

Industrie

MANAGEMENT

4.0

Betriebssysteme für Fabriken

Digitales Werkzeug für
die Produktionsanalyse

Interaktive Logistikplanung
und -steuerung für Häfen

Industrie 4.0 trotz Altsystemen

Softwaresysteme zur
Qualitätssicherung

Pick-by-Vision in der manuellen
Kommissionierung

Beschreibung von
Maschinenfähigkeiten

Modulare und Wandlungsfähige
Robotersysteme

Arbeitsgestaltung in
der Industrie 4.0

Intelligente Lademittel

Produktgestaltung in
der agilen Produktion

Grafischer Materialflussrechner

6.2017
Dezember 2017
ISSN 2364-9208

GITC



Technologien der
Industrie 4.0

14. Jahrestagung | 24. – 25. Januar 2018 in Potsdam

 **TAR 2018**

- » Erfolgreiches Stillstandsmanagement – bewährte Prozesse, Innovationen, Trends
- » Der Digitale Turnaround – Vision und Wirklichkeit
- » Erfahrungen mit Planung, Projekten, Kontraktoren, Kosten, HSE
- » Demos: Innovative Turnaround Tools und Apps

Bitte geben Sie bei Ihrer Anmeldung unter www.tarconference.de folgenden Code ein und Sie erhalten 10% Rabatt: IMTAR2018



Sander Lass

Simulationskonzept zur Nutzenvalidierung cyber-physischer Systeme in komplexen Fabrikumgebungen

Dieses Buch entwirft ein Werkzeug, welches durch einen neuartigen Ansatz die aussagekräftige, überzeugende Demonstration und Validierung des spezifischen Nutzens von CPS in der Fabrik gestattet. In Form einer hybriden Simulationsumgebung mit physischen als auch virtuellen Komponenten liefert es eine Implementierung, die zeigt, wie sich die gegenüberstehenden Anforderungen nach spezifischer und dennoch aufwandsarmer Modellierung vereinen lassen.

ISBN 978-3-95545-224-7
Hardcover, € 59,90, 2017



shop.gito.de
service@gito.de



19. Jahrestagung | 28. Februar – 01. März 2018 in Berlin

Portfolio- und Projektmanagement mit SAP

**Berichte, Praxiserfahrungen, Neuigkeiten zu
SAP PS, SAP CPM & SAP PPM**

Bitte geben Sie bei Ihrer Anmeldung unter www.sapprojects-conference.de folgenden Code ein und Sie erhalten 10% Rabatt: ERPPM2018



Auf dem Weg zur digitalen Fabrik – Chancen und Herausforderung

Die industriellen Revolutionen haben das Bild der Fabrik grundlegend verändert. Angefangen mit der Dampfmaschine über die Einführung des Fließbands bis hin zur Informatisierung und Automatisierung der Produktion – durch diese bahnbrechenden Innovationen konnten die Produktivität gesteigert und die Kosten gesenkt werden.

Gegenwärtig begegnen wir der nächsten revolutionären Veränderung: der Digitalisierung. Die Prozesse in der modernen Fabrik werden zunehmend durch digitale, selbstlernende Geräte ausgeführt, häufig ohne das menschliche Zutun. Die Bauteile werden mit Intelligenz ausgestattet und steuern sich selbst durch den Produktionsprozess. Wandlungsfähigkeit und Autonomie werden angestrebt, um den Herausforderungen der steigenden Komplexität der Produktionsprozesse zu begegnen.

Diese Szenarien werden seit einigen Jahren von der Forschung erprobt. Um sie jedoch erfolgreich und im großen Maßstab in die Praxis umzusetzen, müssen die bestehenden Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Wer eine Fabrik ganz neu aufbauen würde, könnte eine selbststeuernde und selbstlernende IT-Architektur einsetzen, Technologien wie Internet der Dinge und Additive Manufacturing einfließen lassen und den Produktionsprozess mit Cyber-Physischen Systemen ausstatten. Damit wäre die Industrie 4.0 Realität. Bis dahin führt aber noch ein weiter Weg.

Erstens verfügen die etablierten produzierenden Unternehmen über Werkstätten, Maschinen, IT-Systeme, Prozesse und funktionierende Geschäftsmodelle. Diese gilt es in Frage zu stellen und den Spagat zwischen Sicherung der gegenwärtigen Geschäfte sowie der Vorbereitung einer Zukunftsfähigkeit zu bewerkstelligen. Zudem stellen sich die Unternehmen der Herausforderung, die neuen Technologien in die bestehenden Prozesse bzw. die vorhandene Infrastruktur einzubinden.

Zweitens stellt sich die grundsätzliche Frage, ob der Mensch die Steuerung aus der Hand geben und der IT vertrauen möchte. Dafür müssten zahlreiche Rahmenbedingungen bzgl. der Datensicherheit und eine hohe Regelkonformität gewährleistet werden. Aber auch dann wird der Unternehmer möglicherweise nicht den gesamten Wertschöpfungsprozess den IT-Systemen und Maschinen anvertrauen wollen. Noch nicht.

Langfristig werden sich die Unternehmen transformieren, um den Anschluss an die digitalisierte Wirtschaft nicht zu verpassen. Für die Steigerung bzw. den Erhalt ihrer Wettbewerbsfähigkeit werden sie ihre Geschäftsprozesse, Produkte und Services digitalisieren. Denjenigen, die sich bereits jetzt über die richtungsweisenden Technologien und die Möglichkeit ihrer Implementierung in die Produktionsprozesse informieren möchten, widmen wir die neue Ausgabe von Industrie 4.0 Management.

B. Scholz-Reiter



Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter ist Professor für Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme im Fachbereich Produktionstechnik und Rektor der Universität Bremen sowie Herausgeber der Zeitschriften Industrie 4.0 Management und productivity.

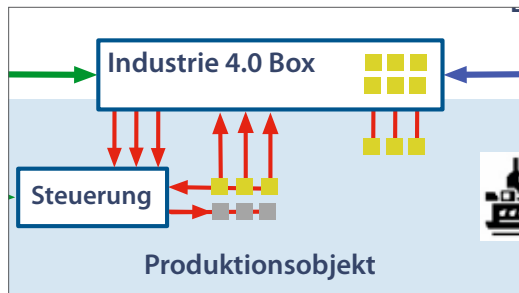
Industrie 4.0

C. Grabner, F. Khokhar, T. Schoop, H. Lödding
Ein digitales Universalwerkzeug für die Produktionsanalyse – Entwicklung einer Web-App zur methodenübergreifenden Analyse von Produktionsprozessen 7



Dieser Beitrag beschreibt, welche Datenstrukturen und Technologien es ermöglichen, gängige Methoden zur Analyse von Produktionsprozessen zu nutzen und an unternehmensspezifische Problemstellungen anzupassen.

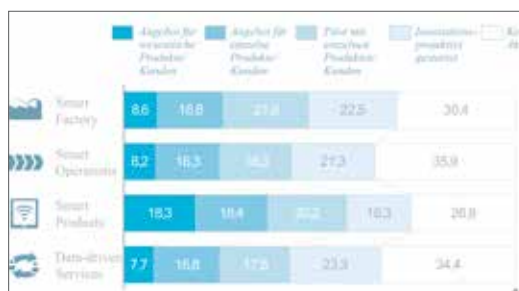
S. Lass
Industrie 4.0 trotz Altsystemen – Integration bestehender Anlagen in Cyber-Physische Produktionssysteme 15



Die Transformation eines neuen theoretischen Konstrukts in die praktische Realisierung kann nur unter Einbezug der den Anwendungskontext prägenden Rahmenbedingungen erfolgen. Gegenstand des Beitrags ist ein Konzept, welches den Brown-Field-Charakter aufgreift und die CPS-Erweiterung bestehender Systeme gestattet.

M. Braun, D. Marrenbach
Präventive Arbeitsgestaltung in der Industrie 4.0 – Ein kybernetischer Ansatz am Beispiel der Intra-logistik 38

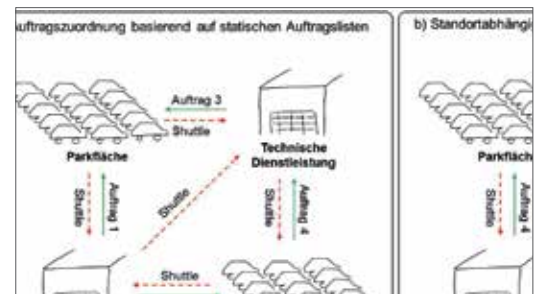
J. C. Munck, C. Schneider, F. Futterer, R. Gleich
Technologien der Industrie 4.0 – Status quo, wirtschaftliche Bedeutung und Trends für Unternehmen der produzierenden Industrie 48



Die diesem Beitrag zugrunde liegende Studie identifiziert die wirtschaftlichen Potenziale technologischer Trends und liefert eine Bestandsaufnahme der aktuellen Situation in der Industrie 4.0.

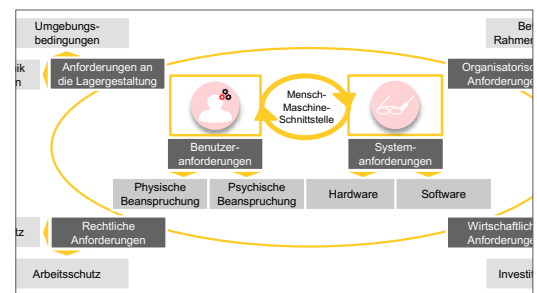
Logistik

S. Schukraft, S. Oelker, D. Werthmann, M. Freitag, M. Görge, E. Gencer, A. Malek
Interaktive Planung und Steuerung für den Automobilumschlag - Lösungsansatz für die Steigerung der Effizienz und Flexibilität der Logistikabwicklung auf See- und Binnenhäfen 11



Dieser Beitrag zeigt die Handlungsfelder und einen Lösungsansatz für die Gestaltung einer interaktiven Planung und Steuerung der logistischen Abwicklung auf See- und Binnenhäfen auf. Der Ansatz soll zu einer Steigerung der Effizienz und Flexibilität im Hafenumschlag beitragen.

R. Elbert, A. Friedrich, E. Knobloch
Pick-by-Vision in der manuellen Kommissionierung – Anforderungen an die betriebliche Nutzung 25

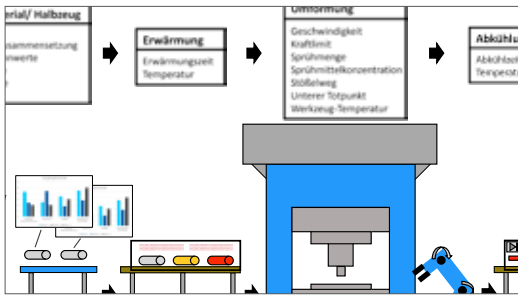


In diesem Beitrag wird auf der Basis einer systematischen Literaturrecherche ein Überblick über Anforderungen an die Nutzung von Pick-by-Vision aus dem Blickwinkel der Logistik gegeben.

J. Oberndorfer, M. Steinheimer, A. Hübl
Physical Internet und die Auswirkung auf die intelligenten Lademittel – Bestandsführung von Lademittel durch Software as a Service 53

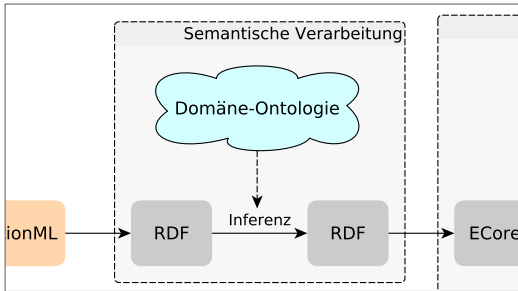
Softwaresysteme

B. Lindemann, N. Jazdi, M. Weyrich
Softwaresysteme zur Qualitätssicherung in der Umformtechnik – Ein Ansatz für die echtzeitfähige und prozessübergreifende Qualitätsüberwachung 20



Produzierende Unternehmen stehen stets vor der Herausforderung, qualitativ hochwertige Produkte zu erzeugen, die den strengen Anforderungen der Kunden und des Gesetzgebers genügen. Dieser Beitrag stellt einen datengetriebenen Ansatz vor, der darauf abzielt, kurzfristig auftretende Qualitätsschwankungen zu verfolgen.

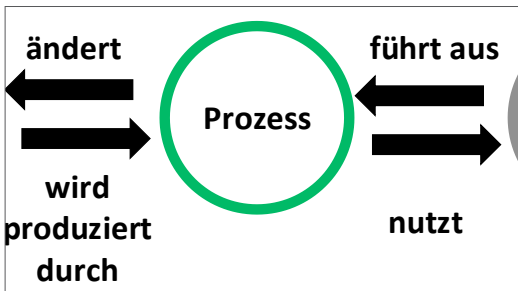
Y. Hua, M. Mende, B. Hein
Modulare und wandlungsfähige Robotersysteme – Modellbasierte Softwareentwicklung basierend auf AutomationML und ontologischer Semantik 33



Die Softwareentwicklung bei Industrierobotern benötigt erhebliches interdisziplinäres Wissen und viel technische Erfahrung. Um verschiedene Rollen bei der Programmierung und Integration von Robotern zu unterstützen, wurde im Rahmen des in diesem Beitrag vorgestellten Forschungsprojekts ReApp ein modellbasierter Ansatz entwickelt.

Produktion

X.-L. Hoang, C. Hildebrandt, A. Fay
Beschreibung von Maschinenfähigkeiten – Ein produktorientiertes Beschreibungskonzept für Maschinenfähigkeiten in der Fertigungsindustrie 29



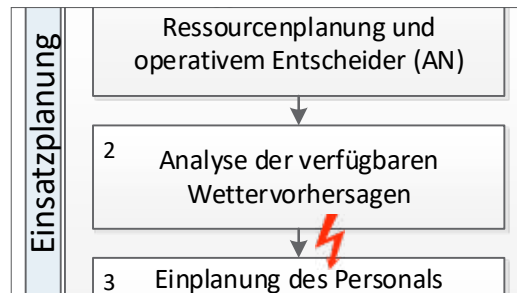
In diesem Beitrag wird ein produktorientierter Ansatz für die Beschreibung von Maschinenfähigkeiten in der Fertigungsindustrie vorgestellt. Die Anwendung des Konzepts wird anhand einer Bohrstation erläutert.

A. Pointner, N.-C. Böhnke, C. Ramsauer
Produktgestaltung als Stellhebel in der agilen Produktion – Ausarbeitung und Anwendung der Design-for-Agility Methode in der Automobilindustrie 57

Design-for-Agility	
1	Nutzung von bereits genutzten und bewährten Komponenten zuverlässigen Lieferanten
2	Modulare Produktgestaltung, um Simultaneous Engineering zu ermöglichen
3	Nutzung einer hohen Anzahl an Standardteilen (intern und extern)
4	Nutzung von Software anstatt von Hardware, um Variabilität zu erhöhen
5	Kompatible Modulschnittstellen, um eine hohe Anzahl an Kombination unterschiedlicher Standardteile zu ermöglichen
6	Jede Varianteneigenschaft sollte zu genau einem Modultyp zugeordnet werden

Service

T. Beinke, M. Quandt, M. Freitag, T. Rieger
Offshore-Service Logistik 4.0 – Einsatzpotenziale für die Offshore-Windenergie durch Industrie 4.0-Ansätze 43



R. Schulz
Prozesse optimieren mit grafischem Materialflussrechner – Softwarelösung verbessert Intralogistik von Unternehmen 61



Service

Editorial	3
Veranstaltungen & News	6
Rezensionen	65
Dankagung Reviewer 2017	66
Vorschau auf Industrie 4.0 Management 1/2018	67
Impressum	67
Titel: © chombosan / fotolia.com	

Datum und Ort	Veranstaltung	Weitere Informationen
11.-14.12.2017, Frankfurt am Main	<i>Konferenz</i> IT-Tage 2017	www.ittage.informatik-aktuell.de
12.-13.12.2017, Düsseldorf	<i>Konferenz</i> International VDI Conference – Big Data in the Production Line	www.vdi-wissensforum.de
16.-17.01.2018, Fürstenfeldbruck	<i>Messe</i> PROsecurTy 2018	www.prosecurityexpo.de
24.-25.01.2018, Hamburg	<i>Messe</i> All about automation Hamburg 2018	www.automation-hamburg.com
30.01.-01.02.2018, Karlsruhe	<i>Messe</i> LEARNTEC – Leitmesse für digitale Bildung	www.learntec.de
31.01.-01.02.2018, Frankfurt am Main	<i>Konferenz</i> Forum Automobillogistik 2018	www.bvl.de/fal
07.02.2018, Hannover	<i>Konferenz</i> 7. Robotics Kongress – Mensch und Roboter rücken enger zusammen	www.hannovermesse.de
05.-09.02.2018, München	<i>Messe & Konferenz</i> OOP 2018 – Software meets Business	www.oop-konferenz.de
20.-22.02.2018, Bremen	<i>Konferenz</i> 6 th International Conference on Dynamics in Logistics (LDIC 2018)	www.ldic-conference.org

Digitalisierung in der Fertigung

Anfang 2017 wurde das neue ERP-System bei der RAU GmbH in Balingen gestartet. Seit Beginn des Jahres konnte das mittelständische Unternehmen mit 100 Mitarbeitern ein Wachstum von 14 % verzeichnen – die neue Unternehmenssoftware unterstützt den Betrieb bei der schnellen Progression. Die IT-Experten von Computer-Komplett übernahmen die Einführung des neuen Systems. Mit der neuen Unternehmenssoftware verfügt RAU nun über eine nahezu papierlose Fertigung und Vernetzung aller Prozesse



RAU GmbH setzt mit abas ERP auf die Digitalisierung in der Fertigung und verbessert betriebliche Abläufe.

– vom Auftrag über die Produktion bis zum Versand.

RAU GmbH
www.rau-gmbh.de

Europaweite Studie zur Digitalisierung

Europa benötigt bessere Regeln für den digitalen Wandel der Wirtschaft. Für den Umgang mit Daten wünschen sich Unternehmen einen einheitlichen, EU-weiten Rechtsrahmen und Freiräume für privatrechtliche Lösungen. Das geht aus einer europaweiten Studie der Wirtschaftskanzlei Noerr LLP und BusinessEurope – dem europäischen Dachverband der nationalen Industrie- und Arbeitgeberverbände – hervor. Befragt wurden Unternehmensentscheider aus 20 verschiedenen Ländern.

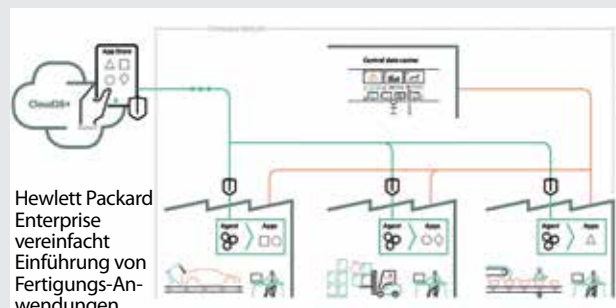
Noerr LLP
www.noerr.com

Einführung von Fertigungs-Anwendungen vereinfacht

Hewlett Packard Enterprise wird eine neue Plattform zur Verfügung stellen, die

die Einführung von Fertigungs-Anwendungen in Fabriken drastisch vereinfacht und den gemeinsamen Betrieb von traditionellen und Smart-Factory-Anwendungen ermöglicht. Die Express App Platform - Manufacturing wird in der Fabrik betrieben und ist mit Cloud28+ integriert, dem weltgrößten Cloud-Marktplatz. Ähnlich wie bei einem Smartphone lassen sich Anwendungen von Cloud28+ mit nur sechs Klicks herunterladen und vor Ort installieren. Die Plattform hilft Kunden, die digitale Transformation ihrer Fertigung zu beschleunigen, ohne dass die laufende Produktion gestört wird.

Hewlett Packard Enterprise
www.hpe.com



Hewlett Packard Enterprise vereinfacht Einführung von Fertigungs-Anwendungen.

Einkäufer erkennen Vorteile von B2B-Plattformen

Der B2B-Marktplatz „Wer liefert was“ hat eine Studie zur „Rolle von Plattformen und Marktplätzen im Einkauf“ durchgeführt. Rund 1.300 Einkäufer aus Deutschland, Österreich und der Schweiz wurden im September 2017 zu ihrem Nutzungsverhalten und zu Herausforderungen, die ihnen im Zusammenhang mit Plattformen und Marktplätzen begegnen, befragt. Ergebnis der Online-Studie: Sie werden vor allem für die schnelle Auffindbarkeit von Produkten geschätzt, liefern aber noch zu wenig detaillierte Produktinformationen.

Wer liefert was? GmbH
www.wlw.de

Ein digitales Universalwerkzeug für die Produktionsanalyse

Entwicklung einer Web-App zur methodenübergreifenden Analyse von Produktionsprozessen

Constantin Grabner, Firaz Khokhar, TU Hamburg, Thomas Schoop, Dräger, Lübeck und Hermann Lödding, TU Hamburg

Eine gründliche Analyse ist die Grundlage für eine zielgerichtete Verbesserung von Produktionsprozessen. Insbesondere im Umfeld von Lean Production sind zahlreiche Analysemethoden und -werkzeuge entstanden, die es erfordern, umfangreiche Informationen über Produktionssysteme zu erfassen. Die Digitalisierung bietet die Möglichkeit, den Aufwand für die Erfassung und Auswertung deutlich zu reduzieren. Das Institut für Produktionsmanagement und -technik (IPMT) der Technischen Universität Hamburg hat in Zusammenarbeit mit dem Medizintechnikunternehmen Dräger eine geräteunabhängige Web-App zur Analyse von Produktionsprozessen entwickelt. Dieser Beitrag beschreibt, welche Datenstrukturen und Technologien es ermöglichen, gängige Analysemethoden zu nutzen und sie an unternehmensspezifische Problemstellungen anzupassen.

Die kontinuierliche Verbesserung von Produktionsprozessen ist eine der zentralen Aufgaben für Unternehmen, um dauerhaft wettbewerbsfähig zu bleiben. Mit wachsender Popularität des Lean Managements haben viele Unternehmen eigene Standards für den Ablauf von Verbesserungsprojekten geschaffen. Angelehnt an den PDCA-Zyklus [1] beruht das Vorgehen meist auf einem vierstufigen Verfahren, das aus der Untersuchung der Ist-Prozesse, einer Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen, einer Wirksamkeitsüberprüfung und ggf. der Standardisierung besteht. Heute existieren zahlreiche Produktionsanalysen, die Mitarbeiter bei der zielgerichteten Verbesserung unterstützen. Bekannte Beispiele sind die Wertstromanalyse [2] oder SMED-Rüstablaufanalysen [3]. In Wissenschaft und Praxis entstehen zudem laufend neue Verfahren. Beispiele dafür sind die Integrale Handlungsorientierte Produktivitätsanalyse nach Czumanski [4] oder die Potenzialbewertung für Ganzheitliche Produktionssysteme [5]. Unternehmen nutzen Analysemethoden zudem nicht nur für die Untersuchung der Ist-Prozesse, sondern auch, um die Wirksamkeit von Optimierungsmaßnahmen zu überprüfen. In Verbesserungsprojekten kommen Analysen anlassbezogen zur Anwendung und erfordern häufig eine Anpassung an die jeweilige Problemstellung. Geeignete, automatisiert erfasste Daten stehen folglich meist

nicht zur Verfügung. Ein Großteil des Analyseaufwands in Verbesserungsprojekten besteht daher darin, vielfältige Daten manuell zu erfassen und aufzubereiten.

Industrie 4.0 ist gegenwärtig das Schlagwort für die fortschreitende digitale Transformation im Produktionsumfeld. Die zunehmende Vernetzung, die wachsende Verfügbarkeit mobiler Endgeräte und neue Technologien, z. B. Augmented Reality, ermöglichen es, bestehende Prozesse effizienter zu gestalten [6]. Mittlerweile existieren auch Softwarelösungen, die darauf abzielen, die Datenerfassung und -verarbeitung bei Verbesserungsprojekten zu digitalisieren. Bestehende Lösungen lassen sich in zwei Gruppen einteilen: Die erste Gruppe ist auf ein konkretes methodisches Vorgehen zugeschnitten (z. B. „OEE Monitor“ [7] oder „Value Stream Q Basics“ [8]). In dieser Gruppe erfordert jede neue Analysemethode zusätzliche Entwicklungsarbeit. Die Anwender können die Analysen zudem nur im geringen Maße an die Besonderheiten des eigenen Unternehmens anpassen. Die zweite Gruppe (z. B. „REFA Zeit“ [9] oder „toggl“ [10]) erlaubt es zwar, vielfältige Daten zu erfassen, bietet dafür aber kein methodisches Vorgehen. Für beide Gruppen gilt, dass viele Angebote an einzelne technische Plattformen gebunden sind.

An All-Purpose Tool for Production Analysis – Development of a Multi-Method Web Application

There are numerous analysis methods available to support engineers working on continuous improvement projects. Digital transformation facilitates to reduce the effort for data acquisition and processing. The Institute of Production Management and Technology and the medical company Dräger have jointly developed a web application for multi-method analysis. This article describes its data structure and technology.

Keywords:

Industry 4.0, analysis, web application, lean production, continuous improvement

Constantin Grabner, M. Sc. arbeitet als Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionsmanagement und -technik der TU Hamburg.

Firaz Khokhar, B. Sc. studiert Informatik-Ingenieurwesen an der TU Hamburg.

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Schoop arbeitet als Projekt-Ingenieur bei der Drägerwerk AG & Co. KGaA.

Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding ist Professor für technisches Produktionsmanagement an der TU Hamburg und leitet das Institut für Produktionsmanagement und -technik.

ipmt@tuhh.de
www.tuhh.de/ipmt



Bild 1: Responsives Design der entwickelten Web-App.

Für das IPMT und das Unternehmen Dräger stellte sich daher die Frage, wie eine plattformunabhängige Software für die manuelle Datenerfassung und -aufbereitung gestaltet sein muss, damit sie vielfältige Methoden unterstützt und es dennoch erlaubt, Analysen an unternehmensspezifische Bedürfnisse anzupassen.

Verwendete Technologien

Eine der zentralen Anforderungen für die Software ist es, Daten mit mobilen Endgeräten vor Ort erfassen zu können. Software für Tablets und Smartphones (mobile Apps) können grundsätzlich als native App oder als Web-App gestaltet sein. Native Apps sind für ein spezifisches Betriebssystem programmiert. Der Anwenderkreis beschränkt sich daher auf passende Endgeräte. Der Download nativer Apps erfolgt über App-Stores, was es für Unternehmen erschwert, Änderungen vorzunehmen und den Zugriff zu regulieren. Web-Apps sind dagegen für den Internetbrowser konzipiert. Unternehmen können daher Endgeräte mit unterschiedlichen Betriebssystemen nutzen, was auch private Smartphones miteinschließt („Bring Your Own Device“). Web-Apps vermeiden zudem die aufwändigen Veröffentlichungsprozesse von App-Stores. Darüber hinaus existieren zahlreiche, frei zugängliche Software-Frameworks, die den Programmieraufwand reduzieren. Klassische Vorteile vieler nativer Apps gegenüber Web-Apps sind die Offline-Funktionalität und eine hohe Benutzerfreundlichkeit. Aktuelle Webdesign-Standards und Software-Bibliotheken ermöglichen es jedoch, diese Vorteile ebenfalls zu realisieren. Die am IPMT entwickelte Software für die me-

thodenübergreifende Produktionsanalyse ist daher als Web-App konzipiert. Folgende Technologien sind dabei entscheidend:

Durch ein responsives Webdesign passen sich Inhalt und Darstellung der entwickelten App (Bild 1) plattformübergreifend an den Bildschirm des verwendeten Endgeräts an. Das Fundament dazu bildet das von Twitter entwickelte, frei nutzbare CSS-Framework Bootstrap.

Um die Web-App auch in Produktionsumgebungen ohne Internetzugang nutzen zu können, basiert die Anwendung auf einer Single-Page-Application-Architektur. Das Grundgerüst der App besteht lediglich aus einer einzelnen Webseite, die der Nutzer vollständig auf sein Endgerät lädt und im Cache des Browsers speichert. Auch neu erfasste Analysedaten werden zunächst lokal gespeichert. Lediglich bei bestehender Internetverbindung ist es vorgesehen, die dynamischen Inhalte mit dem Server zu synchronisieren.

Das von Google stammende Framework AngularJS schafft die technischen Voraussetzungen, um mit überschaubarem Programmieraufwand eine einheitliche App zu entwickeln, die für vielfältige Analysemethoden geeignet ist. Es bietet zwei wesentliche Vorteile:

1. Das Framework nutzt ein Entwurfsmuster, das die Gestaltung der grafischen Oberfläche von der Datenzugriffsebene trennt und es so ermöglicht, für die Funktion und die grafische Darstellung wiederverwendbare Elemente zu programmieren.
2. Das Framework bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Strukturierung und Modularisierung der App (z. B. View-Templates).

Zwei Technologien sind von besonderer Bedeutung, um der Web-App den Eindruck einer nativen App zu verleihen: Die Konfiguration des Web-App-Manifests erlaubt es, dass sich die App inklusive eines Icons auf dem Startbildschirm des Endgeräts installieren lässt. Nach dem Start erscheint ein Ladebildschirm und die App wird ohne Browserleiste dargestellt. Das CSS-Framework Bootstrap stellt zudem zahlreiche grafische Standardelemente zur Verfügung, wie z. B. Buttons und Menüs.

Funktionalität und Informationsarchitektur

Funktionalität und Informationsstruktur der Web-App sind so zu gestalten, dass diese unterschiedliche Methoden abbilden kann und es dem Anwender dennoch erlaubt, die Analyse ohne zusätzlichen Programmieraufwand an

individuelle Unternehmensbedürfnisse anzupassen. Analysen unterscheiden sich in folgenden Eigenschaften:

1. im Datenbedarf,
2. im Vorgehen zur Datenerfassung,
3. in der Logik zur Datenverarbeitung und -aufbereitung.

Für die Entwicklung einer methodenübergreifenden Web-App für die Produktionsanalyse sind die unterschiedlichen Ausprägungen dieser Analyseigenschaften bei der Gestaltung der Funktionen zur Analysevorbereitung, Datenaufnahme und Datenauswertung zu berücksichtigen. Zwei Analysen dienen zur Veranschaulichung der Lösungsansätze. Das erste Beispiel ist exemplarisch für bereits existierende Methoden. Die SMED-Methode dient dazu, Rüstzeiten von Maschinen zu reduzieren. Es besteht aus folgenden Stufen [3]: Der Verlagerung von vor- und nachbereitenden Aktivitäten, der Umwandlung von internen in externe Tätigkeiten und der Optimierung interner und externer Abläufe. Die Rüstablaufanalyse nach Frühwald [11] ermittelt die Reihenfolge und Zeitanteile der am Rüstvorgang beteiligten Objekte und Tätigkeiten. Die Ergebnisse offenbaren, welche Rüstschritte sich verlagern, umwandeln oder optimieren lassen. Das zweite Analysebeispiel veranschaulicht, wie Unternehmen eine individuelle Analyse erstellen können, z. B. für konkrete Verbesserungsprojekte.

Die Vorbereitungsfunktion setzt sich aus drei Bausteinen zusammen. Merkmale, Abhängigkeiten und Erfassungssets ermöglichen es nach einer kurzen Einweisung in die App methodenübergreifend, den Datenbedarf und das Vorgehen zur Datenerfassung einer Analyse zu modellieren. Um im ersten Schritt die Merkmale zu definieren, legt der Anwender der Web-App (z. B. ein Produktionsingenieur) Merkmalsgruppen fest, die er mit hierarchisch gegliederten Ausprägungen füllt (Bild 2). Dazu bestimmt er für jede Gruppe einen Datentyp und eine Abfragereihenfolge. Für die Rüstablaufanalyse ist es beispielweise charakteristisch, den zeitlichen Ablauf (Datentyp) von Rüstabschnitten, Rüsttätigkeiten und Objekten (Reihenfolge und Merkmalgruppen mit Ausprägungen) zu erfassen. Für eine individuelle Analyse wäre es in der Web-App auch möglich, Bestände, Prozesszeiten oder Multimomentaufnahmen zu konfigurieren.

Im zweiten Schritt definiert der Nutzer die Abhängigkeiten. Sie speichern Vorgänger-Nachfolger-Beziehungen zwischen Ausprägungen. Ziel ist es, die Auswahlmöglichkeiten bei der Datenaufnahme auf plausible Kombinationen

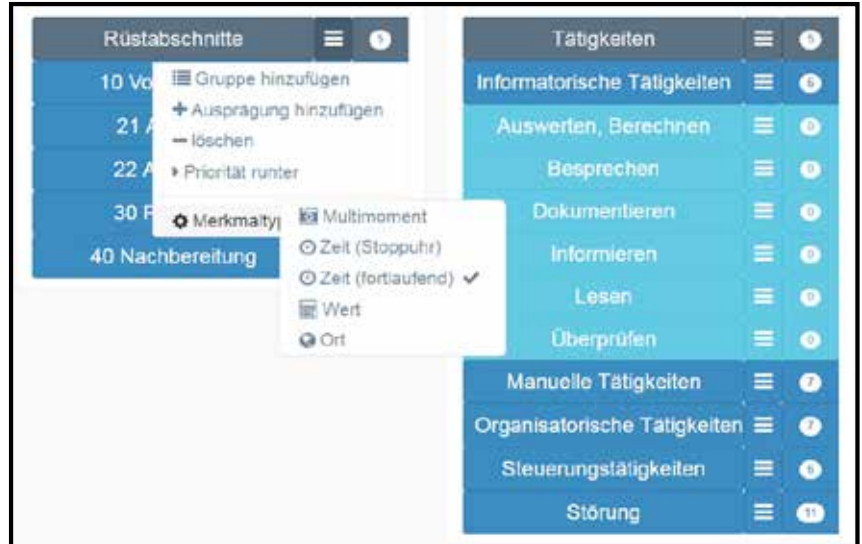


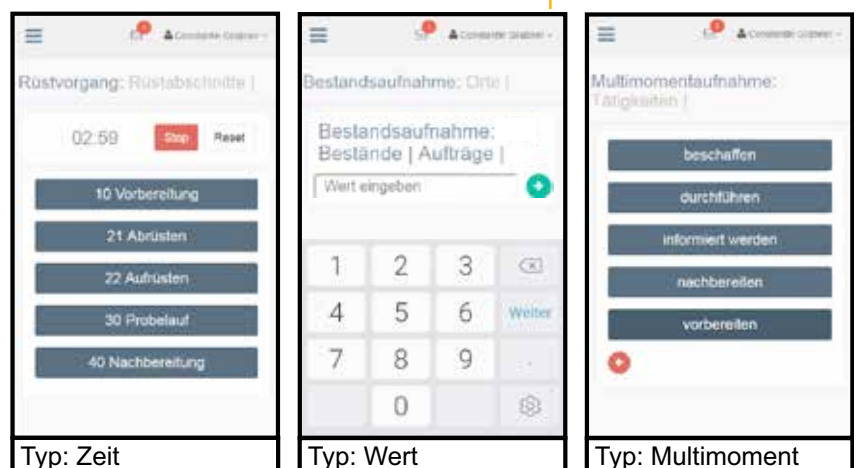
Bild 2: Konfiguration der Merkmale.

zu begrenzen. Beobachtet der Nutzer bei der Rüstablaufanalyse z. B. die Tätigkeit „Lesen“, ist es so möglich, danach das Objekt „Betriebsmittel“ auszuschließen.

Im letzten Schritt bildet der Nutzer Erfassungssets. Eine Analyse kann aus mehreren Sets bestehen, denen jeweils nur eine Teilmenge aller Merkmale zugeordnet ist. Für jedes Set ist es möglich, individuelle Erfassungsoptionen festzulegen. Sie können Informationen darüber enthalten, wer die Datenerfassung durchführt oder in welchen Intervallen sie erfolgt. So kann die individuelle Analyse z. B. beinhalten, dass in festen Intervallen eine Bestandsaufnahme und zu zufälligen Zeitpunkten eine Multimomentaufnahme durchgeführt wird. Bei der Rüstablaufanalyse kann ein Erfassungsset speichern, ob die Analyse durch den Maschinenbediener selbst oder durch einen Beobachter erfolgt.

Die Ergebnisse der drei Schritte lassen sich in einer Datei als Vorlage für eine Methode speichern. Mithilfe der Vorlagen kann der Anwender Merkmale, Abhängigkeiten und Erfassungssets laden und die Analysemethode in

Bild 3: Datenaufnahme mit exemplarischen Merkmalstypen.



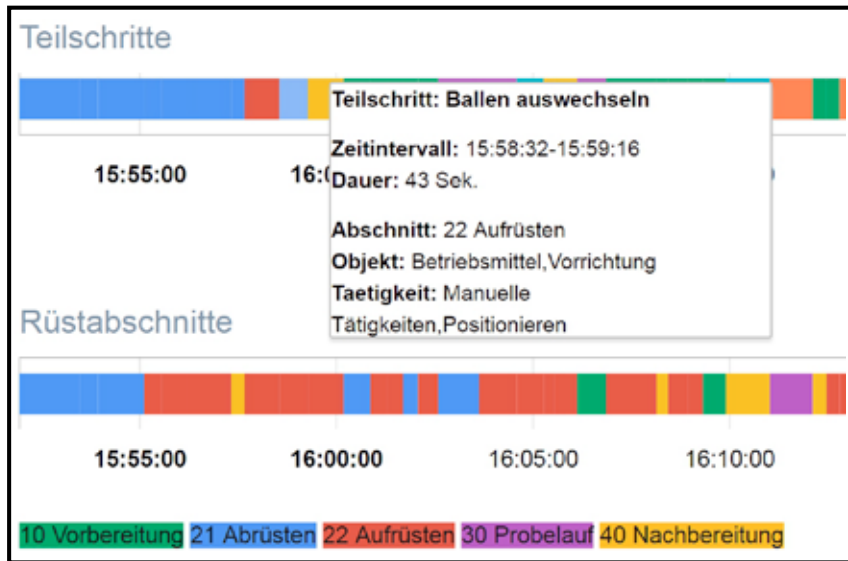


Bild 4: Teilausschnitt der Ergebnisdarstellung für Rüstablaufanalysen.

wenigen Klicks an die Unternehmensbedürfnisse anpassen.

Um ein methodenübergreifendes Vorgehen zur Datenerfassung zu gewährleisten, orientiert sich die Gestaltung der Datenaufnahmefunktion an den zuvor definierten Merkmalstypen. Bei bestehender Verbindung lädt die Web-App die in der Analysedatei gespeicherten Informationen über Datenbeschaffenheit und Erfassungsvorgehen. In der Anwendung sind anschließend alle freigegebenen Analysen auswählbar. Hat der Nutzer ein Erfassungssset ausgewählt, beginnt die Aufnahme. Die App zeigt die dem Set zugeordneten Merkmale in der vorab definierten Reihenfolge an. Der modulare Aufbau der Web-App erlaubt, dass sich Funktion und Design dabei automatisch an den jeweiligen Merkmalstyp anpassen (Bild 3). So erscheint beispielsweise bei der Rüstablaufanalyse eine fortlaufende Stoppuhr, die mit Beginn der nächsten Beobachtung den letzten Wert speichert und sich automatisch zurücksetzt. Im zweiten Fallbeispiel zeigt die App einen Ziffernblock für die Bestandsaufnahme sowie eine Liste auswählbarer Merkmale für die Multimomentaufnahme an. Nach jeder Eingabe wird anhand der Abhängigkeiten überprüft, welche der darauffolgenden Merkmale noch angezeigt werden müssen. Die Ergebnisse werden zunächst lokal in einem einheitlichen Format gespeichert. Bei bestehender Internetverbindung kann der Nutzer sie mit dem zentralen Server synchronisieren.

Für eine methodenübergreifende Auswertungsfunktion ist es in der Web-App möglich, individuelle Ergebnisübersichten (Dashboards) zu programmieren. Die Dashboards speichern die spezifische Logik zur Datenverarbeitung und -aufbereitung einer Analyseverfahren. Die Zuordnung der Ergebnisse erfolgt dabei automatisch

über die vorab ausgewählte Vorlage. So enthält beispielsweise die Auswertung für die Rüstablaufanalyse als Kernelement ein gestapeltes Balkendiagramm, um Zeitanteile und Reihenfolge der beobachteten Rüstabschnitte zu visualisieren und so Ansatzpunkte für das SMED-Verfahren zu liefern (Bild 4). Durch das einheitliche Ergebnisformat und den modularen Aufbau der App ist es für Entwickler mit Basiswissen aus dem Bereich Webentwicklung für einfache Methoden innerhalb weniger Stunden möglich, neue Ergebnisdarstellungen umzusetzen. Die Web-App verfügt bereits über Dashboards für Produktivitätsanalysen, Rüstablaufanalysen und eine einfache Möglichkeit, um Multimoment-, Zeit- und Bestandsaufnahmen auszuwerten. Derzeit arbeitet das IPMT daran, die Methode Wertstromanalyse in die App zu integrieren.

Zusammenfassung und Ausblick

Dieser Beitrag beschreibt Technologien und Informationsstrukturen, um unterschiedlichste Methoden für Produktionsanalysen mit manueller Datenerfassung in einer einheitlichen Software abzubilden. Die Anwender können dabei auf Standardmethoden zurückgreifen und ihre Analyse ohne zusätzlichen Programmieraufwand an individuelle Bedürfnisse anpassen. Aus technischer Sicht sind insbesondere das responsive Webdesign, die Offline-Funktion, der modulare Aufbau und die Konfiguration moderner HTML5-Standards von Bedeutung. Merkmale, Abhängigkeiten und Erfassungsssets schaffen die Informationsarchitektur, um Analysen methodenübergreifend vorzubereiten und als anpassungsfähige Vorlage zu speichern. Merkmalstypen und ein standardisiertes Vorgehen ermöglichen die methodenübergreifende Datenerfassung. Wiederverwendbare, modulare Ergebnisdarstellungen dienen dazu, verschiedene Verfahren zur Datenverarbeitung und -aufbereitung zu speichern. Die entwickelte Web-App bildet die Grundlage, um mit geringem Aufwand neue Analyseverfahren (z. B. kollaborative Analysen) zu entwickeln und zu erproben. Darüber hinaus ist es das Ziel, die Web-App um ein Modul zu erweitern, das die Analyseergebnisse automatisch mit Verbesserungsmethoden verknüpft.

Schlüsselwörter:

Industrie 4.0, Analyse, Web Application, Lean Production, kontinuierliche Verbesserung

Dieser Beitrag basiert auf den Arbeiten im Rahmen des Projekts „Integrale Handlungsorientierte Produktivitätsanalyse für die variantenreiche Kleinserienfertigung“ (LO 858/11 – 1), das durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert wird.

Literatur

- [1] Deming, W. E.: Out of the crisis. Quality, productivity and competitive position. Cambridge 1986.
- [2] Rother, M.; Shook, J.: Sehen lernen: Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen. Mülheim an d. Ruhr 2015.
- [3] Shingo, S.: Quick Changeover for Operators: The SMED System (Shopfloor Series). Portland, Oregon 1996.
- [4] Czumanski, T.: Handlungsorientierte Analyse der Arbeitsproduktivität in der Serienproduktion. Dissertation, TU Hamburg 2013.
- [5] Dombrowski, U.; Adams, T.; Ebentreich, D.; Klätte, H.: Assessment Ganzheitlicher Produktionssysteme. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 110 (2015) 9, S. 518-521.
- [6] Anderl, R.: Leitfaden Industrie 4.0. Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. Frankfurt am Main 2015.
- [7] AutoLean, Inc.: OEE Monitor. URL: <http://www.autolean.com>, Abrufdatum 11.10.2017.
- [8] Bosch: Value Stream Q-Basics. URL: <https://appcenter.bosch.com/details/-/app/ValueStreamQBasicsE>, Abrufdatum 11.10.2017.
- [9] REFA: Refa Zeit App. URL: <http://www.refa-verwaltung.de/service/refa-apps>, Abrufdatum 11.10.2017.
- [10] Toggl: Toggl. URL: <https://toggl.com>, Abrufdatum 11.10.2017.
- [11] Frühwald, C.: Analyse und Planung produktionstechnischer Rüstabläufe. Düsseldorf 1990.

Interaktive Planung und Steuerung für den Automobilumschlag

Lösungsansatz für die Steigerung der Effizienz und Flexibilität der Logistikabwicklung auf See- und Binnenhäfen

Susanne Schukraft, Stephan Oelker, Dirk Werthmann, Michael Freitag, BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, Michael Görge, BLG LOGISTICS GROUP AG & Co. KG, Emrah Gencer und Artur Malek, 28Apps Software GmbH

Die Logistikleistungen von See- und Binnenhäfen stellen für die Automobillogistik einen wichtigen Bestandteil der Fahrzeugdistribution dar. Grundlegende Anforderungen an die logistische Abwicklung des Fahrzeugumschlags sind eine hohe Effizienz und Prozesssicherheit. Zudem sind eine hohe Flexibilität und Reaktivität erforderlich, um kurzfristig auf Störungen und unerwartete Änderungen reagieren zu können. Dieser Beitrag zeigt in diesem Kontext die Handlungsfelder und einen Lösungsansatz für die Gestaltung einer interaktiven Planung und Steuerung der logistischen Abwicklung auf See- und Binnenhäfen auf. Der Ansatz beinhaltet eine simulationsgestützte Planung der Logistikabwicklung sowie eine standortabhängige Prozesssteuerung und soll damit zu einer Steigerung der Effizienz und Flexibilität im Hafenumschlag beitragen.

