zwei weitere untergeordnete Phasen aufteilen lassen [4], (vgl. Kapitel 2.2).

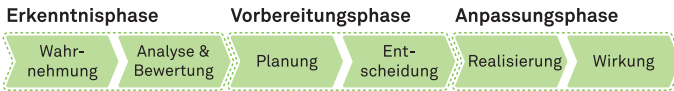


Abbildung 6-1: Phasen des Anpassungszyklus [5]

Unter dem Begriff Data Analytics (oder auch Big Data Analytics) werden zahlreiche Verfahren mit unterschiedlichem Fokus und Zielbereich zusammengefasst, um größere Datenmengen aufzubereiten und anschließend gewinnbringenden Nutzen aus diesen Daten zu extrahieren. Im Kontext der Graduiertenkollegthematik bieten Rückmeldedaten der Produktion das Potential, den Anpassungsprozess ganzheitlich, d.h. in allen sechs Einzelphasen, vorteilhaft zu unterstützen. So bietet die zielgruppenspezifische Aufbereitung von Daten vielfältige Potentiale bei der Problemidentifikation und -lösung sowie Entscheidungsunterstützung in beschäftigten getragenen Optimierungsprozessen.

Insbesondere die Erkenntnisphase erscheint ohne aktuelle interne und externe Informationen kaum umsetzbar. An dieser Stelle können Rückmeldedaten durch Kennzahlen, die auf höherer Ebene aggregiert werden, unterstützen, sodass vorwiegend dem Controlling und der Produktionsplanung und -steuerung stets ein aktuelles Abbild der momentanen Fertigungssituation als Monitoring- und Entscheidungsinstrumentarium zur Verfügung steht. Ein solches Abbild auf Rückmeldedatenbasis wird als digitaler Schatten bezeichnet [6]. Dieser lässt sich mit Hilfe von Korrelationen und Methoden der Mustererkennung zudem dafür verwenden, Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge in der Fertigung abzuleiten, um gezielter auf Abweichungen reagieren zu können. Weiterhin ermöglichen Verfahren des Predictive Analytics mit der Prognose zukünftiger Trends und Verläufe, insbesondere aus dem Unternehmensumfeld, die Einleitung proaktiver Maßnahmen [7]. Damit lassen sich zukünftige Abweichungen zwischen Umfeldanforderungen und

Unternehmensangebot bereits frühzeitig erkennen, sodass Schadenszeiten vermieden werden können, bevor diese überhaupt entstehen.

Im Rahmen der Vorbereitungsphase werden Anpassungsmaßnahmen geplant und über ihre Durchführung entschieden, (vgl. Abbildung 6-1). Prognosegestützte Trends und eine aktuelle Datengrundlage stellen auch hier die Voraussetzung für eine qualitativ hochwertige Planung und eine wesentliche Grundlage für fundierte Entscheidungen dar. Weiterhin wird auf diese Weise die Anwendung einer rollierenden Planung unterstützt, sodass die Planungspräzision [4] entscheidend erhöht wird. Im Gegensatz zum bereits genannten digitalen Schatten bezeichnet ein digitaler Zwilling ein simulationsfähiges und prozessmodellgestütztes Abbild der Realität [6]. Dieses Format wird im Graduiertenkolleg in Form eines virtuellen Testbeds umgesetzt, um verschiedene Anpassungsszenarien, vordergründig den Einsatz aktueller Industrie 4.0-Technologien, innerhalb eines Echtzeitabbilds des Fabriksystems virtuell zu erforschen. Damit profitiert insbesondere die Vorbereitungsphase von einem digitalen Zwilling.

Um den Anforderungen eines komplexen und dynamischen Umfelds gerecht zu werden, kann zunächst systemimmanentes Flexibilitätspotential genutzt werden. Bei nicht ausreichender Befriedigung der Anforderungen lässt sich zusätzlich die wirtschaftlich deutlich aufwändigere inhärente Wandlungsfähigkeit des Fabriksystems aktivieren [4, 7]. Der Umfang des vorhandenen Flexibilitätspotentials wird während des Produktionsbetriebsmaßgeblich durch die Parameterkonstellation der Produktionsplanung- und -steuerung bestimmt. In diesem Kontext ist die Echtzeitdatenverfügbarkeit innerhalb eines vernetzten Produktionssystems ein wesentliches Element, um die Möglichkeiten einer Produktionsplanung und -steuerung zu vergrößern. Das Graduiertenkolleg arbeitet an

dieser Stelle an der Neugestaltung und Optimierung intelligenter Produktionssteuerungen auf Basis dezentraler Adhoc-Entscheidungen mit dem Ziel, das Flexibilitätspotential nachhaltig zu erhöhen. Damit wird eine zentrale Komponente auf dem Weg zur Smart Factory behandelt.