Die Logistikleistungen deutscher Häfen spielen eine bedeutende Rolle für den Warenimport und -export. Insbesondere für die deutsche Automobilindustrie sind die Häfen als Umschlagspunkt für den Export ein wichtiger Bestandteil der Fahrzeugdistribution. Das Leistungsangebot der Hafenterminals umfasst die gesamte logistische Abwicklung, d. h. die Annahme, die Zwischenlagerung sowie die land- und wasserseitige Verladung der Fahrzeuge. Darüber hinaus werden auf den Terminals zusätzliche technische Dienstleistungen (z. B. Einbauten von Sonderausstattungen, Fahrzeugreinigung, Transportschutz) angeboten, die in die logistischen Abläufe integriert werden müssen [1].

Die logistische Abwicklung auf den Hafenterminals steht vor vielfältigen Herausforderungen. In der Automobilbranche unterliegt die gesamte Auftragsabwicklung einem hohen Kosten- und Zeitdruck [2]. Dies erfordert im Bereich des Hafenumschlags eine hohe Prozesssicherheit und -effizienz, um gegebene Lieferfristen bei gleichzeitig möglichst geringen Umschlagskosten einzuhalten. Darüber hinaus ist der Fahrzeugumschlag eng vernetzt mit vor- und nachgelagerten Partnern der automobilen Supply Chain. Eine entsprechend hohe Flexibilität ist erforderlich, um kurzfristig auf unerwartete Störungen und Änderungen der Prozessabläufe reagieren zu können. Bei-

spielen sind zusätzliche Aufträge aufgrund kurzfristiger Händlerabrufe, Verspätungen von Transportmitteln (Schiff, Zug, Lkw) oder ungenaue Informationen über anstehende Aufträge für den Import und Export. Eine weitere Herausforderung besteht in der Bewältigung zunehmender Stückzahlen für den Import und Export. So hat sich der Fahrzeugumschlag bspw. am Standort Bremerhaven (Bild 1) allein im ersten Quartal 2017 um 13,9 % gegenüber dem Vorjahr gesteigert [3].

Die Planung und Steuerung der logistischen Abwicklung verfügt heute nicht über die erforderliche Effizienz und Flexibilität, um die beschriebenen Herausforderungen zu bewältigen. Die in den IT-Systemen hinterlegten Planungsregeln können die Komplexität des Planungsproblems nicht ausreichend berücksichtigen [4]. Dies resultiert in teilweise langen Fahrwegen und damit Effizienzverlusten. Aufgrund fehlender Echtzeitinformationen können kurzfristige Änderungen (z. B. Verspätung von Schiffen oder zusätzliche Aufträge) zudem nur verzögert durch manuelle Eingriffe in das System umgesetzt werden [5].

Der vorliegende Beitrag beschreibt in diesem Zusammenhang die Handlungsfelder und einen Lösungsansatz für die Gestaltung

Interactive Logistics Planning and Control for the Turnover of Vehicles

Logistic processes at seaports and inland terminals play an important role for finished vehicle logistics. High flexibility and reactivity are required to cope with frequent deviations from original operational planning. This paper describes a concept for developing tools and systems to optimize planning and control processes. This includes a simulation backed planning system and a control system for order allocation using mobile devices and their GPS as well as sensor data.

Keywords:

sea and inland ports, interactive planning and control, simulation based planning, mobile devices

MBE Susanne Schukraft, Dipl.-Wi.-Ing. Stephan Oelker und Dipl.-Wi.-Ing. Dirk Werthmann sind wissenschaftliche Mitarbeiter am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen.

Prof. Dr.-Ing. Michael Freitag ist Direktor des BIBA sowie Leiter des Fachgebiets Planung und Steuerung produktionstechnischer und logistischer Systeme (PSPS) im Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen.

Dipl. Wi.-Ing Michael Görge ist Projektmanager bei der BLG LOGISTICS GROUP AG & Co. KG in Bremen.

Emrah Gencer und Diplom-Informatiker Artur Malek sind Geschäftsführende Gesellschafter der 28Apps Software GmbH in Bremen.

skf@biba.uni-bremen.de
www.biba.uni-bremen.de

einer interaktiven Planung und Steuerung der Logistikabwicklung auf See- und Binnenhäfen. Durch den Einsatz von Simulation und Ortung soll die Effizienz der logistischen Abwicklung auf Hafenterminals gesteigert werden. Die Effizienzsteigerung umfasst die Verbesserung der logistischen Zielerreichung, z. B. die Reduzierung von Leerfahrten oder die Steigerung der Termintreue. Darüber hinaus soll die Flexibilität der Logistikabwicklung erhöht werden. Dies beinhaltet z. B. die Möglichkeit einer kurzfristigen simulationsbasierten Neuplanung bei Planabweichungen oder die Berücksichtigung kurzfristiger Auftragsverschiebungen bei der Auftragssteuerung.

Der Lösungsansatz basiert zudem auf einer intensiven Interaktion zwischen den Mitarbeitern und dem Planungs- und Steuerungssystem. Damit soll das vorhandene Erfahrungswissen der Mitarbeiter genutzt werden, das oftmals nicht vollständig innerhalb einer Software formalisiert werden kann. Zudem unterstützen die Interaktionsmöglichkeiten die bereichsübergreifende Zusammenarbeit bei der Planung.

Die Entwicklung des vorgestellten Lösungsansatzes erfolgt in einer Kooperation zwischen der BLG AutoTerminal Bremerhaven GmbH & Co. KG, der 28Apps Software GmbH und dem BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH. Die entwickelte Lösung soll prototypisch auf dem AutoTerminal der BLG in Bremerhaven implementiert und validiert werden.

Aufgaben und Handlungsfelder der Planung und Steuerung

Die Planung der logistischen Abwicklung im Hafenbereich umfasst die Schiffsplanung (Festlegung von Liegeplätzen, Anlegezeiten und Liegezeiten), die Gleisplanung (Darstellung der voraussichtlichen Gleisbelegung), die Flächenplanung (Flächen für die Be- und Entladung für den wasser- und landseitigen Import und Export sowie die Lagerung) und die Personal-

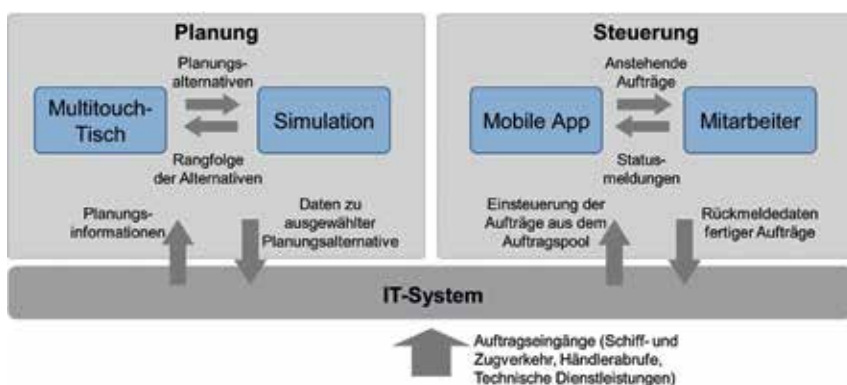
einsatzplanung (erforderliche Mitarbeiter für Be- und Entladung sowie Fahrzeugbewegungen auf dem Terminal).

Die Planung beinhaltet eine hohe Komplexität, u. a. bedingt durch wasser- und landseitigen Transport, sowohl Import- als auch Exportprozesse sowie hohe Umschlagsleistungen. Die Planung der Prozesse und der Ressourcen erfolgt systemunterstützt, allerdings bislang auf einer heterogenen Systemplattform unter Anwendung verschiedener Planungssysteme. Die Zuweisung der Fahrzeuge zu Stellflächen auf dem Terminal erfolgt anhand fest hinterlegter Regeln und Prioritäten. Diese Regeln können nachfolgende Prozessschritte bei der Stellplatzvergabe nicht ausreichend berücksichtigen und unterscheiden z. B. nicht zwischen technischen Dienstleistungsstationen, die teilweise räumlich weit auseinander liegen [4]. Die heutige Planung führt teilweise zu langen Wegstrecken und Fahrzeiten bei der Auftragsabwicklung. Darüber hinaus ist das Planungssystem nicht in der Lage, unerwartete Zwischenfälle (z. B. Eilaufträge, Störungen technischer Dienstleistungsstationen) kurzfristig in die Planung zu integrieren. In derzeitigen Abstimmungsprozessen werden daher oftmals robuste Lösungen angestrebt, die insbesondere aufgrund der großzügigen Einplanung von Flächen und Mitarbeitern ein hohes Verbesserungspotenzial aufweisen.

Die Steuerung beinhaltet die Auftragszuordnung, d. h. die Zuordnung von Fahrzeugbewegungen zu den Mitarbeitern und die Festlegung der Auftragsreihenfolge, in der die Fahrzeuge bewegt werden. Die Steuerung der Fahrzeugbewegungen erfolgt ebenfalls systemgestützt. Die heutigen Steuerungskonzepte basieren in der Regel auf Einwegverkehren und der Rückführung von Mitarbeitererteams durch Shuttleverkehre. Dies führt zu einer hohen Anzahl an Leerfahrten und der entsprechend geringen Produktivität der Mitarbeiter. Die Abarbeitung der anstehenden Aufträge erfolgt anhand von Auftragslisten, die den Mitarbeitern zu Schichtbeginn in Papierform ausgehändigt werden. Im Schichtverlauf notwendig werdende Anpassungen lassen sich nur mit zusätzlichem Aufwand im Arbeitsablauf berücksichtigen [5].

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sowohl die Planung als auch die Steuerung hohe Verbesserungspotenziale (u. a. hinsichtlich der Fahrwege und der Ressourcenplanung) aufweisen. Darüber hinaus sind weder Planung noch Steuerung der Logistikabwicklung heute in der Lage, ausreichend flexibel auf kurzfris-

Bild 1: Lösungsansatz für eine interaktive Planung und Steuerung.



tige Änderungen im Umfeld zu reagieren. Die Berücksichtigung dieser Änderungen erfordert ein zeitaufwendiges manuelles Eingreifen in die Prozesse und ist mit hohen administrativen Aufwänden verbunden.

Lösungsansatz für eine interaktive Planung und Steuerung

Der nachfolgend vorgestellte Lösungsansatz (Bild 1) adressiert die dargestellten Handlungsfelder durch die Entwicklung einer interaktiven Planung und Steuerung.

Die Planung (linke Seite in Bild 1) umfasst die Zuordnung von Schiffs-liegeplätzen, die Festlegung der Gleis- und Flächenbelegung sowie die Bestimmung der erforderlichen Mitarbeiterkapazitäten. Basierend auf den aktuellen Auftragseingängen sollen die erforderlichen Planungsinformationen (z. B. Schiffsankünfte oder Händlerabrufe) über eine Software-schnittstelle an die auf dem Multitouch-Tisch installierte Software-Applikation übermittelt werden. Über diesen Multitouch-Tisch können Planungsalternativen einschließlich vorhandener Planungsrestriktionen (z. B. maximal vorhandene Mitarbeiterkapazität) definiert werden. Für die Bewertung der Planungsalternativen soll eine ereignisdiskrete Simulationssoftware eingesetzt werden. Die Simulation ermöglicht die Bewertung der Alternativen anhand eines multikriteriellen Zielsystems (z. B. Flächenbedarf, erforderlicher Mitarbeiter-einsatz, Termintreue, Durchlaufzeiten). Mögliche Planungsalternativen ergeben sich unter anderem für den Fall, dass bei der Be- und Entladung von Transportmitteln unterschiedliche Stellflächen zur Auswahl stehen. Die Planung muss bspw. ankommenden Schiffen einen eindeutigen Liegeplatz zuweisen. Die Wahl des Liegeplatzes führt zu unterschiedlich langen Fahrwegen und beeinflusst damit den Mitarbeiter- und Zeitbedarf für die Be- und Entladung. Die Leistungsunterschiede der einzelnen Alternativen können simulationsbasiert bewertet werden. Basierend darauf können die Alternativen in eine Rangfolge gebracht werden, die dem Mitarbeiter als Entscheidungshilfe bei der Auswahl einer der vorgeschlagenen Alternativen dient.

Die simulationsbasierte Planung soll eine verbesserte Nutzung der erforderlichen Ressourcen (z. B. Flächenbelegung, Mitarbeiterkapazitäten) und gleichzeitig eine hohe Planungssicherheit ermöglichen. Anstelle einer rein intuitiven Planung ermöglicht die Simulation eine umfassende Bewertung verschiedener Planungsalternativen. Diese ist in der Lage, neben logistischen Zielgrößen (z. B.

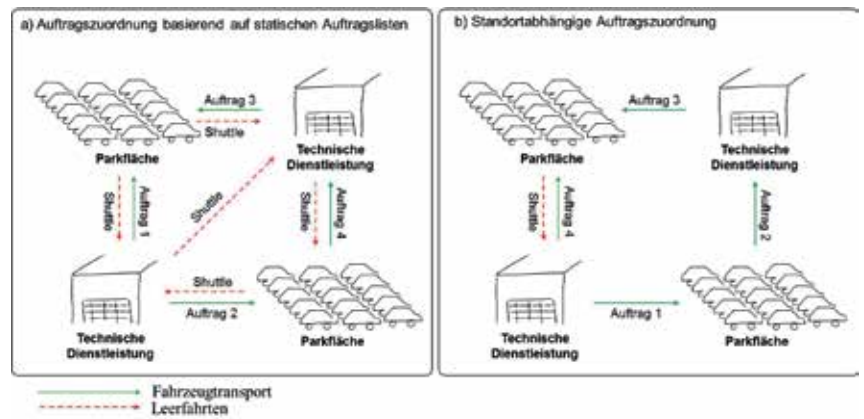


Bild 2: Statische vs. standortabhängige Auftragszuordnung (in Anlehnung an [6]).

Termintreue oder Kapazitätsauslastung) auch weitere Kenngrößen, bspw. die Robustheit der Planungsszenarien gegenüber auftretenden Planänderungen, zu berücksichtigen. Damit unterstützt die Simulation die Mitarbeiter dabei, die für die jeweilige Situation am besten geeignete Planungsalternative auszuwählen. Die simulationsgestützte Planung soll zudem bei auftretenden Änderungsbedarfen (z. B. aufgrund von Verspätungen) eingesetzt werden, um notwendige Umplanungen zu beurteilen und damit eine reaktionsschnelle Anpassung der Planung zu ermöglichen.

Um zukünftig auf kurzfristige Änderungen reagieren zu können, ist im Rahmen des Lösungsansatzes auch die Entwicklung einer dynamischen und interaktiven Steuerung der Fahrzeugbewegungen vorgesehen. Anstelle der Nutzung statischer Auftragslisten soll die Steuerung der Fahrzeugbewegungen zukünftig neben den Auftragsdaten (z. B. Liefertermine) auch den Standort der Fahrzeuge berücksichtigen. Die dynamische Steuerung basiert auf von mobilen Endgeräten und Auto-ID erzeugten Echtzeitstatusmeldungen und der Lokalisierung von Shuttle-Bussen und Fahrzeugen. Das primäre Ziel des Steuerungsalgorithmus ist eine intelligente Auftragszuordnung, die den Mitarbeitern nach jedem fertiggestellten Fahrauftrag eine direkte Bearbeitung von Folgeaufträgen ermöglicht und so die Leerfahrten reduziert (Bild 2). In der Praxis kann jedoch nicht gewährleistet werden, dass den Mitarbeitern an jedem Standort ein Folgeauftrag zur Verfügung steht. In diesem Fall sind weiterhin Shuttle-Verkehre erforderlich, die im Gegensatz zu heute bedarfsorientiert mit einer flexiblen Routenführung eingesetzt werden sollen. Dadurch besteht bei der Entwicklung die Herausforderung, dass die Steuerung neben einer Optimierung der Fahrwege für die Mitarbeiter bereits bei der Auftragszuordnung auch die Optimierung der Shuttle-Verkehre berücksichtigen muss. Der Steuerungsalgorithmus verfolgt damit neben der Reduzierung der

Leerfahrten auch die Zielsetzung, die benötigten Shuttle-Fahrzeuge auf dem Terminal zu reduzieren und eine möglichst hohe Auslastung der Shuttle-Fahrzeuge zu gewährleisten.

Der Steuerungsalgorithmus wird mittels einer mobilen App umgesetzt. Die Nutzung dieser App soll es den Mitarbeitern ermöglichen, in Abhängigkeit ihres Standorts die jeweils priorisierten Aufträge abzuarbeiten und gleichzeitig Änderungen im operativen Ablauf in der Form von Statusmeldungen zeitnah an das Steuerungssystem zu übermitteln (rechte Seite in Bild 1).

Die zur Realisierung einer interaktiven Logistikabwicklung notwendigen Informationen erfordern den Einsatz eines Ortungssystems, um z. B. den Standort von Fahrzeugen in Echtzeit zu erfassen und bei der Steuerung zu berücksichtigen. Eine Herausforderung ist die erforderliche Ortungsgenauigkeit, die eine exakte Lokalisierung der Fahrzeuge bis hin zum Stellplatz ermöglichen muss. Aus diesem Grund werden für die Umsetzung des Konzepts die Potenziale verschiedener Ortungsmethoden, wie Differential-GPS (DGPS) oder einer WLAN-Fingerprintortung untersucht. Diese Untersuchung ist erforderlich, da sich in der Vergangenheit gezeigt hat, dass eine GPS-basierte Ortung für den Automobilumschlag zu ungenau ist und am Markt verfügbare proprietäre aktive Ortungssysteme nicht wirtschaftlich eingesetzt werden können. Zudem liegt ein besonderes Augenmerk auf der Untersuchung von Möglichkeiten zur Fahrzeugverfolgung in Parkregalen, da in diesem Bereich, bedingt durch die metallische Struktur der Parkregale, eine GPS-basierte Ortung nicht möglich ist. So ist zu untersuchen, welche Sensoren gepaart mit weiteren technischen Systemen sowie prozessualen Anpassungen erforderlich wären, um Fahrzeuge in Parkregalen jeweils eindeutig einem Stellplatz zuzuweisen.

Insgesamt zielt das Konzept der interaktiven Planung und Steuerung auf eine intensive Kommunikation und Interaktion zwischen den Mitarbeitern und dem Planungs- und Steuerungssystem ab. Die Unterstützung dieser Kommunikationsmöglichkeiten erfordert im Rahmen der Entwicklung die Berücksichtigung einer anwenderfreundlichen und aufwandsarmen Bedienungsführung. Dies beinhaltet z. B. auf Seiten der Planung eine übersichtliche Visualisierung des Terminlayouts, der vorhandenen Ressourcen und der einzuplanenden Aufträge. Zudem muss der Multitouch-Tisch die Möglichkeit bieten, die Simulationsergebnisse mehrerer Planungsalternativen übersichtlich anhand definierter Zielgrößen zu vergleichen sowie

Planungsalternativen auszuwählen und gegebenenfalls anzupassen.

Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag beschreibt einen Lösungsansatz für die Entwicklung einer interaktiven Planung und Steuerung der logistischen Abwicklung auf See- und Binnenhäfen. Der Ansatz basiert auf einer intensiven Interaktion zwischen dem Planungs- und Steuerungssystem und den Mitarbeitern. Bei der Planung ermöglichen der Einsatz eines Multitouch-Tisches und die simulationsbasierte Bewertung von Planungsalternativen den Mitarbeitern eine fundierte und systematische Auswahl geeigneter Planungsalternativen. Die standortabhängige Steuerung der Fahrzeugbewegungen und der Einsatz einer mobilen App unterstützen eine Reduzierung von Leerfahrten und die Möglichkeit, kurzfristige Änderungen reaktionsschnell in den Arbeitsablauf zu integrieren. Zusammenfassend verfügt das vorgestellte Planungs- und Steuerungssystem damit über das Potenzial einer erheblichen Steigerung der Effizienz und Flexibilität der logistischen Prozesse auf See- und Binnenhäfen.

Die entwickelte Lösung soll prototypisch auf dem AutoTerminal der BLG in Bremerhaven implementiert und validiert werden. Das AutoTerminal in Bremerhaven umfasst eine Fläche von 2.400.000 m² mit ca. 95.000 Parkplätzen, 18 Schiffs Liegeplätze, 16 Bahnrampen und vier Lkw-Dispositionsflächen. Darüber hinaus werden eine Vielzahl von technischen Dienstleistungen für Import- und Exportfahrzeuge angeboten. Aufgrund seiner Größe und der Vielzahl an angebotenen Dienstleistungen beinhaltet die logistische Abwicklung auf dem Terminal eine hohe Planungskomplexität. Damit stellt das Autoterminal einen idealen Anwendungsfall für die Validierung des Planungs- und Steuerungssystems dar und sichert damit eine einfache Übertragbarkeit der angestrebten Lösung auf andere Häfen oder Autoterminals mit einer geringeren Komplexität.

Schlüsselwörter:

See- und Binnenhäfen, interaktive Planung und Steuerung, simulationsbasierte Planung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) unter dem Förderkennzeichen 19H17003 geförderten Projekts „Isabella – Automobillogistik im See- und Binnenhafen: Interaktive und simulationsgestützte Betriebsplanung, dynamische und kontextbasierte Steuerung der Gerät- und Ladungsbewegungen“.

Literatur

- [1] Böse, F.; Piotrowski, J.; Scholz-Reiter, B.: Autonomously controlled storage management in vehicle logistics - applications of RFID and mobile computing systems. In: International Journal of RF Technologies: Research and Applications 1 (2009) 1, S. 57-76.
- [2] Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Berlin Heidelberg 2010.
- [3] DVV Media Group GmbH: Bremische Häfen: Weniger Container, mehr Fahrzeuge. URL: <http://www.dvz.de/rubriken/seefracht/single-view/nachricht/bremische-haefen-weniger-container-mehr-fahrzeuge.html>, Abrufdatum 17.07.2017.
- [4] Böse, F.; Piotrowski, J.; Windt, K.: Selbststeuerung in der Automobil-Logistik. In: Industrie Management 21 (2005) 4, S. 37-40.
- [5] Werthmann, D.; Brandwein, D.; Ruthenbeck, C.; Scholz-Reiter, B.; Freitag, M.: Towards a standardised information exchange within finished vehicle logistics based on RFID and EPCIS. In: International Journal of Production Research 55 (2017) 14, S. 4136-4152.
- [6] Hoff-Hoffmeyer-Zlotnik, M.; Schukraft, S.; Werthmann, D.; Oelker, S.; Freitag, M.: Interactive Planning and Control for Finished Vehicle Logistics. In: HICL – Logistics and SCM meet Digitalization. 2017.

Industrie 4.0 trotz Altsystemen

Integration bestehender Anlagen in Cyber-Physische Produktionssysteme

Sander Lass, Universität Potsdam

Cyber-Physische Systeme (CPS) prägen im Rahmen von Industrie 4.0 seit geraumer Zeit die Diskussionen. Die Vision sieht Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) als wesentlichen Bestandteil der modernen Fabrik zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen. Wandlungsfähigkeit und Komplexitätsbeherrschung sind u. a. Potenziale dieser neuen Generation des Produktionsmanagements. Die Transformation des theoretischen Konstrukts in die praktische Realisierung kann allerdings nur unter Einbezug der den Anwendungskontext Fabrik prägenden Rahmenbedingungen erfolgen. Gegenstand des Beitrags ist ein Konzept, welches den Brown-Field-Charakter aufgreift und die CPS-Erweiterung bestehender Systeme gestattet.

Bedingt durch die Trends in der Wirtschaft und der voranschreitenden technologischen Entwicklung sind produzierende Unternehmen künftig immer mehr mit wachsender Komplexität in der Fabrik konfrontiert. Schnelle Veränderungen des Markts erfordern eine hohe Agilität des Produktionsmanagements und der Fabrikgestaltung, welche nur durch die Realisierung von Wandlungsfähigkeit effizient und zuverlässig möglich ist.

Als möglicher Lösungsansatz gelten CPS, die durch lokale Informationsbearbeitung und Autonomie sowie weitreichende Vernetzung gekennzeichnet sind. Die durch den CPS-Einsatz mögliche Dezentralisierung erlaubt, der zunehmenden, multidimensionalen Komplexität adäquat begegnen zu können.

Der Terminus CPS – im deutschsprachigen Raum geprägt durch die Forschungsagenda CPS [1] – ist integraler Bestandteil der Diskussion zukünftiger industrieller Trends. Im Rahmen der Hightech-Strategie Zukunftsprojekt „Industrie 4.0“ proklamiert die Bundesregierung CPS als Teil der Lösung zur erfolgreichen Bewältigung der wachsenden Herausforderungen durch das produzierende Gewerbe in Deutschland [2]. Als einer der wesentlichen Bausteine schaffen CPS die technische Grundlage für Selbststeuerungsmethoden in der Produktion [3, 4]. Als Potenzial der entstehenden Cyber-Physischen Produktionssysteme wird vor allem die hohe Anpassungsfähigkeit an sich ändernde Betriebsumgebungen durch die sys-

temimmanente Adaptivität und Autonomie herausgestellt [1].

Rahmenbedingungen

Eine erfolgreiche Transformation in CPPS bedarf der Berücksichtigung der den Anwendungskontext Fabrik prägenden Rahmenbedingungen. Die Fabrik-IT konstituiert sich größtenteils aus der Automatisierungstechnik. Im Vergleich zur Office-IT mit den Informationssystemen der höheren Ebenen der Automatisierungspyramide (vgl. u. a. [5]) ergeben sich zusätzliche Rahmenbedingungen [6, 7]. Dies sind u. a. die Echtzeitfähigkeit der Steuer- und Regelkreise bzgl. Informationsverarbeitung und -übertragung sowie die durch lange Betriebs- und Innovationszyklen (> 7 Jahre) implizierte Realisierung im Brown-Field.

Aus der Aufgabe, Steuer- oder Regelkreise für physisch agierende Komponenten zu implementieren, resultiert das Erfordernis der Echtzeitfähigkeit. Echtzeitfähigkeit bedeutet, dass ein System garantiert innerhalb einer Zeitschranke reagiert (Rechtzeitigkeit), nebenläufig mehrere Vorgänge bearbeitet (Gleichzeitigkeit), planbar und deterministisch ist (Vorhersehbarkeit) und unter definierten Umgebungsbedingungen ordnungsgemäß arbeitet (Verlässlichkeit) [6]. Aufgrund der Assoziation mit externen technischen Prozessen muss die Datenverarbeitung bzw. Kommunikation

Industry 4.0 Despite Legacy Systems – Integration of Existing Plants into Cyber-Physical Production Systems

Cyber-physical systems (CPS) have shaped the discussion about Industrie 4.0 for some time. For ensuring the competitiveness of producing enterprises the vision for the future figures out cyber-physical production systems (CPPS) as a core component of a modern factory. Adaptability and coping with complexity are (among others) potentials of this new generation of production management. The successful transformation of this theoretical construct into the practical implementation can only take place with regard to the conditions characterizing the context of a factory. The subject of this contribution is a concept that takes up the brown field character and describes a solution for CPS-extension of existing (legacy) systems.

Keywords:

factory operating system, CPPS, decentralized production control, Industry 4.0 retrofit



Dr.-Ing. Sander Lass ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Prozesse und Systeme an der Universität Potsdam und technischer Leiter des Anwendungszentrums Industrie 4.0 Potsdam.

sander.lass@wi.uni-potsdam.de
www.industrie40-live.de

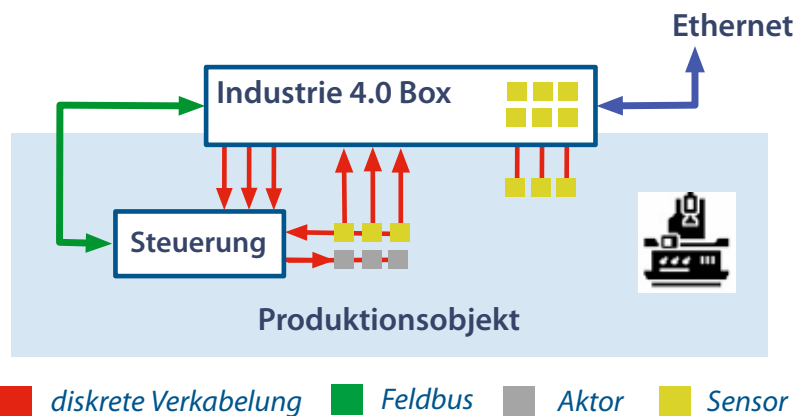


Bild 1: Prinzip der I4.0-Box.

zwingend synchron und schritthaltend erfolgen, d. h., die Dimension Zeit besitzt explizite Relevanz im Vergleich zur allgemeinen Datenverarbeitung [7].

Die praxistypische Implementierung von CPS ist als Brown-Field-Szenario zu betrachten. Die Errichtung von Grund auf neuer Produktionsstätten ist eher der Ausnahmefall. Typische Situation ist die Reorganisation bestehender Anlagen und Prozesse, die möglicherweise aufgrund langfristig gewachsener Strukturen mit erheblichem Aufwand verbunden sein kann [8]. Gegebenenfalls müssen aus Gründen des Investitionsschutzes oder fehlender Investitionsbereitschaft bereits bestehende Systeme zweckmäßig eingebunden werden. Die CPS-Einführung mit gleichzeitiger Neuentwicklung bildet keine realistische Option, eher ist die bestmögliche Integration von CPS in vorhandene Informationssysteme eine wesentliche Forschungsfrage [3].

Als potenzielle Elemente eines CPPS bedürfen Produktionsobjekte der grundlegenden CPS-Fähigkeiten, um im Verbund ausreichend Kommunikationsfähigkeiten anzubieten, komplexitätsreduzierende Autonomie zu realisieren und in kooperativer Interaktion die Vorteile der Dezentralität umsetzen zu können. Der Begriff Produktionsobjekte subsumiert die möglichen Entitäten der Fertigung und Produktionsplanung. Diese sind Elemente des Produktionssystems und in diesem Kontext vorrangig Maschinen und Werkzeuge, Werkstücke und Werkstückträger sowie Logistikausrüstung, wie Transportsysteme mit Fahrzeugen, Förderstrecken und Pufferelementen. Autonomie und Dezentralität bedeuten insbesondere die Informationsaufnahme und -verarbeitung sowie Entscheidungsfindung und -ausführung direkt vor Ort durch die Produktionsobjekte selbst [9]. Dahingehend bedarf es Subsystemen mit erweiterten Speicher- und Kommu-

nikationsfähigkeiten, die die Umsetzung eines umfassenden Informationsaustauschs und der Umgebungswahrnehmung sowie der selbstständigen Aufgabendurchführung erlauben [10].

Die vor allem durch die Autonomie implizierte lokale Informationsverarbeitung und Entscheidungsausführung erfordert

entsprechende Algorithmen. Die Umsetzung der angestrebten schnellen und ggf. automatischen Rekonfiguration von Anlagen (Wandlungsfähigkeit) sowie die lokale Bereitstellung aggregierter Funktionen und Systemzustände (Komplexitätsbeherrschung) durch klassische SPS-Automatisierungslösungen zeigten, dass die schrittkettenbasierte Programmierweise die Realisierung der notwendigen Algorithmen erschwert und zum Teil das Echtzeitverhalten (Zykluszeit) ungünstig beeinflusst. Damit ergänzt die Notwendigkeit der lokalen Implementierung komplexer Algorithmen die Echtzeitfähigkeit und den Brown-Field-Charakter als weitere Rahmenbedingung.

Die Kombination dieser drei Prämissen führt zu Lösungsansätzen, die die CPS-Befähigung vorhandener Produktionsobjekte durch geeignete Erweiterung vorsehen, die sowohl Echtzeitfähigkeit sicherstellt als auch die adäquate Implementierung komplexer Algorithmen unter Vermeidung der Restriktionen der klassischen Programmierweisen der Automatisierungstechnik erlaubt. Mit Blick auf die einzubeziehenden Altanlagen beinhaltet dies sowohl Hardware- als auch Softwareaspekte.

CPS-Befähigung vorhandener Produktionsobjekte

Da nicht davon auszugehen ist, dass vorhandene Maschinen und Anlagen ohne Weiteres durch neue Exemplare ersetzt werden, ergibt sich die Implikation, Vorhandenes in geeigneter Form zu befähigen, als Teil eines CPPS zu agieren. Insbesondere die Integration von geschlossenen Legacy-Systemen bildet einen typischen Anwendungsfall. Um dieser Problemstellung adäquat zu begegnen, sieht das Konzept einen Baustein vor, welcher die Nachrüstung der geforderten Eigenschaften ermöglicht und ein Produktionsobjekt mit CPS-Fä-

higkeiten ausstattet. In Anlehnung an den Industrie 4.0 Begriff findet die Bezeichnung I4.0-Box Verwendung. Ebenfalls diesen Aspekt aufgreifend, beschreibt auch das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) unter dem konzeptionellen Begriff Verwaltungsschale einen derartigen Ansatz [11].

Bild 1 skizziert das Wirkprinzip der Industrie4.0-Box. Der Baustein erhält Zugriff auf die verbauten Sensoren des Produktionsobjekts durch deren Konnektierung per diskreter Verkabelung, mittels vorhandenem Feldbus über die Steuerung/SPS oder alternativ über zusätzliche Sensoren, die an geeigneter Stelle installiert werden. Aktoren werden über Feldbus oder über direkte Verkabelung zur Steuerung angebunden.

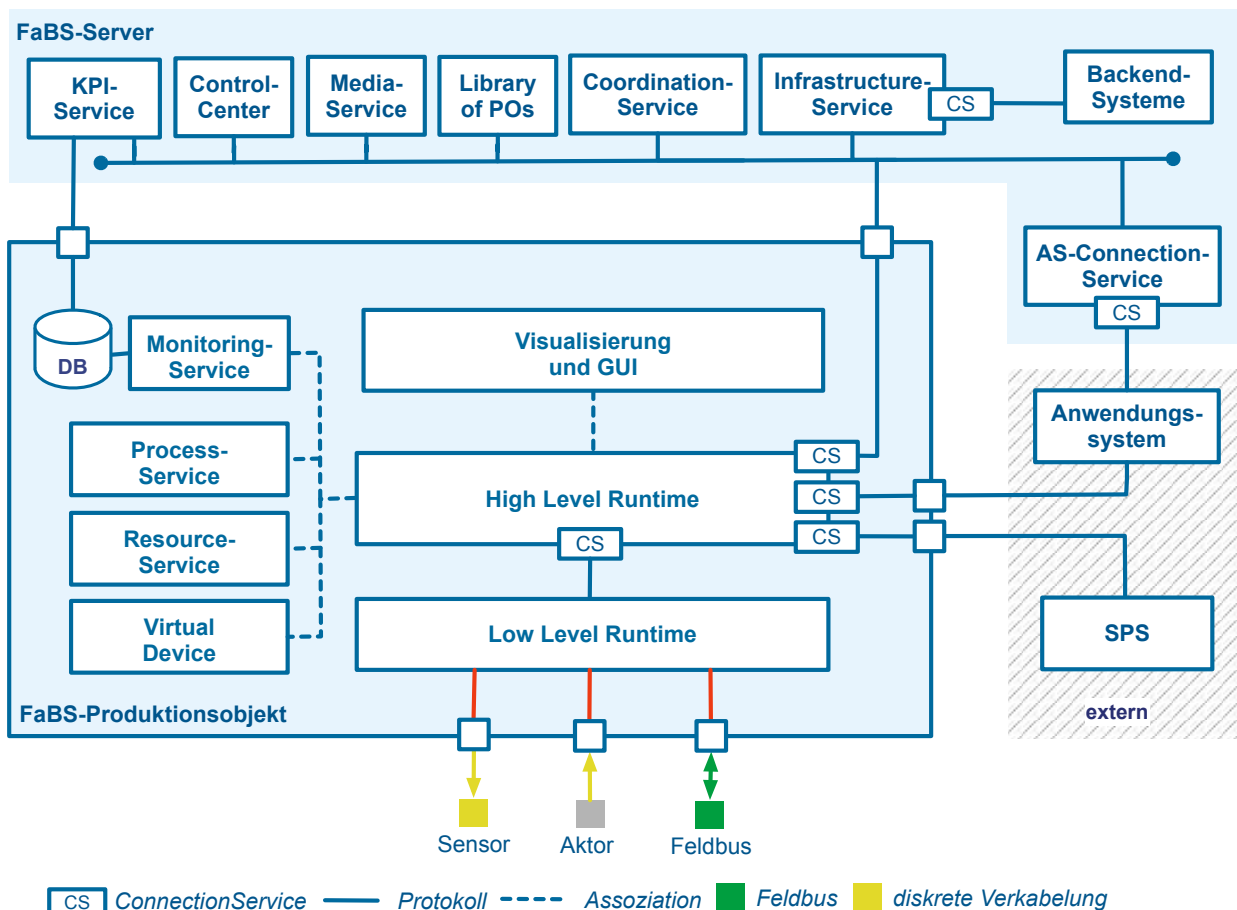
Fabrikbetriebssystem

In Analogie zu Betriebssystemen und deren Aufgaben – der Abstraktion der Betriebsmittel von der zugrundeliegenden Hardware und der Verwaltung der Hardwareressourcen – werden die Softwarekomponenten der Boxen unter dem Terminus Fabrikbetriebssystem (FaBS) zusammengefasst.

Das FaBS basiert auf der in Bild 2 dargestellten Architektur. Wesentliche Elemente sind Laufzeitumgebung, ConnectionService und MonitoringService sowie KPI-Service und Control-Center.

Die Laufzeitumgebung teilt sich in zwei Funktionsbereiche. Die Low-Level-Runtime (LLR) ermöglicht die Umsetzung echtzeitkritischer Funktionen. Die Realisierung geschieht per SPS oder echtzeitfähigen Mikrocontrollern, deren Programmierung mittels automatisierungstypischer Entwicklungsumgebung (beispielsweise CODESYS) erfolgt. In der praktischen Umsetzung zeigte sich, dass eine dieser Art folgende Implementierung bei komplexen Algorithmen an ihre Grenzen stößt. Die Gestaltung eines frei konfigurierbaren Transportsystems mittels zentraler SPS als steuernde Instanz erwies sich mit der klassischen Schrittketten-Programmierweise als schwer handhabbar. Deshalb sieht das Konzept eine weitere Möglichkeit der Implementierung vor. Die High-Level-Runtime (HLR) gestattet die Nutzung höherer Programmiersprachen und -paradigmen und begünstigt die schnelle Erweiterung. Je nach Produktionsobjekt und Bedarf resultiert das Verhalten aus der LLR- oder der HLR-Umsetzung oder deren Kombination.

Bild 2: Architektur und Komponenten des FaBS.



Der ConnectionService realisiert die Kommunikation der Komponenten. Ähnlich einem Treiber nimmt er eine Abstraktion von technischen Details vor und bietet Zugriff auf Funktionen des FaBS.

Er erlaubt die Implementierung einer Gateway-Funktion zwischen der internen Kommunikation der Systemkomponenten und dem jeweiligen Protokoll der externen Komponente. Dies kann unter Nutzung von Standards (wie OPC-UA im Falle der Verknüpfung von LLR und HLR) oder mittels durch den Anbieter spezifisch definierter Art und Weise geschehen. Instanzen des ConnectionServices können als zentraler Serverdienst angelegt oder dezentral, innerhalb der relevanten Komponenten implementiert werden.

Wesentliche Eigenschaft eines CPS ist die Umgebungswahrnehmung. Zuständiges lokales Modul ist der MonitoringService. Die Laufzeitumgebung jedes Produktionsobjekts nimmt das Loggen und Abspeichern von Ereignissen (Events) vor. Dies umfasst u. a. Kommunikationsvorgänge und Veränderungen von Umgebungsdaten, Mengen und Eigenschaften, die das interne Modell abbildet, sowie Benutzerinteraktionen. Ebenfalls ist die Protokollierung von Wertverläufen in bestimmten Zeitintervallen vorgesehen, die sich über zeitbasierte Events in die ereignisorientierte Verfahrensweise einreicht.

Ergänzend zu der lokalen Persistierung von Ereignissen ist dem allgemeinen Paradigma Inversion of Control (IoC) folgend mit der Verwendung von Listnern eine weitere Möglichkeit gegeben, Informationen zielgerichtet zu kommunizieren bzw. abzurufen. Adressierter Anwendungsfall ist vorrangig die Bereitstellung von Echtzeitdaten und die Vermeidung

von ineffizientem Polling. In diesem Zusammenhang bezieht sich der Begriff Echtzeit auf die Aktualität, d. h., die Werte spiegeln den zum Betrachtungszeitpunkt tatsächlich vorliegenden Wert wider.

Der ProcessService koordiniert zeitliche Abläufe und ist für Zeitsynchronisation der Produktionsobjekte zuständig. Mit dem ResourceService werden Abhängigkeiten bezüglich notwendiger Betriebsmittel bei der Ausführung abgebildet. Dies sind insbesondere benötigtes Material und Werkzeuge, Personal, Baugruppen oder Halbzeuge.

Ein VirtualDevice bildet ggf. ein Modell eines bestimmten Elements oder Subsystems ab (Digitaler Zwilling).

Proof of Concept

Teil der Validierung ist die prototypische Umsetzung im Anwendungszentrum Industrie 4.0 Potsdam [12], welche ein konventionelles Rollenbahnsystem als Vertreter eines Altsystems – bestehend aus unterschiedlichen Modulen – gemäß dem CPS-Konzept ausstattet und eine dezentrale Anlagenkoordination mit intelligenten Elementen erlaubt. Dieser Anwendungsfall adressiert ebenfalls die Komplexitätsreduzierung durch dezentrale Steuerung und die Möglichkeit der schnellen Rekonfiguration des Transportsystems. Dahingehend teilt sich das Gesamtsystem in Segmente auf, die jeweils eine geringe Anzahl von Modulen mithilfe der I4.0-Box anbinden. Alle Signale sind direkt mit dem Interface-Baustein der Box konnektiert. Auf der LLR werden deren Basisfunktionen abgewickelt (z. B. Motor an, bis Lichtschranke auslöst). Die HLR sorgt für die Abstraktion dieser Elementarabläufe zu Funktionsaufrufen (wie Durchfahrt) und stellt sie dem externen Zugriff

zur Verfügung. Weiterhin löst die HLR – gegebenenfalls im Zusammenspiel mit anderen CPS – komplexe Aufgaben (wie Routenwahl oder Konfliktbewältigung). Deren Lösungsalgorithmen sind mittels höherer Programmiersprache (hier Python) implementiert. Dieses Setup bildet die Steuerungsvariante (A).

Diesem wird die Variante (B) mit zentraler SPS mit diskreter Verkabelung aller Komponenten ge-

Basismodul	Modul					Summen			
	Sensoren pro Modul	Aktoren pro Modul	Konfiguration Ports	Konfiguration Positionen	Anzahl	Sensoren	Aktoren	Ports	Positionen
Transfer	4	3	3	1	3	12	9	9	3
Gerade kurz	2	3	2	2	5	10	15	10	10
Gerade lang	4	6	2	4	3	12	18	6	12
Abschnitt gekrümmt	6	6	2	2	2	12	12	4	4
Dispatcher	5	5	6	1	1	5	5	6	1
						51	59	35	30
						Gesamtsumme:			175

Bild 3: Verwendete Module und relevante Größen.

Szenario	Variante (A): CPS		
	Hardware-setup	Programmerstellung	Inbetriebnahme
(1) Ausfall eines Moduls	0h 5m	0h 0m	0h 30m
(2) Hinzufügen eines Elements	0h 35m	0h 0m	1h 0m
(3) Änderung des Layouts	2h 0m	12h 0m	2h 0m

Szenario	Variante (B): zentrale SPS		
	Hardware-setup	Programmerstellung	Inbetriebnahme
(1) Ausfall eines Moduls	0h 5m	3h 40m	0h 50m
(2) Hinzufügen eines Elements	50m	5h 10m	1h 55m
(3) Änderung des Layouts	3h 20m	16h 0m	4h 35m

Bild 4: Benötigte Aufwände.

genübertgestellt. Der Vergleich erfolgt mithilfe dreier Szenarien: partielle Layoutänderungen (Ausfall eines Moduls, Hinzufügen eines Elements) und starke Veränderung des Layouts (Rekonfiguration von mehr als der Hälfte der Module). Die verwendeten Module zeigt Bild 3a. Sie sind jeweils durch vorhandene Sensor- und Aktorsignale, Anzahl der Ports und die internen Positionen charakterisiert. Folgende Basismodule stehen zur Verfügung: Transfere (3 Ports und 1 Position), gerade Abschnitte (2 Ports und 2 Positionen sowie 2 Ports und 4 Positionen) und gekrümmte Abschnitte (2 Ports mit 2 Positionen) sowie einen Dispatcher (6 Ports und 1 Position). Erkennbar ist, dass insgesamt 110 Ein-/Ausgangssignale und 65 die Konfiguration bzw. den momentanen Zustand beschreibende Variablen berücksichtigt werden müssen. Hinzu treten die hinterlegten Routen von den relevanten Start- bzw. Zielpunkten.

Bild 4 zeigt die benötigten Aufwände beider Varianten. Diese strukturieren sich jeweils in Hardwaresetup (vor allem Verkabelung), Programmerstellung und Inbetriebnahme mit abschließendem Gesamttest der Anlage. Der selbsttätigen Anpassung im Fehlerfall mit kurzem Anlagentest von (A) steht ein wesentlich höherer Aufwand für die Programmanpassung von (B) gegenüber. Besonders stark ausgeprägt ist die Aufwandsreduzierung durch CPS bei der Programmerstellung. Im Gegensatz dazu ist bezüglich Hardwaresetup nur geringfügig höherer Aufwand bei (B) festzustellen. Dem Anwender erlaubt die resultierende Aufwandsminderung den Verzicht (Szenario 1 und 2) oder die Reduktion (Szenario 3) der Inanspruchnahme interner oder externer Dienst-

leister bei Wartung bzw. Rekonfiguration. Ebenfalls ist die Skalierung des Systems durch Ergänzung um weitere Segmente ohne tiefgreifende Anpassungen (Szenario 2) möglich.

Insgesamt zeigt diese erste Validierung, dass durch den Einsatz der I4.0-Box mit FaBS die Vorteile der dezentral organisierten CPS-Variante in bestehenden Systemen umgesetzt werden können.

Insbesondere zeigt sich dies bei der Programmerstellung. Die Ergebnisse deuten auf einen progressiven Anstieg der Komplexität der Informationsverarbeitung respektive Rekonfigurationsaufwand in Abhängigkeit von der Anzahl der zu verarbeitenden Datenmenge hin. Eine geeignete Segmentierung der Steuerungsaufgabe mit dezentraler Ausführung wirkt dem entgegen, sofern sich die notwendigen Fähigkeiten aufwandsarm – hier durch die Erweiterung vorhandener Systeme – realisieren lassen. Im Rahmen des Anwendungszentrums Industrie 4.0 Potsdam finden dahingehend weitere Forschungsarbeiten statt.

Schlüsselwörter:

Fabrikbetriebssystem, CPPS, CPS, dezentrale Produktionssteuerung, Industrie 4.0 Retrofit



Das Anwendungszentrum Industrie 4.0 stellt eine hybride Simulationsplattform aus cyber-physischen Systemen (CPS) und realer Automatisierungstechnik bereit. Durch die Kombination von Softwaresimulation und physischer Modellfabrik können alle Produktionselemente der Simulationsumgebung für unterschiedliche Grade an dezentraler Steuerung konfiguriert und reale Industriekomponenten problemlos eingebunden werden. Als cyber-physische Forschungsplattform bietet Simulationsumgebung ein Werkzeug für Forschungsthemen im Rahmen des Produktionsmanagements als auch der Automatisierung.

Literatur

- [1] acatech: acatech Studie: Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften Berlin 2012.
- [2] BMBF: Zukunftsbild Industrie 4.0. Bundesministerium für Bildung und Forschung – Referat IT-Systeme. 2014.
- [3] Gronau, N.: Der Einfluss von Cyber-Physical Systems auf die Gestaltung von Produktionssystemen. In: Kersten, W.; Koller, H.; Lödging, H. (Hrsg): Industrie 4.0 – Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. In: Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB). Berlin 2014, S. 279-295.
- [4] acatech: acatech POSITION: Cyber-Physical Systems: Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Heidelberg 2011.
- [5] Langmann, R.: Taschenbuch der Automatisierung. München 2004.
- [6] Lauber, R.; Göhner, P.: Prozessautomatisierung 2. Berlin Heidelberg 2013.
- [7] Halang, W. A.: Schwerpunkte der internationalen Forschung im Bereich Echtzeitsysteme. In: Henn, R.; Stieger, K. (Hrsg.): PEARL 89 – Workshop über Realzeitsysteme Bd. 231. Berlin Heidelberg 1989, S. 1-12.
- [8] Kühn, W.: Digitale Fabrik. München 2006.
- [9] Theuer, H.: Extension of Value Stream Design for the Simulation of Autonomous Production Systems. In: Enabling Manufacturing Competitiveness and Economic Sustainability. Berlin Heidelberg 2012, S. 586-591.
- [10] Freitag, M.; Herzog, O.; Scholze-Reiter, B.: Selbststeuerung logistischer Prozesse – ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen. In: Industrie Management 20 (2004) 1, S. 23-27.
- [11] Adolphs, P.; Epple, U.; u. a.: Statusreport Referenzarchitektur Industrie 4.0 (RAMI4.0). 2015.
- [12] Lass, S.: Simulationskonzept zur Nutzenvalidierung Cyber-physischer Systeme in komplexen Fabrikumgebungen. Dissertation, Universität Potsdam 2017.

Softwaresysteme zur Qualitätssicherung in der Umformtechnik

Ein Ansatz für die echtzeitfähige und prozessübergreifende Qualitätsüberwachung

Benjamin Lindemann, Nasser Jazdi und Michael Weyrich, Universität Stuttgart

Software Systems for Quality Assurance for the Processes of Forming Technology 4.0 – An Approach for Real-Time Quality Control

Solid forming companies are always faced with the challenge of producing high-quality products that meet the strict requirements of the customers. The quality has to be reproducible despite fluctuations occurring along the value chain. In order to meet the requirements, solutions for an improved process stability and quality are needed. This paper presents a data-driven approach that aims to adapt quality fluctuations. Thus, process data is modeled in-memory in a multidimensional database. Based on the results of an online analytical processing, the process is controlled in real-time.

Keywords:

online analytical processing, real-time database, cyber-physical systems, quality control, massive forming

Produzierende Unternehmen stehen stets vor der Herausforderung, qualitativ hochwertige Produkte zu erzeugen, die den strengen Anforderungen der Kunden und des Gesetzgebers genügen. Das Qualitätsergebnis muss trotz entlang der Wertschöpfungskette auftretender Schwankungen und Unregelmäßigkeiten reproduzierbar sein. Das gilt speziell für die Branche der Massivumformung, die durch ihre Abhängigkeit von den Entwicklungen in der Automobil- sowie Luft- und Raumfahrtindustrie zusätzliche Anforderungen durch den dort stattfindenden strukturellen Wandel hin zur E-Mobilität und zum Leichtbau erfährt. Um diesen Herausforderungen gewachsen zu sein, werden Lösungen benötigt, die die zunehmende Komplexität entlang der Prozesskette beherrschbar machen und zu einer erhöhten Prozessstabilität und Effizienz beitragen. Dieser Beitrag stellt einen datengetriebenen Ansatz vor, der darauf abzielt, kurzfristig auftretende Qualitätsschwankungen zu verfolgen. Prozessdaten werden dazu In-Memory in einer multidimensionalen Datenbank modelliert. Auf Basis der Ergebnisse eines Online Analytical Processing (OLAP) soll in Echtzeit reagiert und steuernd auf die Prozesskette eingewirkt werden.

Die Branche der Massivumformung produziert jährlich Güter im Produktionswert von mehr als 7 Mrd. EUR und beschäftigt ca. 30.000 Mitarbeiter in vorwiegend mittelständischen Unternehmen mit einer durchschnittlichen Betriebsgröße zwischen 100 bis 200 Mitarbeitern. Über 60 % der 2,8 Mio. Tonnen Rohmaterial werden in Gesenkschmiedeteile, wie Kurbelwellen, Achsen oder Getriebeteile, umgesetzt. Verarbeitet werden größtenteils Stähle und Aluminium [1].

Herausforderungen in der Prozesskette Massivumformung

Die Wertschöpfungskette beginnt mit der Rohmaterialerzeugung, aus der das Halbzeug gewonnen wird. Dabei handelt es sich um ein vorverarbeitetes Werkstück mit einfachem Profil, das in eine für die Weiterverarbeitung notwendige Geometrie gebracht wurde. Es schließt sich der Umformprozess an, dem abhängig vom Temperaturbereich des Pressvorgangs ein Erwärmungsschritt vorausgehen kann. Das Halbzeug wird vor dem Umformen auf dem Untergesenk der Anlage platziert. Das Obergesenk stellt zumeist das geometrische

Negativ des Untergesens dar und ist verantwortlich für die Formgebung. Durch Verfahren des Werkzeugs erhält das Bauteil unter Krafteinwirkung seine charakteristische Form. Das gefertigte Bauteil wird im Nachgang einer Wärmebehandlung und einer veredelnden Weiterverarbeitung unterzogen. Am Ende der Prozesskette steht die Qualitätssicherung [2]. In Bild 1 ist die im Rahmen dieses Beitrags realisierte Modell-Prozesskette mit den für jeden Prozessschritt relevanten Prozessparametern skizziert. Zusätzlich werden zwei Prozessketten von Industriepartnern zur Validierung herangezogen.

Die Probleme, die sich entlang der beschriebenen Wertschöpfungskette ergeben, sind verfahrensbedingt, den Umgebungsbedingungen geschuldet sowie auf die geringe Vernetzung produktionstechnischer Einheiten zurückzuführen. So kann auf Schwankungen der Produktqualität bislang nur mit größerem Zeitversatz reagiert werden, da die prozessbedingten Abläufe und die Umgebungsbedingungen keine unmittelbare Qualitätsüberwachung und -kontrolle erlauben. Die Prozessstabilität wird auf Basis von Stichproben am Ende der



Benjamin Lindemann, M.Sc. arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme der Universität Stuttgart.



Dr.-Ing. Nasser Jazdi arbeitet als akademischer Oberrat am Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme der Universität Stuttgart.



Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich leitet das Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme der Universität Stuttgart und ist Vorsitzender des VDI/VDE-Fachausschusses 7.25 „Testen vernetzter Systeme für Industrie 4.0“.

ias@ias.uni-stuttgart.de
www.ias.uni-stuttgart.de

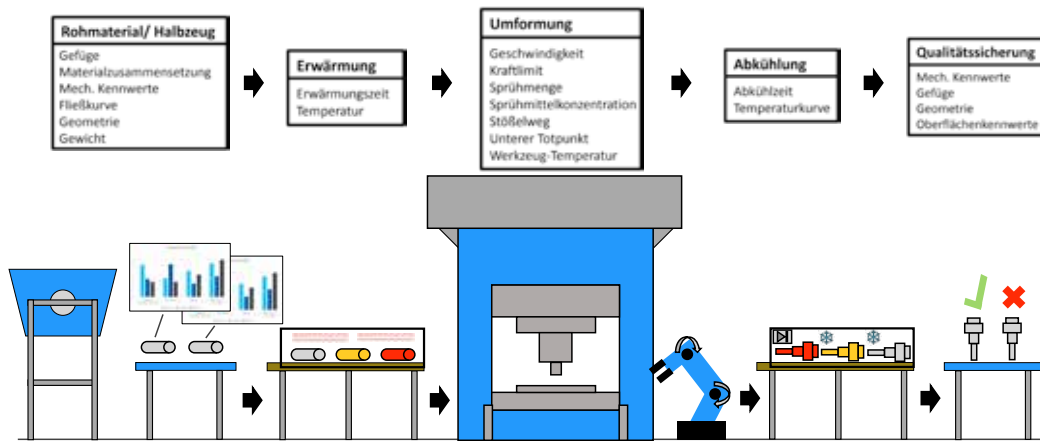


Bild 1: Modell-Prozesskette und Datenraum.

Prozesskette erreicht. Die unzureichende Aufzeichnung und Verwertung von Sensordaten sowie die fehlende Zuordnungsmöglichkeit dieser Daten zu einzelnen Bauteilen, Chargen oder Prozessstationen stehen einer Optimierung des Prozesses sowie einer Effizienzsteigerung im Anlagenbetrieb entgegen. Die fehlende Korrelation von Bauteileigenschaften und Prozessdaten lässt eine Gesamtoptimierung nicht zu.

Die Modell-Prozesskette und die Industrieanlagen sind durch komplexe Wechselwirkungen gekennzeichnet. Der hohe Durchsatz in der Massenfertigung und die dynamische Produktionssystematik stehen im natürlichen Widerspruch zu der Rückverfolgung einzelner Bauteile. Metallverarbeitende Prozesse sind häufig durch extreme Betriebsbedingungen, wie bspw. hohe Temperaturen oder Kräfte, gekennzeichnet. Dies gilt in besonderem Maße für Umformprozesse und für die entsprechenden vor- und nachgelagerten Prozessschritte der betrachteten Modell-Prozesskette. Die Rückverfolgung einer möglichst kleinen Losgröße auf Shopfloor-Ebene wird dadurch stark erschwert. Für ein Konzept zur Datenintegration ergeben sich durch den Modellprozess und die Industrieanlagen besondere Herausforderungen im Hinblick auf die Zuordnung von Prozessparametern. So wird das Rohmaterial nach dem Wareneingang durch Sägen zu Halbzeugen vereinzelt, die teilweise einzeln und vollautomatisiert oder aber gebündelt in Kisten und manuell zwischen den einzelnen Prozessschritten transportiert werden. Einige Prozessschritte erlauben dabei eine Einzelteil- bzw. Chargenverfolgung und damit eine direkte Zuordnung von Prozessparametern zu Bauteilidentifikationen. Bei anderen ist eine solche hingegen nicht möglich, sodass diese auf der Ebene der Datenverarbeitung im Prinzip Batch-Prozesse darstellen. Darüber hinaus verhindern abtragende, die Bauteiloberfläche

beeinflussende Nachbearbeitungsprozesse auf der einen Seite das Beibehalten jeglicher ans oder ins Material eingebrachter Identifikationen und erschweren auf der anderen Seite dadurch eine Zuordnung von Parametern der abschließenden Qualitätskontrolle zu den zuvor erfassten Datenräumen. Um trotz der aufgezeigten, heterogenen Datenerfassung eine durchgängige Rückverfolgung und prädikative Qualitätssicherung (Predictive Quality) realisieren zu können, ist ein einheitliches und durchgängiges Datenmodell der gesamten Prozesskette notwendig. Dazu muss der digitale Zwilling des einzelnen Werkstücks stetig mitgeführt werden. Eine gezielte datengetriebene und automatisierte Qualitätsüberwachung auf der Grundlage einer robusten Bauteilrückverfolgung konnte bislang nicht umgesetzt werden. Mithilfe eines in den folgenden Abschnitten dargestellten, OLAP-basierten Ansatzes zur Datenverarbeitung können die beschriebenen Probleme dagegen gelöst werden.

Rückverfolgung und Datenintegration

Die Grundlage für eine durchgängige Rückverfolgung eines möglichst kleinen Fertigungsloses ist die Integration einer geeigneten Infrastruktur, zum Beispiel einer Smart-Tag-Lösung, die für den Einsatz unter den zuvor skizzierten Umgebungsbedingungen geeignet ist. Anforderungen ergeben sich in besonderem Maß durch die hohen Prozesstemperaturen, die durch die induzierten elektromagnetischen Störfelder eine dezentrale Informationshaltung auf den Smart Tags erschweren. Auf der Basis einer robusten Identifikationstechnologie kann ein Assistenzsystem für die datengetriebene Qualitätsüberwachung konzipiert und umgesetzt werden.

Der erste Schritt in einer datenbasierten Automationskette zur informationstechnischen

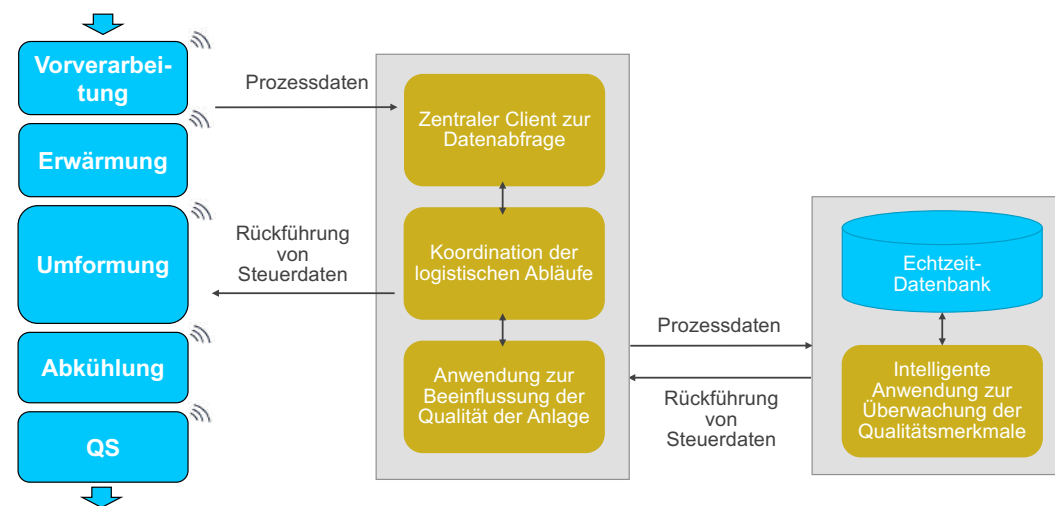
Umsetzung der Bauteilrückverfolgbarkeit ist eine konsistente Datenerfassung. Der Datenraum beinhaltet sowohl die Sensordaten als auch die auf den Smart Tags mitgeführten Produktdaten. Um ein durchgängiges, bauteilbezogenes Datenmodell umzusetzen, registriert sich jedes Bauteil vor der Bearbeitung an der jeweiligen Prozessstation. Dies wird durch einen Lesevorgang realisiert. Die im Zuge der Bearbeitung an der Station anfallenden Prozessdaten werden dem Bauteil bzw. dessen im Datenmodell hinterlegter Identifikation direkt zugeordnet. Über den durch die Registrierung erfassten Zeitstempel können Bearbeitungs- und Verwendungszeit von Bauteil und Anlage ermittelt werden. Die Sensordaten werden mit einem Zeitstempel versehen und in das Datenmodell integriert. Auf diese Weise wird sukzessiv und in Echtzeit ein für jedes Bauteil individuelles Datenmodell generiert und im Produktionsablauf stetig aktualisiert. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette wird das digitale Abbild der einzelnen Werkstücke in prozessabhängigen Zyklen geladen und erweitert. Am Datenmodell ist damit auch der aktuelle Bearbeitungsstand ablesbar. Das eingangs beschriebene Problem einer fehlenden Zuordnung von Prozessdaten zu Bauteileigenschaften wird dadurch behoben. Der digitale Zwilling der Werkstücke ist die Grundlage weiterführender datenanalytischer Betrachtungen.

Jedes System entlang der Prozesskette verfügt über eine eigene Steuerung und ein eigenes, autarkes Bussystem, über das Sensorwerte gelesen und Aktoren eingestellt werden können. Um die Heterogenität der Informationsflüsse abstrahieren zu können, wird auf einem am Institut für Automatisierungstechnik und Softwaresysteme entwickelten Konnektoren-An-

satz aufgebaut, der für jedes dieser Systeme eine individuelle Kommunikationsschnittstelle vorsieht und die Informationen in einheitlicher Form einer höheren Steuereinheit zur Verfügung stellt [3]. Diese Konnektor-Anwendung wird als Client-Server-Architektur realisiert. Auf den Systemen in der Feldebene läuft die auf das Bussystem individuell abgestimmte Serveranwendung, die die tatsächlich vorhandenen Parameterwerte aufzeichnet. Die informationstechnische Grundlage ist damit eine verteilte, dynamische Rechnerstruktur, bei der jeder Rechner der Steuerungsebene über eine individuelle Datenschnittstelle zur Weitergabe der Daten an höhere Ebenen verfügt. Diese Schnittstellen werden durch den Konnektor individuell angesprochen. Auf einem übergeordneten Rechner wird ein zentraler Client implementiert, der die benötigten Daten bei den Servern anfragt. Der Ansatz ist als unabhängig von der Branche der Massivumformung zu betrachten und auch dementsprechend konzipiert, da lediglich an verteilten Rechneinheiten zur Prozesssteuerung angesetzt wird und darüber hinaus keine weiteren Annahmen getroffen werden. Die im vorherigen Abschnitt beschriebene Anwendung zur Generierung eines einheitlichen Datenmodells kapselt die Konnektor-Anwendung, indem sie die Informationsabfrage der einzelnen Subsysteme koordiniert. Das wird dadurch erreicht, dass sie direkt mit den Lesegeräten in der Feldebene kommuniziert und das Datenmodell in einem einheitlichen Format wie XML weitergibt. Über das Auslesen der Informationen auf den Tags wird die Abfrage der einzelnen Subsysteme getriggert.

Die beiden beschriebenen Anwendungsebenen werden von einer dritten höheren Schicht vervollständigt, die echtzeitfähige

Bild 2: Übersicht über die Datenintegration.



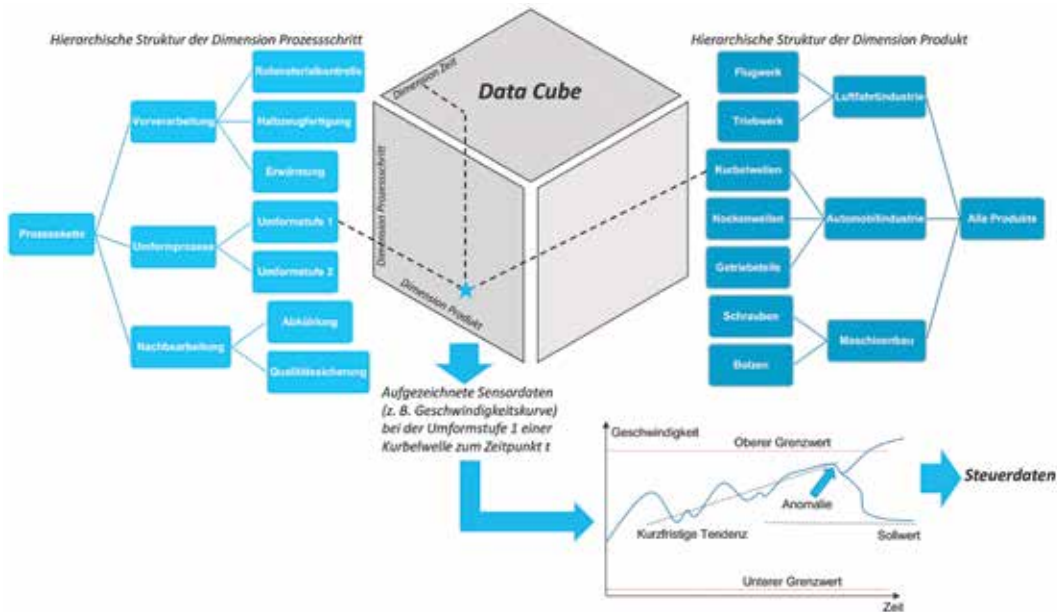


Bild 3: Datenmodellierung in einer Echtzeitdatenbank.

ge Verbindungen des Client-Rechners mit externen Servern („Cloud“) verwaltet und zusätzlich eine Schnittstelle zur Rückführung von Steuerdaten zu den beiden darunter liegenden Schichten bietet. Handelt es sich bei den Servern um Datenbanken, kann die Datenübertragung beispielsweise über direkte Datenbankverbindungen erfolgen. Die Übertragung der Daten kann auf verschiedene Arten gesteuert werden. Serverseitig kann über Webservices eine konstant frequentierte Abfrage des zentralen Rechners erfolgen. Alternativ kann clientseitig ein ereignisgesteuerter Datenübertragungsvorgang eingerichtet werden. Die Entscheidung für eine Lösung ist abhängig von den bestehenden Echtzeitanforderungen. Bei der eingangs beschriebenen Prozesskette ist eine zyklische, serverseitige Datenabfrage ausreichend für eine effektive Qualitätsüberwachung.

Nach der Durchführung einer Datenanalyse in der Cloud werden die Ergebnisse in Form von Steuerdaten zurückgeleitet. Die Steuerdaten werden von der zweiten koordinierenden Anwendungsebene verarbeitet. So ist es möglich, abhängig von den in den vorangegangenen Prozessschritten erfassten, bauteilbezogenen Sensordaten die passenden Stellgrößen für den nächsten Prozessschritt bzw. das nächste Werkstück zu wählen. Eine Anpassung der einzustellenden Parameter über mehrere Werkstücke hinweg ist ebenfalls umsetzbar. Die Analyse dient der Adaption des aktuellen Prozessgeschehens und wird für eine situationsbasierte Qualitätsüberwachung genutzt.

Die beschriebene Architektur ist in Bild 2 dargestellt.

Datenmodellierung und Analyse

In der Factory Cloud wird im vorliegenden Fall eine Echtzeitdatenbank realisiert, die die Daten In-Memory verarbeitet und Online Analytical Processing ermöglicht. OLAP bietet die Möglichkeit, Daten in einer multidimensionalen Struktur zu modellieren und zu analysieren. Dabei ist die multidimensionale Betrachtung unabhängig von der Datenquelle und der Datenstruktur dieser Quelle. So ist es möglich, OLAP auf verschiedenste, heterogene Datenquellen anzuwenden. Sowohl konventionelle relationale Datenbanken, MES- und ERP-Systeme als auch diverse Dateiformate und Webservices können in eine Modellierung einbezogen werden.

Die multidimensionale Datenmodellierung ist unabhängig von der tatsächlichen physikalischen Speicherstruktur der aus verschiedenen Quellen integrierten Daten. Die integrierten Daten können zum einen relational abgelegt werden. In diesem Fall wäre nur die Modellierung multidimensional. Zum anderen kann auch die tatsächliche Speicherung multidimensional erfolgen. Dadurch würden sich zusätzlich zu den Vorteilen der Datenmodellierung noch erhebliche Geschwindigkeitsvorteile ergeben [4].

Die Dimensionen der multidimensionalen Datenstruktur ergeben sich aus den verschiedenen Sichten auf die Daten. Jede Dimension

verfügt über eine interne, hierarchische Struktur über die durch die Daten navigiert werden kann. An den Verzweigungen jedes Strukturpfads stehen Attribute, die die logische Beschreibung der Daten vornehmen. Die Granularität der Datenbeschreibung steigt mit der Hierarchietiefe. Die Daten selber können für verschiedene Dimensionen in verschiedenen Granularitäten vorliegen, ohne dass dadurch eine homogene Datenmodellierung verhindert wird. So ist es möglich, stark heterogene Datenstrukturen in einer Struktur zu vereinen. Da sich im Fall von drei Dimensionen bei der Datenvisualisierung ein Würfel ergeben würde, hat sich der Begriff des „Data Cube“ etabliert [4].

Das aufgespannte Datenmodell ist die Grundlage für weiterführende Analysen. Im Sinne einer Vorverarbeitung kann eine Selektion bezüglich einzelner oder mehrerer Dimensionen erfolgen. Mit einfachen Operationen kann die hierarchische Struktur auf eine Teilstruktur eingeschränkt werden, um beispielsweise ein bestimmtes Teilproblem zu betrachten. Diese Einschränkungen können flexibel gestaltet und in allen Dimensionen umgesetzt werden. Dadurch ist eine angepasste Betrachtung der Daten und eine darauf zugeschnittene Analyse möglich.

Die flexible Datenzusammenführung heterogener Datenstrukturen wird in einem vorverarbeitenden Schritt als Grundlage für die Datenaggregation genutzt. Das beschriebene Konzept soll mit einer tiefgreifenden Datenanalyse kombiniert werden, indem es in ein Analyseframework eingebunden wird. Im Hinblick auf den in der Umformtechnik bestehenden Datenraum ergeben sich durch die Anwendung von OLAP diverse Vorteile. Entlang der Prozesskette der Massivumformung entstehen die in Bild 1 dargestellten Prozessdaten. Das vorgestellte Konzept erlaubt es, die Daten der einzelnen Prozessschritte in einem separaten oder in einem gemeinsamen Modell zu verwalten. So ist es möglich, auf einzelne Prozessstationen spezifisch zugeschnittene Analysen durchzuführen, aber auch Zusammenhänge entlang der gesamten Prozesskette abzubilden. Durch die flexible Navigation im erstellten Datenmodell können auch bauteil- oder chargenbezogene Analysen realisiert werden.

Das Modell für den Schritt der Umformung beinhaltet, neben den Verläufen der Prozessgrö-

ßen, wie der Geschwindigkeit des Werkzeugs oder der Presskraft, zusätzlich die Zeit, den Prozessschritt und die aus dem Smart Tag ausgelesene Identifikation als weitere Dimensionen. In Bild 3 ist eine mögliche Datenmodellierung mit den Dimensionen Produkt, Prozessschritt und Zeit beispielhaft dargestellt. Über die Dimensionen kann eine Zuordnung und Korrelation einzelner Prozessparameter stattfinden und eine Wissensbasis geschaffen werden. Die eingangs dargelegten Probleme einer fehlenden Zuordnung von Bauteil- und Prozessdaten können durch das Konzept gelöst werden. Durch Ad-hoc-Analysen können unverzüglich fehlerbehaftete Verläufe und Anomalien erkannt und Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Abhängig von den Ergebnissen der Analysen werden Steuerdaten generiert, die über die zuvor beschriebene Infrastruktur direkt Einfluss auf das Anlagenverhalten nehmen können. Eine Steuerung aus der Cloud ist dadurch möglich. Darüber hinaus werden über eine Benutzerschnittstelle Handlungsempfehlungen gegeben, die von einer höheren Entscheidungsebene akzeptiert oder verworfen werden können. So ist es möglich, die Entscheidung über eine Einflussnahme auf das Prozessgeschehen entweder vollautomatisiert oder mit dem Menschen als letzte Kontrollinstanz umzusetzen.

Das beschriebene Konzept für ein cloudbasiertes Assistenzsystem zur Überwachung der Qualität in der Umformtechnik wird anhand eines Modellprozesses erprobt und validiert. Der Modellprozess bildet die Sensordatenlandschaft der Massivumformung nach und beinhaltet die beschriebene informationstechnische Systemarchitektur von der Datenerfassung bis hin zur Datenmodellierung und Analyse.

Schlüsselwörter:

Online Analytical Processing, Echtzeitdatenbank, Cyber-Physische Systeme, Qualitätsüberwachung, Massivumformung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „Effizienzschub in der Massivumformung durch Entwicklung und Integration digitaler Technologien im Engineering der gesamten Wertschöpfungskette“ (EMuDig 4.0), das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen des Technologiewettbewerbs „Digitale Technologien für die Wirtschaft“ (PAiCE) gefördert wird.

Literatur

- [1] Industrieverband Massivumformung e.V.: Kennzahlen der Branche. URL: <http://www.massivumformung.de/branche/kennzahlen/>, Abrufdatum 10.07.2017.
- [2] Liewald, M.; Karadogan, C.; Felde, A.; Lodwig, R.: Entwicklung und Integration digitaler Technologien in Prozessfolgen der Massivumformung. In: Neuere Entwicklungen in der Massivumformung (NEMU) 2017.
- [3] Faul, A.; Jazdi, N.; Weyrich, M.: Approach to Interconnect Existing Industrial Automation Systems with the Industrial Internet. In: 21st IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) 2016.
- [4] Schwarz, H.: Konzeptueller und logischer Data-Warehouse-Entwurf: Datenmodelle und Schematypen für Data Mining und OLAP. In: Informatik Forschung und Entwicklung 18 (2004) 2, S. 53-67.

Pick-by-Vision in der manuellen Kommissionierung

Anforderungen an die betriebliche Nutzung

Ralf Elbert, Anne Friedrich und Eszter Knobloch, TU Darmstadt

Bei Unternehmen stößt die Nutzung von Datenbrillen als innovatives Assistenzsystem im operativen Betrieb zunehmend auf Interesse. Speziell in der manuellen Kommissionierung birgt der Einsatz von Datenbrillen bei der Kommissionierführung mittels Pick-by-Vision das Potenzial, eine Verbesserung der Effizienz, Qualität und Ergonomie des Kommissionierprozesses zu bewirken. Aktuelle Pilotanwendungen verdeutlichen aber auch Problemfelder bei der Implementierung und Grenzen des Einsatzes. In diesem Beitrag wird auf der Basis einer systematischen Literaturrecherche ein Überblick über Anforderungen an die Nutzung von Pick-by-Vision aus dem Blickwinkel der Logistik gegeben. Hierfür werden die Ergebnisse einer Anforderungsanalyse vorgestellt, bei der neben direkten Benutzer- und Systemanforderungen auch Anforderungen aus der Lagergestaltung und den organisatorischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen diskutiert werden.

Kostendruck, eine hohe Marktdynamik sowie veränderte Kundenerwartungen hin zu einem höheren Servicegrad und kürzeren Produktlebenszyklen führen vielfach zu einem Anpassen bestehender Strukturen und Abläufe bei produzierenden Unternehmen [1]. So ist ein Trend zu einer abnehmenden Fertigungstiefe und einer höheren Variantenvielfalt erkennbar. Bei gleichzeitigen Flächenbegrenzungen ist eine Bereitstellung in produzierenden Unternehmen zunehmend nur durch kleine Losgrößen und mit Beschaffungsstrategien wie „Just in Time“ und „Just in Sequence“ realisierbar. Gleichzeitig reagieren Unternehmen der Konsumgüterindustrie auf die aktuellen Kundenanforderungen mit einer Ausweitung ihres Sortiments, einem vergrößerten Online-Angebot und Möglichkeiten wie „Same Day Deliveries“.

Die manuelle Kommissionierung als Stellhebel

Die Dynamik und Komplexität der Rahmenbedingungen erfordert reaktionsschnelle, flexible und effiziente Logistikprozesse [2]. Einen Stellhebel bildet hierfür insbesondere die Kommissionierung. Dies ist hauptsächlich auf zwei Ursachen zurückzuführen: Erstens wird ein Großteil der Kommissioniersysteme manuell nach dem „Mann-zur-Ware“-Prinzip be-

trieben, da Automatisierungen die Flexibilität zur Bewerkestellung heterogener Arbeitsinhalte tendenziell einschränken und hohe Investitionen bei der Anschaffung und dem Betrieb verursachen [3]. Dies macht die Kommissionierung zu einem zeit- und personalintensiven und daher auch kostenintensiven Prozess, der unmittelbar die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen beeinflusst [4]. Zweitens führt die zentrale Stellung des Menschen beim Kommissionierprozess zu einer erhöhten Prozessunsicherheit, insbesondere in Anbetracht der zunehmenden Komplexität und Vielfalt der Produkte und Arbeitsabläufe. Daher hat die Kommissionierung neben der Wettbewerbsfähigkeit auch unmittelbar Auswirkungen auf die Qualität des Lieferservices der Unternehmen und somit letztlich auf die Kundenzufriedenheit [5].

Pick-by-Vision als Effizienz- und Qualitätstreiber?

In Anbetracht der Schlüsselrolle der manuellen Kommissionierung bei der Bewältigung gegenwärtiger Herausforderungen suchen Unternehmen vermehrt nach Möglichkeiten zur Prozessverbesserung. Angestrebt wird eine Erhöhung der Pickgeschwindigkeit bei gleichzeitiger Minimierung der Fehlerrate des

Pick-by-Vision for Manual Order Picking – Requirements for Industrial Application

Smart glasses are recognized as a promising technology for supporting operational processes in the logistics sector. In particular, the application of Pick-by-Vision is capable of increasing the efficiency, quality and ergonomics of manual order picking. But first industrial pilots reveal problems concerning the implementation as well. To provide an overview a comprehensive requirement analysis is conducted and the results are presented.

Keywords:

pick-by-vision, manual order picking, requirement analysis



Prof. Dr. Ralf Elbert leitet das Fachgebiet Unternehmensführung und Logistik an der Technischen Universität Darmstadt.



M.Sc. Anne Friedrich ist als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet Unternehmensführung und Logistik der TU Darmstadt tätig.



B.Sc. Eszter Knobloch studiert Wirtschaftsingenieurwesen mit technischer Fachrichtung Maschinenbau (M.Sc.) an der TU Darmstadt.

elbert@log.tu-darmstadt.de
www.log.tu-darmstadt.de

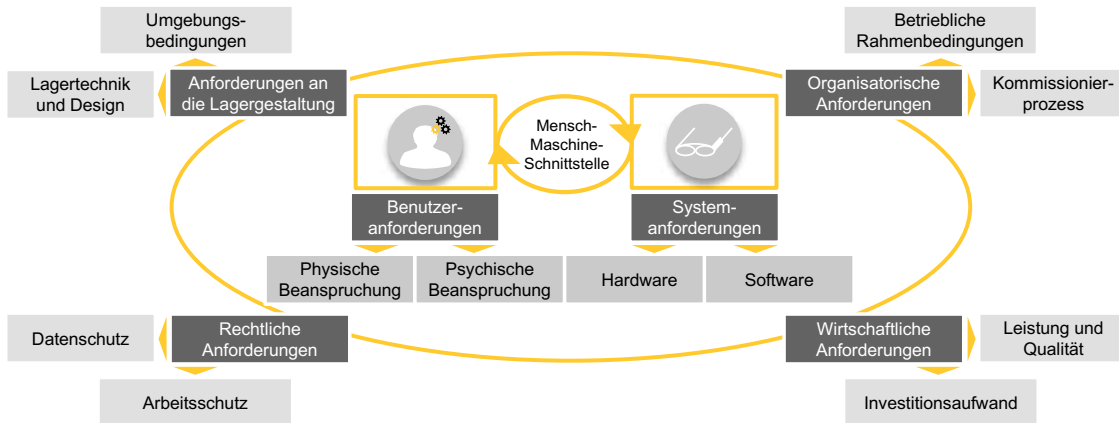


Bild 1: Kategorisierung von Anforderungen für den Einsatz von Pick-by-Vision.

Kommissionierers [6]. Zur Realisierung dieser Effizienz- und Qualitätssteigerung gewinnen vor dem Hintergrund von Megatrends, wie der Digitalisierung, Datenbrillen zunehmend die Aufmerksamkeit von Unternehmen. Datenbrillen, wie beispielsweise die Modelle Google Glass und Vuzix Smart Glasses M300, kommen bei Pick-by-Vision, einer neuartigen, informationstechnischen Art der Kommissionierführung, zum Einsatz. Dabei erhält der Kommissionierer bedarfsgerecht Informationen mittels Augmented Reality, also als Erweiterung seiner Realitätswahrnehmung, durch die von ihm getragene Datenbrille eingeblendet. Neben statischen können auch dynamische, im Raum positionierte Daten visualisiert werden, zum Beispiel zur Navigation oder Unterstützung am Entnahme- oder Ablageort durch die Hervorhebung räumlicher Objekte [7]. Vorteilhaft ist, dass dem Kommissionierer durch die rein visuelle Unterstützung beide Hände beim Kommissionierprozess zur Verfügung stehen [8]. Die bedarfsgerechte Informationsbereitstellung birgt außerdem Potenziale zur Verringerung der Kommissionierzeit, hauptsächlich durch eine Reduzierung der sogenannten Totzeit, die ohne physische Bewegungen für Tätigkeiten, wie das Erkennen, Verstehen, Suchen, Zählen, Quittieren oder Eingeben, aufgebracht wird [9]. Darüber hinaus kann sich eine intuitive und personalisierte Darstellung der Informationen positiv auf die kognitive Beanspruchung auswirken und zu einer Verringerung von Kommissionierfehlern führen [8].

Trotz dieser Potenziale kommen Datenbrillen bisher vorwiegend nur in Pilotanwendungen zum Einsatz. Die industrielle Nutzung wird getestet, bisher existiert jedoch noch kein Massenmarkt für den Einsatz. In solchen Testphasen zeichnen sich Probleme bei den Hardwarelösungen ab. Insbesondere die stabile WLAN-Anbindung an das bestehende Warehouse Management System und die

Stromversorgung der Datenbrillen über die Dauer einer Schicht erweisen sich als kritische Faktoren [10]. Neben der Begrenzung durch die aktuellen Hardwarelösungen gilt auch die Akzeptanz der Mitarbeiter als Schlüsselfaktor für die Verbreitung von Datenbrillen in der manuellen Kommissionierung [11]. Diese sich abzeichnenden

Diskrepanzen zwischen den prinzipiellen Einsatzmöglichkeiten und der aktuellen betrieblichen Nutzung werfen die Frage auf, welche Anforderungen Pick-by-Vision als Assistenzsystem aus dem Blickwinkel des Benutzers für den Einsatz in der manuellen Kommissionierung erfüllen muss. Außerdem ist zu hinterfragen, welche technischen Systemanforderungen an die Soft- und Hardware, also an die Robustheit der Technologie, gestellt werden.

Systematisierung der Anforderungslandschaft

Beim Einsatz von Pick-by-Vision entsteht eine neuartige Mensch-Maschine-Interaktion zwischen dem Lagermitarbeiter und dem Warehouse Management System mit der Datenbrille als Interaktionsgerät. Um die wechselseitigen Anforderungen von Seiten des Benutzers und aus systemtechnischer Perspektive zu identifizieren, wurde eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Hierfür wurde der Suchalgorithmus „(Datenbrille OR Augmented Reality OR Pick-by-Vision) AND (Logistik OR Kommissionierung)“ sowie dessen englischsprachige Übersetzung gebildet und zur Recherche in den Datenbanken Ebsco Host, Science Direct, Scopus und WISO verwendet. Es wurden 436 Literaturquellen identifiziert, die durch die Filterung nach Duplikaten sowie eine Titel-, Abstract- und Volltextsichtung schrittweise auf 108 Quellen reduziert wurden.

Bei der anschließenden Durchführung der Anforderungsanalyse wurde eine üblicherweise im Kontext der Konstruktion und Softwareentwicklung angewandte Vorgehensweise genutzt [12]: Merkmale von Pick-by-Vision und wirkende Einflussfaktoren auf die Mensch-Maschine-Interaktion wurden literaturbasiert ermittelt und in sechs Anforderungskategorien mit jeweils zwei Unterkategorien systematisiert. Hierbei wurde deutlich, dass neben den

direkten Benutzer- und Systemanforderungen aus der Wirkung von Kontextfaktoren innerhalb des Unternehmens und von Anspruchsgruppen außerhalb des Unternehmens weitere Anforderungen resultieren. Wie in Bild 1 dargestellt, wurden Kategorien im Bereich der Lagergestaltung sowie der organisatorischen, rechtlichen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen gebildet, welche den Einsatz von Pick-by-Vision zusätzlich bedingen.

Für die Merkmale bzw. Einflussfaktoren wurde in Form einer tabellarischen Anforderungsliste jeweils die Soll-Ausprägung ermittelt, die für einen effizienten, fehlerfreien und ergonomischen Pickprozess mit dem Einsatz von Pick-by-Vision erforderlich ist. Die Methodik der Anforderungsanalyse wurde bereits im Jahr 2009 auf ein anfängliches Pick-by-Vision System, bei dem das Tragen eines Laptops sowie das Montieren von Trackingkugeln erforderlich war, genutzt [6]. Die rasante Entwicklung der Datenbrillen in den letzten Jahren zeigt, dass eine Neubewertung der Anforderungen erforderlich ist.

Eine Anforderungsliste für Pick-by-Vision

Direkte Anforderungen an die informationstechnische Kommissionierführung mittels Pick-by-Vision gehen vom Benutzer und den Systemkomponenten der Datenbrille aus (Bild 2). Zu beachten ist, dass diese nicht nur das Tragen der Datenbrille selbst, sondern auch die Bedienung von Zusatzkomponenten, wie von Interaktionsgeräten in Form von Touch-Bedienfeldern an der Brille oder von Kameras als Trackingsysteme, betreffen.

Im Bereich der Benutzeranforderungen ist es zur Sicherstellung des physischen Wohlbefindens des Lagermitarbeiters erforderlich, dass bei der Datenbrille und allen weiteren Komponenten eine hohe Ergonomie und Gebrauchstauglichkeit im Sinne eines hohen Tragekomforts vorliegen. Beispielsweise sollte kein Verrutschen und Behindern der Bewegungsfreiheit durch die Verkabelung der Brille auftreten. Außerdem konnte als zentrale Anforderung eine Individualisierbarkeit der Brille, unter anderem durch das Bereitstellen von Brillengläsern mit Sehstärke und die Anpassung an Arbeitskleidung, identifiziert werden. Erforderlich ist darüber hinaus, dass die Brille keinerlei physische Schmerzen, wie Augen- oder Kopfschmerzen, und weitere Beschwerden, wie Orien-

tierungsprobleme, Gleichgewichtsstörungen, Fokussierungsprobleme oder Wahrnehmungsprobleme, verursacht sowie das Sichtfeld nicht einschränkt. Damit der Benutzer neben dem physischen auch ein psychisches Wohlbefinden verspürt, soll weder eine Überforderung bzw. ein zu hohes Stresslevel noch eine Unterforderung bzw. Langweile und Demotivation hervorgerufen werden. Hierfür sollten Möglichkeiten zur Anpassung an die individuelle Arbeitsgestaltung bestehen und die Akzeptanz durch eine intuitive Bedienbarkeit und verständliche Informationsdarstellung gefördert werden.

Anforderungen von Seiten des Systems sollten zu einer Umsetzung der Benutzeranforderungen beitragen. So sollten im Hinblick auf die Hardware Vorgaben für eine Mindestlaufzeit von acht Stunden bei den Akkus ohne Hitzeentwicklung, ein geringes Gewicht und wenig Verkabelung sowie wenig Körpereinsatz zur Bedienung der Interaktions- und Trackinggeräte realisiert werden. Zudem ist ein WLAN-Modul in der Brille für einen schnellen Datenaustausch erforderlich. Insgesamt ist die Hardware möglichst robust gegenüber Verschmutzungen und Stürzen zu gestalten. Softwareseitig ist vor allem die Gewährleistung einer hohen Qualität der Informationsbereitstellung, beispielsweise durch die Reihenfolge, Lesbarkeit und Verständlichkeit, relevant. Für die operative Nutzung sollten auch softwaretechnisch eine intuitive Benutzerführung, zum Beispiel bei der An- und Abmeldung, und ein direktes Aufzeigen von Kommissionierfehlern inklusive Korrekturanweisungen realisiert sein. Unabdingbar ist zudem eine hohe Kompatibilität der Komponenten mit der bestehenden Softwarearchitektur.

Indirekte Anforderungen, die von innerhalb oder außerhalb des Unternehmens zusätzlich die Gestaltung der Interaktion zwischen dem Benutzer und der Datenbrille beeinflussen, sind in Bild 3 dargestellt.

Bild 2: Benutzer- und Systemanforderungen.