Gleichzeitig stellt sich jedoch auch die Frage nach datenschutzrechtlichen Herausforderungen in Anbetracht zunehmender Möglichkeiten der Erhebung, Speicherung und Analyse von Rückmeldedaten – etwa im Hinblick auf personenbezogene Leistungsdaten („Gläserner Mitarbeiter“). Von entscheidender Bedeutung wird es in diesem Kontext sein, sowohl Führungskräfte und Mitarbeiter, als auch Kunden für das Thema Data Analytics und damit verbundener Herausforderungen zu sensibilisieren. Angesprochen ist damit vor allem auch eine humanorientierte, möglichst alle Stakeholder einbindende Planung und Ausgestaltung entsprechender Technologien sowie damit verbundenen arbeitsorganisatorischen und qualifikatorischen Auswirkungen. Darüber hinaus ist auch ein systematischer Ausbau von Qualifikationen und Kompetenzen auf der Mitarbeiterseite unerlässlich, um die Potentiale von Data Analytics ausschöpfen zu können.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die neuartige Datenvielfalt der Produktions- und Logistikprozesse trotz vereinzelter Vorbehalte nicht nur ein ausgeprägtes Potential zur Erhöhung der Anpassungsintelligenz von Fabrikssystemen bietet, sondern auch notwendige Voraussetzung für diese ist. Daher kommt dem „Produktionsfaktor“ Daten aktuell bereits eine hohe Bedeutung zu, die in Folge der industriellen Digitalisierungsbestrebungen zukünftig noch weiter ansteigen wird. Das Graduiertenkolleg wird den Forschungsbereich Data Analytics weiterhin intensiv verfolgen, um das Potential datengestützter Anpassungsintelligenz weiter zu beleuchten und in konkrete Anwendungen zu überführen.

Literatur:

[1] Kagermann, H. (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0.

[2] Schuh, G.; Nyhuis, P.; Reuter, C.; Hauptvogel, A.; Schmitz, S.; Nywlt, J.; Brambring, J.; Schulte, J.; Hansen (2015): Produktionsdaten als Enabler für Industrie 4.0 - Gemeinsame Studie der produktionstechnischen Institute IFA, IPMT, Fraunhofer IWU und WZL. Werkstatttechnik online, 105. Jg., H. 4, Springer, Düsseldorf, S. 200-203.

[3] Loos, P. (1999): Grunddatenverwaltung und Betriebsdatenerfassung als Basis der Produktionsplanung und -Steuerung. In: Corsten, H; Friedl, B. (Hrsg.) (1999): Produktionscontrolling. Vahlen, München, S. 227-252.

[4] Delbrügger, T.; Döbbeler, F.; Graefenstein, J.; Lager, H.; Lenz, L. T.; Meißner, M.; Müller, D.; Regelman, P.; Scholz, D.; Schumacher, C.; Winkels, J.; Wirtz, A.; Zeidler, F. (2017): Anpassungsintelligenz von Fabriken im dynamischen und komplexen Umfeld. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 112. Jg., H. 6, S. 364-368.

[5] Hernandez Morales, R. (2003): Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung, VDI-Verlag, Düsseldorf.

[6] Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik WGP e. V. (Hrsg.); Bauernhansl, T.; Krüger, J.; Reinhart, G.; Schuh, G. (2016): WGP-Standpunkt Industrie 4.0.

[7] Klemke, T.; Mersmann, T.; Wagner, C.; Goßmann, D.; Nyhuis, P. (2011): Bewertung und Gestaltung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. Wandlungsmonitoring, -analyse und -taxonomie als anwenderfreundliche Hilfsmittel in

Produktionsunternehmen. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 106 (12), S. 922–927.

Internationales Kolloquium „Adaption Intelligence of Factories“ (18./19.05.2017)

Am 18. und 19. Mai 2017 fand das erste internationale Kolloquium des GRK 2193 zum Thema „Adaption Intelligence of Factories“ statt. Zahlreiche internationale Wissenschaftler sowie Kollegiaten und Betreuer des Graduiertenkollegs fanden Ihren Weg ins Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik IML in Dortmund. Neben den Mercator Fellows des Kollegs, Prof. Dr. Fritz Henglein und Prof. Dr. Dianjun Fang, nahmen außerdem Prof. Dr. Boris Döder, Dr. Jan Reinhardt (ADEPT Project Delivery LLC, Bala Cynwyd (Pennsylvania, USA)), Prof. Dr. Steven Dhondt (TNO in Leiden (NL)), Prof. Dr. Alessandra Caggiano und Prof. Dr. Roberto Teti (Fraunhofer Joint Laboratory of Excellence on Advanced Production Technology, Naples (ITA)) an dem internationalen Kolloquium teil.