Benutzeranforderungen	Physische Beanspruchung	1. Hohe Gebrauchstauglichkeit und Ergonomie
		2. Individuelle Einstellbarkeit und Anpassbarkeit
		3. Kein Verursachen von Schmerzen und körperlichen Einschränkungen
	Psychische Beanspruchung	4. Keine zu hohe bzw. zu niedrige kognitive Beanspruchung
		5. Intuitive Bedienbarkeit
		6. Ermöglichung einer Anpassung an die individuelle Arbeitsgestaltung
Systemanforderungen	Hardware	7. Hohe Akkuleistung und einfacher Austausch von Akkus
		8. Geringes und gleichmäßig verteiltes Gewicht
		9. Wenig Verkabelung und Freiheit der Hände
		10. WLAN-Fähigkeit und Möglichkeiten zum Datenaustausch
		11. Hohe Robustheit
		12. Einfache An- und Abmeldung, individualisiertes Menü
	Software	13. Qualitativ hochwertige Informationsbereitstellung
		14. Hohe Softwarekompatibilität mit dem Warehouse Management System und anderen Interaktionsgeräten
		15. Aufzeigen von Kommissionierfehlern und Korrekturmöglichkeiten

Bild 3: Anforderungen an die Lagergestaltung sowie die organisatorischen, wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen.

Anforderungen an die Lagergestaltung	Lagertechnik und Design	16. Manuelles Lagersystem 17. Möglichst Fachbodenregale oder Durchlaufregale	
	Umgebungsbedingungen	18. Helligkeit nicht zu hoch, Begrenzung der Schattenbildung 19. Keine Extremtemperaturen und keine hohe Luftfeuchtigkeit 20. Leistungsstarkes WLAN durchgehend verfügbar	
		Betriebliche Rahmenbedingungen	21. Ermöglichung von Pausen und eines Abbruchs des Kommissioniervorgangs 22. Schulungen bzw. Einarbeitungsphasen 23. Ermöglichung von Job Rotation bzw. Job Enrichment
			Kommissionierprozess
Wirtschaftliche Anforderungen	Leistung und Qualität 27. Erhöhung der Pickgeschwindigkeit 28. Verringerung der Fehlerrate		
	Rechtliche Anforderungen	Investitionsaufwand 29. Verhältnismäßige Anschaffungskosten und Zusatzkosten zur Systemanpassung 30. Hohe Nutzungsdauer	
		Arbeitsschutz	31. Keine Bedeckung des direkten Blickfeldes des Nutzers 32. Keine aufdringliche, störende Visualisierung 33. Keine Verhakung durch die Verkabelung
Datenschutz			34. Keine Nutzung als zusätzliche Kontrollinstanz 35. Verschlüsselung der personenbezogenen Daten 36. Keine Aufzeichnung der persönlichen Arbeitsleistung

Literatur

[1] Arnold, D. (Hrsg): Intralogistik. Potentiale, Perspektiven, Prognosen. Berlin Heidelberg 2006.

[2] Weidt, S.: Intraorganisationales Kompetenzmanagement für die Logistikplanung. Dissertation, Universität Dortmund 2003.

[3] Arnold, D.; Furmans, K.: Materialfluss in Logistiksystemen. Heidelberg u. a. 2005.

[4] de Koster, R.; Le-Duc, T.; Roodbergen, K. J.: Design and control of warehouse order picking. A literature review. In: European Journal of Operational Research 182 (2007), S. 481-501.

[5] ten Hompel, M.; Sadowsky, V.; Beck, M.: Kommissionierung. Materialflusssysteme 2 – Planung und Berechnung der Kommissionierung in der Logistik. Berlin Heidelberg 2011.

[6] Reif, R.: Entwicklung und Evaluierung eines Augmented Reality unterstützten Kommissioniersystems. Dissertation, TU München 2009.

[7] Günthner, W. A.; Rammelmeier, T.: Forschungsbericht. Vermeidung von Kommissionierfehlern mit Pick-By-Vision. München 2012.

[8] Kirks, T.; Jost, J.; Mättig, B.: Optimierung manueller Arbeitsprozesse in der Intralogistik durch Unterstützung des Menschen mit Augmented Reality. Datenbrillen zur Prozessunterstützung in der Verpackung. In: Glock, C.; Grosse, E. (Hrsg): Warehousing 4.0. Lauda-Königshofen 2017, S. 207-221.

[9] Schwerdtfeger, B.; Reif, R.; Günthner, W. A.; Klinker, G.: Pick-by-vision: There is something to pick at the end of the augmented tunnel. In: Virtual Reality 15 (2011) 2-3, S. 213-223.

[10] Günthner, W. A.; Blomeyer, N.; Reif, R.; Schedlbauer, M.: Pick-by-Vision. Augmented Reality unterstützte Kommissionierung. München 2009.

[11] Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg): Head-Mounted Displays. Arbeitshilfen der Zukunft. Bönen 2016.

[12] Conrad, K.-J.: Grundlagen der Konstruktionslehre. Methoden und Beispiele für den Maschinenbau, 6., aktualisierte und erweiterte Auflage. München 2013.

Ersichtlich wird aus Bild 3, dass in Bezug auf die Lagergestaltung die Anforderung gestellt wird, dass es sich um ein manuell betriebenes Lager handelt. Geeignet zur visuellen Hervorhebung von Objekten am Entnahme- oder Ablageort sind insbesondere Fachboden- oder Durchlaufregale. Hinsichtlich der Umgebungsbedingungen zeichnen sich eine Beschränkung der Helligkeit und der Schattenbildung als primäre Anforderungen ab. Als organisatorische Anforderungen erweisen sich darüber hinaus Bestandteile der Arbeitsorganisation, wie Möglichkeiten zum Wechseln bzw. Erweitern von Arbeitsumfängen, beispielsweise durch den zusätzlichen Einsatz von Pick-by-Vision bei Verpackungs- und Transportaufgaben. Wirtschaftliche Anforderungen entstehen neben der Realisierung einer Leistungs- und Qualitätssteigerung beim Pickprozess vor allem aus dem Investitionsaufwand bei der Anschaffung und der Einbindung in bestehende Informationssysteme.

Ergänzt werden die beschriebenen unternehmensspezifischen Anforderungen durch externe, rechtliche Anforderungen. Diese dienen zum einen der Erhöhung der Sicherheit zur Prävention von Arbeitsunfällen. Zum anderen betreffen die Anforderungen im Bereich des Datenschutzes den sensiblen Umgang mit den durch die Pick-by-Vision-Unterstützung erhobenen Daten.

Fazit und Ausblick

Die Analyse verdeutlicht, dass an die Nutzung der mittels Pick-by-Vision geführten Kommis-

sionierung vielfältige Anforderungen direkt von Seiten des Nutzers und der Systemtechnik, aber auch im erweiterten Kontext des Unternehmens und des Unternehmensumfelds, gestellt werden. So ist es in der Praxis häufig erforderlich, dass Unternehmen neben der Anschaffung der Hard- und Software weiterführende Anpassungen, beispielsweise bei Arbeitsabläufen und Lagerbedingungen sowie der Gestaltung von Schnittstellen und Überwindung von Kompatibilitätsproblemen mit dem Warehouse Management System, vornehmen müssen.

Zur Bewerkstelligung von Herausforderungen der Implementierung kann die Entwicklung eines Leitfadens Unternehmen bei der Abschätzung des Aufwands unterstützen. Als nächster Schritt soll hierfür zunächst die Wirkung der literaturbasiert ermittelten Anforderungen in der Praxis evaluiert und um bisher nicht berücksichtigte Aspekte ergänzt werden. Bei ersten Interviews mit Praxisvertretern kristallisierte sich bereits heraus, dass es für einen Leitfaden zweckmäßig ist, die Anforderungen weiterführend durch eine Einteilung in zwingend erforderliche bzw. harte und weiche Anforderungen zu priorisieren. Diese Einteilung kann als Grundlage zur Entwicklung von Maßnahmen zur Bewältigung der Anforderungen dienen.

Schlüsselwörter:

Pick-by-Vision, manuelle Kommissionierung, Anforderungsanalyse

Beschreibung von Maschinenfähigkeiten

Ein produktorientiertes Beschreibungskonzept für Maschinenfähigkeiten in der Fertigungsindustrie

Xuan-Luu Hoang, Constantin Hildebrandt und Alexander Fay, Helmut-Schmidt-Universität/
Universität der Bundeswehr Hamburg

Aufgrund kürzerer Produktlebenszyklen, einer steigenden Anzahl von Produktvarianten und abnehmender Losgrößen wird von Fertigungsunternehmen Flexibilität erwartet, Produkte mit leicht geänderten Eigenschaften herstellen zu können. Dazu muss geprüft werden, ob die vorhandenen Maschinen dafür geeignet sind. Eine explizite, vom Rechner auswertbare Fähigkeitsbeschreibung einer Maschine kann für einen automatisierten Abgleich mit sich ändernden Produkthanforderungen genutzt werden, wodurch der Anteil fixer Planungskosten gesenkt werden kann. Daher wird in diesem Beitrag ein produktorientierter Ansatz für die Beschreibung von Maschinenfähigkeiten in der Fertigungsindustrie vorgestellt. Die Anwendung des Konzepts wird anhand einer Bohrstation erläutert.

Um in der heutigen Zeit wettbewerbsfähig zu sein, müssen Fertigungsbetriebe auf verschiedene Trends reagieren, wie z. B. kürzer werdende Produktlebenszyklen, steigende Anzahl von Produktvarianten und abnehmende Losgrößen [1]. Diese Trends führen dazu, dass Unternehmen in einem zunehmend dynamischeren Umfeld agieren müssen, in dem sich die Randbedingungen sowie Anforderungen rasch ändern. Um in solch einem Umfeld agieren zu können, müssen sich Fertigungsmaschinen flexibel an ändernde Anforderungen anpassen lassen. Darüber hinaus dürfen die durch die steigende Änderungshäufigkeit ebenfalls steigenden Planungskosten nicht die Rentabilität beeinflussen, um die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu gewährleisten. Für die effiziente Umsetzung dieser Änderungsprozesse bedarf es jedoch einer generischen Beschreibung der vorhandenen Maschinenfähigkeiten (hier auch als Ressourcenfähigkeiten bezeichnet), damit die notwendigen Änderungen identifiziert werden können [2]. Diese Fähigkeitsbeschreibung bildet die Basis für die Prüfung der Erfüllbarkeit von Anforderungen des Produkts an die Produktion. Diese Erfüllbarkeitsprüfung muss wegen des dynamischen Umfelds häufiger als bisher durchgeführt werden. Um die Zeit für die Erfüllbarkeitsprüfung zu reduzieren und schneller auf Änderungen reagieren zu können, benötigt es eine Fähigkeitsbeschreibung, die einen effizienten Abgleich zwischen Anforderungen des Produkts

an die Produktion und Maschinenfähigkeiten ermöglicht.

In der Literatur wurden verschiedene Ansätze für die Beschreibung von Maschinenfähigkeiten präsentiert, z. B. in [3-5]. Obwohl diese Ansätze unterschiedliche Konzepte für die Beschreibung von Fähigkeiten bereitstellen, bilden sie eine suboptimale Grundlage für die Prüfung der Erfüllbarkeit. Der Grund hierfür ist, dass diese Ansätze prozessorientiert sind. Hierdurch müssen die Produktionsanforderungen im Prüfungsprozess zunächst von einer produktorientierten Sicht auf eine fertigungstechnische Prozesssicht überführt werden. Dies ist zeitaufwendig und erfordert ein hohes Maß an Prozesswissen. Infolgedessen ist das Ziel dieses Beitrags, einen Beschreibungsansatz für Maschinenfähigkeiten vorzustellen, der die Erfüllbarkeitsüberprüfung von Produktionsanfragen erleichtert.

Stand der Forschung

Die Beschreibungsansätze [3-5] unterscheiden sich zwar in ihrer Verwendung von Ontologien und Technologien, jedoch haben alle Ansätze miteinander gemein, dass sie Maschinenfähigkeiten basierend auf Prozessinformationen, wie z. B. die benötigte Drehzahl, beschreiben. Zudem benötigen die Ansätze für den Abgleich von Anforderungen des Produkts mit Maschinenfähigkeiten eine Beschreibung der

Description of Machine Skills – A Product-Oriented Description Concept for Manufacturing Machine Skills

Due to shorter product life cycles, increasing product variants and shrinking lot sizes, manufacturing companies are expected to produce according to frequently modified product specifications. In order to enable this, the available manufacturing machines have to be checked whether they can cope with such changing requirements. A computer-readable skill description of a machine can be used for an automated matching of changing product requirements. Accordingly, this contribution presents a product-oriented description approach of manufacturing machine skills. The application of the concept is demonstrated by an example of a drilling station.

Keywords:

skill description, manufacturing machines, PPR, matching



M. Sc. Xuan-Luu Hoang ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungstechnik in der Fakultät für Maschinenbau der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg.



M. Sc. Constantin Hildebrandt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automatisierungstechnik in der Fakultät für Maschinenbau der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg.



Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay ist Professor für Automatisierungstechnik und Leiter des Instituts für Automatisierungstechnik in der Fakultät für Maschinenbau der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg.

xl.hoang@hsu-hh.de
www.hsu-hh.de/aut

benötigten Reihenfolge zur Fertigung des Produkts. Diese Beschreibungen stellen die Anforderungen an die Maschine dar und müssen in Form von Prozessbeschreibungen vorliegen. Diese Art von Fähigkeitsbeschreibungen führen zu folgenden Problemen, die insbesondere in Fällen auftreten, in denen die Produktentwicklung und die Fertigung von unterschiedlichen Unternehmen durchgeführt werden:

- *Hohe Modellierungskomplexität:* Aufgrund der Vielzahl an verschiedenen Fertigungsverfahren [6] müssen bei einer prozessorientierten Fähigkeitsbeschreibung verschiedene Prozesskombinationen berücksichtigt werden, wodurch eine hohe Modellierungskomplexität entsteht.
- *Erhöhter Kommunikationsbedarf:* Produktentwickler haben meist nur begrenzte Informationen über die Fertigungsprozesse eines Produzenten, da vertrauliche Informationen nicht nach außen gelangen sollen. Diese Informationsasymmetrie führt zu einem erhöhten Kommunikationsbedarf zwischen Produktentwickler und Produzent für die Ermittlung eines passenden Fertigungsprozesses.
- *Aufwand bei der Prozessplanung:* Produzenten müssen für jedes Produkt die benötigten Fertigungsschritte basierend auf den Produktinformationen ermitteln, bevor ein automatisierter Fähigkeitsabgleich möglich ist. In einem Umfeld, wo sich die Produkte jedoch schnell ändern und nur in kleinen Losgrößen produziert werden soll, ist es fraglich, ob dieses Vorgehen zu einer Effizienzsteigerung bei der Prozessplanung führt, da hier zusätzlicher Aufwand zu bewältigen ist.
- *Dynamische Einführung von neuen Prozessen:* Da für jedes Produkt ein Arbeitsplan erstellt werden muss, würde die Einführung eines neuen Fertigungsprozesses dazu führen, dass alle Arbeitspläne überprüft und ggf. überarbeitet werden müssen. Dementsprechend ist die Einführung von neuen Prozessen ein zeitaufwendiger Vorgang.

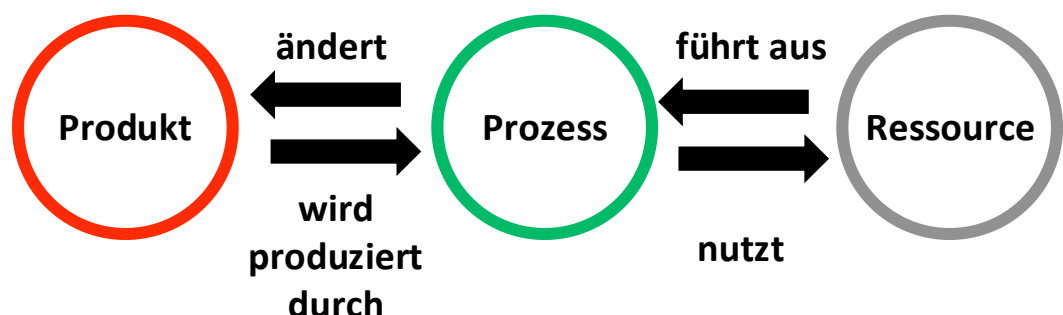
Im Gegensatz zu den oben genannten Ansätzen, beschreibt der in diesem Beitrag vorgestellte Ansatz Fähigkeiten von Ressourcen als Produktmerkmale, wodurch die dargestellten Probleme vermieden werden sollen.

Produktorientiertes Beschreibungskonzept

Der Ansatz basiert auf dem etablierten Konzept der Trennung von Produkt, Prozess und Ressource (PPR-Konzept) sowie auf der Richtlinie VDI/VDE 3682 [7]. Die Grundzüge des PPR-Konzepts werden in Bild 1 dargestellt. [7] spezifiziert eine formalisierte Prozessbeschreibung für die Modellierung von Prozessen basierend auf dem PPR-Konzept. Hierbei besitzen Prozesse ein oder mehrere Eingangsprodukte, die während des Prozesses eine Änderung erfahren, und ein oder mehrere Ausgangsprodukte.

Gemäß Bild 1 führen Ressourcen Prozesse aus, die eine Änderung bei Produkten bewirken. Das entwickelte Konzept nutzt diese Beziehungen, um Maschinenfähigkeiten produktorientiert zu beschreiben. Hierbei werden Ressourcen, Prozesse und Produkte durch verschiedene Merkmalsräume beschrieben. Ein Merkmalsraum besteht aus Merkmalen und beschreibt die Wertebereiche, die das jeweilige Merkmal annehmen kann. Ähnlich wie in [7] sind hier Ressourcen mit Prozessen verbunden, die Eingangs- und Ausgangsprodukte besitzen. Da eine Ressource direkt mit einem Prozess verknüpft ist, haben Ressourcenmerkmale einen Einfluss auf die Merkmale und Wertebereiche eines Prozesses. Prozessmerkmale können verwendet werden, um Merkmale und Wertebereiche von möglichen Eingangs- und Ausgangsprodukten zu definieren. Aufgrund dieser Beziehungen repräsentieren die Merkmalsräume dieser Produkte die Fähigkeiten einer Ressource. Hierbei können Ressourcenfähigkeiten durch mehrere Eingangs- und Ausgangsprodukte beschrieben werden.

Bild 1: Grundzüge des PPR-Konzepts.



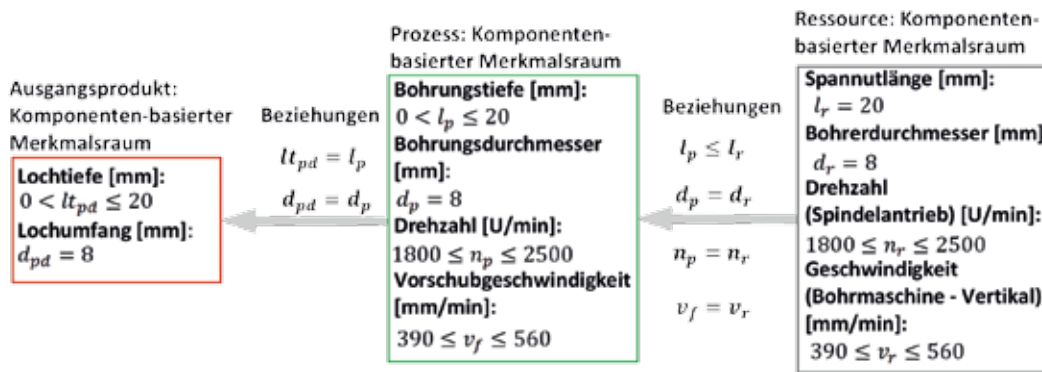


Bild 2: Komponentenbasierter Merkmalsraum und Beziehungen.

Das Beschreibungskonzept unterteilt Merkmalsräume in die folgenden fünf Kategorien:

- **Komponentenbasierter Merkmalsraum:** Beschreibt die Wertebereiche von Systemmerkmalen, d. h. Produkt-, Prozess-, und Ressourcenmerkmalen, welche durch Engineering-Artefakte der Komponenten vorgegeben werden, ohne Berücksichtigung von Beziehungen.
- **Strukturbasierter Merkmalsraum:** Beschreibt die Wertebereiche von Systemmerkmalen, die aufgrund von strukturellen Beziehungen zwischen Komponenten begrenzt werden, z. B. durch deren räumliche Anordnung.
- **Prozessspezifischer Merkmalsraum:** Beschreibt die Wertebereiche von Systemmerkmalen, die aufgrund von prozessspezifischen Beziehungen begrenzt werden. Beispielsweise muss beim Bohren die Beziehung zwischen Schnittgeschwindigkeit, Drehzahl und Bohrungsdurchmesser beachtet werden.
- **Softwarebasierter Merkmalsraum:** Beschreibt die Wertebereiche von Systemmerkmalen unter der Berücksichtigung von Beziehungen, die aus der implementierten Steuerungssoftware resultieren.
- **Realisierbarer Merkmalsraum:** Beschreibt die Wertebereiche von Systemmerkmalen unter Berücksichtigung aller bestehenden Beziehungen. Dieser Merkmalsraum stellt somit die Schnittmenge der vier vorherigen Merkmalsräume dar. Anhand des realisierbaren Merkmalsraums werden mögliche Eingangs- und Ausgangsprodukte beschrieben und somit auch die Ressourcenfähigkeiten.

führen. Die Beziehungen sind physikalischer Natur und werden entweder formal als mathematische Ausdrücke oder empirisch, z. B. in Form von Tabellen, beschrieben.

Anwendungsbeispiel

Das Konzept soll anhand einer Bohrstation erläutert werden. Die Bohrstation besteht aus Ressourcen (Bohrmaschine, Bohrer, Linearantrieb (für die vertikale Bewegung der Bohrmaschine) und Rundschalttisch).

Die Merkmale der Ressourcen („Spannutlänge“, „Bohrerdurchmesser“, „Drehzahl“, „Geschwindigkeit“ (des Linearantriebs)) werden in die Prozessmerkmale („Bohrungstiefe“, „Bohrungsdurchmesser“, „Drehzahl“, „Vorschubgeschwindigkeit“) überführt. Die beiden erstgenannten Prozessmerkmale können weiter in die Ausgangsproduktmerkmale „Lochtiefe“ und „Lochdurchmesser“ überführt werden. Die (in diesem Beispiel bewusst sehr einfachen) Beziehungen zwischen den Merkmalen sowie deren Wertebereiche für den komponentenbasierten Merkmalsraum sind in Bild 2 abgebildet. Beispielsweise kann die Bohrungstiefe aufgrund technischer Zusammenhänge nur kleiner oder gleich der Spannutlänge des Bohrers sein.

Eine Analyse des strukturbasierten Merkmalsraums zeigt, dass aufgrund einer räumlichen Beziehung zwischen Bohrer und Tisch die Bohrungstiefe kleiner gleich dem Abstand zwischen Bohrerspitze und Tisch oder der Spannutlänge sein muss, je nachdem, welcher der beiden Werte das Minimum darstellt.

Für die beschriebene Fähigkeitsbeschreibung ist es notwendig, Beziehungen zwischen Ressource, Prozess und Produkt zu analysieren. Diese Beziehungen erlauben es, Ressourcenmerkmale in Prozessmerkmale zu überführen und diese dann in Produktmerkmale zu über-

Bei einem Bohrprozess muss die Beziehung zwischen Material, Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Durchmesser beachtet werden. Mithilfe der physikalischen Abhängigkeiten zwischen Prozessparametern können die möglichen Wertebereiche für die Prozessmerkmale

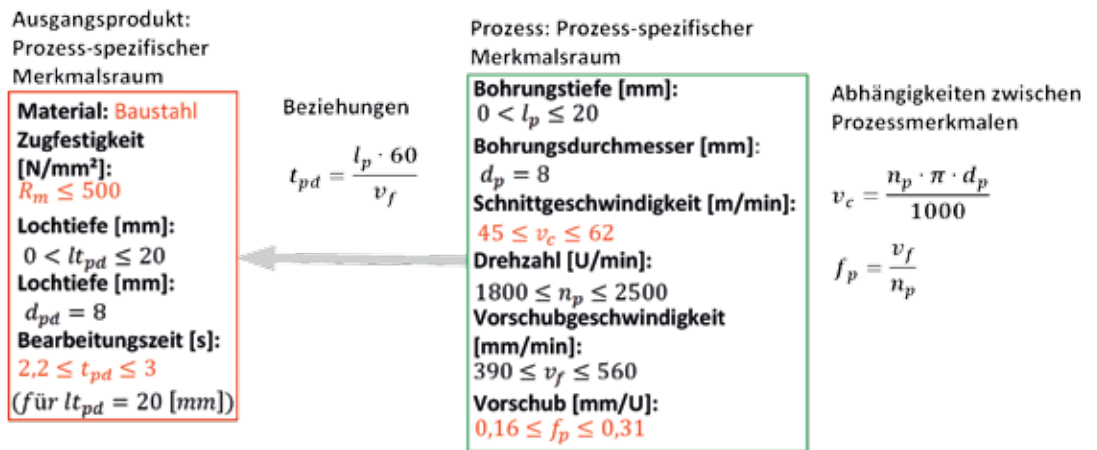


Bild 3: Prozessspezifischer Merkmalsraum und Beziehungen.

„Schnittgeschwindigkeit“ sowie „Vorschub“ berechnet werden (Bild 3, geänderte bzw. neue Wertebereiche sind in rot dargestellt). Über die in Bild 3 dargestellte Beziehung kann die Bearbeitungszeit des Produkts berechnet werden.

Aus der Steuerungssoftware könnte sich eine weitere Restriktion z.B. für die Drehzahl ergeben, die möglicherweise den realisierbaren Merkmalsraum weiter einschränkt.

Diskussion

Der vorgestellte Ansatz beschreibt Maschinenfähigkeiten auf Basis von Produktmerkmalen. Diese Beschreibung unterscheidet sich von den „Stand der Technik“-Ansätzen, die Fähigkeiten auf Basis von Prozessen beschreiben. Die produktorientierte Beschreibung bietet im Vergleich dazu folgende Vorteile:

- Der Kommunikationsaufwand zwischen dem Produktentwickler und dem Produzenten kann reduziert werden, da beide auf der Produktebene arbeiten.
- Vertrauliche Informationen über die Prozesse oder Ressourcen eines Produzenten werden nicht an externe Produktentwickler weitergegeben, da nur Produktmerkmale kommuniziert werden.
- Das Konzept bietet einen effizienten Abgleich von Maschinenfähigkeiten und Produktanforderungen, da die Anforderungen nicht erst in Prozess- oder Ressourcenmerkmale überführt werden müssen.

Die eingeführten Kategorien von Merkmalsräumen unterstützen die Analyse von Fähigkeitsbeschränkungen. Hierbei kann die Kategorie der Grenze, die ein bestimmtes Merkmal beschränkt, einen Hinweis darauf geben, wie eine Ressource adaptiert werden muss. Diese

Kategorisierung unterstützt Ansätze zur Modellierung von Interdependenzen zwischen Produkten, Prozessen und Ressourcen im Hinblick auf die Adaption von Ressourcen. Ein solcher Ansatz wurde in [8] vorgestellt.

Die Modellierungskomplexität des Konzepts ist potenziell geringer als prozessorientierte Ansätze, da sich die Beschreibung nicht auf die verschiedenen Fertigungsverfahren stützt, die z. B. in [6] aufgeführt sind.

Der Ansatz ermöglicht es beispielsweise, dass der Produktentwickler nur eine Produktbeschreibung (z.B. die Hüllgeometrie als reduzierte CAD-Daten) an den Produzenten sendet und dieser direkt auf Basis dieser Daten, ohne Zwischenschritte, automatisiert die Produzierbarkeit des Produkts überprüfen kann.

Die Modellierungskomplexität ist jedoch stark abhängig von der Anzahl an Produktmerkmalen. Dementsprechend ist die Effizienz des Konzepts aktuell begrenzt, da Produkte momentan keine genormte Merkmalsbeschreibung besitzen [9]. Des Weiteren kann die Analyse von Beziehungen zwischen Ressource, Prozessen und Produkten eine zeitaufwendige Aufgabe sein und erfordert ein hohes Maß an Fachwissen. Ein weiterer Nachteil des Konzepts ist, dass Beschreibungen aktualisiert werden müssen, wenn neue Produktmerkmale auftreten, die während der Modellierungszeit nicht bekannt waren. In diesem Fall müssen nachträglich weitere Beziehungsanalysen durchgeführt werden.

Schlüsselwörter: Fähigkeitsbeschreibung, Fertigungsmaschinen, PPR, Matching

Literatur

[1] ElMaraghy, H.: Changing and Evolving Products and Systems: Models and Enablers. In: ElMaraghy, H. A. (Hrsg.): Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems. London 2009.

[2] Loskyll, M.; Heck, I.; Schlick, J.; Schwarz, M.: Context-Based Orchestration for Control of Resource-Efficient Manufacturing Processes. In: Future Internet 4 (2012) 4, S.737-761.

[3] Järvenpää, E.; Siltala, N.; Lanz, M.: Formal resource and capability descriptions supporting rapid reconfiguration of assembly systems. International Symposium on Assembly and Manufacturing. Fort Worth 2016.

[4] Pfrommer, J.; Stogl, D.; Aleksandrov, K.; Escalida Navarro, S.; Hein, B.; Beyerer, J.: Plug & produce by modelling skills and service-oriented orchestration of reconfigurable manufacturing systems. In: at-Automatisierungstechnik 63 (2015) 10, S.790-800.

[5] Cavin, S.; Lohse, N.: Multi-Level Skill-Based Allocation Methodology for Evolvable Assembly Systems. International Conference on Industrial Informatics. Porto Alegre 2014.

[6] Norm DIN 8580: Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung. 2003.

[7] Richtlinie VDI/VDE 3682: Formalisierte Prozessbeschreibung. 2005.

[8] Hoang, X.-L.; Marks, P.; Weyrich, M.; Fay, A.: 2017. Modeling of interdependencies between products, processes and resources to support the evolution of mechatronic systems. IFAC World Congress of the International Federation of Automatic Control. Toulouse 2017.

[9] Hildebrandt, C.; Scholz, A.; Fay, A.; Schröder, T.; Hadlich, T.; Diedrich, C.; Dubovy, M.; Eck, C.; Wiegand, R.: Semantic Modeling for Collaboration and Cooperation of Systems in the production domain. IEEE Conference on Emerging Technologies and Factory Automation. Limassol 2017.

Modulare und Wandlungsfähige Robotersysteme

Modellbasierte Softwareentwicklung basierend auf AutomationML und ontologischer Semantik

Yingbing Hua, Michael Mende und Björn Hein, Karlsruher Institut für Technologie

Die Softwareentwicklung bei Industrierobotern benötigt erhebliches interdisziplinäres Wissen und viel technische Erfahrung. Vor allem die Heterogenität der herstellereinspezifischen Programmiersprachen und -werkzeuge verursacht hohen Aufwand beim Einsatz von Industrierobotern, obwohl Roboter per se frei programmierbar sind und für eine Vielzahl von Aufgaben eingesetzt werden können. Um verschiedene Rollen, wie z. B. den Komponentenzulieferer, Anwendungsentwickler sowie Systemintegratoren und Endanwender, bei der Programmierung und Integration von Robotern zu unterstützen, wurde im Rahmen des Forschungsprojekts ReApp ein modellbasierter Ansatz entwickelt. Das Datenaustauschformat AutomationML wurde hierbei für die Modellierung der Roboterkomponenten und -systeme eingesetzt. Auf Basis von Domäne-Ontologien wurden die AutomationML-Modelle semantisch verarbeitet und zu einem maschineninterpretierbaren Informationsmodell umgewandelt, aus dem Quellcodes generiert werden konnten.

Industrieroboter sind flexible Maschinen mit hoher Stabilität und Genauigkeit und sind mittlerweile essenzielle Voraussetzung für die Massenproduktion in z. B. der Automobil- und Elektroindustrie. Für Industrie 4.0-Lösungen wird jedoch die Anforderung gestellt, dass kleine Stückzahlen bei hoher Variantenvielfalt gefertigt werden sollen. Aufgrund der aufwändigen Programmierung und Konfiguration der Robotersoftware sind Industrieroboter für die individuelle Produktion aus wirtschaftlichen Gründen noch nicht geeignet.

Um die Einsetzbarkeit von Robotern zu erhöhen, insbesondere für kleine- und mittlere Unternehmen (KMUs), die deutlich mehr Produktvarianten mit kleinen Losgrößen fertigen wollen, wurden im Rahmen des Forschungsprojekts ReApp modellbasierte Methoden der Softwareentwicklung untersucht und herstellernerneutrale Werkzeuge für die Roboterprogrammierung entwickelt. Zur Modellierung der Roboterkomponenten und Robotersysteme wurde das Datenaustauschformat AutomationML eingesetzt. Darüber hinaus wurde eine ontologische Semantik für die Interpretation der AutomationML-Modelle angewendet. Mit dieser formalen Semantik werden logische Konsequenzen automatisch hergeleitet, welche Anforderungen an die Funktionalitäten bzw. Schnittstellen der Robotersoftware ermitteln und für die angeschlossene Codegenerie-

rung zur Verfügung stellen. Dadurch entsteht ein konsistenter und kontinuierlicher Entwicklungsprozess für alle beteiligten Rollen.

Modellbasierte Ansätze für die Roboterprogrammierung

Die Best Practice-Strategie des Softwareengineering hat gezeigt, dass sowohl die Qualität als auch die Wirtschaftlichkeit der Software mit fortschrittlichen modellbasierten Technologien verbessert werden können. Für die industrielle Automatisierung wurden hierfür zwei fundamentale Ansätze betrachtet [1]. Der eine ist die komponentenbasierte Softwareentwicklung (Component based Software Engineering, CBSE), bei der wiederverwendbare Komponenten angestrebt werden. Jede Komponente ist ein eigenständiger Funktionsblock, der ohne große Änderung in unterschiedlichen Systemen integriert werden kann. Im Gegensatz dazu basiert die modellgetriebene Softwareentwicklung (Model-driven Software Development, MDSD) auf der automatisierten Codegenerierung aus abstrakten Modellen. Diese Methoden wurden in einem breiten Spektrum des industriellen Engineering umgesetzt, wie z. B. der modellbasierten Validierung von Steuerungssystemen [2], der objektorientierten PLC-Programmierung [3]

Modular and Adaptable Robot Systems – Model Based Software Development Based on AutomationML and Ontological Semantics

Software development of industrial robots requires interdisciplinary knowledge and technical experience. Due to the heterogeneity of the manufacturer-dependent programming languages and tools, robot programming remains highly complex, although robots themselves are flexible and can be used for a wide range of applications. To support different roles during the development, including component provider, application developer, system integrator and end user, a model based approach was developed in the research project ReApp. The data exchange format AutomationML was used for the modelling of robot components and systems. Based on domain ontologies, the AutomationML models were processed semantically and converted to a machine-interpretable information model, from which source code was generated.

Keywords:

robotics, model based software development, AutomationML, semantics



Yingbing Hua arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Karlsruher Institut für Technologie, Fachgebiet Robotik und Industrieengineering.



Michael Mende arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Karlsruher Institut für Technologie, Fachgebiet Industrierobotik.



Prof. Dr.-Ing. habil. Björn Hein leitet die Forschungsgruppe Intelligente Industrieroboter des Instituts für Anthropomatik und Robotik am Karlsruher Institut für Technologie.

yingbing.hua@kit.edu
www.ipr.kit.edu

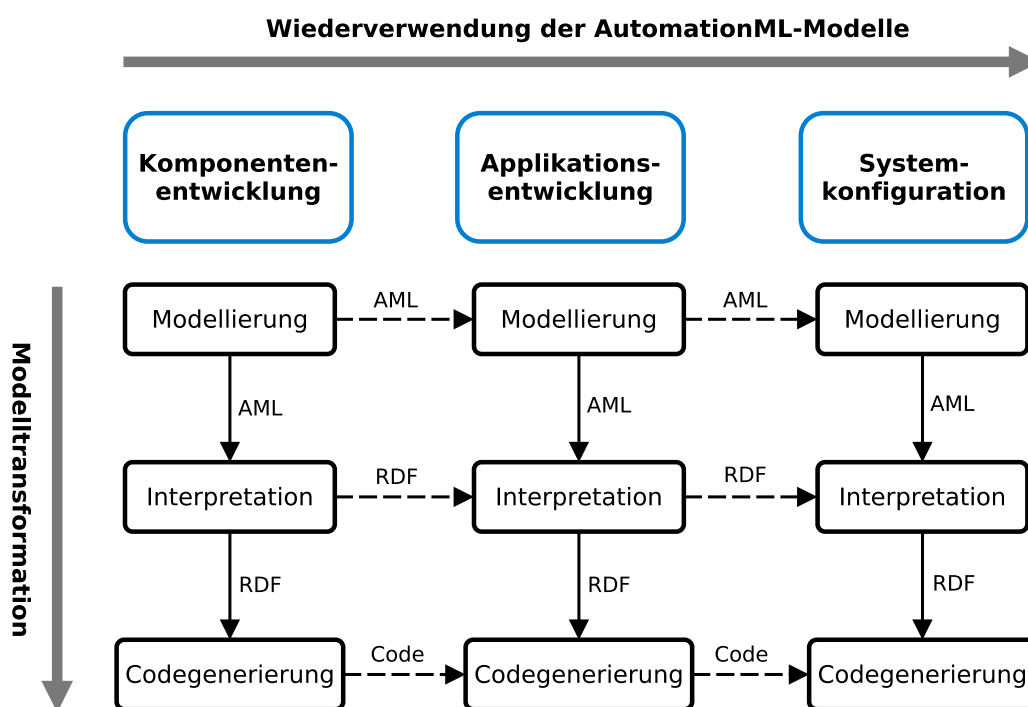
und verteilten Steuerungssysteme [4]. Darüber hinaus existieren mehrere populäre Modellierungssprachen wie z. B. die Unified Modelling Language (UML) der Object Management Group (OMG) [5] für die Anforderungsanalyse und Spezifikation der Software und das Eclipse Modelling Framework (EMF) für die effiziente Codegenerierung innerhalb der Entwicklungsumgebung Eclipse.

In der Domäne der Robotik wurde CBSE weitgehend erforscht [6, 7]. Es existieren bereits Frameworks, wie z. B. das Robot Operating System (ROS) [8], das sowohl von der Forschungsgemeinschaft als auch von zahlreichen Komponentenherstellern intensiv genutzt und erweitert wird. ROS bietet ein multimodales Kommunikationsnetzwerk für den Aufbau eines Robotersystems. Dazu zählen das Publisher-Subscriber- und das Server-Client-Konzept. Durch standardisierte Softwareschnittstellen von einfachen Datenstrukturen bis hin zu komplexen Geometrie- und Sensordaten kann eine Roboterkomponente in einer ROS-Laufzeitumgebung leicht angebunden werden. Umfangreiche kostenlose Robotersoftware, wie z. B. Komponententreiber, Bildverarbeitungs- und Bahnplanungsalgorithmen, sowie zusätzliche Entwicklungswerkzeuge, wie z. B. Visualisierung, Simulation und Netzwerkdiagnostik, stellen eine zuverlässige Basis für die Entwicklung neuer Applikationen. Allerdings kann ROS eine integrierte Entwicklungsumgebung (Integrated Development Environment, IDE) nicht ersetzen. Insbesondere für MDSD sind grundsätzliche Funktionalitäten,

wie z. B. die Modellvalidierung und die automatische Codegenerierung unerlässlich. Das Forschungsprojekt BRICS hat auf Basis von ROS das BRICS Component Model entwickelt, um MDSD für die Roboterprogrammierung voranzutreiben [9]. Die vier Abstraktionsebenen der OMG wurden umgesetzt und das EMF wurde für die Codegenerierung in einer Werkzeugkette eingesetzt.

Trotz dieser existierenden Lösungen lässt sich die effiziente Roboterprogrammierung nicht erreichen, da dort stets umfangreiche Expertise bei jedem Entwickler vorausgesetzt wurde. Für einen wirtschaftlichen Einsatz von Industrierobotern sollen die Aufgaben der an der Wertschöpfungskette beteiligten Akteure analysiert und individuell behandelt werden. Ziel ist eine konsistente und durchgängige Softwareentwicklung, wobei sich jeder Akteur nur auf seine eigene Aufgabe konzentriert. Die Heterogenität der Roboterdomäne stellt die primäre Herausforderung zur Erreichung des Ziels dar, die im Rahmen des Projekts ReApp durch einen semantikbasierten Ansatz gelöst wurde. Die Automation Markup Language (AutomationML) [10] wurde für die Beschreibung der Roboterkomponenten bzw. -systeme verwendet. AutomationML ist ein XML-basiertes Datenformat für kontinuierliches Engineering in einer heterogenen Werkzeug-Landschaft. Mit standardisierten Semantiken und wohldefinierten Modellierungsverfahren kann der Standard für die Beschreibung und den Austausch von Fabrik-Topologie, Geometrie, Kinematik, Logik sowie Kommunikation eingesetzt werden. Um

Bild 1: Ablauf des modellbasierten Ansatzes für die Roboterprogrammierung.



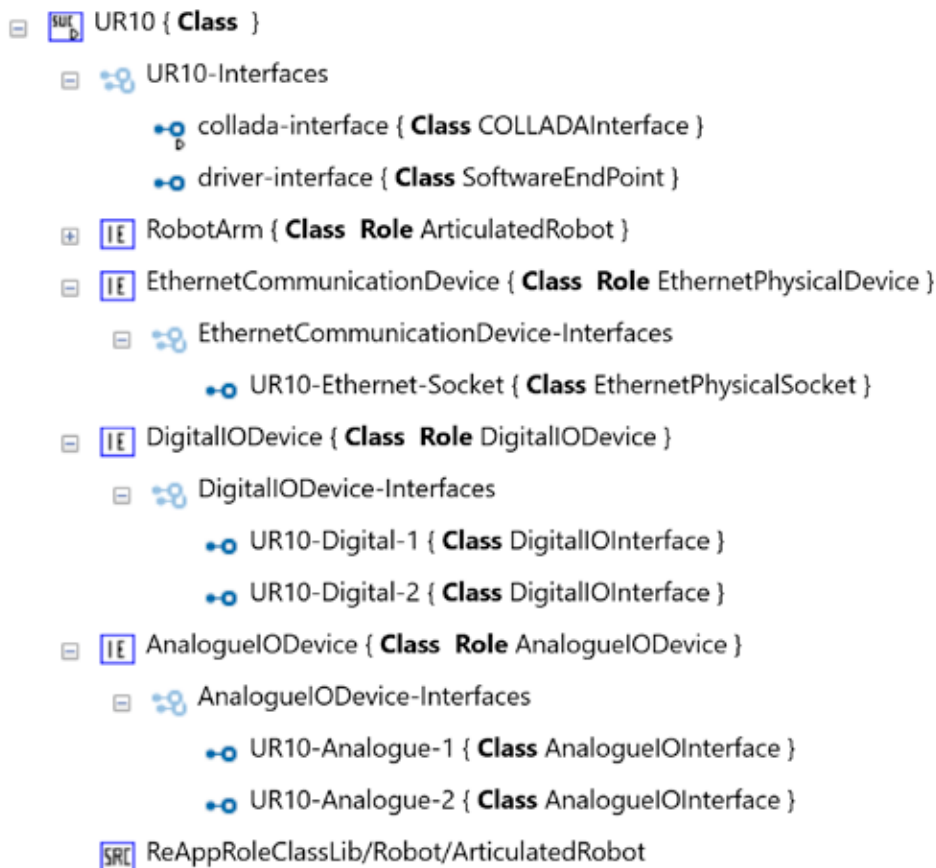


Bild 2: AutomationML SystemUnitClass des UR10 Roboters.

die implizite Semantik der XML-Daten zu extrahieren, werden die AutomationML-Modelle anschließend zu dem Datenformat Resource Description Framework (RDF) umgewandelt. Durch automatisierte Inferenz über das Domänen-Wissen der Robotik werden Anforderungen über die Funktionalitäten bzw. Schnittstellen der Robotersoftware abgeleitet. In Bild 1 wird der gesamte Ablauf des Ansatzes gezeigt. Die drei vertikalen Phasen in Form der Komponenten- und der Applikationsentwicklung sowie der Systemkonfiguration entsprechen der Rollentrennung der Akteure. In jeder Phase werden zielführende AutomationML-Modelle durch die zuständige Rolle erstellt und beim Bedarf in der nächsten Phase wiederverwendet. Die Codegenerierung bezieht sich auf die Ausgabe der semantischen Verarbeitung der AutomationML-Modelle. Die Interoperabilität der Modelle über die Phasen erfolgt durch die maschinenlesbare formale Semantik und der generierte Quellcode aller Phasen ist aufgrund der einheitlichen ROS-Schnittstellen integrierbar. In den folgenden Abschnitten wird die technische Umsetzung des Ansatzes detailliert aufgezeigt.

AutomationML als ein Modellierungswerkzeug

Im Kontext von Industrie 4.0 kann AutomationML ein wichtiges Format für die Speicher-

ung von Struktur- und Ingenieurwissen werden [11]. Aufbauend auf den Industriestandard Computer Aided Engineering Exchange (CAEX) (IEC 62424) besteht die Architektur von AutomationML aus den folgenden Bausteinen:

- **RoleClass:** Eine Rollenklasse repräsentiert ein domänenspezifisches Konzept. Der AutomationML e.V. hat im Rahmen des Standards IEC 62714 grundsätzliche Konzepte der industriellen Automatisierung definiert, wie z. B. Sensor oder Aktor.
- **InterfaceClass:** Schnittstellen werden für die Verbindung zwischen Objekten genutzt und durch Schnittstellenklassen definiert.
- **SystemUnitClass:** Klassen der Systemobjekte sind Modelle für wiederverwendbare Komponenten. Zur Identifikation deren Semantik werden geeignete Rollenklassen referenziert. Eine SystemUnitClass kann durch Komposition interner Elemente weiter spezifiziert werden, um die gewünschte Granularität der Klassenbeschreibung zu erreichen. Verfügbare Schnittstellen der Komponente werden aufgezählt.
- **InstanceHierarchy:** Für den Aufbau eines gesamten Systems werden bereits modellierte Komponenten bzw. Subsysteme instanziiert und in einer Hierarchie angeordnet. Weitere Konfigurationen des Systems, wie z. B. Parametrisierung und Verbindungen zwischen einzelnen Komponenten, können vorgenommen werden.

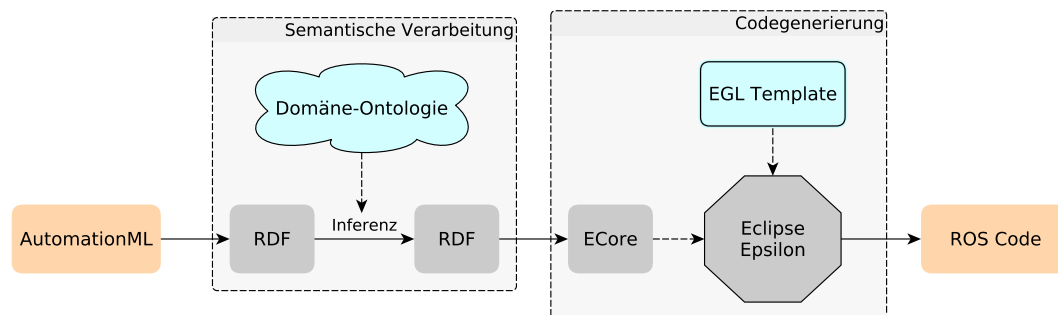


Bild 3: Modelltransformation von AutomationML zu Ecore und die anschließende Codegenerierung.

Durch die Unterstützung des objektorientierten Paradigmas eignet sich AutomationML für die Modellierung der Roboterkomponenten und -systeme, wobei die Rollenklassen und Schnittstellenklassen die Grundlage für die Modellierung darstellen. Zur ausführlichen Beschreibung der Roboterdomäne wurden die Standardbibliotheken von AutomationML um roboterspezifische Klassen erweitert. Diese Erweiterung stellt eine Taxonomie über die Roboterdomäne bereit, anhand der jede beliebige Roboterkomponente durch eine AutomationML-SystemUnitClass beschrieben werden kann. Mit dem Ziel, dass ein Quellcode für die Komponente generiert werden sollte, fokussiert das Komponentenmodell auf Softwarefunktionalitäten. Als Beispiel lässt sich ein UR10 Roboter durch einen Roboterarm, ein Ethernet Modul, eine digitale sowie eine analoge Ein- und Ausgabeeinheit beschreiben. Geometrische und kinematische Informationen des Roboters werden durch eine Referenz auf einer entsprechenden COLLADA-Datei in einer SystemUnitClass verwiesen. In Bild 2 ist das AutomationML-Modell des UR10 Roboters dargestellt, wobei ein großer Teil der Schnittstellen aufgrund der Granularität weggelassen wurde.

Ein Komponentenmodell kann durch den Komponentenzulieferer mit dem AutomationML Editor [12] mit geringem Aufwand erstellt werden und danach als Template für die Modellierung weiterer ähnlicher Komponenten dienen. Zum Beispiel kann ein UR5 Roboter durch einen einfachen Kopier- und Konfigurationsvorgang aus dem Modell des UR10 Roboters generiert werden. Diese Wiederverwendbarkeit des Modells bietet ein schnelles und konsistentes Engineering.

In der Applikationsentwicklung setzt sich ein Robotersystem aus Instanzen der zur Verfügung gestellten ROS-Schnittstellen zusammen. In der Phase der Systemkonfiguration werden die Instanzen entsprechend des realen Systems parametrisiert.

AutomationML bietet keine Mechanismen für die domänenspezifische Modellvalidierung. Die Kompatibilität der Verbindungen bzw. die Gültigkeit der Parametrisierung müssen für die Codegenerierung explizit sichergestellt werden. Zielorientierte Verifikationsroutinen können dafür implementiert werden, sind aber nicht generisch für jede Anwendung. Der ReApp-Ansatz stellt ein semantikbasiertes Verfahren vor, bei dem die AutomationML-Modelle auf Basis des allgemeinen Wissens über Robotik und ROS semantisch interpretiert und verifiziert werden.

Semantische Erweiterung der AutomationML-Modelle

AutomationML-Modelle sind aus Sicht des MDSD in der plattformunabhängigen Ebene der Abstraktionshierarchie der OMG. Um daraus einen Quellcode für eine spezifische Plattform erzeugen zu können (z. B. ROS), müssen diese Modelle erst auf die plattformabhängige (ROS) Abstraktionsebene übertragen werden. Das heißt, die Bedeutung der AutomationML-Modelle muss erst deklariert werden, um Fragestellungen wie z. B.: „Was bezeichnet eine Verbindung zwischen zwei Komponenten?“ oder „Welche Softwarefunktionalitäten soll ein Roboterarm zur Verfügung stellen?“ zu beantworten. Ein innovativer Ansatz dieser Modell-zu-Modell-Transformation ist der Einsatz einer formalen Semantik, die das Wissen mithilfe maschinell interpretierbarer Ontologien abbildet. Die W3C Standards Web Ontology Language (OWL) und Resource Description Framework (RDF) wurden für die Erstellung der Ontologien eingesetzt, in denen die inhärenten Eigenschaften einzelner Domäne-Klassen, wie z. B. Roboter und Kamera, spezifiziert wurden [13]. Auf Basis dieser Ontologien lässt sich eine AutomationML-Beschreibung zu einem kompatiblen RDF-Modell umwandeln. Zu jeder AutomationML-Rollen- bzw. Schnittstellenklasse wird die universelle Identifikation (URI) der entsprechenden Domänen-Klasse in der Onto-

Literatur

- [1] Vyatkin, V.: Software engineering in industrial automation: State-of-the-art review. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics 9 (2013) 3, S. 1234-1249.
- [2] Estevez, E.; Marcos, M.: Model-based validation of industrial control systems. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics 8 (2012) 2, S. 302-310.
- [3] Obermeier, M.; Braun, S.; Vogel-Heuser, B.: A model-driven approach on object-oriented plc programming for manufacturing systems with regard to usability. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics 11 (2015) 3, S. 790-800.
- [4] Yan, J.; Vyatkin, V.: Distributed software architecture enabling peer-to-peer communicating controllers. In: IEEE Transactions on Industrial Informatics 9 (2013) 4, S. 2200-2209.
- [5] Object Management Group. URL: www.omg.org, Abrufdatum 26.09.2017.

logie vermerkt. Diese semantische Erweiterung der AutomationML-Modelle ermöglicht die automatische Inferenz über Domänen-Wissen, die in AutomationML nicht definiert wurde und zu einem endgültigen Informationsmodell für die Codegenerierung führt.

Im Falle des UR10 Roboters, der einen ArticulatedRobot enthält, muss sein ROS-Treiber aufgrund der Schnittstellendefinition in der Ontologie die entsprechenden Softwarefunktionalitäten zur Verfügung stellen. Hierbei sind ein Publisher des ROS-Topics vom Typ JointState und ein Client der ROS-Action vom Typ FollowJointTrajectory zu implementieren.

Im Falle eines Robotersystems, in dem mehrere Komponenten miteinander verbunden sind, muss zusätzlich die Kompatibilität gesichert werden. Für die Hardwarekommunikation können fehlerhafte Verbindungen durch semantische Abfrage herausgefunden werden. Beispielsweise wird eine Verbindung zwischen zwei digitalen Eingängen als inkompatibel angezeigt. Auf der Softwareebene darf eine ROS-Komponente nur über ROS-Schnittstellen des gleichen Typs mit einer anderen Komponente kommunizieren. Dazu wird der regelbasierte Inferenzmechanismus Semantic Web Rule Language (SWRL) angewendet. Eine Regel drückt ein Faktum der Domäne mittels formaler Semantik aus und ist allgemeingültig. Die Verifizierung durch die Inferenzmaschine läuft automatisch im Hintergrund der Modell-zu-Modell-Transformation und benötigt keine explizite Implementierung.

Automatische Codegenerierung

Die erfolgreiche Verifizierung stellt die Konsistenz des Informationsmodells sicher und ermöglicht die automatische Codegenerierung mit dem Eclipse Modelling Framework. Zuerst wird das semantische Informationsmodell durch eine weitere Modell-zu-Modell-Transformation in das Eclipse-konforme Datenformat Ecore konvertiert. Danach wird ein ROS-Paket mit Projektstruktur, Manifest und Quellcode (C++ oder Python) aus Eclipse Epsilon Templates erzeugt, die für ROS erstellt wurden. Im Falle einer Roboterkomponente lassen sich die grundsätzlichen Funktionalitäten der Komponente durch ROS-Schnittstellen darstellen. Attribute der Komponente werden als ROS Parameter für die Laufzeitumgebung zur Verfügung gestellt. Die COLLADA Beschreibung wird in ein ROS-konformes Datenformat konvertiert, um Open-Source-Komponenten, wie z. B. Ko-

ordinatentransformationen und kollisionsfreie Bahnplanung, nutzen zu können. Im Falle eines Robotersystems werden die Konfigurationsdaten in XML-Dateien gespeichert und für die Ausführung der Applikation bereitgestellt.

Das generierte ROS-Paket stellt einen guten Ausgangspunkt für die Entwicklung der Komponente bzw. des Systems dar. Der Komponentenentwickler kann sich auf die Implementierung der tatsächlichen Funktionalitäten der Komponente und der Applikationsentwickler kann sich auf die Realisierung der Ablauflogik des Programms konzentrieren. Zur Konfiguration eines existierenden Systems kann der Systemintegrator bzw. der Endanwender das Systemmodell in AutomationML modifizieren. Bild 3 zeigt die Transformationskette der Modelle. Die gesamte Modell-zu-Modell- sowie die angeschlossene Modell-zu-Code-Transformation sind für den Nutzer transparent.

Fazit

Modellbasierte Softwareentwicklung nutzt die Abstraktionsebenen, um die Rollentrennung zu fördern. Im Kontext von Industrie 4.0 wurde in diesem Beitrag ein semantikbasierter Ansatz vorgestellt, in dem Roboterkomponenten bzw. -systeme in AutomationML modelliert und semantisch verarbeitet wurden. Auf Basis der Domänen-Ontologien können logische Schlussfolgerungen über die Anforderung der Software abgeleitet und daraus ein Informationsmodell für die Codegenerierung zur Verfügung gestellt werden. Die Codegenerierung erfolgt unmittelbar mit dem Template-basierten Ansatz des Eclipse Epsilon Projekts. Jede Phase des Ansatzes kann durch einen bei der Softwareentwicklung Beteiligten selbstständig durchgeführt werden. Sowohl die Modelle als auch der Quellcode sind aufgrund der standardisierten Semantik sowie der ROS-Schnittstellen leicht zu konfigurieren und für verschiedene Applikationen wiederverwendbar.

Schlüsselwörter:

Robotik, modellbasierte Softwareentwicklung, AutomationML, Semantik

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „ReApp – Wiederverwendbare Roboterapplikationen für flexible Roboteranlagen basierend auf Industrial ROS“, das von dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) unter dem Kennzeichen 01MA13001J gefördert wird.

- [6] Brugali, D.; Scandurra, P.: Component-based robotic engineering. In: IEEE Robotics & Automation Magazine 16 (2009) 4, S. 84-96.
- [7] Brugali, D.; Shakhimardanov, A.: Component-based robotic engineering (part ii). In: IEEE Robotics & Automation Magazine 17 (2010) 1, S. 100-112.
- [8] Robot Operating System (ROS). URL: www.ros.org, Abrufdatum 26.09.2017.
- [9] Bruyninckx, H.; Klotzbücher, M.; Hochgeschwender, N.; Kraetzschmar, G.; Gherardi, L.; Brugali, D.: The brics component model: a model-based development paradigm for complex robotics software systems. In: Proceedings of the 28th Annual ACM Symposium on Applied Computing (SAC) 2013.
- [10] AutomationML Verein. URL: www.automationml.org, Abrufdatum 26.09.2017.
- [11] Bedenbender, H.; Bentkus, A.; Epple, U.; Hadlich, T.; Hankel, M.; Heidel, R.; Hillermeiner, O.; Hoffmeister, M.; Huhle, H.; Kiele-Dunsche, M.; Koziolok, H.; Lohmann, S.; Mendes, M.; Neidig, J.; Palm, F.; Pollmeier, S.; Rauscher, B.; Schewe, F.; Waser, B.; Weber, I.; Wollschlaeger, M.: Beziehung zwischen I4.0-Komponenten – Verbundkomponenten und intelligente Produktion. Berlin 2017.
- [12] AutomationML Tools. URL: <https://www.automationml.org/o.red.c/tools.html>, Abrufdatum 26.09.2017.
- [13] Zander, S.; Heppner, G.; Neugschwandtner, G.; Awad, R.; Essinger, M.; Ahmed, N.: A model-driven engineering approach for ros using ontological semantics. In: 6th International Work-shop on Domain-Specific Languages and models for ROBotic systems (DSLRob-15) co-located with the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS) 2015.

Präventive Arbeitsgestaltung in der Industrie 4.0

Ein kybernetischer Gestaltungsansatz am Beispiel der Intralogistik

Martin Braun und Dirk Marrenbach, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Preventive Work Design in Digitized Industrial Systems - A Cybernetic Design Approach using the Example of Intralogistics

In the course of digitization, the complexity and instability of business networks are considerably increasing. This has also serious effects on intralogistics. Under VUCA conditions, intralogistic systems develop into open, decentralized and self-organization networks of information-processing units. They adapt to the dynamic changes of their environment, by increasing their inner and outer varieties in a preventive manner. Digital technologies are not in a position to adequately control non-deterministic logistic systems; this task is essentially left to the working man. In order to overcome the challenges, appropriate models and methods of preventive work design are developed in the PREVILOG project. The paper presents cybernetic basics and preventive work design principles.

Keywords:

working man, intralogistics, digitization, VUCA, prevention, self-organization

Im Zuge der digitalen Vernetzung nehmen Komplexität und Instabilität von Wertschöpfungsnetzen erheblich zu. Dies wirkt sich gravierend auf die Intralogistik aus. Unter VUCA-Bedingungen entwickeln sich intralogistische Systeme zu offenen, dezentralen und sich selbst steuernden Netzwerken aus informationsverarbeitenden Einheiten. Sie passen sich den dynamischen Veränderungen ihrer Umwelt an, indem sie ihre innere und äußere Varietät präventiv erhöhen. I4.0-Technologien sind absehbar nicht in der Lage, nicht-deterministische Arbeitssysteme zu steuern; diese Aufgabe verbleibt im Wesentlichen dem Menschen. Zur Bewältigung der skizzierten Herausforderungen werden im Projekt PREVILOG angemessene Modelle und Methoden einer präventiven Arbeitsgestaltung entwickelt. Der Beitrag stellt kybernetische Basiskonzepte und präventive Gestaltungsprinzipien vor.

Die Intralogistik beschäftigt sich mit der innerbetrieblichen Förderung, Lagerung, Kommissionierung, Sortierung und Verpackung von Gütern aller Art. Sie schafft die Voraussetzungen für produktive Wertschöpfungs-systeme. Eine digitale Vernetzung „intelligenter Objekte“ soll weitere Produktivitätspotenziale erschließen. Die „Smart Logistics“ münden absehbar in höhere Flexibilitäts- und Wettbewerbsanforderungen, welche in der Regel durch einen Personaleinsatz bewältigt werden. In Zeiten des demografischen Wandels schränkt das (regional) begrenzte Arbeitskräfteangebot diesen Lösungsweg ein. Folglich erweisen sich präventive Ansätze einer mensch- und marktgerechten Gestaltung intralogistischer Systeme als unabdingbar [1].

Ziel des Forschungs- und Transferprojektes „Präventive Intralogistik – Ganzheitliche Analyse, Gestaltung und Bewertung von Arbeitssystemen der Intralogistik“ (PREVILOG) ist es, durch präventive Maßnahmen zu einer Win-Win-Situation von Unternehmen und Beschäftigten in Bezug auf Adaptivität, Arbeitsqualität und Wettbewerbsfähigkeit beizutragen. Hierzu werden Modelle und Methoden zur Analyse,

präventiven Gestaltung und Bewertung von intralogistischen Systemen im Kontext der digitalen Transformation entwickelt und erprobt.

Auswirkungen der digitalen Vernetzung

Zunehmende Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Ambiguität (VUCA) kennzeichnen die Arbeitsverhältnisse, in denen Unternehmen unter dem Einfluss der Digitalisierung agieren [2, 3]. Anwendungsszenarien digitaler Technologien finden sich in der „Wandlungsfähigen Fabrik“ (mit dem Schwerpunkt der Produktionsressourcen) ebenso wie in der „Auftrags-gesteuerten Produktion“ und der „Selbstorganisierenden adaptiven Logistik“ (bei welcher Aufträge bzw. Prozesse im Mittelpunkt der Betrachtung stehen) [4]. Durch die Verschmelzung von Produktion und Logistik mit digitalen Identifikations-, Informations- und Kommunikationssystemen wandelt sich die betriebliche Organisation in Richtung Dezentralisierung und Selbststeuerung [3-6]. Agilität und Wandlungsfähigkeit sollen die Unternehmen zu einer nachhaltigen Wettbewerbsfähigkeit unter VUCA-Bedingungen befähigen.

Die gegenwärtige Gestaltung intralogistischer Systeme folgt vornehmlich den Grundsätzen



Dr.-Ing. Martin Braun ist am Fraunhofer IAO in der angewandten Arbeitsforschung tätig. Braun ist Lehrbeauftragter an der Universität Stuttgart und der Hamburger Fern-Hochschule.



Dr.-Ing. Dirk Marrenbach befasst sich am Fraunhofer IAO mit der Planung, Modellierung und Simulation von Logistiksystemen.

martin.braun@iao.fraunhofer.de
www.iao.fraunhofer.de

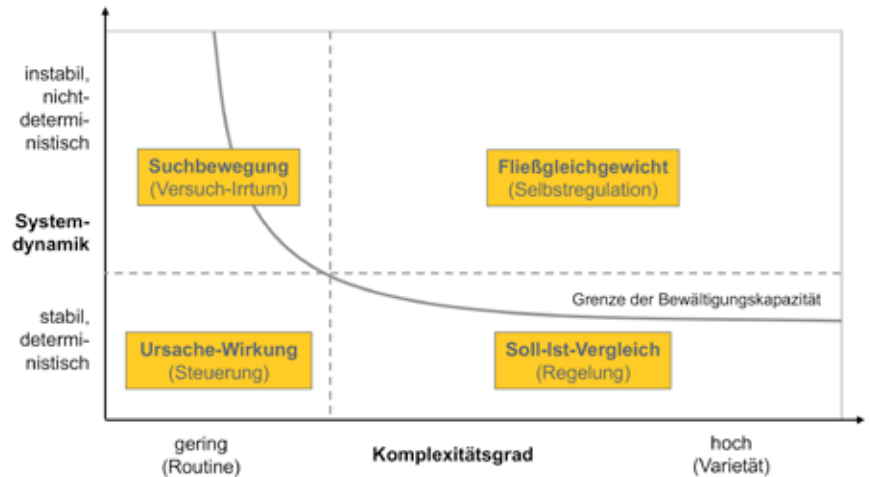
des Lean Managements, was in standardisierte Prozesse unter Abschirmung störender Umwelteinflüsse mündet [7]. Dieser Gestaltungsansatz ermöglicht eine hohe Produktivität bei hoher Qualität und Termintreue. Allerdings führen Offenheit, Volatilität und Termindruck bei diesem auf Planbarkeit und Kontinuität beruhenden Gestaltungsparadigma an die Grenzen der Systembeherrschung [8].

Beherrschung von VUCA-Systemen

Durch vielfältige Wechselwirkungen mit ihrer Umwelt unterliegen VUCA-Systeme ständigen Veränderungen. Ein dynamisches System verhält sich entweder deterministisch (bzw. stabil) oder stochastisch (bzw. nicht-deterministisch oder instabil). Beim deterministischen System ist der Übergang von einem Systemzustand in einen anderen zu jedem vergangenen und zukünftigen Zeitpunkt mit hinreichender Genauigkeit zu beschreiben. Stochastische Systeme unterliegen keinen kausalen Bestimmungen, weshalb ein aktueller Zustand nicht eindeutig aus der Vergangenheit herzuleiten ist; ferner ist ihre Entwicklung nicht zuverlässig prognostizierbar [9]. Deterministische Systeme sind anders zu organisieren als stochastische Systeme (Bild 1):

- Verhält sich die Umwelt vorhersagbar und ist die Organisation einfach strukturiert, so kann die Führung das Unternehmen nach dem Ursache-Wirkungs-Schema steuern.
- Gewinnt die Organisation – etwa über Wachstum – an Komplexität, werden Regelungsmechanismen nach dem Modell von Zielvereinbarung und Leistungsüberprüfung implementiert. Dieser Management-Regelkreis funktioniert nur, wenn die Umweltdynamik die kritische Grenze der Stabilität nicht übersteigt.
- Bei Instabilität ist keine planvolle Optimierung möglich. Die Lösung liegt hier in einer unspezifischen Erhöhung der Anpassungsfähigkeit und Innovationskraft. Bei geringem Komplexitätsgrad erscheint das Prinzip von „Versuch und Irrtum“ angemessen.
- Nimmt neben der Instabilität auch die Komplexität des Systems zu, gelten die Prinzipien der Selbstregulation. Hierbei erweisen sich Eigeninitiative und Selbstwirksamkeit erfolgskritisch, um selbst kleine Umweltänderungen wahrzunehmen und sich diesen anzupassen [10].

Offensichtlich weisen intralogistische Systeme – zumindest in temporären „Chaospunkten“ – ein stochastisches Verhalten auf. Um dynamische Umweltbedingungen zu bewältigen, sind präventive Konzepte für intralogistische Systeme erforderlich.



Paradigmenwechsel der Systemplanung

Aus tradierter Sicht beschränken sich Präventionsziele auf die Einhaltung gesetzlicher Mindestanforderungen für Sicherheit und Ergonomie (z. B. Grenzwerte bei der Lastenhandhabung) sowie die Definition der benötigten Qualifikationen der „Ressource Mensch“. Die Konzeption sich selbst steuernder Netzwerke aus dezentralen, informationsverarbeitenden Einheiten stellt die Logistikplaner vor neue methodische Herausforderungen, um das Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation präventiv zu gestalten.

Prävention ist die Fähigkeit, sich den Veränderungen der Umwelt anzupassen. Verhaltensprävention umfasst Aktivitäten eines Menschen bzw. einer Organisation, die zu einer Anpassung der inneren Varietät führen. Beispiele hierfür sind Qualifizierungsmaßnahmen. Verhältnisprävention umfasst technische oder organisatorische Maßnahmen, um die Varietät der Arbeitsbedingungen (etwa durch Job Rotation oder Job Enrichment) zu modifizieren [11].

Präventive Maßnahmen erhöhen die Lebensfähigkeit des menschlichen Individuums bzw. der Organisation. Der biokybernetische Begriff der Lebensfähigkeit steht für die Evolution differenzierter Strukturen in einem temporär zur Instabilität neigenden, dynamischen System [12]. Innerhalb gewisser Grenzen sind lebende Systeme in der Lage, ihr nahe am Chaospunkt befindliches Verhalten durch Rückkopplung und Überkompensation in ein stationäres Fließgleichgewicht zurückzuführen. Selbst nach einer überschwelligeren Störung, die zunächst in eine Heterostase des Systemgefüges mündet, gelingt es lebenden Systemen, ein Fließgleichgewicht – nunmehr auf höherer Ebene – zu erschaffen [11]. Lebensfähigkeit bedingt einen Zustand der Gesundheit.

Bild 1: Strategien zur Systembeherrschung bei unterschiedlicher Komplexität und Dynamik

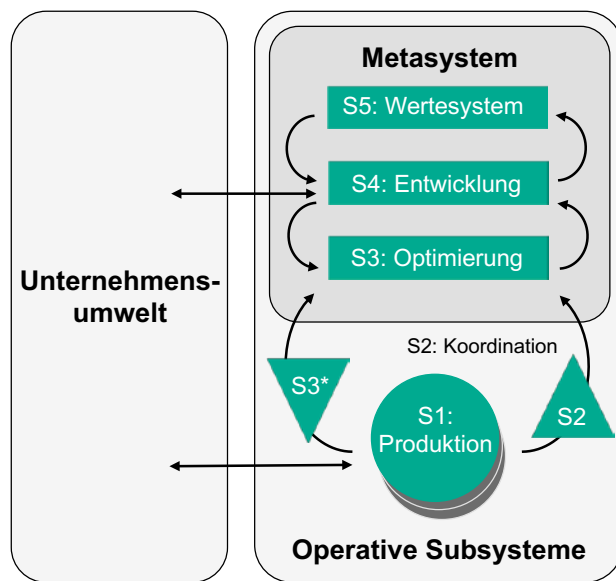


Bild 2: Metasystem und Subsysteme des „Viable System Model“ [12].

Das Rahmenkonzept der Salutogenese beschreibt die Verhältnisse jener Faktoren, die zur Entstehung und Erhaltung von Gesundheit führen [13]. Der gesunde Mensch ist in der Lage, für sich selbst und für andere zu sorgen. Er vermag seine Entscheidungsfähigkeit stärken, um langfristige Kontrolle über seine eigenen Arbeits- und Lebensverhältnisse auszuüben. Er passt sich veränderlichen Umweltbedingungen an, ohne die Eigenständigkeit seiner individuellen Existenz aufzugeben.

Erweitertes Verständnis der Informationssysteme

Komplexität und Instabilität erfordern ein erweitertes Verständnis im Umgang mit strategisch relevanten Informationsressourcen. Ein betriebliches Informationssystem ist als nicht-triviales Subsystem eines Unternehmens aufzufassen, das aus menschlichen und maschinellen Aktanten besteht. Es dient der adäquaten Informationsversorgung und unterstützt die Informationsverarbeitung. Aufgrund seiner Offenheit gegenüber der Umwelt und möglicher Störungen wird es als nicht-deterministisch eingestuft [14].

Zur Abbildung des Zusammenspiels von Menschen, Technik und Organisation wird bei der präventiven Logistiksystemplanung ein kybernetisches Organisationsmodell, das Viable System Modell (VSM) eingesetzt. Das VSM bildet Organisationen als Netzwerk aus Funktionen und Informationsbeziehungen ab. Mit dem VSM werden alle Arten von Organisationen in Natur, Gesellschaft und Technik beschrieben [12]. Hierzu bezieht es die Prinzipien der Lebensfähigkeit, der Rekursion und der Autonomie ein. Das VSM differenziert grundsätzlich

zwischen einem operativen System und dem koordinierenden Metasystem. Das Metasystem wird in die Systeme 2 bis 5 unterteilt, die durch operative Subsysteme (System 1) ergänzt werden. Während System 2 System 1 koordiniert, nimmt System 3 als operatives Management auch Monitoringfunktionen wahr. System 4 interagiert mit der Unternehmensumwelt und umfasst das strategische Management. Als normatives Management ist System 5 für die Entwicklung des kulturellen Wertesystems zuständig (Bild 2). Das Wertesystem repräsentiert jene bedeutsamen Prinzipien, Einstellungen und Ergebnisse, die bei der gemeinsamen Arbeit verbindend sind. Über moralische Werte hinaus sind interne

Werte (als zentrale Motive) und externe Werte (als Nutzenpotenziale) zu unterscheiden.

Die Teilsysteme ermöglichen eine Anpassung des Gesamtsystems an veränderte Umweltbedingungen. Hierzu bilden sie eine Heterarchie, die durch Selbstwirksamkeit und -regulation geprägt ist und in welcher sich Hierarchien kontextbezogen auf- und abbauen können [15]. Aufgrund der Selbstähnlichkeit spiegeln sich die Strukturen und Funktionen des Gesamtsystems in jedem Teilsystem wieder. Das VSM kann an bestehende Unternehmensstrukturen angeschlossen werden und lässt eine sukzessive Veränderung eines Arbeitssystems von innen heraus zu [12].

Ausgleichsprozesse im gesunden Unternehmen

Der Einsatz vernetzter Informationstechnologien justiert nicht nur menschliche Aufgabenfelder und Qualifikationserfordernisse neu; auch etablierte Kooperationsbeziehungen und soziale Betriebspraktiken unterliegen einem Wandel. Um die sich verändernden sozio-technischen Arbeitsverhältnisse im präventiven Sinne gesund zu gestalten, werden idealtypische Spannungsfelder komplementärer betrieblicher Funktionen identifiziert. Diese Gegensatzpaare bilden eine Grundlage, um heterostatische Ausgleichsprozesse und Regelkreise zu beschreiben. Bild 3 zeigt drei differenzierte Funktionsbereiche des gesunden Unternehmens einschließlich ausgleichender Regelkreise und VSM-Funktionen schematisch auf.

Das Meta-Modell des gesunden Unternehmens integriert die Elemente des Belastungs-Beanspruchungs-Modells [17] und die

Bewertungskriterien der arbeitswissenschaftlichen Kerndefinition [18]. Hierdurch wird die Anschlussfähigkeit an die arbeitswissenschaftliche Systematik und Nomenklatur gewahrt.

Funktionsteilung von Mensch und Maschine

Im Zuge der digitalen Transformation gilt es, menschliche und maschinelle Funktionen zweckmäßig zu teilen. Maschinen der nächsten Generation substituieren nicht nur körperliche Arbeit, sondern übernehmen zunehmend informatorische Aufgaben, die bislang dem Menschen vorbehalten waren.

Unter der Annahme, dass sich kraftbetonte Tätigkeiten und repetitive Algorithmen (z. B. Lastenhandhabung, logistische Disposition, Anlagensteuerung, Datenerfassung zur Qualitätssicherung) mittels digitaler Technologien automatisieren lassen, fokussieren die Aufgabenfelder des Menschen auf jene Elemente, die in besonderem Maße eine situative Anpassung der Arbeitsverhältnisse durch Lernen und Selbstveränderung erfordern. In der Intralogistik finden sich diese Anforderungselemente vor allem in Management-, Dispositions- und Führungspositionen, die ein hohes Maß an Problemlösungsfähigkeit, Urteils- und Entscheidungsvermögen sowie Kommunikations- und Argumentationsfähigkeit aufweisen (vgl. VSM-Systeme 4 und 5). Sie finden sich ebenso in Bereichen einfacher sensomotorischer Tätigkeiten (z. B. Kommissionierung), wo körperliche Geschicklichkeit, Fingerspitzengefühl, flexibles Handeln und soziale Interaktion gefordert sind (vgl. VSM-Systeme 2 und 3). Menschliches Bewusstsein, Verstand und Kreativität lassen sich bislang nicht künstlich imitieren. Autonome technische Systeme sind auf absehbare Zeit nicht in der Lage, nicht-deterministische Arbeitssysteme angemessen zu steuern [5, 19]. Diesbezüglich schafft eine präventive Arbeitsgestaltung (mit angemessenen Entscheidungs- und Handlungsspielräumen und aufgabenrelevanter Informationsversorgung bzw. -rückkopplung) günstige Leistungsvoraussetzungen für den Menschen [20].

Präventive Gestaltungsprinzipien für intralogistische Systeme

Die skizzierten Konzepte bilden zusammen mit Betriebsbeziehungen und Expertengesprächen die methodischen Grund-

lagen im Projekt PREVILOG, um neuartige Prinzipien für die präventive Gestaltung intralogistischer Systeme zu erarbeiten. Davon unbenommen sind etablierte Präventionsansätze der Ergonomie und der Sicherheitstechnik.

Als institutionalisierter Zweckgemeinschaft kommt dem gesunden Unternehmen die Aufgabe zu, menschliche Fähigkeiten und Bedürfnisse zu koordinieren bzw. ausgleichende Leistungsverhältnisse zu schaffen; dies betrifft gleichermaßen Beschäftigte wie Kunden bzw. Lieferanten. Durch die Erhöhung der inneren Varietät tragen präventive Gestaltungsprinzipien bei, die spontane Veränderungsfähigkeit der Organisation zu verbessern. Die identifizierten Prinzipien schaffen günstige Voraussetzungen für eine gesunde Ausgleichs- und Regulationsfähigkeit im arbeitsteiligen Spannungsverhältnis von Spezialisierung und Koordination.

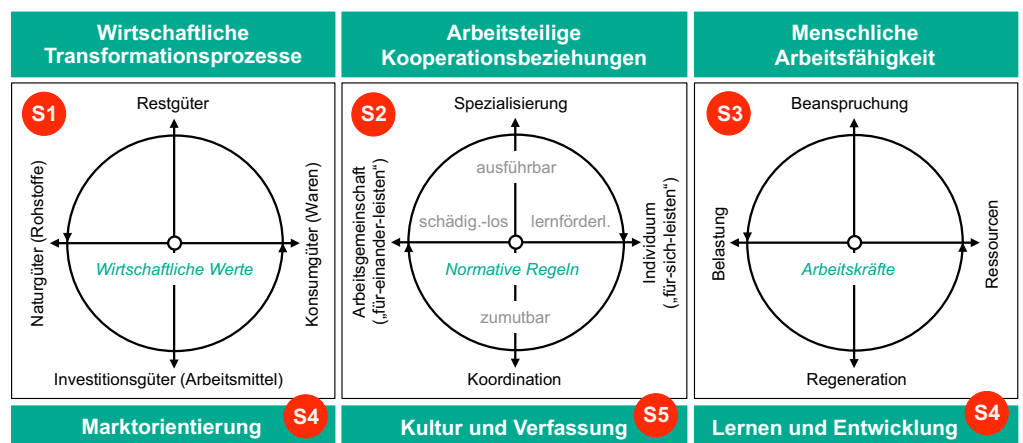
Zweckmäßigkeit und Verbindlichkeit

Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Kooperationspartner bedürfen der Vereinbarung von Rechten und Pflichten, die die Arbeitsverhältnisse und das Leistungsverhalten regeln. Sie spiegeln sich implizit in der gelebten Unternehmenskultur wider und sind strukturell in Gesetzen, Tarifverträgen oder Betriebsvereinbarungen verankert. Darüber hinaus regelt die Aufbau- und Ablauforganisation ein kooperatives Leistungsverhalten. Neben normativen Zielvorgaben und intentionalen Übereinkünften setzt dies eine angemessene Transparenz von Einzelleistungen voraus. Hingegen erschweren kurzfristige Mitarbeiterbindungen die Entwicklung tragfähiger und loyaler Kooperationsbeziehungen. Erst eine betriebliche Sozialisation lässt in verbindliche Vereinbarungen einwilligen, um den Unternehmenszweck zu verwirklichen und gemeinschaftliche Interessen zu vertreten.

Literatur

- [1] Spath, D.; Braun, M.; Koch, S.; Böhner, J.: Menschengerechte Arbeitsgestaltung in der Intralogistik. „MensoLin“-Netzwerk zum methodenorientierten Erfahrungsaustausch im betrieblichen Spannungsfeld von Flexibilität und Stabilität. In: Werkstattstechnik online 100 (2010) 3, S. 175-178.
- [2] Bennett, N.; Lemoine, J.: What VUCA Really Means for You. In: Harvard Business Review 92 (2014) 1/2, S. 27.
- [3] Scholz-Reiter, B. (Hrsg): Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen. SFB 374 der Deutschen Forschungsgemeinschaft. URL: <http://www.sfb637.uni-bremen.de>, Abrufdatum 26.07.2017.
- [4] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg): Plattform Industrie 4.0 - Aspekte der Forschungsroadmap in den Anwendungsszenarien. Berlin 2016.
- [5] Braun, M.: Cyber-physische Produktionssysteme als Herausforderung für eine menschengemäße Arbeitsgestaltung. In: Kerbe 35 (2017) 1, S. 33-26.

Bild 3: Funktional differenzierte Ausgleichsprozesse im gesunden Unternehmen und VSM-Funktionen (S1 bis S5) [16].



Handlungsfreiraum und Spezialisierung

Adaption und Fortschritt würden erlahmen, wären keine Abweichungen von verbindlichen Regeln und Standards zulässig. Betrieblicher Fortschritt beruht auf Spezialisierung und individueller Initiative. In dem Maße, wie der Betrieb individuelle Initiativen seiner Beschäftigten erwartet, muss er angemessene Handlungs- und Entwicklungsfreiräume zugestehen und Unterstützung gewähren. Dies erfolgt durch eine Delegation von Aufgaben, Zuständigkeiten und Kompetenzen. Das Delegationsprinzip ermöglicht dem Einzelnen im Rahmen seines Handlungsfreiraums, eigene Ziele zu definieren und nach individuellen Überzeugungen zu handeln. Dies gelingt nur bei einem Mindestmaß an Respekt sowie an Zu- bzw. Vertrauen. Dies stellt sicher, dass der Einzelne den ihm gewährten Handlungsfreiraum nicht zum Nachteil der betrieblichen Arbeitsgemeinschaft missbraucht.

Lernen und Eigeninitiative

Unabdingbare Voraussetzung für die Beherrschung dynamischer Systeme ist eine individuelle Urteils- und Entscheidungsfähigkeit, die durch eine praktische Bewältigung vollständiger Arbeitsaufgaben erworben wird. Lernförderlichkeit setzt eine erweiterte Autonomie bei der Gestaltung der die eigene Tätigkeit prägenden Arbeitsverhältnisse voraus. Erst eine solche Eigenständigkeit ermöglicht eine Entwicklung und Entfaltung individueller Fähigkeiten. Die hierfür erforderliche Eigeninitiative beruht in beträchtlichem Maße auf sinnstiftenden Motiven. Ferner erwarten Beschäftigte eine kollegiale Rückmeldung hinsichtlich verwirklichter Entwicklungspotenziale. Die Gestaltung lernförderlicher Arbeit verzichtet im Einzelfall darauf, sämtliche Rationalisierungspotenziale digitaler Technologien auszuschöpfen, welche die Menschen von Denkanforderungen befreien könnten.

Koordination und Kooperation

In der Kooperation bringen die Beteiligten ihre professionelle Urteils- und Entscheidungsfähigkeit in die betrieblichen Wertschöpfungsprozesse ein. Erst die Kommunikation von Erfahrungswissen ermöglicht eine kooperative Aufgabenbewältigung. Partizipative Problemlösungsprozesse setzen homogene Kooperationsstrukturen mit wechselseitigen Abhängigkeiten, transparenten Entscheidungsprozessen und gerecht empfundenen Konfliktregelungen voraus. Indem Beschäftigte in ihrem Aufgabengebiet zur konsultativen Entscheidungs-

findung beitragen, wachsen ihre Identifikation mit der Arbeitstätigkeit und ihre Loyalität zum Unternehmen. Neben einer konfliktmindernden Selbstbeschränkung erfordert dies ein klares Rollenverständnis. Hierbei empfiehlt sich, die Führungsstrukturen an der Verfügbarkeit erfahrener und anerkannter Experten auszurichten. Je differenzierter die betrieblichen Probleme sind, desto häufiger sind aufgabenspezifische Funktionen und Kompetenzen zu rekonfigurieren.

Das präventive Konzept eines rekonfigurierbaren bzw. heterarchischen Arbeitsverbands erweist sich als gleichermaßen innovativ wie fragil. Sofern die Beteiligten eine erforderliche Leistungs- und Kooperationsbereitschaft verweigern und dadurch die Selbstregulationskapazität der Organisation versagt, wenden sich die Vorteile eines adaptiven, lernfähigen Systems in erhebliche Nachteile.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die digitale Transformation ist Anlass, die Bedeutung der präventiven Arbeitsgestaltung in der Intralogistik zu beleuchten. Auch wenn die Digitalisierung eine Reihe menschlicher Arbeitstätigkeiten substituieren wird, verbleiben dem Menschen unabdingbare Steuerungsaufgaben in nicht-deterministischen Systemen. Präventive Maßnahmen zielen darauf, deren Anpassungsfähigkeit an dynamische Umweltbedingungen zu erhöhen.

Im weiteren Projektverlauf werden die identifizierten Gestaltungsprinzipien operationalisiert und pilothaft erprobt. Zudem gilt es, die Einstellungen der betrieblichen Entscheidungsträger hinsichtlich substanzieller menschlicher Leistungsbeiträge zu erörtern. In der Intralogistik wird der Mensch allzu häufig auf eine ausführende Funktion reduziert, ohne seinen steuernden Leistungsbeitrag angemessen zu würdigen. Mithin erfordert die Prävention eine konstruktive Auseinandersetzung mit Aufgaben, Qualifikationen und Einstellungen der in der Intralogistik tätigen Menschen.

Schlüsselwörter:

Mensch, Intralogistik, Digitalisierung, VUCA, Prävention, Selbstorganisation

Das Projekt „PREVILOG: Präventive Intralogistik – Ganzheitliche Analyse, Gestaltung und Bewertung von Arbeitssystemen der Intralogistik“ wird vom BMBF unter dem Kennzeichen 01FA15104 gefördert und vom Projektträger Karlsruhe PTKA fachlich betreut. Die inhaltliche Verantwortung für diesen Beitrag liegt bei den Autoren.

- [6] Spath, D. (Hrsg); Ganschar, O.; Gerlach, S.; Hämmerle, O.; Krause, T.; Schlund, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Stuttgart 2013.
- [7] Dickmann, P.: Schlanke Materialflusssysteme – mit Lean Production, Kanban und Innovationen. Berlin 2008.
- [8] Günthner, W.; Boppert, J. (Hrsg): Lean Logistics. Berlin 2014.
- [9] Alps, H.: Dynamische Unternehmensnetzwerke. Dissertation, Leuphana Universität Lüneburg. Hamburg 2011.
- [10] Kruse, P.: Next Practice. Erfolgreiches Management von Instabilität. Veränderung durch Vernetzung. Offenbach 2004.
- [11] Wirtz, M. A. (Hrsg): Dorsch – Lexikon der Psychologie, 18. Auflage. Göttingen 2017.
- [12] Beer, S.: Cybernetics and Management. London 1959.
- [13] Antonovsky, A.: Health, stress, and coping. New Perspectives on Mental and Physical Well-Being. San Francisco 1979.
- [14] Alpar, P.; Alt, R.; Bensberg, F.; Grob, H.; Weimann, P.; Winter, R.: Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik. Strategische Planung, Entwicklung und Nutzung von Informationssystemen, 7. Auflage. Berlin 2014.
- [15] Reihlen, M.: Organisation und Postmoderne. In: Schreyögg, G. (Hrsg): Verhandlungen der Wissenschaftlichen Kommission „Organisation“. Wiesbaden 1999, S. 268-303.
- [16] Braun, M.: Gesunde Unternehmensentwicklung. In: Zeitschrift für Führung und Organisation 83 (2014) 3, S. 145-152.
- [17] Rohmert, W.; Rutenfranz, J.: Arbeitswissenschaftliche Beurteilung der Belastung und Beanspruchung an unterschiedlichen industriellen Arbeitsplätzen. Bonn 1975.
- [18] Luczak, H.; Volpert, W.; Raethel, A.; Schwier, W.: Arbeitswissenschaft. Kerndefinition – Gegenstandskatalog – Forschungsgebiete. Eschborn 1987.
- [19] Brödner, P.: Wissensteilung und Wissenstransformation. In: Moldaschl, M.; Stehr, N. (Hrsg): Wissensökonomie und Innovation. Beiträge zur Ökonomie der Wissensgesellschaft. Marburg 2010, S. 455-480.
- [20] ten Hompel, M.; Putz, M.; Nettsträter, A.: Whitepaper „Social Networked Industry“. Dortmund 2017.

Offshore-Servicelogistik 4.0

Einsatzpotenziale für die Offshore-Windenergie durch Industrie 4.0-Ansätze

Thies Beinke, Moritz Quandt, Michael Freitag, BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH und Thomas Rieger, cluetec GmbH

Mit dem stetigen Ausbau der Offshore-Windenergie in Deutschland steht aufgrund der hohen Betriebskosten der wirtschaftliche Anlagenbetrieb besonders im Fokus der Branche. Instandhaltungseinsätze werden überwiegend mit Serviceschiffen durchgeführt, deren Einsätze aufgrund der vorherrschenden Wetterbedingungen auf See eine optimale Planung und Steuerung erfordern. In diesem Beitrag werden zunächst die Prozesse eines Servicedienstleisters für die logistische Unterstützung von Instandhaltungsmaßnahmen dargestellt und die einsatzbezogenen Informationsbedarfe aufgezeigt. Auf dieser Basis werden geeignete Industrie 4.0-Technologien identifiziert, um die Informationstransparenz über die Service Supply Chain zu erhöhen. In Verbindung mit einem kooperativen Planungs- und Steuerungsinstrument kann auf diese Weise eine zuverlässige Entscheidungsgrundlage für die Einsatzdurchführung geschaffen werden. Dies trägt unmittelbar zu einer Senkung der Betriebskosten für die Servicelogistik von Offshore-Windenergieanlagen bei.