Das Kolloquium gliederte sich inhaltlich in die drei Themenslots „Management of Adaption Processes“, „Smart Efficient Production Systems“ und „Virtualization“, und beinhaltete Vorträge der Doktorandinnen und Doktoranden des Kollegs und der internationalen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler. Am ersten Tag des Kolloquiums standen, nach einer Begrüßung und Einführung durch den GRK-Sprecher Prof. Dr. Jakob Rehof, insbesondere die Veränderung von Planungs- und Anpassungsprozessen und die Einflüsse der Industrie 4.0 im Mittelpunkt. Neben einem Vortrag von Prof. Dr. Michael Henke zum Thema smarterer Produktion und Planung sowie spannenden Vorträgen der Kollegiaten des GRKs, folgte eine Darstellung des Building Information Modeling (BIM) durch Dr. Jan Reinhardt. Bevor es zum gemeinsamen Dinner und einer offenen Diskussionsrunde kam, rundete Prof. Dr. Steven Dhondt mit seinem Vortrag zum

Thema Workplace Innovation den ersten Kolloquiumstag ab. Zu Beginn des zweiten Tages erfolgte eine Einleitung in den Themenbereich „Smart Efficient Production Systems“ durch einen Vortrag von Prof. Dr. Dianjun Fang, welcher die Bedeutung und Auswirkungen der zunehmenden Digitalisierung in China adressierte. Neben der Bedeutung von Cloud Umgebungen für das Monitoring von Fertigungsprozessen zielten weitere Vorträge insbesondere auf den Themenschwerpunkt „Virtualization“ ab. Das zweite internationale Kolloquium „Adaption Intelligence of Factories“ des GRK wird im Herbst 2018 stattfinden.

Vernetzungstreffen der Informatik-GRKs auf Schloss Dagstuhl (12.-14.06.2017)

Im Rahmen des alljährlich stattfindenden GRK-Netzwerktreffens auf Schloss Dagstuhl im Saarland treffen sich die Graduiertenkollegs mit einem fachlichen Schwerpunkt der Informatik, um eine engere Vernetzung zwischen den Verbänden herzustellen und die jeweiligen Forschungsgebiete der einzelnen Graduiertenkollegs näher kennenzulernen.

Das GRK 2193 nahm vom 12.-14. Juni mit einigen Doktoranden und Prof. Dr. Jakob Rehof an der Veranstaltung teil. Im Rahmen der Veranstaltung wurden die Schwerpunkte der einzelnen GRKs durch die Sprecher präsentiert, darüber hinaus stellten die anwesenden Doktoranden ihre jeweiligen Promotionsvorhaben in einem kurzen Vortrag vor. In Rahmen einer anschließenden Postersession konnten die Themen mit den verschiedenen Vertretern der Graduiertenkollegs diskutiert werden. Das drei Tage umfassende Rahmenprogramm des Netzwerktreffens wurde mit Keynotes von renommierten Wissenschaftlern angereichert und erhöhte den wissenschaftlichen Austausch. Zusätzlich zu dem auf den Forschungsaustausch konzentrierten Rahmenprogramm, gab es einzelne Tagesordnungspunkte, um die generelle Vernetzung der anwesenden

Doktoranden zu stärken. Für das nächste GRK Netzwerktreffen auf Schloss Dagstuhl im Jahr 2018 darf das GRK 2193 in Kooperation mit dem GRK 2167 der Universität Duisburg-Essen (Sprecher: Prof. Norbert Fuhr) die Organisation übernehmen.

Veröffentlicht durch:

TU Dortmund

Fakultät Informatik

Fakultät Maschinenbau

Fakultät Elektrotechnik und Informationstechnik

Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen

Fakultät Wirtschaftswissenschaften

RIF Institut für Forschung und Transfer e.V.

Koordinator & Lektorat:

Dipl.-Wirt.-Ing. M.Sc. David Scholz

Lehrstuhl für Unternehmenslogistik

Leonhard-Euler-Straße 5, 44227 Dortmund

Telefon: 0231 755-5779

Design:

TIEFENGRUND. GmbH

Agentur für Marken & Produktdesign

Saarlandstr. 90

D-44139 Dortmund

Telefon: 0231 79916130

www.tiefengrund.com

Copyright:

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Exemplar oder Teile dessen dürfen ohne die schriftliche Genehmigung der TU Dortmund nicht vervielfältigt, in Datenbanken gespeichert oder in irgendeiner Form übertragen werden.

www.tu-dortmund.de

© TU Dortmund, 2018