Der Ausbau der Offshore-Windenergie in Deutschland schreitet stetig voran. Mit dem Zubau von 108 Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) im ersten Halbjahr 2017 wurde eine Gesamtleistung von annähernd 5 GW erreicht. Dies entspricht insgesamt 1.055 an das Stromnetz angebundene OWEA [1]. Über die 20-25 Jahre andauernde Betriebsphase von OWEA entstehen den Anlagenbetreibern hohe Betriebskosten, denen die Branche durch eine Steigerung der Anlagenverfügbarkeit bei gleichzeitig kostenoptimalen Instandhaltungsstrategien entgegenzuwirken versucht [2]. Die besonderen Herausforderungen bei der Instandhaltung der OWEA gegenüber den Windenergieanlagen an Land ergeben sich dabei aus der wetterbedingten eingeschränkten Erreichbarkeit (Bild 1) sowie der küstenfernen Lage der Offshore-Windparks (OWP) und der damit verbundenen Aufwände für den Personal- oder Materialtransport mit Spezialschiffen oder Helikoptern [4].

Die vorherrschenden Wetterbedingungen auf der Transportroute sowie am Einsatzort wirken sich unmittelbar auf die Prozesse der Servicelogistik aus, da sowohl die wetterbezogenen Grenzwerte der eingesetzten Transportmittel als auch die Sicherheit und Arbeitsfähigkeit der Servicetechniker gewährleistet sein müssen. Daher spielt die Berücksichtigung der Wetter-

bedingungen, insbesondere der Windgeschwindigkeiten, der Wellenhöhe sowie der Wellenrichtung, eine entscheidende Rolle bei der Planung und Durchführung von Offshore-Instandhaltungseinsätzen, welche mit Serviceschiffen, auch als Crew Transfer Vessel (CTV) bezeichnet, durchgeführt werden. Diese Serviceprozesse stehen in diesem Beitrag im Fokus.

Bei den an der operativen Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen von OWEA beteiligten Akteuren, u. a. die Betreibergesellschaft und die Servicedienstleister für den Transport von Servicetechnikern und Seehafenbetreibern, ist bisher eine dezentrale Informationshaltung vorherrschend. Dadurch bedingt stehen für die Transportroute sowie das Einsatzgebiet, gerade in Bezug auf grenzwertige Wettersituationen, nicht alle für eine fundierte Einsatzentscheidung relevanten Informationen, u. a. Wetter- und Seegangsvorhersagen sowie Schiffsverfügbarkeiten, zur Verfügung. Daher untersucht dieser Beitrag Potenziale zur Steigerung der Informationstransparenz für die Durchführung von Offshore-Serviceeinsätzen. Hierzu werden, aufgrund ihrer Relevanz für die betrachteten Logistikprozesse, insbesondere die Einsatzpotenziale von Industrie 4.0-Technologien aus dem logistischen Kontext untersucht.

Offshore Service Logistics 4.0 - Application Potentials for Offshore Wind Energy by Applying Industry 4.0 Approaches

The economic operation of the offshore wind energy turbines is of fundamental importance for the industry. Due to the prevailing weather conditions at sea these operations require optimal planning and control. This contribution presents the work process and information requirements of an offshore service company. Suitable industry 4.0 technologies are identified to increase information transparency for the supply chain. In conjunction with a cooperative planning and control instrument, a reliable basis of decision-making for the execution of service assignments can be provided. This constitutes a direct contribution to a reduction of operation costs for offshore service logistics.

Keywords:

cooperative planning and control instrument, Industry 4.0, service logistics

Thies Beinke und Moritz Quandt arbeiten als wissenschaftliche Mitarbeiter am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen.

Prof. Dr.-Ing. Michael Freitag ist Direktor des BIBA und leitet das Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer und logistischer Systeme (PSPS) im Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen.

Thomas Rieger ist Mitgründer und Geschäftsführer der cluetec GmbH mit Sitz in Karlsruhe. Das Unternehmen ist Softwarespezialist für die digitale Transformation.

ben@biba.uni-bremen.de
www.biba.uni-bremen.de

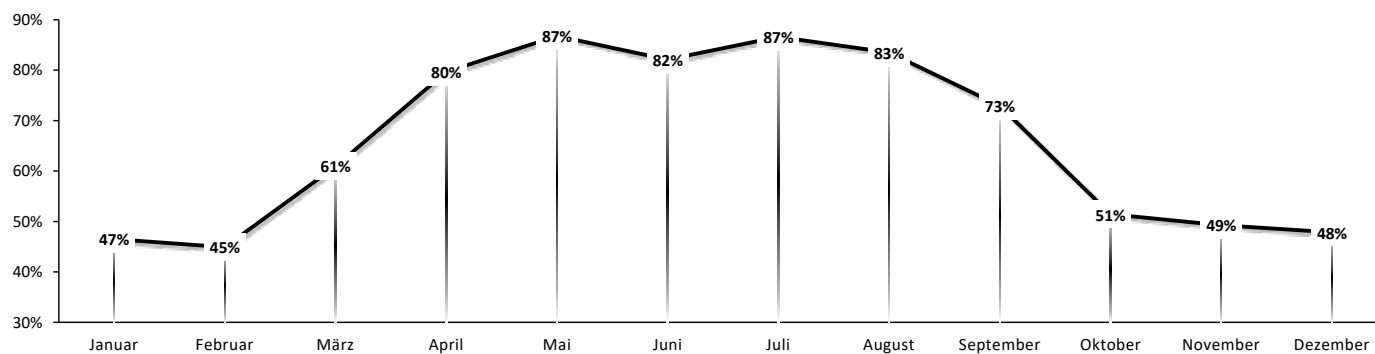


Bild 1: Zugänglichkeit einer OWEA bei einer signifikanten Wellenhöhe $H_s = 1,8m$ (Wetterdaten der Jahre 2000-2004) [3].

Industrie 4.0 im Kontext der Service-logistik – Einblick in den Stand der Technik

Ausgehend von dem beschriebenen Gegenstand drängt sich vorab eine Betrachtung der Logistik im Kontext der vierten industriellen Revolution als übergeordneter Rahmen auf. Hierzu wird aktuell ein Zukunftsbild gezeichnet, welches die Logistikbranche durch den grundsätzlichen Wandel stark beeinflusst sieht. Hierbei hat sich die Logistik als flexibles, störungsarmes und dezentral geplantes Gesamtsystem zu entwickeln, welches sich durch echtzeitfähige und selbststeuernde Prozesse sowie kognitive Fähigkeiten auszeichnet. Die Einführung von Cyber-Physischen Technologien (CPS) führt z. B. zu Schwärmen autonomer, fahrerloser Transportfahrzeuge (FTS) [5, 6]. Darüber hinaus liefern Konzepte und Technologien, wie beispielsweise CPS, Internet of Things oder Internet of Services, die Grundlage für eine verbesserte Bedarfsermittlung und führen zu einer dynamischen und effizienteren Planung und Steuerung sowie hochtransparenten und integrierten Supply Chains (SC). Im Hinblick auf die übergreifende organisatorische Logistik hat Industrie 4.0 eine hohe Bedeutung und ermöglicht Echtzeit-Informationsflüsse und die Steigerung der Flexibilität [7]. Fokus im Kontext der vierten industriellen Revolution für die Logistik stellt aktuell der Informationsaustausch innerhalb der SC dar. Durch die Integration entsprechender IT-Systeme werden relevante Informationen im gesamten Netzwerk zeitnah bereitgestellt. Ansätze zur automatisierten Anpassung von Logistikprozessen auf die Rahmenbedingungen, beispielsweise mittels FTS, sowie die Verwendung von Assistenzsystemen, beispielsweise zur Unterstützung des Menschen bei Montageprozessen mittels Augmented Reality, beschleunigen diese Prozesse und führen zu Zeit- und Kosteneinsparungen [8].

Im Kontext der Offshore-Windenergie lassen sich Informationssysteme zur Unterstützung der logistischen Prozesse vorrangig für die Er-

richtung oder auf strategischer und taktischer Ebene für den Service ausmachen (siehe hierzu u. a. [9-13]). Allen bestehenden informationstechnischen Ansätzen in diesem Bereich ist gemein, dass die Status der Logistikprozesse sowie die relevanten Informationen durch eine offene Prozess- und Kommunikationsplattform allen Beteiligten transparent zugänglich gemacht und die Einflussfaktoren abgebildet werden [14]. Voraussetzung für die Einbindung von Industrie 4.0-Technologien in diese Informationssysteme ist eine genaue Kenntnis der Arbeitsprozesse und der zugehörigen Informationsflüsse. Diese werden im Folgenden aus Sicht eines Servicedienstleisters, der die Durchführung von Instandhaltungseinsätzen unterstützt, welche auf dem Seeweg durchgeführt werden, dargestellt.

Prozess der Offshore-Service-logistik

Im Fokus der Betrachtung dieses Beitrags steht der empirisch ermittelte Arbeitsprozess eines Servicedienstleisters für CTV. Dieser gliedert sich in einen Entscheidungsträger an Bord des CTV sowie ein Backoffice für die Unterstützung der Koordination der Instandhaltungseinsätze. Weitere relevante Akteure in der Zusammenarbeit mit dem Servicedienstleister stellen die Betreibergesellschaft sowie der Betreiber des Seehafens dar. Der operative Logistikprozess eines Serviceeinsatzes für die Durchführung von Instandhaltungsmaßnahmen für eine OWEA setzt sich aus den drei Hauptprozessen „Einsatzplanung“, „Einsatzvorbereitung“ sowie „Einsatzdurchführung“ zusammen.

Nach Vergabe eines Einsatzauftrags an den Servicedienstleister durch die Betreibergesellschaft erfolgt eine Abstimmung zwischen der Betreibergesellschaft und dem Kapitän des CTV am Vortag des geplanten Serviceeinsatzes, welche auch die Personal- und Ressourcenplanung einschließt. Die Grundlage für die Einsatzentscheidung bildet die Wetterprognose für den kommenden Tag. Abhängig von der prognostizierten signifikanten Wellenhöhe

wird die Entscheidung zur Einsatzdurchführung zwischen der Betreibergesellschaft und dem Kapitän getroffen. Bei unzureichenden Wetterbedingungen wird der Einsatz verschoben und dafür weiterhin mehrfach täglich die Wetterprognose geprüft. Bei positiver Einsatzentscheidung werden je nach Art der durchzuführenden Instandhaltungsmaßnahmen Serviceteams zusammengestellt und eine auftragsbezogene Materialzuordnung vorgenommen.

An die Einsatzentscheidung schließt sich die Vorbereitung des Einsatzes an. Hierzu wird zunächst eine auftragsabhängige Schiffsbeladungsplanung durchgeführt, welche sowohl Art, Zeitpunkt und Zulauf des Materials umfasst als auch die Einplanung von geeigneten Ladehilfsmitteln. Diese müssen anschließend bereitgestellt werden für die Durchführung der Beladung des CTV.

Auf die Einsatzvorbereitung folgt der operative Transportprozess bzw. die Einsatzdurchführung. Diese beginnt mit einer erneuten Prüfung der Wetterverhältnisse unmittelbar vor dem Auslaufen des CTV aus dem Seehafen. Ergibt die erneute Prüfung der Wetterlage, dass die prognostizierten Wetterbedingungen außerhalb der definierten Grenzwerte liegen, wird der Einsatz durch den Kapitän des CTV nach Rücksprache mit der Betreibergesellschaft abgebrochen. Bei positivem Ergebnis dieser Prüfung erfolgen die Bemannung des CTV mit den eingeplanten Servicetechnikern und die obligatorische Sicherheitsunterweisung. Anschließend erfolgt die Überfahrt in den OWP, die Servicetechniker werden zu den einzelnen OWEA gefahren, steigen auf die Anlagen über und werden nach Abschluss des Einsatzes dort wieder abgeholt. Während der Einsatzdauer wartet das CTV im Bereich des OWP und steht dabei im permanenten Kontakt mit der Betreibergesellschaft. Sollte es bei der fortlaufenden Wetterprüfung z.B. zu einer deutlichen Verschlechterung der Verhältnisse kommen oder zu technischen Beeinträchtigungen des CTV, wird der Einsatz abgebrochen, die Servicetechniker von den OWEA abgeholt und die Rückfahrt zum Seehafen angetreten.

Ausgehend von dieser näheren Betrachtung der Serviceprozesse wird deutlich, dass eine Vielzahl von Einflussfaktoren den operativen Logistikprozess tangiert. Insbesondere die Wetterverhältnisse stellen ein ausschlaggebendes Kriterium für die Durchführbarkeit von Serviceeinsätzen dar. Die wetterbedingten Ursachen sind nicht direkt beeinflussbar, spielen aber eine entscheidende Rolle bei der Planung

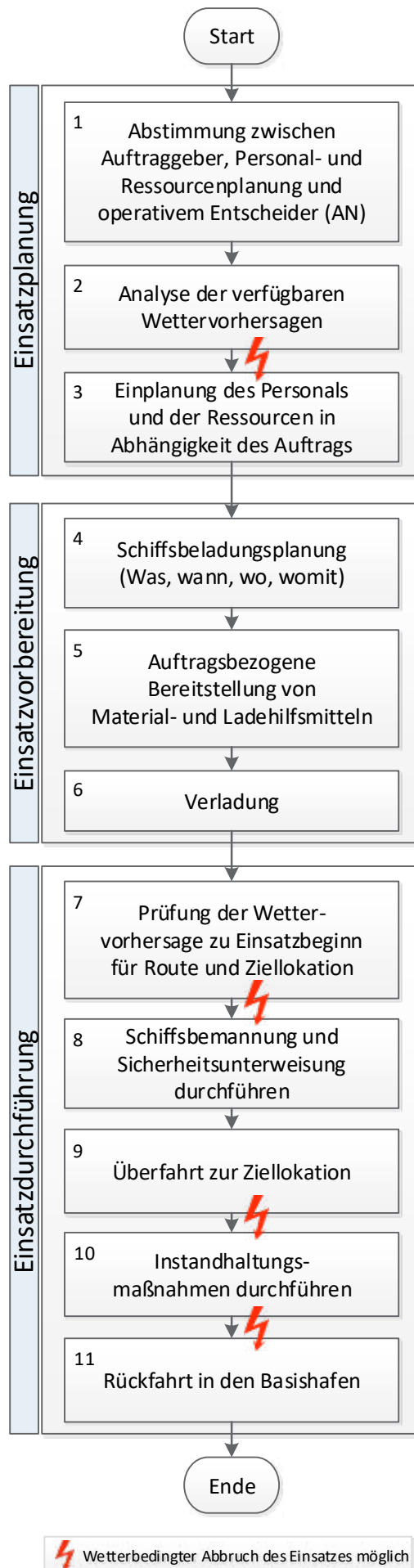


Bild 2: Planung, Vorbereitung und Durchführung eines operativen Serviceprozesses für die Offshore-Windenergie.

	Daten	Technologie
Einsatzplanung – Prozess 1-3	I. Auftragsinformationen (Servicepersonal, Einsatztag, Material, Ziellokation) von Auftraggeber zu Auftragnehmer II. Gezeitenkalender zur Bestimmung der Abfahrtszeit III. Wetterforecasts verschiedener Anbieter und für verschiedene Orte (Wind-, Seegang- und Sichtverhältnisse) IV. Informationen anderer Schiffe im Zielgebiet über die aktuelle Wind-, Seegang- und Sichtverhältnisse V. Erfahrungswissen des Schiffsführers VI. Schiffsspezifika (Ladekapazität in Bezug auf Personen und Material)	Zu IV-VI: <ul style="list-style-type: none"> • Sensorische Bewegungserfassung der Schiffe im Zielgebiet und auf der Route (Roll, Stampf und Hubbewegung) • Sprechfunk in nicht-öffentlichen Funknetzen (DMR – Digital Mobile Radio), GSM, Satellitenkommunikation und / oder Austausch von Navigations- und Schiffsdaten für den Seeverkehr (AIS – Automatic Identification System) zur Datenübertragung in Abhängigkeit von der Entfernung zur Küste
Einsatzvorbereitung – Prozess 4-6	I. Materialdaten (Abmessungen, Gewicht, Anzahl und Lager- und Verladungsart) II. Informationen zu nötigen Ladehilfsmitteln III. Beladungslayout	Zu I: Lokalisierungs-, Identifikations- und Kommunikationstechnologie zur Lagerverwaltung Zu I, II: FTS Zu III: Assistenzsysteme zur Unterstützung für ein sicheres Handling (Überwachung des Arbeitsraums, der Fahrwege und der bewegten Last mittels bildverarbeitender Verfahren sowie Abstandssensoren) Zu I, III: Automatisierte Verladebestätigung durch die Objekte mittels Identifikationstechnologien
Einsatzdurchführung – Prozess 7-11	I. Wetterforecasts verschiedener Anbieter und für verschiedene Orte (Wind-, Seegang- und Sichtverhältnisse) II. Echtzeit Informationen aus dem Zielgebiet über die aktuellen Wind-, Seegang- und Sichtverhältnisse III. Auftragsinformationen (Personal) IV. Zustandsüberwachung des Schiffs V. Echtzeitnahe Erfassung der Belastung der Passagiere durch Schiffsbewegung VI. Auftragsinformationen der Instandhaltungsmaßnahme VII. Dokumentation der Auftragserfüllung	Zu I, II: <ul style="list-style-type: none"> • Sensorische Bewegungserfassung der Schiffe im Zielgebiet und auf der Route (Roll, Stampf und Hubbewegung) • Funk, GSM, Satellitenkommunikation und/oder AIS zur Datenübertragung in Abhängigkeit von der Entfernung zur Küste • Flächendeckende Wellenmesssensoren im Zielgebiet und auf der geplanten Route Zu III: <ul style="list-style-type: none"> • Automatisierte Verladebestätigung von Personen und Material mittels Identifikationstechnologien Zu IV: <ul style="list-style-type: none"> • Sensorische Überwachung der Schiffsfunktionen (Maschine, Ruder, Ballastsysteme etc.) Zu V: <ul style="list-style-type: none"> • Ermittlung des Motion-Sickness-Factors auf der Grundlage der aktuellen Schiffsbewegung Zu VI: <ul style="list-style-type: none"> • Assistenzsystem zur Unterstützung der Techniker bei der Durchführung der Instandhaltungstätigkeiten wie z. B. durch Augmented Reality-Technologie • Unmittelbar Anbindung des Assistenzsystems an das CMS der OWEA

Bild 3: Daten und Technologien im Kontext Offshore-Service-logistik 4.0.

und Durchführung von Serviceeinsätzen sowie für die Zugänglichkeit zu den OWEA. Wellengang erschwert den Überstieg auf die OWEA oder macht das Arbeiten über längere Zeiträume unmöglich. Auch für die Transportroute zum OWP sind die Wetterbedingungen zu beachten, da die Wetterbedingungen auf der Überfahrt einen Einfluss auf die Arbeitsfähigkeit der Servicetechniker nehmen können. Die Bestimmung eines geeigneten Wetterfensters ist durch die Ungenauigkeiten der Wetterprognosen immer mit einem Risiko behaftet. Je länger der Vorhersagezeitraum ist, desto schwieriger und ungenauer ist die Einschätzung der Wetter- und Seegangentwicklung. Neben der Wellenhöhe und der Wellenrichtung wird der zur Verfügung stehende Zeitraum für Serviceeinsätze mit einem CTV durch die Gezeiten eingeschränkt. Bild 2 stellt den beschriebenen Prozess der Offshore-Service-logistik zusammenfassend dar.

Steigerung der Prozessqualität durch Industrie 4.0-Technologien

Ausgehend von der Erläuterung der Hintergründe sowie der Motivation, die Planungs-

und Steuerungsqualität zu steigern, liefert die Bereitstellung eines kooperativen Logistikplanungs- und Steuerungsinstrumentes sowie die Integration von automatisch generierten Informationen hinsichtlich der Prozessstatus und beeinflussenden Rahmenbedingungen (u. a. Seegang oder Zustand des Schiffs) erhebliche Potenziale. Entlang des dargestellten Prozesses werden nachfolgend die jeweiligen Informationen, mögliche zustandserfassende Technologien sowie die Integration in ein kooperatives Logistikplanungs- und Steuerungsinstrument beschrieben.

Im Rahmen der Planung liefern die Auftragsinformationen, Wettervorhersagen, aktuelle Informationen über Wind-, Seegang- und Sichtverhältnisse im Zielgebiet, Eigenschaften der Transportmittel sowie Angaben zu Hoch- und Niedrigwasser, zusammen mit dem Erfahrungswissen der Entscheider, die Informationsbasis. Werden diese Informationen, soweit vorhanden, bislang händisch zusammengetragen, liefern Schnittstellen eines kooperativen Planungs- und Steuerungsinstrumentes zu informationsgenerierenden Systemen eine Reduktion des Aufwands und eine Steigerung der Infor-

Literatur

[1] Lüers, S.; Wallasch, A.-K.; Vorgelsang, K.: Status des Offshore-Windenergieausbaus in Deutschland. 1. Halbjahr 2017. Hg. v. Deutsche WindGuard. URL: http://www.windguard.de/_Resources/Persistent/58f54330828c-2c6dff921aa9e457fd27f-ca0eb5a/Factsheet-Status-Offshore-Windenergieausbau-Jahr-1.-Hj.-2017.pdf, Abrufdatum 28.07.2017.

[2] BMWi (2015): Offshore-Windenergie. Die Energiewende – ein gutes Stück Arbeit. Ein Überblick über die Aktivitäten in Deutschland. URL: <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/Publikationen/offshore-windenergie,property=pdf,bereich=bmwi2012,-sprache=de,rwb=true.pdf>, Abrufdatum 28.07.2017.

[3] Beinke, T.; Quandt, M.; Ait Alla, A.; Freitag, M.; Rieger, T.: Information System for the Coordination of Offshore Wind Energy Maintenance Operations under Consideration of Dynamic Influences. In: Park, G.-K.; Kim, S. J. (Hrsg.): Proceedings of International Conference on Advanced Intelligent Maritime Safety and Technology. International Association of e-navigation and Ocean Economy. Mokpo, Korea 2016, S. 243-252.

[4] Oelker, S.; Ait Alla, A.; Lewandowski, M.; Freitag, M.: Planning of maintenance resources for the service of offshore wind turbines by means of simulation. In: Proceedings of the 5th International Conference on Dynamics in Logistics (LDIC) 2016, S. 303-312.

mationsverfügbarkeit und -aktualität. Durch die Integration der automatischen, sensorbasierten Bewegungserfassung der Schiffe im Zielgebiet und der automatischen Datenübertragung lässt sich der Kommunikationsaufwand einschränken sowie die Subjektivität der Einschätzung des Schiffspersonals ausschließen.

Daten hinsichtlich des zu transportierenden Materials sowie der Ladehilfsmittel stellen zusammen mit dem Beladungslayout die Informationsgrundlage für den Bereich der Einsatzvorbereitung dar. Ausgehend von den dargestellten Grundlagen von Industrie 4.0 drängt sich in diesem Kontext die Integration von selbststeuernden Prozessen auf, wie sie beispielsweise durch FTS und Lokalisierungs-, Identifikations- und Kommunikationstechnologien unterstützt werden kann. Die informationstechnische Integration der Objekte mittels Identifikationstechnologie ermöglicht eine echtzeitfähige Abbildung des zu verladenden Materials in dem kooperativen Planungs- und Steuerungsinstrument. Darüber hinaus bieten die automatisierte Integration der Materiallisten, des Beladungslayouts und des Beladungsprotokolls in das kooperative Planungs- und Steuerungsinstrument eine Steigerung der Transparenz innerhalb der SC hinsichtlich des aktuellen Prozessfortschritts.

Der dritte Bereich des dargestellten Prozesses stellt die Einsatzdurchführung dar, welche die Informationen der aktuellen und vorhergesagten Wind-, Seegang- und Sichtverhältnisse im Zielgebiet sowie der Route, die Auftragsdaten sowie den Zustand des Schiffs umfasst. Des Weiteren kommen umfangreiche Informationen zu den Instandhaltungsmaßnahmen für die Servicetechniker sowie die Dokumentation der Auftragserfüllung hinzu. Neben der bereits benannten sensorischen Erfassung der Schiffsbewegung liefert eine flächendeckende Erfassung des Seegangs mittels Wellenmessensorik eine quantitative und qualitative Grundlage für die Routenplanung. Durch Identifikationstechnologien lässt sich die Kontrolle des Beladungs- und Bemannungsprozesses automatisieren, welches zu einer höheren Prozesssicherheit führt. Durch die sensorische Erfassung der Schiffsfunktionalitäten und der damit verbundenen frühzeitigen Identifikation von möglichen Ausfällen lassen sich die Verfügbarkeit der Schiffe und die Sicherheit steigern. Der letzte Bereich der Integration von Technologien zur Steigerung der Prozessqualität ist in der Unterstützung der Servicetechniker bei Durchführung und Dokumentation der Instandhaltungsmaßnahmen zu benennen. Eine direkte Einbindung dieser durch Technologien

generierten Informationen in das kooperative Planungs- und Steuerungsinstrument liefert die Grundlage für die Verbesserung der Prozesse hinsichtlich Zeitaufwand, Qualität und folglich der Kosten. Bild 3 fasst die Informationen sowie die möglichen Technologien zur Informationsgenerierung bzw. Prozessunterstützung bezogen auf die einzelnen Bereiche zusammen.

Zusammenfassung und Ausblick

Die Flexibilität und Reaktionsfähigkeit der Servicelogistik stellt für die Wirtschaftlichkeit der OWE einen entscheidenden Faktor dar. Mit dem präsentierten Ansatz einer kooperativen Planung und Steuerung, welche über die Unternehmensgrenzen hinweg agiert und die Integration von automatisch generierten Informationen umfasst, wird dieser Forderung Rechnung getragen. Im Rahmen des Verbundvorhabens „leK – Informationssystem zur echtzeitnahen Koordination des Offshore-Transports unter Berücksichtigung von Ressourcenspezifika und dynamischen Wetter- und Seegangbedingungen“ wurde ein System entwickelt, welches die Integration weiterer Informationsquellen im Sinne von Industrie 4.0 für eine echtzeitnahe Steuerung der präsentierten Servicelogistikprozesse ermöglicht. Zukünftige Anstrengungen sehen eine Verbindung zu weiteren Systemen, wie z. B. dem im Rahmen des Projekts AR Maintenance System entstandenen Augmented Reality-basierten Assistenzsystems zur Instandhaltung von Windenergieanlagen oder die Einbindung von zusätzlichen CPS in den Prozess vor. Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass die präsentierten Ansätze der Offshore-Servicelogistik 4.0 im Rahmen des begrenzten Betrachtungsrahmens im rauen maritimen Umfeld durch die Integration von Technologien und kooperativen IT-Systemen einen erheblichen Nutzen darstellen.

Schlüsselwörter:

kooperatives Planungs- und Steuerungsinstrument, Industrie 4.0, Servicelogistik

Dieser Beitrag entstand im Rahmen der Verbundvorhaben leK – Informationssystem zur echtzeitnahen Koordination des Offshore-Transports unter Berücksichtigung von Ressourcenspezifika und dynamischen Wetter- und Seegangbedingungen (FKZ: 16KN021723) sowie AR Maintenance System – Visualisierung von Instandhaltungsanweisungen und Erfassen von Instandhaltungstätigkeiten (FKZ: 16KN021724) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.

- [5] Stauber, F: Smarte Logistik: Hebel der Digitalisierung. URL: <http://www.bvl.de/wissen/logistik-bereiche/smarte-logistik>, Abrufdatum 28.07.2017.
- [6] Bauernhansl, T: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration. Wiesbaden 2014.
- [7] Hofmann, E; Rüscher, M.: Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. In: Computers in Industry 89 (2017), S. 23-34.
- [8] Rüßmann, M.; Lorenz, M.; Gerbert, P.; Waldner, M.; Justus, J.; Engel, P.; Harnisch, M.: Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. The Boston Consulting Group. URL: [https://www.zvw.de/media.media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf](https://www.zvw.de/media/media.72e472fb-1698-4a15-8858-344351c8902f.original.pdf), Abrufdatum 28.07.2017.
- [9] WFB GmbH: Zwischen Weltall, Wind und Welle: Kommunikation in Offshore-Windparks. URL: <https://www.wfb-bremen.de/de/page/stories/digitalisierung-industrie40/zwischen-weltall-wind-und-welle-kommunikation-in-offshore-windparks>, Abrufdatum 27.07.2017.
- [10] Bodenstab, M.; Sagert, C.; Beinke, T.: Konzeption einer operativen Planung und Steuerung für die Offshore-Windenergie-logistik der Errichtungsphase. In: Thoben, K.-D.; Haasis, H.-D.; Lewandowski, M. (Hrsg): Logistik für die Windenergie. Herausforderungen und Lösungen für moderne Windkraftwerke. Berlin 2014, S. 75-84.
- [11] Dalgic, Y.; Dinwoodie, I.; Lazakis, I.; McMillan, D.; Revie, M.: The influence of multiple working shifts for offshore wind farm O&M activities – StrathOW-OM Tool. In: Design & Operation of Wind Farm Support Vessels. London 2015.
- [12] Dalgic, Y.; Lazakis, I.; Turan, O.: Investigation of Optimum Crew Transfer Vessel Fleet for Offshore Wind Farm Maintenance Operations. In: Wind Engineering 39 (2015) 1, S. 31-52.
- [13] Joschko, P.; Widok, A.; Appel, S.; Greiner, S.; Albers, H.; Page, B.: Modeling and simulation of offshore wind farm O&M processes. In: Environmental Impact Assessment Review. 52 (2015) S. 31-39.
- [14] Zscheile, F.; Rettberg, U.; Haselbauer, B.; Kasper, B.; Romeike, F.; Magagnoli, R.: Handbuch Digitalisierung. Die vernetzte Gesellschaft, 1. Auflage. Vettelschoß 2016.

Technologien der Industrie 4.0

Status quo, wirtschaftliche Bedeutung und Trends für Unternehmen der produzierenden Industrie

Jan Christoph Munck, Christoph Schneider, Fabian Futterer und Ronald Gleich,
EBS Universität für Wirtschaft und Recht

Technologies of Industry 4.0 – Status Quo, Economic Importance and Trends for Companies in the Manufacturing Industry

The Increasing digitization forces companies to deal with their opportunities and challenges. The study underlying this article identifies the economic potential of technological trends and provides an inventory of the current situation in Industry 4.0. To this end, a total of 106 industrial companies have made a self-assessment of their current maturity levels of various technologies in their company and their current and future economic significance. This results in valuable insights for companies in the manufacturing industry, so that they can better deal with the range of different approaches and concepts.

Keywords:

Industry 4.0 analysis, Industry 4.0 potentials, technological trends, smart factory, smart operations, smart products, data-driven-services

Die zunehmende Digitalisierung zwingt Unternehmen, sich mit deren Chancen und Herausforderungen auseinanderzusetzen. Die diesem Beitrag zugrunde liegende Studie identifiziert die wirtschaftlichen Potenziale technologischer Trends und liefert eine Bestandsaufnahme der aktuellen Situation in der Industrie 4.0. Hierzu haben insgesamt 106 Industrieunternehmen eine Selbsteinschätzung der aktuellen Reifegrade von verschiedenen Technologien in ihrem Unternehmen und deren aktueller und zukünftiger wirtschaftlicher Bedeutung abgegeben. Daraus resultieren wertvolle Erkenntnisse für Unternehmen der produzierenden Industrie, damit sich diese im Spektrum der unterschiedlichen Ansätze und Konzepte zur Industrie 4.0 besser zurechtfinden können.

Industrie 4.0 verspricht der Industrie attraktive Chancen bei der Nutzung neuer Vernetzungsmöglichkeiten, der Informationstransparenz, der technischen Assistenz und bei dezentralen Entscheidungen.

Sie darf für die Unternehmen jedoch kein Selbstzweck sein, sondern muss eng mit klaren wirtschaftlichen Zielen und Potenzialen verbunden werden. Anders als andere Studien zum Thema Industrie 4.0-Technologien, die den Fokus entweder auf Mega-Trends [1] oder speziell einzelne Anwendungsfelder, wie z. B. dem technischen Service [2], legen, wirft unsere Studie einen aus heutiger Sicht umfassenden Blick auf die kommenden technologischen Veränderungen durch die Industrie 4.0.

Hierzu wurden im Studienzeitraum von Juni bis Oktober 2016 insgesamt 106 Unternehmen aus der Industriegüterbranche mittels einer Online-Befragung um eine Selbsteinschätzung gebeten. Die teilnehmenden Unternehmen stammen aus allen Größenklassen. Ca. 40% haben weniger als 500 Mitarbeiter, ca. 38% haben zwischen 500 und 5000 Mitarbeiter und ca. 22% haben mehr als 5000 Mitarbeiter. Dabei stammen 40% der Unternehmen aus dem Maschinenbau, 19% sind Hersteller von Datenverarbeitungsgeräten und 18% sind im Bereich elektrischer Ausrüstungen tätig. Die übrigen Unternehmen können dem sonstigen

verarbeitenden Gewerbe zugeordnet werden. Hinsichtlich der teilnehmenden Personen beantworteten die Onlineumfrage überwiegend Abteilungsleiter (27%), Geschäftsführer/Vorstände (21%) sowie Bereichsleiter (21%).

Zur Messung der verwendeten Konstrukte „Reifegrad“ sowie heutige und zukünftige „wirtschaftliche Bedeutung“ wurden jeweils fünfstufige Likert-Skalen verwendet, wobei die aggregierten Ergebnisse anschließend auf Indexwerte von 0 (sehr gering) bis 100 (sehr hoch) standardisiert wurden (für detaillierte Informationen zum Studienaufbau und insbesondere der verwendeten Messmethodik wird auf den vollständigen Studienbericht verwiesen [3]).

Die wirtschaftliche Bedeutung einzelner Technologien wurde sowohl für den aktuellen Status quo als auch für die erwartete Entwicklung in drei Jahren abgefragt. Das daraus resultierende Delta über die drei Jahre wurde zur Bestimmung von Wachstumspotenzialen genutzt. Zudem wurde ein Handlungsindex ermittelt, der sich aus dem Delta der wirtschaftlichen Bedeutung in drei Jahren und dem aktuellen Reifegrad einer Technologie berechnet. Dieser Handlungsindex liefert somit eine Entscheidungshilfe für Investitionsentscheidungen hinsichtlich Technologien, die sich durch einen hohen bzw. niedrigen Handlungsdruck auszeichnen.

Dr. Jan Christoph Munck ist Forschungsdirektor am Strascheg Institute for Innovation, Transformation & Entrepreneurship (SITE) der EBS Business School und beschäftigt sich insbesondere mit den betriebswirtschaftlichen Fragestellungen in den Themen Industrie 4.0 und industriellem Innovationsmanagement.

Christoph Schneider ist Forschungsdirektor am SITE der EBS Business School und beschäftigt sich insbesondere mit den Themen Projektmanagement und Innovationsmanagement.

Dr. Fabian Futterer ist PostDoc am SITE der EBS Business School und beschäftigt sich insbesondere mit dem Thema Geschäftsmodellinnovation.

Prof. Dr. Ronald Gleich leitet als Vorsitzender der Institutsleitung das SITE der EBS Business School. Zudem ist er geschäftsführender Gesellschafter der Horváth Akademie.

christoph.munck@ebs.edu
www.ebs.edu/site

Zur besseren Strukturierung wurden die Industrie 4.0-Technologien nach einer vom Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) entwickelten Systematik [4] und nach Einzeltechnologien ausgewertet:

Die VDMA-Systematik findet in der gängigen Literatur zu Industrie 4.0 und der Unternehmenspraxis immer häufiger Anwendung. Da in der vorliegenden Studie der Fokus auf technologischen Trends liegt, werden aus dieser Einordnungssystematik die Dimensionen „Strategie und Organisation“ sowie „Mensch“ nicht betrachtet, sondern die folgenden vier Dimensionen fokussiert:

- Smart Factory: Auf Basis Cyber-Physischer Systeme existiert eine digital vernetzte und automatisierte Produktion.
- Smart Operations: Prozesse und Produkte sind digital abgebildet und können über IKT-Systeme und Algorithmen in einer virtuellen Welt gesteuert werden.
- Smart Products: Produkte sind mit IT ansteuerbar und können so mit übergeordneten Systemen entlang der Wertschöpfungskette kommunizieren und interagieren.
- Data-driven Services: Es liegen datenbasierte Dienstleistungen vor, die erst durch die Vernetzung von Produktion, Produkten und Kunden entstehen können.

Reifegrad, wirtschaftliche Bedeutung und Handlungsdruck verschiedener Technologien

Ergebnisse nach VDMA-Systematik

Mehr als 60 % der an der Studie teilnehmenden Unternehmen haben laufende Aktivitäten in den Technologie-Clustern der VDMA-Systematik. Allen voran im Cluster „Smart Products“, in

dem mehr als ein Drittel der Teilnehmer bereits marktfähige Technologien und mehr als 50 % mindestens eine Piloterprobung vorzuweisen haben. Den größten Nachholbedarf haben Unternehmen bei Technologien der Cluster „Smart Operations“ und „Data-driven Services“.

Der bewertete Reifegrad liefert eine Momentaufnahme der Technologie-Reife der befragten Unternehmen. Darüber hinaus ist ein Blick auf die Bedeutung, die die Unternehmen den Technologien attestierten, von hoher Relevanz. Dies gilt insbesondere für die Betrachtung der Bedeutungsentwicklung im Zeitraum von drei Jahren. Es zeigt sich beispielsweise, dass Unternehmen vor allem den „Data-driven Services“ mit 24 Skaleneinheiten und den „Smart Operations“ mit 22 Skaleneinheiten die höchste bzw. zweithöchste Zuwachsrate bei der wirtschaftlichen Bedeutung innerhalb der folgenden drei Jahre beimesen. Zwar halten die „Smart Products“ noch ihren Spitzenplatz und in allen Clustern ist ein Bedeutungszuwachs zu verzeichnen, jedoch gewinnen die bis dato geringfügiger ausgeprägten Technologiecluster zukünftig an relativer Bedeutung (Bild 1).

Während dieser Blick in die Zukunft auf leichte Relevanzverschiebungen hinsichtlich der Bedeutung der Technologiecluster hindeutet, lohnt auch ein Blick auf weitere Einflussgrößen des derzeitigen Industrie 4.0-Reifegrads in den Unternehmen. Betrachtet man beispielsweise den Reifegrad nach Größe der Unternehmen, ergibt sich folgendes Bild: Die Mittelständler erzielen in fast allen Technologie-Clustern den höchsten Reifegrad (mit Ausnahme im Bereich „Smart Products“). Kleine Unternehmen haben den größten Aufholprozess vor sich. Unternehmen mit einem hohen Jahresumsatz haben durch die potenziell höhere Finanzkraft

Bild 1: Reifegrad in % sowie Wachstumspotenziale nach VDMA-Systematik.



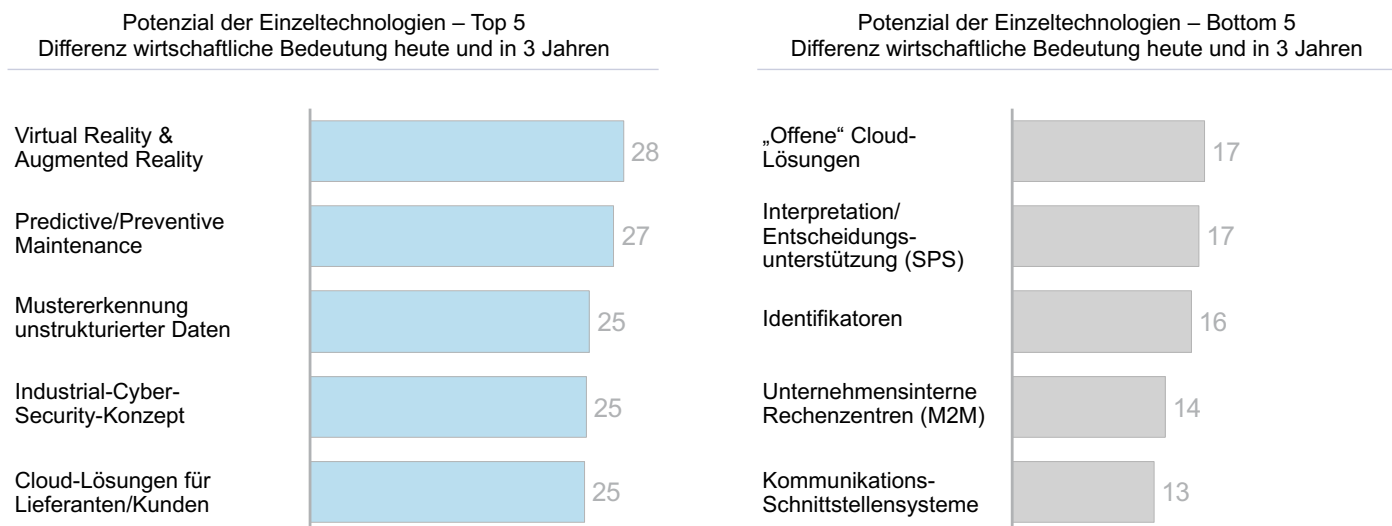


Bild 2: Differenz der wirtschaftlichen Bedeutung (0 = sehr gering bis 100 = sehr hoch).

für Investitionen in die Entwicklung der Technologien einen strategischen Wettbewerbsvorteil. Mittelständler verbinden eine hohe Investitionskraft mit einer höheren Umsetzungsgeschwindigkeit und einer teilweise höheren Risikobereitschaft und erzielen dadurch einen Vorsprung gegenüber allen anderen Unternehmensgrößen.

Ergebnisse nach Einzeltechnologien

Neben der Betrachtung der insgesamt 39 untersuchten Technologien anhand der VDMA-Systematik zeigt die Darstellung auf Einzeltechnologie-Ebene insbesondere auf, wie sich die Bedeutung der Technologien in den kommenden Jahren entwickelt und bei welchen Technologien das größte Entwicklungspotenzial besteht.

Die Auswertung der aktuell bedeutendsten Technologien zeigt, dass Basistechnologien in Form von Identifikatoren, Sensorik und Aktoren/Aktuatoren drei Plätze unter den Top 5 belegen. Somit kommt ihnen bereits heute eine wesentliche Rolle zu, was unter anderem auch daran liegt, dass viele weitere Technologien darauf aufbauen. Unter den ersten fünf der aktuell bedeutendsten Technologien findet sich weiterhin die Real-time-Rückmeldung für ERP bzw. MES-Systeme. Durch diese Real-time-Verknüpfung lässt sich die Steuerung der Fabrik und der Operations deutlich schneller realisieren. Dies ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für eine agile und resiliente Fabrik, da nur dadurch die Reaktion auf Umwelteinflüsse (veränderte Bestellmengen, Maschinenausfälle etc.) gewährleistet werden kann.

Vervollständigt werden die Top 10 aus heutiger Sicht von Microcontrollern, Energieeinsatz-Optimierung, Interpretation/Entscheidungsunterstützung (ERP), Human Machine Interface und mobilen Bedien- und Steuersystemen, die allesamt intelligente Produkte bzw. Produktsysteme darstellen und in ihrer Ausgestaltung teilweise auf zuvor genannte Basistechnologien angewiesen sind.

Unter Berücksichtigung der Dynamik der Industrie 4.0 lohnt insbesondere auch der Blick auf die zu erwartende Bedeutungsentwicklung der einzelnen Technologien in drei Jahren. Zunächst ist dabei bemerkenswert, dass bei allen thematisierten Technologien ein deutlicher Bedeutungszuwachs vermutet wird. Lag der niedrigste Wert der Einschätzung zur aktuellen Bedeutung noch bei 34 Punkten (Data Centric Services), so liegt der niedrigste Wert beim Dreijahreshorizont bei immerhin 53 Punkten (agentenbasierte Systeme). Auch an der Spitze kann zukünftig ein Zuwachs von 16 Punkten verzeichnet werden (Identifikatoren; aktuell: 60, in drei Jahren: 76).

Es ist festzustellen, dass Basistechnologien wie Identifikatoren oder Sensorik auch in drei Jahren eine zentrale Rolle spielen werden. Besonders stark gewinnt Predictive/Preventive Maintenance an Bedeutung und rückt in der perspektivischen Betrachtung auf Platz 5 der bedeutendsten Technologien vor. Heute ist die Technologie in den Top 10 noch nicht vertreten. Durch Predictive Maintenance lassen sich Störungen von Maschinen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit vorhersagen und so ungeplante Maschinenstillstände und eventuelle Produktionsausfälle vermeiden.

Ein enormer wirtschaftlicher Schaden kann so verhindert werden. Heute sind Predictive-/ Preventive-Maintenance-Systeme jedoch noch nicht flächendeckend vorhanden, bzw. können die Vielzahl an unterschiedlichen Datenstandards sowie Auswertemethoden und -tools zu der noch niedrigen Bewertung führen.

Delta-Betrachtung und Handlungsdruck

Der benannte Bedeutungszuwachs wurde in Form einer Delta-Betrachtung analysiert, um aufzuzeigen, welche der untersuchten Technologien im Zeitraum von drei Jahren den größten wirtschaftlichen Bedeutungszuwachs verzeichnen (Bild 2). Besonders Virtual & Augmented-Reality-Technologien wird in diesem Zusammenhang ein sehr starker Bedeutungszuwachs prognostiziert. Sie führen die Liste der Technologien mit dem größten wirtschaftlichen Potenzial mit einem Zuwachs von 28 Bedeutungspunkten an. An zweiter Stelle folgen Predictive/Preventive Maintenance mit einem Zuwachs von 27 Punkten. Dahinter folgen Technologien wie Industrial-Cyber-Security-Konzepte oder Autonomes Maschinenlernen.

Während alle Top-5-Technologien mit dem größten Bedeutungsgewinn einen Sprung von 25 oder mehr Punkten verzeichnen können, liegt die Spanne bei den Bottom-5-Technologien zwischen 13 und 17 Punkten. Die Technologie mit dem geringfügigsten Zuwachs stellen Kommunikations-Schnittstellensysteme mit 13 Punkten dar. Auch Basistechnologien wie Identifikatoren (+16 Punkte) finden sich in dieser Bottom-5-Gruppe wieder. Hier ist allerdings relativierend anzumerken, dass diese Technologien bereits aktuell eine sehr hohe Bedeutung aufweisen, sodass deren absolute Bedeutung weiterhin als hoch einzustufen ist (siehe auch vorheriger Abschnitt).

Um aufzuzeigen, wo sich konkrete Investitionspotenziale ergeben könnten, wurde ein Handlungsindex berechnet, der sich aus der Differenz von zukünftiger wirtschaftlicher Bedeutung und aktuellem Reifegrad ergibt (Bild 3).

Empfehlungen für Industrie 4.0-Vorhaben

Aus den Ergebnissen der Studie lässt sich ein Schluss ziehen: Industrie 4.0 ist in der Praxis angekommen und mehr als nur ein Hype. Industrie 4.0 und das Gesamtkonzept der Digitalisierung sind nicht mehr aufzuhalten und werden in den kommenden Jahren weiter an Bedeutung gewinnen. Grund dafür sind die Effizienz- und Umsatzpotenziale, die sich mit dem Einsatz von Industrie 4.0-Technologien realisieren lassen. Basierend auf den Studienergebnissen empfehlen wir die folgenden Schritte und Maßnahmen:

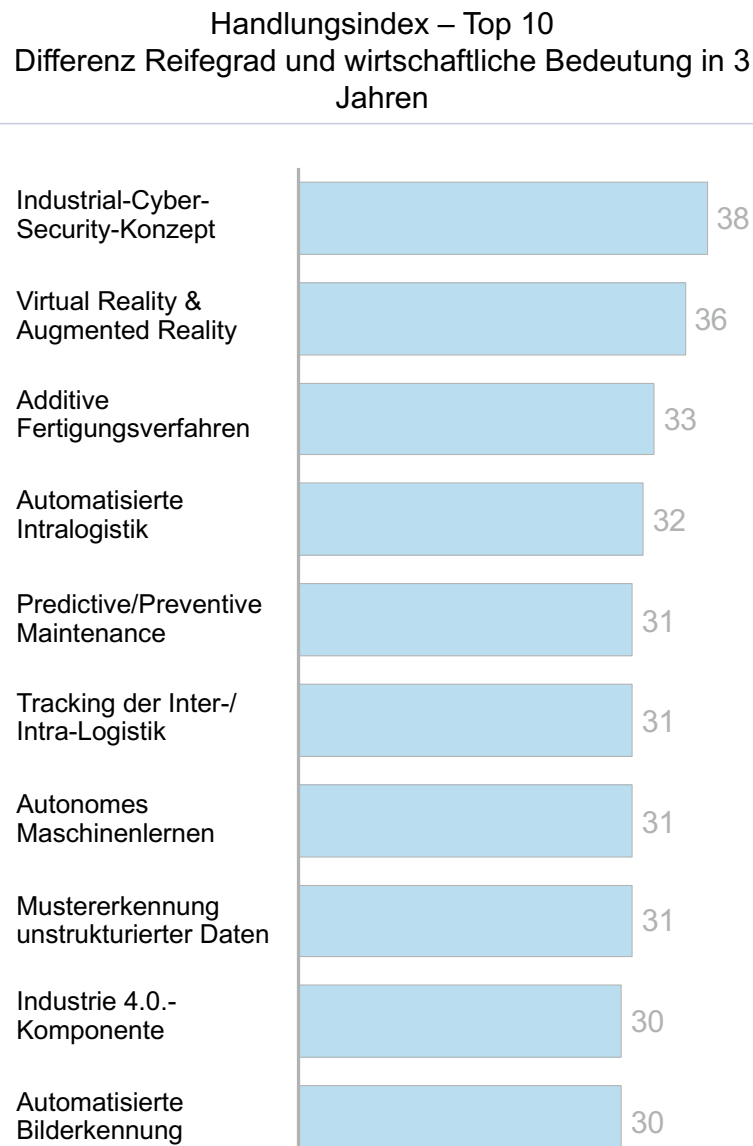


Bild 3: Industrie 4.0-Technologien mit dem größten Handlungsindex.

Es zeigt sich, dass Industrie 4.0 aufgrund ihrer Inhomogenität und Vielfältigkeit eine klare strategische Ausrichtung benötigt. Die vorgestellten Industrie 4.0-Technologien und Trends bieten viele Potenziale, um einerseits Effizienzen – sowohl in der Smart Factory und im Bereich Smart Operations – zu heben und um andererseits neue Umsatzpotenziale z. B. durch intelligente Produkte und (disruptive) datengetriebene Geschäftsmodelle zu etablieren.

Die Industrie 4.0-Technologien, insbesondere die der beiden Cluster „Smart Products“ und „Data-driven Services“, bieten vielfältige Möglichkeiten, den sogenannten „Strategischen Kern“ – also das Produkt- und Serviceangebot, die Zielkunden und die Zielmärkte – neu zu definieren. Die Veränderung des Geschäftsmodells kann von inkrementellen Erweiterungen des Produktportfolios bis zu disruptiven neuen Geschäftsmodell-Ansätzen [5] erfolgen. Entscheidend ist hierbei jedoch, dass der Kunde – und hier ist explizit der externe Kunde gemeint – in den Mittelpunkt gestellt wird. Industrie 4.0 ist und darf kein Selbstzweck sein.

Bei der Untersuchung des Handlungsdrucks hat sich gezeigt, dass in der Zukunft die relative wirtschaftliche Bedeutung der „Data-driven-Services“ am stärksten zunehmen wird. Neue datenbasierte und -getriebene Dienstleistungen werden einerseits einen höheren Umsatzanteil ausmachen, andererseits auch bei der Kaufentscheidung eine immer bedeutendere Rolle spielen. Daher sollten sich die Unternehmen mit diesem Thema beschäftigen und entsprechende Aktivitäten starten (Zur Verdeutlichung wird auf den Studienbericht verwiesen, in dem mehrere Praxisbeispiele und Zitate aus der Industrie aufgeführt sind [3]).

Technologien, die auf die internen Effizienzpotenziale abzielen, sind den Clustern „Smart Operations“ und „Smart Factory“ zugeordnet. Um die internen Effizienzpotenziale zu heben, sollte neben der eher extern orientierten Geschäftsmodellüberprüfung und -anpassung auch die Supply Chain überprüft und adaptiert werden.

Sowohl für den extern als auch intern orientierten Ansatz gilt, dass es eine strategische Entscheidung sein muss, welche Konzepte und Technologien genutzt werden sollen. Das dabei entstehende Investitions- und (Entwicklungs-)Projektportfolio, respektive deren Ergebnisse, nennen wir Industrie 4.0-Footprint. Um diesen Industrie 4.0-Footprint in der eigenen Organisation erfolgreich zu implementieren und nachhaltig zu verankern, ist eine

Anpassung des Betriebsmodells notwendig. Die sich durch die Industrie 4.0 veränderten Prozesse, Verantwortlichkeiten und vor allem Tätigkeiten müssen ganzheitlich und in ihrer Wirkung aufeinander abgestimmt und erneut aktiv gesteuert werden.

Limitationen

Der Tatsache geschuldet, dass die beschriebene Studie eine praxisorientierte Erhebung von Eindrücken aus der Industriegüterbranche darstellt, ergeben sich einige Limitationen, die es bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten gilt.

Zunächst erhebt die Studie nicht den Anspruch auf vollständige Repräsentanz der deutschen Industrie. Mit den zugrundeliegenden Fragebögen aus 106 unterschiedlichen Unternehmen, sind wir jedoch der Meinung, dass bzgl. der Reifegrade und der zukünftigen Bedeutung von 39 analysierten Technologien und Konzepten die Industrie 4.0-Diskussion um weitere wertvolle Details angereichert werden konnte.

Auch basiert die Operationalisierung der Studie auf einer Struktur des VDMA – andere Modelle zur Strukturierung der Industrie 4.0 wären sicherlich auch denkbar. Jedoch erweist die ausgewählte Systematik sich im Rahmen einer praxisorientierten Herangehensweise insbesondere auch für die Unternehmenspraktiker als nachvollziehbar. Zuletzt kann auch die Robustheit der Liste bzgl. der 39 analysierten Technologien und Konzepte hinterfragt werden. Fraglich ist z. B. ob Predictive Maintenance eine eigene Technologie ist oder diese wiederum auf mehreren Teil-Technologien basiert? Durch eine Reihe von Gesprächen mit Industrie 4.0-Experten fühlen wir uns jedoch was die Vollständigkeit der wesentlichen Technologien anbelangt abgesichert und hoffen damit den schmalen Grat zwischen Komplexität der Befragung und wissenschaftlicher Genauigkeit gemeistert zu haben.

Schlüsselwörter:

Industrie 4.0-Bestandsaufnahme, Industrie 4.0-Potenziale, technologische Trends, Smart Factory, Smart Operations, Smart Products, Data-driven-Services

Dieser Beitrag entstand im Rahmen der studienorientierten Zusammenarbeit mit Horváth&Partners Management Consultants und der Deutschen Messe AG (DMAG).

Literatur

- [1] Bley, S.; Kilger, C.; Vogel, J.: Industrie 4.0 – das unbekannte Wesen? 2016.
- [2] Bienzeisler, B.; Schletz, A.; Gahle, A.: Industrie 4.0 Ready Services Technologietrends 2020. Stuttgart 2014.
- [3] Kittelberger, D.; Munck, J.C.; Futterer, F.; Hartje, S.; Schneider, C.; Straßmaier, A.: Technologische Trends in der Industrie 4.0 – Reifegrade und wirtschaftliche Bedeutung für Unternehmen. In: Gleich, R.; Sauter, R. (Hrsg) Studienbericht in Kooperation von Deutsche Messe AG, EBS Universität für Wirtschaft und Recht sowie Horváth & Partners. URL: <https://www.horvath-partners.com/de/media-center/studien/detail/technologische-trends-in-der-industrie-40>, Abrufdatum 05.08.2017
- [4] Lichtblau, K.; Stich, V.; Bertenrath, R.; Blum, M.; Bleider, M.; Millack, A.; Schröter, M.: Industrie 4.0-Readiness. Frankfurt 2015.
- [5] Rühl, G.: Leading the digital transformation of metal distribution. URL: http://www.kloeckner-i.com/wp-content/uploads/2017/01/Kloeckner_Digitalization_January_2017.pdf, Abrufdatum 28.03.2017.

Physical Internet und die Auswirkung auf die intelligenten Lademittel

Bestandsführung von Lademitteln durch Software as a Service

Johannes Oberndorfer, FH Oberösterreich, Markus Steinheimer, ControllerBox GmbH und Alexander Hübl, FH Oberösterreich

Aufgrund der steigenden Komplexität des unternehmensübergreifenden Gütertransports wird es immer schwieriger, eine Bestandsführung von Lademitteln in Echtzeit über die gesamte Supply Chain sicherzustellen. Durch die Kombination verschiedener Tauscharten, wie z. B. der klassische Zug-um-Zug Tausch oder das Führen von Bestandskonten zwischen Unternehmen, kann oftmals keine eindeutige Zugehörigkeit der Lademittel zu den jeweiligen Unternehmen gewährleistet werden. Diesem Zustand ist zu verdanken, dass die benötigten zeitlichen und finanziellen Ressourcen aufgrund des hohen Verwaltungsaufwands stetig zunehmen – auch, um den Schwund der Lademittel möglichst gering zu halten. Um diese Probleme in Zukunft in den Griff zu bekommen, sind das Logistikum der FH Oberösterreich und die ControllerBox GmbH im Begriff, die Art der Bestandsführung von Lademitteln innerhalb der Supply Chains weiter zu entwickeln. Durch den Einsatz einer State-of-the-Art Software as a Service (SaaS) Lösung soll die Bestandsführung mithilfe von Smartphones stark vereinfacht, standardisiert und automatisiert werden, um sowohl den Verwaltungsaufwand als auch die zeitlichen und finanziellen Mittel zu reduzieren.

Der Begriff Supply Chain wird in der Literatur als Verbund von Unternehmen, Organisationen oder Personen gesehen, die direkt in vor- und nachgelagerten Prozessen von der Herstellung von Produkten, Erbringen von Dienstleistungen, Finanzierungen und/oder Übermittlung von Informationen einer Quelle bis zum Kunden eingebunden sind [1]. Im Zuge dieses Beitrags bezieht sich der Begriff Supply Chain vor allem auf die Begriffe Material- und Informationsfluss in unternehmensübergreifenden Netzwerken. Um den Materialfluss in den unternehmensübergreifenden Netzwerken realisieren zu können, werden verschiedene Arten von Lademitteln verwendet. Die Lademittel dienen vor allem dazu, entsprechende Güter zu Ladeeinheiten zusammenzufassen, um diese mechanisch oder automatisiert einzulagern oder zu transportieren [3]. Besonders häufig werden in der Praxis Paletten und Gitterboxen verwendet, da diese durch ihre normgerechten Maße auf übergeordnete Ladungsträger, wie z. B. Schiffcontainer, abgestimmt sind.

Durch den Umstand, dass die Güter innerhalb der Supply Chain auf Lademitteln transportiert

werden und diese aus praktischen Gründen nicht immer von den Lademitteln abgeladen werden, kommt es zu einem Tauschvorgang. Will der Empfänger oder Sender aus Zeitgründen oder aus der Tatsache, dass er die Ladung unverändert weitersenden möchte, die Güter nicht vom Ladungsträger abladen, kommt es zu diesem Tausch [4]. Dabei wird dem Lieferanten der Ware genau jene Menge an leeren Ladungsträgern wieder mitgegeben, die er für den Transport der Ware in Verwendung hatte. Dies wird als sogenannter Zug-um-Zug Tausch bezeichnet. Kommt es jedoch zu dem Fall, dass der Empfänger der Ware zu wenige Paletten bzw. Paletten in schlechter Qualität lagernd hat, muss ein Bestandskonto, wenn kein unmittelbar monetärer Ausgleich in Betracht kommt, geführt werden. Wird dieses Bestandskonto konsequent und fehlerfrei geführt, kann durch nachträgliche Aushändigung von Lademitteln oder durch einen finanziellen Ausgleich ein fairer unternehmensübergreifender Tauschvorgang von Lademitteln gewährleistet werden.

Um den Materialfluss in unternehmensübergreifenden Netzwerken erfolgreich umzuset-

Physical Internet and the Effects on the Intelligent Loading Tackle – Inventory Management of Loading Tackles with Software as a Service

Due to the increasing complexity of cross-company transportation, it becomes more and more difficult to ensure a correct inventory of loading tackles throughout the entire supply chain. The use of a state-of-the-art SaaS (software as a service) solution simplifies, standardize and automate inventory management to reduce administrative effort as well as resources of time and money.

Keywords: loading tackle, loss, inventory management, software as a service, physical internet



Johannes Oberndorfer, BSc arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Logistikum der Fachhochschule Oberösterreich im Fachbereich Supply Chain Planning.



Markus Steinheimer, MBA ist Geschäftsführer der ControllerBox GmbH in Wels/Oberösterreich.



Alexander Hübl, PhD leitet den Fachbereich Supply Chain Planning am Logistikum der FH Oberösterreich.

alexander.huebl@fh-steyr.at
www.Logistikum.at

zen, wird in der heutigen Zeit vermehrt auf den Begriff Physical Internet (PI) gesetzt. PI wird in der Literatur [5] als kollaboratives und robustes Netzwerk beschrieben mit dem Zweck, alle logistischen Netzwerke zu verbinden und zu synchronisieren. Primäres Ziel von PI ist, einen nachhaltigen und optimierten Transport von Gütern zu erzeugen, um einerseits die Transportwege und Dauer zu reduzieren und andererseits den ökologischen Fußabdruck zu minimieren. Wie in [6] gezeigt wird, soll durch PI möglich werden, dass sich logistische Objekte wie Lademittel durch selbstständige Kommunikation untereinander den effektivsten Weg durch das gesamte Netzwerk suchen. Durch diese Art der automatischen Kommunikation, die sich im Zuge dieses Beitrags im Begriff des automatischen Bestandskontos wiederfindet, kann eine nahtlose Bestandsführung durch minimalen Verwaltungsaufwand umgesetzt werden. Zusätzlich kann durch diese Technologie der Schwund von Lademitteln, der vor allem durch fehlende Kontrollen verursacht wird [7], gesenkt werden. Personen, die in den Dispositionsvorgang der Lademittel involviert sind, haben durch eine derartige Technologie keine Chance mehr, einen Lademittelschwund vorzutäuschen.

Es ist ein enormer Verwaltungsaufwand zu betreiben, um eine korrekte Abbildung der Bestände gewährleisten zu können. In mittelgroßen Speditionen bzw. Logistikdienstleistern kann es sein, dass mehrere Mitarbeiter/-Innen mit der korrekten Abbildung von Lademitteln im Bestandskonto beschäftigt sind. In größeren Unternehmen kann dies sogar im Schichtbetrieb stattfinden. Besonders schwierig ist es, dabei den Überblick über die Dokumente zu halten. Durch die entstehende Papierflut aller Beteiligten, wie Lieferanten, Frächter, Kunden und Transporte durch den eigenen Fuhrpark, muss ein geordneter Ablauf für die Dokumente sichergestellt werden. Zudem kann es durch den zeitintensiven Vorgang dazu kommen, dass eventuelle Fehler bei der Eintragung in das System aufgrund der zeitlichen Verschiebung von Anlieferung und Erkennen durch das Verwaltungspersonal oft nicht mehr geklärt werden können. Einen ersten Lösungsansatz für dieses Problem hat das Fraunhofer Institut für Materialfluss und Logistik entwickelt. Im Jahr 2015 entwickelte dieses eine App-Anwendung, um den Palettentausch zu dokumentieren [8]. Diese App ermöglicht durch fotografieren eines Palettenstapels und anschließendem Setzen von vertikalen Markern auf dem Foto eine automatische Errechnung der Anzahl der Paletten eines Stapels. Bei dieser automatischen Errechnung muss jedoch eine Nachprüfung der Anzahl an Paletten folgen, da beim

falschen Setzen der Marker oder verschachtelten Stapeln von Paletten durchaus eine falsche Anzahl an Paletten durch die App ermittelt werden kann. Durch Bestätigung der Anzahl bzw. Eingabe der Anzahl und das Abschließen des Vorgangs durch die Eingabe der Daten des Tauschpartners werden Tauschdokumente an die beteiligten Parteien des Tauschvorgangs versendet. Somit ist es möglich, dass die bisherig verwendeten Lieferscheine für die Abbildung der Lademittel ersetzt werden können. Durch diese App-Lösung kann der Papierflut an Lieferscheinen entgegengesetzt werden, eine automatische Integration in ein Enterprise Resource Planning (ERP)-System und in bestehende Module ist jedoch nicht möglich.

Doch nicht nur der aufwendige Verwaltungsvorgang ist ein Problem, das durch die aktuellen Bestandsführungssysteme und Prozesse verursacht wird. Durch die Problematik der komplexen Bestandsführung kommt es zudem zu einem beträchtlichen Anteil an Schwund der Lademittel. Verursacht wird dies einerseits durch absichtlich oder unabsichtlich fälschliche Eingabe der Lieferscheindaten in das System, andererseits aber vor allem durch Diebstahl. Da die Lademittel wie z. B. neue zertifizierte EPAL-Paletten einen Wert von ca. 12 € Nettopreis je Stück aufweisen [9], machen sich Diebe die Schwächen der Bestandsführung zu Nutze, stehlen und verkaufen Lademittel an Dritte weiter. Durch die fehlende Genauigkeit der Bestandsführung kann der Diebstahl weder verhindert, noch die entsprechenden Diebe oder der Ort des Diebstahls ausfindig gemacht werden. Durch telefonische Nachfrage bei mittelgroßen und großen Speditionen und Logistikdienstleistern im deutschsprachigen Raum konnten zwar aus Geheimhaltungsgründen keine Zahlen schriftlich erhoben werden, es konnte jedoch herausgefunden werden, dass sich der Schwund von zertifizierten Paletten auf ca. 7-10 % der Umlaufmenge im Jahr beläuft. Dies würde allein durch zertifizierte Paletten für mittelgroße Speditionen bzw. Logistikdienstleister einen jährlichen Schaden von etwa 300.000 € - 500.000 € bedeuten.

Aktuelle Bestandsführungssysteme

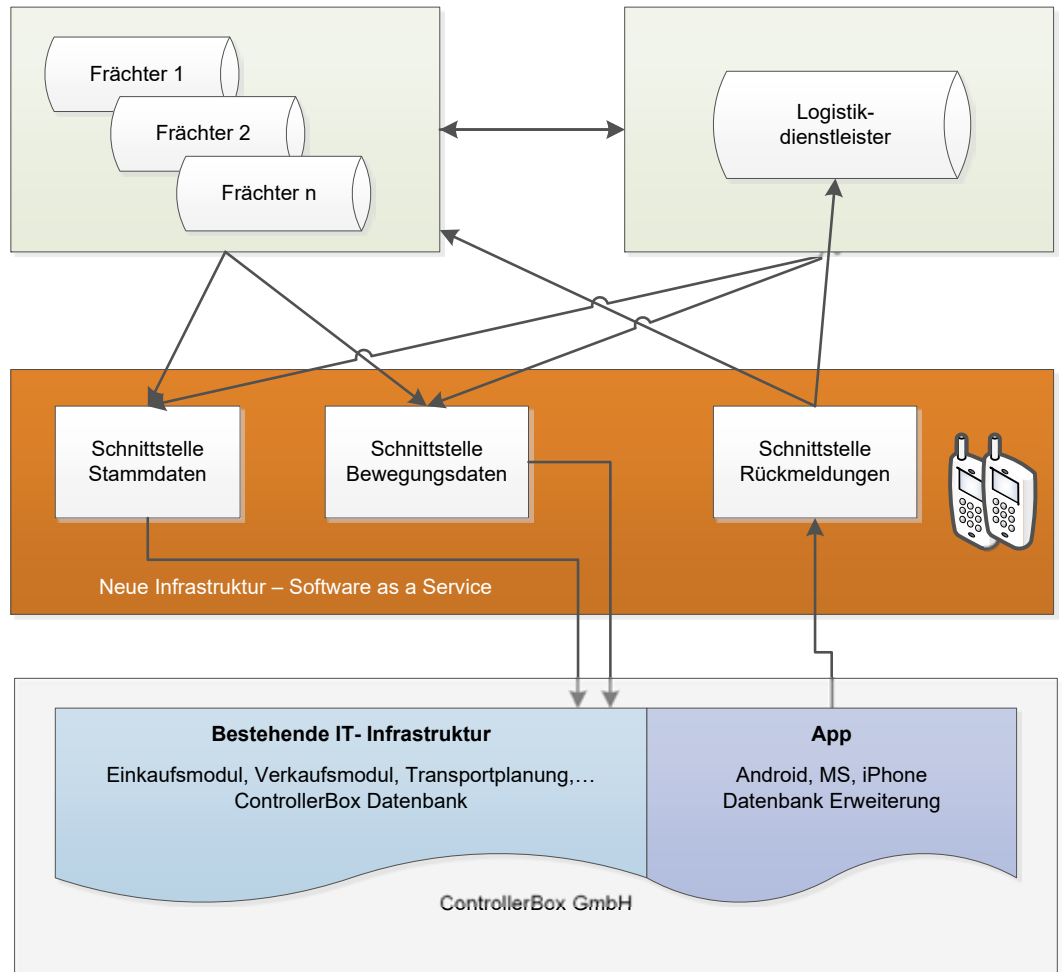
Um die oben beschriebene Bestandsführung in Unternehmen umzusetzen, wird zum aktuellen Stand der Technik mit Lieferscheinen gearbeitet. Durch die Anlieferung von Gütern und Lademitteln muss sich der LKW-Fahrer die entsprechenden Dokumente, die vom beauftragenden Unternehmen oder der Spedition kommen, vom Abnehmer unterzeichnen lassen. Dieser Lieferschein enthält sämtliche Informationen über die

Ladung, so auch die Menge von Lademitteln. Die weitere Verarbeitung dieser Informationen erfolgt anschließend durch das Verwaltungspersonal des belieferten Unternehmens. Dieses muss die entsprechenden Vermerke auf den Lieferscheinen manuell in ein ERP oder vergleichbares System eintragen und somit das Bestandskonto führen [10].

Um die Integration des Prozesses der Bestandsführung in Zukunft zu verbessern und mit der bestehenden IT-Infrastruktur zu koppeln, kann eine SaaS-Lösung angewandt werden. Der Begriff SaaS stellt dabei eine Software dar, die einem Kunden als Dienstleistung zur Verfügung gestellt wird, wobei die Software und Infrastruktur dabei beim Anbieter betrieben werden. Durch diese Art der Bereitstellung bezahlt der Kunde keine herkömmliche Lizenz und Servicekosten, er hat lediglich einen Nutzungsbetrag an den Anbieter zu entrichten. Der Zugang zu diesem Service kann beispielsweise über einen herkömmlichen Webbrowser oder eine App in Anspruch genommen werden [11]. Neben der einfachen Inanspruchnahme der Anwendung kann eine einfache und breite Einbindung von Mobile Devices sowie herkömmlichen PCs, Datenbanken und Servern stattfinden, damit jeder Benutzer der Geräte auf den aktuellen Stand der Daten Zugriff hat.

Bestandsführung durch SaaS-Lösung

Das Projektteam arbeitet an einer Lösung, die eine automatisierte Bestandsführung von Lademitteln ermöglichen soll. Zentrale Herausforderung dabei ist, dass die verschiedenen Frächter und Logistikdienstleister über die Supply Chain hinweg verschiedene IT- bzw. ERP-Systeme im Einsatz haben. Aufgrund des enormen Marktangebots verschiedener IT-Systeme wird von den unterschiedlichen Unternehmen nur jene Lösung integriert, welche sich für das spezifische Unternehmen als am geeignetsten erweist. Für das jeweilige Unternehmen ist dies mit Sicherheit die effizienteste und kostengünstigste Lösung, für eine IT-Kooperation über die gesamte Supply Chain hinweg bedeutet dies jedoch eine enorme



Herausforderung. Doch nicht nur die technischen Gegebenheiten stellen eine zentrale Herausforderung für eine unternehmensübergreifende Kooperation dar, auch das Thema Datenschutz und Sicherheit erschwert eine derartige Zusammenarbeit von Systemen. Mit der neuen EU-Datenschutzgrundverordnung, die Mitte 2018 in Kraft tritt [12], wird auch dieser rechtliche Aspekt ein wichtiger und zentraler Punkt. Es gilt, eine neue Softwarelösung zu entwickeln, die genau diese Aspekte berücksichtigt, um einen einheitlichen Standard zu schaffen. Ziel des Projekts ist es, eine digitale Kommunikation nach der Idee von PI unter der Berücksichtigung von technischen und rechtlichen Herausforderungen aufzubauen, um ein automatisiertes und standardisiertes Bestandskonto von Lademitteln über die gesamte Supply Chain hinweg zu ermöglichen. Somit trägt dieses System einen weiteren Schritt zur Erreichung von PI bei. Die Eingabe der Lademittel bzgl. Qualität und Quantität finden jedoch noch manuell statt. Wie in Bild 1 dargestellt, ist eine Vernetzung von bestehenden IT-Systemen der Logistikdienstleister, Frächter, der neuen Infrastruktur (SaaS) und dem Anbieter der Softwarelösung, der ControllerBox GmbH, zu schaffen.

Bild 1: Übersicht der Infrastruktur für die SaaS-Lösung (Quelle: Logistikum der FH OÖ und ControllerBox GmbH).

Literatur

- [1] Mentzer, J.; De Witt, W.; Keebler, J.; Min, S.; Nix, Nancy; Smith, C.; Zacharia, Z.: Defining Supply Chain Management. In: Journal of Business Logistics, 22 (2001) 2, S. 1-25
- [2] Beckmann, H.: Supply Chain Management: Grundlagen, Konzept und Strategien. Berlin Heidelberg 2004.
- [3] Klaus, P.; Krieger, W.; Krupp, M.: Gabler Lexikon Logistik: Management logistischer Netzwerke und Flüsse, 5. Auflage. Wiesbaden 2012.
- [4] Zhang, X.; Liu, H.; Yu, H.: System Design for the Order Management System of a Pallet Pool System. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Transportation Engineering (ICTE) 2015.
- [5] Ballot, E.; Montreuil, B.; Meller, R.D.: The Physical Internet: The Network of Logistics. La Documentation française. Paris 2014.
- [6] Hübl, A.; Lengauer, E.; Ragg, S.; Affenzeller, M.: Network on demand planning of Supply Chains towards Physical Internet. In: Forschungsforum der Österreichischen Fachhochschulen. Wien 2016, S. 1-6.
- [7] Pleile, H.: Rechtliche Aspekte zur praktischen Handhabung von EUR-Tauschpaletten. Wien 2012.
- [8] Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML: Android-App dokumentiert Palettentausch. URL: https://www.inkl.fraunhofer.de/de/presse_medien/pressemitteilungen/paletten_app_fachpack2015.html, Abrufdatum: 31.07.2017.
- [9] DB Schenker: Europac.Shop. URL: <https://dbschenker.europac-shop.dbschenker.com/at/>, Abrufdatum 02.08.2017.
- [10] Sullivan, G.; Barthorpe, S.; Robbins, S.; O'Rourke, L.: Managing Construction Logistics. Hoboken USA 2010.
- [11] Benlian, A.; Hess, T.; Buxmann, P.: Software-as-a-Service: Anbieterstrategien, Kundenbedürfnisse und Wertschöpfungsstrukturen. Wiesbaden 2010.
- [12] Wirtschaftskammer Österreich: EU Datenschutzgrundverordnung. URL: <https://www.wko.at/service/wirtschaftsrecht-gewerberecht/EU-Datenschutz-Grundverordnung.html>, Abrufdatum 31.07.2017.

Um auf die Stamm- und Bewegungsdaten der kooperierenden Unternehmen zugreifen zu können, wird eine Standardschnittstelle basierend auf XML zur Verfügung gestellt, die mit den gängigsten ERP-Systemen am Markt kommunizieren kann. Die Auswertung und Integration von vorhandenen und generierten Bewegungsdaten erfolgt danach in der ControllerBox-Datenbank, ehe die Daten wieder strukturiert in die ERP-Systeme der jeweiligen Unternehmen integriert werden. Die Konfiguration und Einbindung der bestehenden ERP-Systeme mit der ControllerBox-Datenbank erfolgt je Anwendungsfall bzw. Unternehmen. Aufgrund der Vielzahl an ERP-Systemen, die in den Unternehmen Anwendung finden, und deren unterschiedlichen Datenstrukturen und Aufbereitungen erfolgt eine auf den Kunden abgestimmte und individuelle Integration.

Der eigentliche Bestandsführungsprozess erfolgt durch das zeitaktuelle Auslesen der Stamm- und Bewegungsdaten der Unternehmen und der Eingabe bzw. Integration aktueller Daten der LKW-Fahrer. Somit ist eine Bestandsführung der Lademittel in Echtzeit möglich. Durch diese Gegebenheit der zeitaktuellen Bestandsführung kann ohne Anbringung von zusätzlichen Sensoren wie z.B. GPS Sendern, ein Positionstracking und ein zeitliches Tracking stattfinden, das durch die Intelligenz der Software bzw. der integrierten Sensoren in den mobilen Endgeräten ermöglicht wird. Aufgrund dieser Möglichkeit der Positionsbestimmung mit einem zusätzlichen zeitlichen Vermerk wird im Rahmen des Projekts von intelligenten Lademitteln gesprochen, auch wenn die Intelligenz dabei nicht unmittelbar von den Lademitteln, sondern von der ausführenden Software und der mobilen Endgeräte ermöglicht wird. Dem LKW-Fahrer der Logistikdienstleister bzw. Frächter wird durch eine App bzw. Browser-Anwendung auf einem mobilen Endgerät eine Schnittstelle für die Rückmeldung der Lademittel bzgl. Qualität und Quantität geboten. Durch entsprechende Eingabe der Daten in das mehrsprachig verfügbare Interface und der Möglichkeit, Bilder für eine Beweissicherung zu machen, kann nach einer kurzen Bestätigung des Kunden, der die Dienstleistung in Anspruch nimmt, eine direkte Aktualisierung der ControllerBox-Datenbank und somit der ERP-Systeme der beteiligten Unternehmen stattfinden. Dem Bediener der mobilen Anwendung werden bei diesem Vorgang nur jene Daten zur Verfügung gestellt, die er zur richtigen Eingabe der erforderlichen Felder in der Anwendung benötigt. Alle Informationen darüber hinaus können durch den SaaS-Anbieter individuell für jeden einzelnen

Benutzer freigeschaltet werden. Sollte durch beteiligte Personen im Bestandsführungsprozess ein falscher Bestand hinsichtlich Quantität oder Qualität gepflegt werden, um sich oder Dritte zu bereichern bzw. den Tauschpartner zu schädigen, kann dies zwar nicht unmittelbar verhindert werden, durch die Softwarelösung können jedoch der genaue Ort, die Zeit und die beteiligten Personen derartiger Betrügereien eindeutig identifiziert werden. Das herbeiführen falscher Eingaben wird im Gegensatz zu bestehenden Bestandsführungssystemen deutlich erschwert.

Durch diese SaaS-Lösung kann jedoch nicht nur eine Bestandsführung der Lademittel ermöglicht werden, es kann auch eine Einbindung in bestehende Module des ERP-Systems stattfinden. Durch die Anbindung in die Lagerverwaltung kann z. B. eine automatische Zuweisung der Lademittel zu einem Lagerplatz ermöglicht werden; durch die Verknüpfung des Einkaufsmoduls eine automatische Bestellung für neue Lademittel ermöglicht und durchgeführt werden. Auch eine Einbindung in die Transportplanung kann ermöglicht werden. Durch diese Art der Integration ist mit minimalem Verwaltungsaufwand das Ausführen eines ganzheitlichen Systems möglich.

Zusammenfassung und Ausblick

Der hohe Verwaltungsaufwand, der Schwund und die Papierflut für die Bestandsführung sind der Grund für die Schaffung eines neuen ganzheitlichen Systems. Dass bei der Entwicklung einer derartigen Softwarelösung vor allem die technischen Aspekte wie die Vernetzung unterschiedlicher IT- bzw. ERP-Systeme und die richtige Aufbereitung dieser als auch die rechtlichen Aspekte wie der Datenschutz zu beachten sind, stellt das Projektteam vor große Herausforderungen.

Als nächster Schritt für eine erfolgreiche Durchführung des vorgestellten Projekts wird ein Projektantrag für eine Förderung erarbeitet und eingereicht. Im weiteren Projektverlauf wird das Logistikum der FH OÖ gemeinsam mit der ControllerBox GmbH eine Anforderungsanalyse für eine konkrete Softwarelösung durchführen. Auch Projektpartner für eine zukünftige Zusammenarbeit und erste Implementierung der Lösung im Logistik-Dienstleistungsbereich, vor allem im deutschsprachigen Raum, werden gesucht.

Schlüsselwörter:

Lademittel, Schwund, Bestandsführung, Software as a Service, Physical Internet

Produktgestaltung als Stellhebel in der agilen Produktion

Ausarbeitung und Anwendung der Design-for-Agility Methode
in der Automobilindustrie

Alexander Pointner, Nils-Christian Böhnke und Christian Ramsauer, TU Graz

Spätestens seit der Finanzkrise müssen Industrieunternehmen stärker mit einer volatilen und unsicheren Umwelt umgehen können. Daher hat das Konzept der agilen Produktion in den letzten Jahren wieder sehr starkes Interesse bei Industrieunternehmen geweckt. Als ein möglicher Stellhebel innerhalb des Operationsbereichs kann die Produktgestaltung angesehen werden. Dabei stehen vor allem die Auswirkungen der Produktgestaltung auf die Produktion im Fokus. Anhand der Design-for-Agility Methode, die zuerst noch detailliert aufgearbeitet wird, wird in diesem Beitrag versucht, den Einfluss der Produktgestaltung auf die Agilität in der Produktion zu verstehen.

Zuerst werden die Themen der Produktgestaltung und der agilen Produktion genauer diskutiert. Danach wird der aktuelle Stand der Literatur zum Thema Produktgestaltung und deren Auswirkungen auf die agile Produktion aufgezeigt und ein Maßnahmenkatalog zum Thema Design-for-Agility entwickelt. Die Anwendung in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie wird dann in den zwei nachfolgenden Kapiteln zum Thema praktische Anwendung und Ergebnisse aufgezeigt.

Produktgestaltung

Die Produktgestaltung stellt neben der Konzeptphase und dem Testen die grundsätzliche Produktentwicklung dar [1]. Im Produktentwicklungsprozess (PEP) werden diese drei Phasen auch noch mit der Produktionsvorbereitung verlängert, an die die Serienproduktion anschließt [2].

Wichtig ist vor allem, welche Kosten die Produktentwicklung verursachen kann. Den Kern stellen dabei die Herstellkosten dar, die im Wesentlichen aus Material- und Fertigungskosten bestehen. Als nächste Ebene können die Selbstkosten beschrieben werden. Diese beinhalten die Herstellkosten und zusätzlich die indirekten Kosten. Auf der obersten Ebene gibt es die Lebenslaufkosten, die als Summe aller Kosten für den Nutzer zusammengefasst werden können. Bild 1 zeigt eine Übersicht dieser drei Kostenebenen [3].

Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass nach jedem Schritt in der Produktentwicklung Änderungen teurer werden und somit sehr gezielt die Auswirkungen der Produktentwicklung bedacht werden müssen [4].

Die Produktgestaltung kann mit drei Aspekten beschrieben werden: die Anordnung von funktionalen Elementen, die Zuordnung von funktionalen Elementen zu physischen Komponenten sowie die Spezifikationen von Schnittstellen zwischen diesen physischen Komponenten [5].

Dabei können zwei grundlegende Prinzipien definiert werden. Einerseits spricht man von der integralen Produktgestaltung, in der physische Komponenten nicht voneinander getrennt sind und damit keine Schnittstellen besitzen. Diese integrale Produktgestaltung wird vor allem für einfache Produkte mit hohen Stückzahlen verwendet [4, 6]. Andererseits spricht man von der modularen Produktgestaltung. Diese nutzt klar definiert Schnittstellen, wobei jedes Modul eine bestimmte Funktion übernehmen soll [5, 6].

Eine wichtige Methode in der Produktgestaltung stellt das Design-for-X (DFX) Konzept dar. Die wichtigsten Ausprägungen sind dabei Design-for-Manufacturing (DFM) und Design-for-Assembly (DFA). Ziel ist es dabei, schon

Product Design as a Lever in the Agile Production – Elaboration and Implementing of the Design-for-Agility Method in the Automobile Industry

Since the financial crisis, industrial companies need to deal with an increase of uncertainty and volatility. Therefore, the concept of agile production is discussed strongly as solution concept to react on this situation. Product design and its influences on an agile production is one important lever to increase agility. This article tries to focus on that topic and presents a Design-for-Agility approach.

Keywords:

Product design, agile production, Design-for-Agility



Dipl.-Ing. Alexander Pointner ist Universitätsassistent und Doktorand am Institut für Innovation und Industrie Management der Technischen Universität Graz.



M. Sc. Nils-Christian Böhnke ist im strategischen Einkauf der BMW Group in München und als externer Doktorand am Institut für Innovation und Industrie Management der TU Graz tätig.



Prof. Dr. Christian Ramsauer leitet das Institut für Innovation und Industrie Management an der TU Graz.

alexander.pointner@
tugraz.at
www.iim.tugraz.at

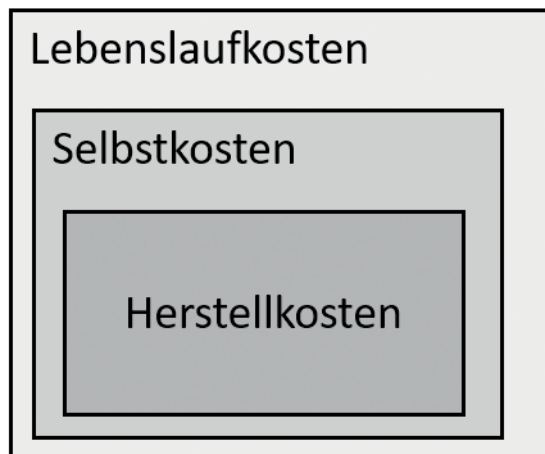


Bild 1: Kostenebenen, die durch die Produktentwicklung verursacht werden [3].

sehr früh den Einfluss der Produktgestaltung auf die spätere Fertigung bzw. Montage zu beachten, damit vor allem die Produktionskosten reduziert werden können. Neben DFM und DFA werden in der Literatur mittlerweile mehr als 40 DFX-Methoden beschrieben [7]. Grundsätzlich besteht die DFX-Methode jeweils aus unterschiedlichen Maßnahmen, die in der Produktgestaltung beachtet werden sollen. Dabei können einzelne Maßnahmen auch in mehreren DFX-Methoden vorkommen [8]. Die wichtigsten DFX-Methoden für die agile Produktion stellen die Konzepte DFM, DFA sowie Design-for-Switchability (DFS) und Design-for-Variety (DFV) dar. DFS zielt dabei auf das schnelle Wechseln von Rohmaterial und das DFV auf das schnelle Wechseln von Varianten ab [9].

In der Literatur wird eine Vielzahl an DFX-Methoden zusammengefasst und an qualitativen Maßnahmen für die Produktgestaltung formuliert, welche als Handlungsempfehlungen und nicht als Regeln gesehen werden sollen. Des Weiteren wird diskutiert, dass bei den DFX-Methoden nicht auf die spezifischen Situationen in Unternehmen eingegangen wird [10]. Dieser Aspekt wird hier in diesem Beitrag aufgegriffen und es wird versucht, DFX im Zusammenhang mit Agilität in Unternehmen anzuwenden.

Agile Produktion

Die Grundidee der Agilität ist eine schnelle Reaktion auf Änderungen. Das Schlagwort Agilität wird derzeit sehr stark genutzt und erwähnt. Dabei muss man aber zwischen unterschiedlichen Ansätzen unterscheiden.

Die agile Organisation versucht schnell auf Änderungen zu reagieren, indem flache Hierarchien sowie dezentrale Team- und Entscheidungsfindung genutzt werden. In diesem Zusammenhang soll zum Beispiel auch das agile

Projektmanagement, entwickelt aus dem IT-Bereich, erwähnt werden.

Ein anderer Aspekt ist die Agilität auf strategischer Ebene. Diese ist sehr eng mit der Geschäftsmodellinnovation sowie dem Megatrend Digitalisierung verbunden. Wie schnell können Unternehmen ihr Geschäftsmodell anpassen und auf Änderung am Markt reagieren? Vor allem durch die Digitalisierung wird dieser Aspekt für viele Unternehmen immer wichtiger.

Der dritte Punkt, der hier erwähnt werden soll, ist die Agilität im Operationsbereich. Dabei geht es vor allem darum, wie schnell Unternehmen auf Volumenschwankungen, Produktmixschwankungen oder neue Produkte reagieren können.

Zusammengefasst kann die Agilität beschrieben werden als Fähigkeit, sich proaktiv auf Unsicherheiten und Volatilität vorzubereiten, um schnell auf Änderungen reagieren zu können, um die ökonomische Situation eines Unternehmens entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu optimieren [11]. Grundsätzlich können diese Änderungen von extern, wie zum Beispiel Nachfrageänderungen vom Markt oder gesetzliche Änderungen, oder von intern, wie zum Beispiel durch Ausfälle oder Verbesserungen, eingeleitet werden [12].

In diesem Beitrag wird der Fokus auf den Operationsbereich gelegt. Agilität in diesem Bereich wird oft auch agile Produktion genannt und soll somit hier weiter verwendet werden. Wichtig ist zu verstehen, dass es bei der agilen Produktion vor allem darum geht, schnell auf Änderungen zu reagieren und dadurch einen Wettbewerbsvorteil zu haben [13].

Einfluss der Produktgestaltung auf die Agilität

In der Literatur gibt es bereits erste Ansätze, um die Auswirkung der Produktgestaltung auf die agile Produktion zu verstehen. Dabei wird zum Beispiel die Auswirkung der modularen Produktgestaltung auf die Reaktionsgeschwindigkeit eines Unternehmens untersucht. Dies wird aber nur für den Aspekt der Modularität untersucht [14]. Des Weiteren wurde der Einfluss modularer Produktgestaltung auf die Proaktivität, den Kundenfokus, die Reaktivität, die Schnelligkeit, die Kompetenz und die Partnerschaft mit anderen Unternehmen untersucht [15].

Eine Literaturübersicht zum Thema agile Produktion wird von [16] präsentiert und fasst da-

Design-for-Agility	
1	Nutzung von bereits genutzten und bewährten Komponenten von zuverlässigen Lieferanten
2	Modulare Produktgestaltung, um Simultaneous Engineering zu ermöglichen
3	Nutzung einer hohen Anzahl an Standardteilen (interne Standardisierung)
4	Nutzung von Software anstatt von Hardware, um Varianten zu schaffen
5	Kompatible Modulschnittstellen, um eine hohe Anzahl von Varianten durch die Kombination unterschiedlicher Standardteile zu ermöglichen
6	Jede Varianteneigenschaft sollte zu genau einem Modul zusammengefasst werden
7	Überdimensionierung von Produkten, um mehrere Varianten zusammenzufassen
8
9	...

Bild 2: Ausschnitt des entwickelten Design-for-Agility Katalogs.

bei auch den Strom der Produktgestaltung und deren Auswirkung auf die agile Produktion unter dem Schlagwort „Design-for-Agility“ zusammen. Dieser Begriff soll hier aufgegriffen werden und weitere Aspekte hinzugefügt werden.

Andere Autoren beschreiben unter dem Begriff Design-for-Agility den agilen Produktionsprozess, ohne konkrete Maßnahmen zu nennen, oder zielen darauf ab, die Produktionsplanung zu verbessern [17].

In diesem Beitrag soll konkreter auf die Maßnahmen der Design-for-Agility Methode eingegangen werden und die Anwendung in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie gezeigt werden.

Design-for-Agility Maßnahmen

Um weiter an dem Thema Design-for-Agility arbeiten zu können, wurde im Zuge eines Forschungsprojekts ein Design-for-Agility Maßnahmenkatalog erstellt. Dazu wurden alle Maßnahmen, die bei DFX-Methoden in der Literatur erwähnt werden, zusammengefasst. Hier soll auch die Arbeit von [10] erwähnt werden, die als Startpunkt genutzt wurde. Des Weiteren wurden unter anderem folgende Quellen genutzt [3, 6, 9, 18-20].

Die Literaturzusammenfassung brachte 89 Maßnahmen, die nach einer qualitativen Bewertung auf 60 Maßnahmen gekürzt wurde, da ähnliche Maßnahmen zusammengefasst wurden. Des Weiteren muss erwähnt werden, dass nach Experteninterviews mit Produktionsleitern aus der Industrie der Fokus auf Maßnahmen aus dem

Bereich DFM, DFA und DFV gelegt wurde, da diese das höchste Potenzial zur Beeinflussung der agilen Produktion darstellen.

Die 60 Maßnahmen wurden als Basis zur Detaillierung der Design-for-Agility Methode herangezogen (Bild 2). Des Weiteren konnten diese in vier grobe Kategorien eingeteilt werden. Dies sind Standardisierung (17 Maßnahmen), Modularisierung (10 Maßnahmen), Handhabung (23 Maßnahmen) sowie sonstige Maßnahmen (10 Maßnahmen). Standardisierung versucht, das Produkt oder die Prozesse zu vereinfachen oder zu verringern, um damit die Komplexität besser in den Griff zu bekommen. Die Modularisierung zielt darauf ab, ein Produkt in Module zu unterteilen, definierte Schnittstellen zu nutzen und Standardmodule mehrfach zu nutzen. Die Handhabung von Produkten in der Produktion zielt vor allem auf das einfache Montieren in der Produktion ab und wird hauptsächlich aus der DFA-Methode befüllt. Alle weiteren Maßnahmen, die keiner der anderen Kategorien zugeteilt werden konnten, wurden den sonstigen Maßnahmen zugeordnet.

Praktische Anwendung

Zur Diskussion des erstellten Design-for-Agility Maßnahmenkatalogs wurde im Zuge eines Forschungsprojekts mit neun Unternehmen zusammengearbeitet. Alle neun Unternehmen kommen aus der Automobil- und Automobilzulieferindustrie und haben zumindest einen Standort in Österreich oder Deutschland. Aus Sicht der Autoren ist es sinnvoll, den vorgeschlagen Maßnahmenkatalog mit Experten aus der Automobilindustrie zu diskutieren, da

Literatur

- [1] Westkämper, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin Heidelberg 2006.
- [2] Eigner, M.; Stelzer, R.: Product Lifecycle Management. Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. Berlin Heidelberg 2009.
- [3] Ehrlenspiel, K.; Kiewert, A.; Lindemann, U.; Mörtl, M.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren – Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung. 7. Auflage. Berlin Heidelberg 2014
- [4] Smith, P. G.: Flexible product development. Building agility for changing markets. San Francisco 2007.
- [5] Ulrich, K.: The role of product architecture in the manufacturing firm. In: Research Policy 24 (1995) 3, S. 419-440.
- [6] Otto, K. N.; Wood, K. L.: Product design. Techniques in reverse engineering and new product development. Upper Saddle River, USA 2001.

- [7] Bauer, S.: Konzept und Umsetzung eines Systems zur strukturierten Sammlung und Bereitstellung von DfX-Richtlinien. In: Proceedings of the 18th Symposium on Design for X. Neukirchen Erlangen 2007.
- [8] Kuo, T.-C.; Huang, S. H.; Zhang, H. C.: Design for manufacture and design for 'X': concepts, applications, and perspectives. In: Computers & Industrial Engineering 41 (2001) 3, S. 241-260.
- [9] Manyika, J.; Sinclair, J.; Dobbs, R.; Strube, G.; Rasse, L.; Mischke, J.; Remes, J.; Roxburgh, C.; George, K.; O'Halloran, D.; Ramaswamy, S.: Manufacturing the future: The next era of global growth and innovation. 2012.
- [10] Dombrowski, U.; Schmidt, S.; Schmidtchen, K.: Analysis and Integration of Design for X Approaches in Lean Design as basis for a Lifecycle Optimized Product Design. In: Procedia CIRP 15 (2014), S. 385-390.
- [11] Schurig, M.; Rabitsch, C.; Ramsauer, C.: Agile Produktion. Ein Produktionskonzept für volatile Zeiten. In: ZWF 109 (2014) 12, S. 956-959.
- [12] Sharafi, A.: Knowledge discovery in databases. Eine Analyse des Änderungsmanagements in der Produktentwicklung. Wiesbaden 2013.
- [13] Ramsauer, C.; Kayser, D.; Schmitz, C.: Erfolgsfaktor Agilität – Chancen für Unternehmen in einem volatilen Marktumfeld. Weinheim 2017
- [14] Kässi, T.; Leisti, S.; Puheloinen, T.: Impact of product modular design on agile manufacturing. In: Mechanika 74 (2008) 6, S. 56-62.
- [15] Saraji, S.; Izadpanahshahi, S.: The Role of Product Architecture in The Agile Manufacturing Firms. 2012.
- [16] Vinodh, S.; Sundararaj, G.; Devadasan, S. R.: Total agile design system model via literature exploration. In: Industrial Management & Data Systems 109 (2009) 4, S. 570-588.
- [17] Kusiak, A.; He, D. W.: Design for agility: a scheduling perspective. In: Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 14 (1998) 5-6, S. 415-427.
- [18] Dowlatshahi, S.: The role of logistics in concurrent engineering. In: International Journal of Production Economics 44 (1996) 3, S. 189-199.
- [19] Huang, G. Q.: Design for X. Concurrent engineering imperatives. London 1996.
- [20] Krause, D.; Kipp, T.: Design for Variety – Efficient support for design engineers. In: Proceedings DESIGN 2008, 10th International Design Conference. Dubrovnik 2008.

dort hohe Anforderung in Richtung Variantenvielfalt, Stückzahlschwankungen und kurzen Markteinführungszeiten besteht. Ansprechpartner waren einerseits für die Produktgestaltung und andererseits für die Produktion in den Unternehmen zuständige Personen. Das heißt, es wurden somit 18 Experteninterviews geführt. Die Ergebnisse, die im Folgenden vorgestellt werden, zeigen die Ähnlichkeit der Unternehmen und fassen die Ergebnisse der Interviews zusammen. Spezialthemen aus den einzelnen Unternehmen wurden nicht berücksichtigt, sondern es wurde versucht, einen allgemeingültigen Katalog für die oben genannten Industrien zu finden.

Ergebnisse

Der Maßnahmenkatalog Design-for-Agility wurde mit allen Experten diskutiert und anhand der Rückmeldungen wurde für die unterschiedlichen Anforderungen einer agilen Produktion jeweils eine Liste mit den wichtigsten Maßnahmen definiert.

Die erste Anforderung einer agilen Produktion ist eine kurze Markteinführungszeit (Time-to-Market) für neue Produkte. Dabei wurde diskutiert, welche Maßnahmen aus dem Design-for-Agility Katalog dafür am besten geeignet sind. Dies waren:

- Nutzung einer hohen Anzahl an Standardteilen (interne Standardisierung)
- Nutzung einer hohen Anzahl an Katalogteilen (externe Standardisierung)
- Nutzung von bereits genutzten und bewährten Komponenten von zuverlässigen Lieferanten
- Produktgestaltung hinsichtlich eines geringen Umrüst- und Zeitaufwands bei vorhandenen Produktionsanlagen
- Modulare Produktgestaltung, um Simultaneous Engineering zu ermöglichen

Die zweite Anforderung einer agilen Produktion war die schnelle Reaktion auf Stückzahlschwankungen aus dem Markt. Dabei wurden folgende fünf Maßnahmen als die Wichtigsten bestimmt:

- Gezielte Rohmaterialauswahl: Nutzung von Rohmaterial, das einfach zu beschaffen ist und auch einfach bearbeitet werden kann
- Nutzung einer hohen Anzahl an Katalogteilen (externe Standardisierung)
- Modulare Produktgestaltung, um Module parallel produzieren zu können
- Nutzung einer hohen Anzahl an Standardteilen (interne Standardisierung)
- Minimierung der Anforderung an Spezialwerkzeuge

Die dritte Anforderung der agilen Produktion ist das schnelle Wechseln zwischen Varianten. Für diese Anforderung wurden folgende Maßnahmen als die Wichtigsten definiert:

- Nutzung von Software anstatt von Hardware, um Varianten zu schaffen
- Produktgestaltung hinsichtlich einer Mehrfachnutzung (Kombination von Varianten)
- Kompatible Modulschnittstellen, um eine hohe Anzahl von Varianten durch die Kombination unterschiedlicher Standardteile zu ermöglichen
- Modulare Produktgestaltung, um Module beliebig zu kombinieren
- Jede Varianteneigenschaft sollte zu genau einem Modul zusammengefasst werden
- Überdimensionierung von Produkten, um mehrere Varianten zusammenzufassen

Vielen der Maßnahmen sind in Unternehmen bereits bekannt. Die Unternehmen sahen aber durch den gezielten Fokus auf die agile Produktion und damit die Möglichkeit, schnell auf Volatilität und Unsicherheit zu reagieren, einen großen Vorteil.

Zusammenfassung

Das Konzept der agilen Produktion wird in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie immer wichtiger, da diese immer stärker auf Änderungen aus dem Markt reagieren müssen. Eine Möglichkeit, die agile Produktion zu stärken, ist der Fokus der Produktgestaltung und deren Auswirkung auf eine agile Produktion. Dazu wurde aus der Literatur ein Design-for-Agility Maßnahmenkatalog definiert, der mit Unternehmen aus der Automobil- und Automobilzulieferindustrie diskutiert wurde. Es hat sich gezeigt, dass vor allem der Fokus auf eine modulare Produktgestaltung und eine hohe Standardisierung die Grundpfeiler in der Produktgestaltung für eine agile Produktion darstellen können. Dies sind bekannte Konzepte, welche aber im Zusammenhang mit der agilen Produktion so noch nicht in der Literatur beschrieben worden sind. Aber auch andere Maßnahmen wurden für die unterschiedlichen Anforderungen der agilen Produktion vorgeschlagen. Unternehmen profitieren einerseits von der gesammelten Liste an Maßnahmen und andererseits von dem Vorschlag für die wichtigsten Maßnahmen in der Automobil- und Automobilzulieferindustrie zur Steigerung der Agilität. Damit kann die Reaktionszeit auf Änderungen vom Markt reduziert werden und ein Wettbewerbsvorteil für Unternehmen entstehen.

Schlüsselwörter:

Produktgestaltung, Agile Produktion, Design-for-Agility

Prozesse optimieren mit grafischem Materialflussrechner

Softwarelösung verbessert Intralogistik von Unternehmen

Rainer Schulz, sysmat GmbH

Unternehmen verfügen oftmals nicht über eine genaue Übersicht aller Schritte entlang der Wertschöpfungskette: Vom Eingang der Ware bis zum fertigen Produkt und schließlich zur Auslieferung kommen viele verschiedene Faktoren zusammen. Von daher bleibt der Einfluss auf die Kette von der Unternehmensseite aus beispielsweise aufgrund von Lieferantenabhängigkeiten an verschiedenen Stellen eingeschränkt. In diesem Zusammenhang gibt es allerdings eine vielfältige Auswahl an Optimierungsmöglichkeiten für unterschiedliche Prozesse im Lager. Lediglich den Materialfluss der Produktion, der innerhalb eines Betriebs einen Großteil der täglichen Vorgänge ausmacht, verwaltet das Unternehmen im Idealfall detailliert. Hierfür verwenden Betriebe häufig Softwarelösungen, um die hohe Anzahl der Vorgänge zu überblicken und erfolgreich zu steuern. Dabei zeigen grafische Oberflächen die Abläufe innerhalb eines Lagers genau auf und offenbaren so Ansatzpunkte für Betriebe.

Damit der Betrieb im Wettbewerb besteht, müssen Software und Maschinen immer auf dem neuesten Stand sein. Nur wer die entsprechende Technik sinnvoll einsetzt, kann die Anforderungen des Markts erfüllen, Wachstum generieren und innovativ handeln. Gleichzeitig nehmen Neuanschaffungen viel Kapital in Anspruch – für viele Unternehmen ein Risiko. Modernisierungsmaßnahmen sind daher stark nachgefragt – einerseits, um Anlagen und Maschinen in einem annehmbaren Zustand zu halten, andererseits, um neue Entwicklungen in die Supply Chain zu integrieren. Doch bei der Modernisierung alter Anlagen durch die Integration neuer Technologien gilt es, einige Problematiken zu beachten.

Daten machen es möglich

Digitale Revolutionen werden nicht auf dem Papier gemacht, sondern finden in den Unternehmen statt. In verschiedenen Industriebereichen vernetzen Hersteller ihre Produktionsprozesse zunehmend digital miteinander. Die Möglichkeit der Vernetzung zeigt sich in vielen Bereichen: Das Erfassen von Daten beginnt dabei bei der Produktionsstätte und wird nach Auslieferung letztlich während des Produkteinsatzes fortgeführt.

Doch viele Unternehmen wenden sich den neuen technologischen Optionen noch nicht zu. Die Zurückhaltung bei den Investitionen wird in einer Studie von Bitkom Research [1] auf die

hohen Kosten zurückgeführt. 72 Prozent der Befragten gaben an, dass die hohen Investitionskosten sie bisher von der Nutzung der neuen Industrie 4.0-Technologien abgehalten haben. Diese Scheu ist langfristig gefährlich, wenn Unternehmen die enormen Potenziale, die ihnen ihre Daten bieten, verkennen. Der digitale Wandel erschließt neue Lösungen und Märkte, die innovative Technologien nutzen, gegen die Unternehmen sich nicht sperren sollten. Andernfalls verlieren Betriebe auf lange Sicht enorm an Wettbewerbsfähigkeit.

Alles überblicken

Kaum ein Unternehmen verschafft sich ohne prozessoptimierende Technologie einen genauen Überblick über den gesamten Materialfluss im eigenen Lager. Aus diesem Grund entwickelte die sysmat GmbH aus Mainhausen einen grafischen Materialflussrechner (MFR), der eine einfache Steuerung automatisierter Anlagen durch ERP-Systeme ermöglicht. Dabei visualisiert der Rechner den Materialfluss und macht Störungen im Ablauf oder Optimierungspotenziale sichtbar. Vom Wareneingang bis zum vorgesehenen Platz im Lager erhält der Anwender einen Überblick über laufende Prozesse. Besondere Vorteile bieten die Steuerung des MFR unabhängig vom

Optimise your Processes with the Graphic Material Flow Computer

Companies often do not have a clear view of all steps along the value chain. Many different factors are involved from receipt of the goods through to the finished product and actual delivery. Accordingly, the companies themselves only have a limited influence on the supply chain, resulting for example from dependence on suppliers at various points. However, in this context there is a wide range of possibilities for improving different processes in the warehouse. It is only the material flow in production, which accounts for a large share of the daily processes in a factory, that a company ideally manages down to the last detail. To this end, companies often use software solutions to keep an overview and implement successful control of the large number of operations. Graphic interfaces give a precise depiction of the workflows within a warehouse, thus revealing possible starting points for the companies to take action.

Keywords:

material flow, warehouse optimization, intralogistics



Rainer Schulz ist Geschäftsführer der sysmat GmbH und beschäftigt sich mit der Automatisierung von Lagern.

info@sysmat.de
www.sysmat.de

Hersteller der Anlagen und die ungebundene Handhabung durch ein breites Spektrum an Schnittstellen. Hier befinden sich nämlich die größten Fallstricke und Verbesserungspotenziale für Unternehmen. Neben Kosten spart eine herstellerunabhängige Modernisierung mit flexiblen Schnittstellen ungefähr 70 Prozent der Inbetriebnahmezeit gegenüber anderen Methoden ein. Bereits vorhandene Software, zum Beispiel SAP, macht der MFR während der Einpflegung nutzbar und der Betrieb verwendet sie nahtlos weiter.

Vor Erneuerung die Situation beleuchten

Schon während der Modernisierung soll das Unternehmen Zeit und Geld sparen. Möglich ist dies nur durch die nahtlose Integration der neuen Software in ein vorhandenes Programm wie zum Beispiel SAP. Die Integration durch Schnittstellen in das bestehende ERP- oder WMS-System verhindert, dass der Betrieb die vorhandene Software anpassen muss. Bestehende Lösungen zu integrieren, spart der Firma Zeit und Geld für Besprechungs- und Implementierungs- sowie Realisierungsaufwand. Auch die Programmierung der Anlage selbst gestaltet sich kostensparend. Die alte Software wird nicht mehr mit jedem Release ausgetauscht, da die Funktionen, die standardmäßig nicht oder nicht mehr abgedeckt sind, die neue Software übernimmt. Sie entlastet das bestehende ERP-System. Gleiches gilt für bestehende Schnittstellen. Anstatt sie zu ändern, werden sie integriert. Eine Modernisierung auf diese Art bietet Einsparungen von 20 bis 30 Prozent der gesamten Kosten. In anderen Fällen würden diese Kosten zusätzlich anfallen. Das externe und flexible Programm sollte auch die Herausforderung meistern, Anlagen an verschiedenen Niederlassungen zu steuern. Die genutzte Software, also beispielsweise SAP, verwendet das Unternehmen weiterhin mit sämtlichen Standard-Funktionen. Aufgrund der Verwendung der vorhandenen

Module und Funktionen entsteht auch kaum Aufwand, wenn ein Release-Wechsel des bestehenden Systems ansteht.

Mit Schnittstellen verknüpfen

Die Modernisierung älterer Systeme bringt verschiedene Schwierigkeiten mit sich, die der MFR bei der Integration bewältigt. Dazu nutzt die Software die bestehenden Schnittstellen alter Anlagen und ermöglicht so die Modernisierung bestehender Maschinen. Der MFR verknüpft flexibel und steuert damit Anlagen von mehr als 20 unterschiedlichen Herstellern wie zum Beispiel Aberle, MLOG oder Daifuku. Mit SAP gliedert der MFR automatisierte Anlagen in das ERP-System ein und ergänzt es im Idealfall um spezielle Funktionen, die Anlagensteuerung und Materialfluss betreffen. Letztlich steuert der Anwender über eine grafische Bedienoberfläche Anlagen unterschiedlicher Hersteller gemeinsam. Dank der vielen Schnittstellen vermeidet der MFR Insellösungen und fasst autark arbeitende Anlagen zusammen. Somit ist eine Komplettanierung sowie die Anschaffung neuer Maschinen nicht mehr notwendig und Unternehmen sparen neben Zeit vor allem Geld. Darüber hinaus erlernen Mitarbeiter die einfache Bedienung bereits während der Inbetriebnahme.

Wichtiges übertragen

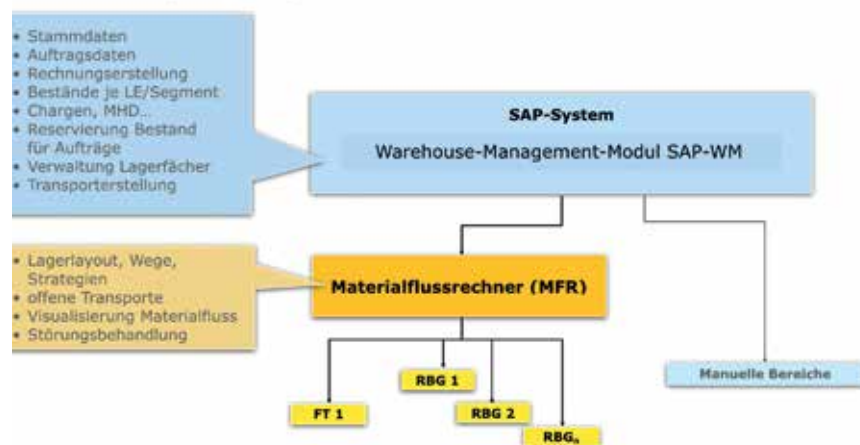
Kommunikation über die flexiblen Schnittstellen läuft hauptsächlich über TCP/IP-Verbindungen ab. Hierbei handelt es sich um eine fest vorgeschriebene Reihenfolge von Arbeitsschritten, bei der die Koppelungen untereinander Telegramme austauschen. Die sogenannten TCP-Ports regulieren die Übertragung und kommunizieren nur das, was der aktuelle Prozess tatsächlich benötigt. Die automatisierte Anlage erhält Anweisungen direkt und meldet erledigte Aufträge via Schnittstelle sofort zurück. Bei SAP-Systemen kommt die Besonderheit hinzu, dass Remote Function Calls IDocs übertragen und dass SAP via TCP/IP ereignisgesteuerte Telegramme kommuniziert. Diese Eigenheit steht im Standard in SAP bereit. Darüber hinaus ist alles programmierbar, sodass Anwender bestehende SPS-Programme nicht abändern müssen und auch hier Kosten sparen.

Vorgänge von Software steuern lassen

Beispielhaft sei hier ein möglicher Ablauf innerhalb eines Lagers, wie in Bild 1 dargestellt, skizziert: Bei Wareneingang meldet die Fördertechnik über den MFR relevante Informationen an das Lagerverwaltungssystem. Der Rechner speichert den Einlagerauftrag und sendet den Transport mit Zielinformationen an die erste Fördertechnik.

Bild 1: Verwaltung der Lagerfächer.

Verwaltung der Lagerfächer mit SAP-WM



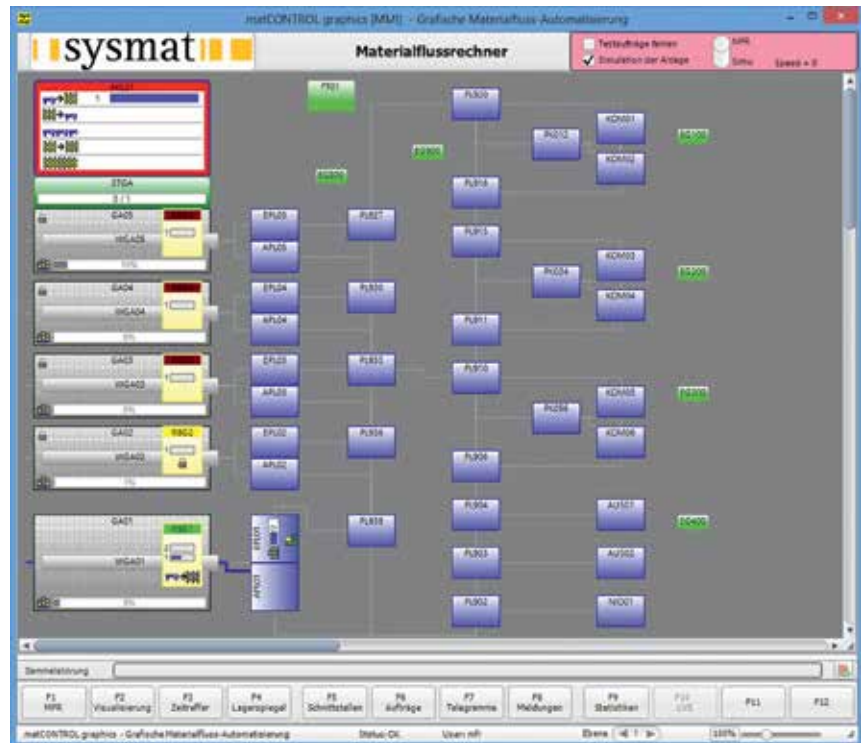
Anschließend sucht der MFR das Ziel der Lagerung aus dem Auftrag heraus und übergibt es mit neuem Anlaufpunkt, beispielsweise dem Verschiebewagen, an die zweite Fördertechnik. Hier ermittelt der MFR mithilfe einer Routenplanung, ob der Wagen das Ziel erreicht. Bei positiver Prüfung sendet der MFR einen Einlagerauftrag an das Regalbediengerät (RBG). Dieses meldet den Vollzug des Auftrags zurück, woraufhin der Rechner den Posten automatisch als erledigt dokumentiert und in das Lagerverwaltungssystem aufnimmt. Fällt der Test hingegen negativ aus, sendet der MFR keinen Fahrauftrag an den Wagen, bis entsprechende Parameter stimmen. Auf diese Weise optimieren Anwender alle Prozesse der Supply Chain, die unter ihrem Einfluss stehen, und reizen alle bestehenden Potenziale aus. Durch die daraus entstandenen Zeitersparnisse generieren Unternehmen einen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz.

Grafik nutzen

Ein effizientes System ermöglicht, dass der Unternehmer den Materialfluss auf einer simplen Oberfläche betrachten kann. Dadurch erhält er einen besseren Überblick über die logistische Abwicklung. Durch eine einfache Visualisierung der Prozesse sind Fehler in der Produktionskette durch eine Leitstandsfunktion sofort ersichtlich und können schnell behoben werden. Bei Behälteranlagen beispielsweise wird die Auslastung so optimiert. Eine klare Optik sorgt darüber hinaus für eine hohe Akzeptanz bei den Mitarbeitern. Eine solche Software-Lösung hilft den Angestellten sowohl bei der Bedienung als auch im Hinblick auf die Erlernbarkeit. Über die grafische Oberfläche werden Materialflüsse im Lager für Anwender sichtbar, wie auf Bild 2 dargestellt.

Bereiche aufteilen

Vor jeder Modernisierung mit einem grafischen MFR steht ein gewisses Maß an Planung. Das Unternehmen muss die Aufgaben zwischen den jeweiligen Programmen verteilen. Hierbei übernehmen die eingesetzten Systeme verschiedene Funktionen. Sinnvolle Aufgabenverteilungen ähneln sich bei den meisten Projekten, da viele Unternehmen für ihre Anlagen SAP nutzen. Diese oder eine andere bereits vorhandene Unternehmenssoftware steuert weiterhin die Stamm- und Auftragsdaten, die Rechnungserstellung, die Bestände je Liefereinheit, die Reservierung sowie den Bestand für Aufträge und Transporteinstellung. Lediglich das Lagerlayout, die Wege sowie die Strategie steuert der externe MFR. Er ist verantwortlich für die offenen Transporte, für die Visualisierung des Materialflusses und die Störungsbehandlung. Durch diese Einteilung wird



deutlich, dass die Schnittstelle vom ERP-System zum MFR sehr einfach zu konstruieren ist. Da beispielsweise die Stammdaten für den grafischen Rechner nicht relevant sind, muss er darüber nicht mit dem bisherigen Programm kommunizieren. Für den Anwender bleibt die Verwaltung dieser Daten in einer Software.

Prioritäten setzen

Eine solche klare Aufgabenverteilung reduziert die Kommunikation zwischen MFR und dem vorhandenen System. Für seine Arbeit benötigt der MFR keine Informationen über Materialstamm, Lagereinheiten, Stücklisten, Produktionsversorgung oder über Lieferanten und Kunden. Es sollte nur das durch die Schnittstelle kommuniziert werden, was auch wirklich für einen optimierten Materialfluss gebraucht wird. Dadurch entsteht eine Synergie, da der MFR diese Funktionen auspart und sie beispielsweise von SAP verwalten lässt. Lagereinheiten bleiben in der Verantwortung des ERP. Um diese aber in der Software deutlich zu machen, bekommt jede Einheit eine Nummer. Die verfügbaren Standardfunktionen der Lagereinheiten-Verwaltung bleiben bestehen. Der MFR kann dabei Lagereinheiten mit mehr als nur einem Produkt bilden, lagert komplette Lagereinheiten intern um, zeigt den Inhalt der Bestände an, druckt Belegscheine und plant die Warenausgänge. Alles, was nur indirekt mit dem Materialfluss zu tun hat, wird von SAP übernommen. Das Unternehmen braucht keinen Bestandsabgleich zwischen den jeweiligen Softwareprodukten vorzunehmen. Dabei zeigt der MFR nicht an, wie der Bestand aussieht, son-

Bild 2: Materialflüsse werden auf einer grafischen Oberfläche aufgezeigt.



Bild 3: Über Verschiebewagen wird die Ware verteilt.

dem wie die Produktion beziehungsweise die Lagerung vorangeht. Gleiches gilt für die Inventur. Auch hier ist wieder SAP oder eine andere Software verantwortlich.

Mit Software modernisieren

Die vorherigen Ausführungen zeigen deutlich, dass Unternehmen sich vorab im Klaren sein müssen, wie sie sich die Optimierung ihrer Produktionskette vorstellen. Benötigt ein Unternehmen für die Aufgabenverteilung Hilfe, stellen Experten wie die sysmat GmbH besondere Berater zur Verfügung. Wer Unternehmen in Fragen zur Anlagenautomatisierung unterstützt, muss wissen, wie diese Anlage speziell bei diesem Betrieb gesteuert wird, um ein optimales Ergebnis zu erzielen. Gerade in modernen Lagern gilt es, den Überblick zu bewahren. Nach der Modernisierung durch Integration des MFR funktioniert das Zusammenspiel der unterschiedlichen Anlagen grundsätzlich besser, selbst wenn nur Teilbereiche der Supply Chain von der Optimierung betroffen waren. Dem Anwender ermöglicht das Unabhängigkeit vom Hersteller der bisherigen Software und Integration der neuen in gerade errichtete oder bereits bestehende Lager- und Produktionsbereiche. Das macht den Materialfluss effizienter und transparenter.

Branchenübergreifend einsetzbar

Mit der Verwendung des MFR optimieren Unternehmen aus unterschiedlichen Branchen ihren Materialfluss erfolgreich. Beispielsweise in Lebensmittelbetrieben ist eine effiziente Produktion von entscheidender Bedeutung. Unternehmen dieser Branche sind zudem dazu verpflichtet, Vorschriften zur Lebensmittelsicherheit

einzuhalten. Gerade dadurch ist hier das Just-in-time-Prinzip enorm wichtig. Der MFR ermöglicht das automatische Palettieren, ohne dass die Kühlkette unterbrochen wird. Die befüllten Paletten können in Regalen, beispielsweise in einer Kühlgasse, zwischengelagert werden, damit sie beim Auslagern oder Kommissionieren möglichst lange im gekühlten Bereich verbleiben. Diese neue Zwischenpufferung dient auch als zusätzliche Staustrecke. Durch eine Puffersteuerung ist es in der Fördertechnik möglich, die Ware nach Touren und Kunden zu sortieren. Auch in der Getränkeindustrie sind viele unterschiedliche Anlagen in den Produktionsprozess eingebunden – beispielsweise bei der Herstellung von Saft oder Limonade. Von der Reinigung der Flaschen über das Einfüllen der Getränke bis zum letztendlichen Einsortieren in die Getränkekiste: Das Gefahrenpotenzial für Störungen ist groß.

Planung steht am Anfang

Jedes Unternehmen steht bei neuen Projekten vor denselben Fragen: Wie sieht der Materialfluss momentan aus? Wie sollte ein optimaler Materialfluss aussehen? Wie erreichen wir diesen optimalen Materialfluss? Steht der Hersteller der Software noch über eine Hotline und für eine Erweiterung zur Verfügung? Gibt es noch Ersatzteile für alle eingesetzten Komponenten? Ohne sich vorab mit diesen Fragen beschäftigt zu haben, gestaltet sich eine Optimierung des Materialflusses schwierig. Betriebe sollten zunächst alle Prozesse hinterfragen. Diese Prozesse beginnen bei der Anlieferung der Materialien und enden mit der Auslieferung des fertigen Produkts. Ein Beispiel: Die Anlieferung wird immer an ein Zentrallager vollzogen. Von dort verteilt der Betrieb die Ware mit Schiebewagen wie auf Bild 3 an die entsprechenden Stellen im Unternehmen. Eine mögliche Lösung stellt die Überprüfung dar, ob eine direkte Anlieferung an die Maschine sinnvoll wäre. So sparen Betriebe mindestens einen Zwischenschritt.

Ein kontinuierlicher Prozess

Die Tatsache, dass Deutschland sich nicht in der digitalen Revolution, sondern im digitalen Wandel befindet, sollte Unternehmen aufatmen lassen. Es ist wichtig, dass Unternehmen auch die kleinen, kostengünstigen Schritte hin zur smarten Factory nutzen. Wer nach und nach Anlagen und Lager mit Lösungen wie dem MFR modernisiert und so auch die Mitarbeiter an die neuen Technologien gewöhnt, schafft langfristig mehr Akzeptanz für den digitalen Wandel.

Schlüsselwörter:
Materialfluss, Lageroptimierung, Intralogistik

Literatur

[1] BITKOM: 4 von 10 Unternehmen nutzen Industrie 4.0-Anwendungen. URL: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/4-von-10-Unternehmen-nutzen-Industrie-4.0-Anwendungen.html>, Abrufdatum 20.07.2017.



Die Rolle von ERP-Systemen im Zeitalter der Digitalisierung

1. Auflage 2017
Norbert Gronau,
Christian Glaschke (Hrsg.)
Gito Verlag, 277 S.
EUR: 44,80
ISBN: 9783955451974

ERP-Systeme gehören zu den wichtigsten Informationssystemen im Unternehmen. Der vorliegende Band enthält praxisorientierte Beiträge, die aus Sicht von Wissenschaft und Praxis Digitalisierung und deren Auswirkungen auf die Prozesse im Unternehmen beleuchten. Durch den Fokus auf Digitalisierung konnten die Autoren aufzeigen, durch welche Strategie und welche Beratungsleistungen die Transformation der Kunden ermöglicht wird. Im vorliegenden Band sind sowohl technische als auch organisatorische Konzepte enthalten, die es ermöglichen, den Einstieg in die Digitalisierung vorzubereiten und umzusetzen. Unter anderem werden folgende Fragen behandelt: Welche Bedeutung hat das Thema Digitalisierung für mein Unternehmen und meine Kunden? Welches Vorgehen ist geeignet, die Auswahl und Einführung eines ERP-Systems umzusetzen? Welche Erfahrungen haben andere Anwender und welche Projekte sind aktuell in der Umsetzung? Welche Methoden helfen bei der Bewältigung der Herausfor-

derungen des Stammdatenmanagements? Was kann ich aus den ERP-Daten lernen?

Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik Ergebnisse des Verbundforschungsprojekts MetamoFAB

1. Auflage 2017
Nils Weinert, Martin Plank,
André Ullrich (Hrsg.)
Springer Vieweg, 228 S.
EUR: 69,99
ISBN: 978-3-662-54316-0

Dieses Werk entstand im Rahmen des Verbundforschungsprojekts MetamoFAB als gemeinsamer Ergebnisbericht des Projektkonsortiums. Neben methodischen Vorgehensweisen und Hilfsmitteln werden insbesondere auch exemplarische Fallbeschreibungen aufgeführt. Auf methodischer Seite wird die beschriebene generelle Vorgehensweise zur Planung und Umsetzung der Transformation von Unternehmen in die Industrie 4.0 durch detaillierte methodische Hilfestellungen für die Entwicklung der Aspekte Mensch, Technik und Organisation in der Fabrik ergänzt. Die detaillierte Beschreibung erlaubt eine eigenständige praktische Umsetzung des Vorgehens. Die vorgestellten Fallbeispiele stellen Erfahrungsberichte dar, die zwar keine direkte Übertragbarkeit, sehr wohl aber eine Orientierung bei der Entwicklung eigener Lö-



sungsansätze und Transformationspfade bieten. Handlungsempfehlungen, die aus den Erfahrungen sowohl in der Methodenentwicklung als auch der exemplarischen Anwendung in den Fallbeispielen abgeleitet wurden, bieten kurze und prägnante Hinweise für die eigene Arbeit.



CSR und Digitalisierung

Der digitale Wandel als Chance und Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft

1. Auflage 2017
Alexandra Hildebrandt, Werner Landhäußer (Hrsg.)
Gabler Verlag, 1181 S.
EUR: 49,99
ISBN: 978-3-662-53201-0

Dieses Buch ist ein Kaleidoskop unserer Gesellschaft und Zeit. Es beschäftigt sich mit Herausforderungen, Chancen und Risiken der größten Transformation der Geschichte: der Digitalisierung. Vorge stellt werden neue Methoden zur nachhaltigen Steuerung der digitalen Transformation, neue Denkstile sowie neue Formen interdisziplinärer Zusammenarbeit – etwa mit Geistes-, Sozial- und Naturwissenschaftlern, Ökonomen, Informatikern, Psychologen, Philosophen und Vertretern der Kreativwirtschaft. Sie zeigen, dass Digitalisierung weder gefürchtet noch verehrt

werden muss, denn es geht vor allem darum, ihre Rolle zu verstehen, um sie nachhaltig zu gestalten.

Digitales Dilemma

Unternehmen im Spannungsfeld zwischen Effizienz und Innovation – Ein Wegweiser in die digitale Zukunft

1. Auflage 2017
Bert F. Hölscher
tradition, 328 S.
EUR: 29,95
ISBN: 978-3-7345-8392-6

Die digitale Revolution zwingt die etablierten Unternehmen, ihre Geschäftsprozesse, Produkte und Services zu digitalisieren, um den Anschluss an die digitalisierte Wirtschaft nicht zu verpassen. Idealerweise treiben die in einem Markt etablierten Spieler die Entwicklung. Dies setzt voraus, das bestehende und (noch) erfolgreiche Geschäftsmodell selbst in Frage zu stellen und im extremsten Fall sogar selbst zu kannibalisieren. Das grundsätzliche Dilemma für die etablierten Unternehmen besteht somit darin, den Spagat zwischen Existenzsicherung im Hier und Jetzt sowie der Vorbereitung einer Zukunftsfähigkeit zu bewerkstelligen. Dieses Buch gibt eine Antwort darauf, wie vor allem die etablierten Unternehmen die Herausforderungen der Digitalen Transformation angehen und das Digitale Dilemma erfolgreich meistern können.



Industrie 4.0 Management Reviewer 2017

Die Redaktion bedankt sich ganz herzlich bei allen Gutachtern, die Beiträge für die Industrie 4.0 Management Ausgaben im Jahr 2017 bewertet haben. Namentlich werden nachstehend die Reviewer genannt, die der Veröffentlichung zugestimmt haben:

Dr. Nizar Abdelkafi, Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW

Dr. Susanne Altendorfer-Kaiser, Montanuniversität Leoben

Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich, TU Kaiserslautern

Dr. Henning Baars, Universität Stuttgart, Betriebswirtschaftliches Institut

Prof. Dr. rer. pol., Dipl.-Hdl. Manfred Becker, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Univ.-Professor Dr. Dr. habil. Wolfgang Becker, Otto-Friedrich-Universität Bamberg

Prof. Dr. Tobias Bernecker, Hochschule Heilbronn

Prof. Dr.-Ing., Markus Brautsch, Ostbayerischen TU Amberg-Weiden

Prof. Dr. Arne Buchwald, EBS Universität

Prof. Dr. Hans Ulrich Buhl, Universität Augsburg

Prof. Dr. Angelika C. Bullinger-Hoffmann, TU Chemnitz

Dr. Ingo Cassack, ARTS Holding SE

Prof. Dr.-Ing. Jörg Dalhöfer, Fachhochschule Lübeck

Prof. Dr.-Ing. habil. Wilhelm Dangelmaier, Universität Paderborn, Heinz-Nixdorf-Institut

Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse, TU Dortmund

Prof. Dr.-Ing. Christian Diedrich, Otto von Guericke Universität Magdeburg, Institut für Automatisierungstechnik (IFAT)

Prof. Dr. Barbara Dinter, TU Chemnitz

Prof. Dr. Christian Ewering, Fachhochschule der Wirtschaft

Univ.-Prof. Dr. Carsten Felden, TU Bergakademie Freiberg

Dr. Ulrich Franke, Institut for Supply Chain Security

Dr. Urs Frey, Universität St. Gallen, KMU - Schweizerisches Institut für Klein- und Mittelunternehmen

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut

Dr.-Ing. Stefan Gerlach, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Prof. Dr. Ronald Gleich, EBS Business School

Dr. Patrick Graichen, Agora Energiewende

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche, TU Darmstadt, Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen

Dr. Andreas Heindl, acatech

Dr.-Ing. Thomas Heller, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Dr.-Ing. Achim Kampker, RWTH Aachen

Dr.-Ing. Holger Kett, Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Prof. Dr. Hans Kleine Büning, Universität Paderborn

Prof. Dr. Florian Klug, Hochschule München

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köbler, Hochschule Offenburg

Prof. Dr.-Ing. Axel Kuhn, Universität Dortmund

Dr. Harald Lampesberger, FH Hagenberg

Prof. Dr.-Ing. Carsten Lanquillon, Hochschule Heilbronn

Prof. Dr. Heiner Lasi, Universität Stuttgart

Dr.-Ing. Frank Lennings, Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V.

Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Holger Luczak, RWTH Aachen

Prof. Dr. Alexander Mädche, Karlsruher Institut für Technologie

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Mantwill, Helmut-Schmidt-Universität, Universität der Bundeswehr Hamburg

Dr.-Ing. Rüdiger Mecke, Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich, TU Darmstadt, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen

Dr. Andreas Metzger, Universität Duisburg-Essen

Prof. Dr. Marco Mevius, Universität Konstanz

Prof. Dr. Klaus Moser, Universität Erlangen-Nürnberg

Dr. Rahild Neuburger, Ludwig-Maximilians-Universität München

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing Jörg Niemann, Hochschule Düsseldorf

Prof. Dr. rer. nat. Oliver Niggemann, Hochschule Ostwestfalen-Lippe, inIT - Institut für industrielle Informationstechnik

Prof. Dr. Robert Obermaier, Universität Passau

Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova, Universität Karlsruhe, Institut für Informationsmanagement im Ingenieurwesen

Dr. rer. nat. Dipl.-Inf. Joschko Philip, Universität Hamburg

Prof. Dr. Frank T. Piller, RWTH Aachen, Technologie und Innovationsmanagement (TIM)

Prof. Dr.-Ing., Andreas Pott, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Dr. Thomas Reiß, Universität Karlsruhe, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI

Prof. Dr. Klaus Richter, Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph Riedel, TU Chemnitz

Prof. Dr. Gerhard Satzger, KSRI - Karlsruhe Service Research Institute

Apl. Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Sauer, Universität Oldenburg

Dr. Michael Schlesinger, Prognos AG

Prof. Dr.-Ing. Robert Schmitt, RWTH Aachen

Dr. Katja Schneider, RWTH Aachen

Prof. Dr. Klaus-Peter Schoeneberg, HAW Hamburg

Dr. Harald Schöning, Software AG

Prof. Dr. Marko Schuba, FH Aachen

Univ.-Prof. Dr. Axel C. Schwickert, Justus-Liebig-Universität Gießen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Specht, TU Cottbus

Prof. Dr. Thomas S. Spengler, TU Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark, Fraunhofer Institut für

Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK

Prof. Dr.-Ing. habil. Ralph H. Stelzer, TU Dresden

Prof. Dr.-Ing. Frank Straube, TU Berlin

Prof. Dr. Markus Taube, Universität Duisburg-Essen, Konfuzius-Institut Metropole Ruhr

Dr.-Ing. Robby Technow, ZAL Zentrum für Angewandte Luftfahrtforschung GmbH

Prof. Dr. Falk Uebernickel, Universität St. Gallen

Prof. Dr. h. c. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann, TU Berlin

Prof. Dr. Kai-Ingo Voigt, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg

Prof. Dr.-Ing. Nina Vojdani, Universität Rostock

Prof. Dr. Gottfried Vossen, Universität Münster

Dr.-Ing. Rui Wang, TU München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel, Universität Kassel, Institut für Produktionstechnik und Logistik

Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich, Universität Siegen

Univ.-Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Horst Wildemann, TU München

Prof. Dr. Axel Winkelmann, Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Univ.-Prof. Dr. habil. Herwig Winkler, Alpen-Adria-Universität Klagenfurt

Dr. Markus Witthaut, Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Prof. Dr.-Ing. Johannes Wortberg, Universität Duisburg-Essen

Absicherung von IT-Risiken im Produktionsumfeld – Integrierter Schutz von Informations- und Produktionstechnologie

Die Risiken, welchen Fabrikinfrastrukturen durch IT-Angriffe ausgesetzt sind, erfordern eine gemeinsame Betrachtung von IT-Sicherheit und der Absicherung der Operational Technology. Eine integrierte Betrachtung und ein kontinuierliches Management der IT-Sicherheit helfen dabei, gezielte Maßnahmen zu identifizieren und konzertiert umzusetzen. *Christof Thim, Universität Potsdam*

Evolution der Werkzeugkiste - Der Reifegrad der Methoden in der Industrial Security

Nach einem Spätstart hat die OT-Security in den letzten Jahren bedeutend gegenüber der IT-Security aufgeholt. Viele technische IT-Sicherheitsmaßnahmen sind auch für Maschinen und Anlagen verfügbar. Bestimmte Grundfragen und Widersprüche der IT-Security werden hier besonders deutlich und müssen daher möglicherweise in der OT-Security gelöst werden.

Timo Kob, David Fuhr, HiSolutions AG

Technologieauswahl bei der Mensch-Roboter-Kollaboration

Durch den Einzug der Robotik in der industriellen Produktion, wo Mensch und Roboter zeitlich und räumlich zusammenarbeiten (MRK-Mensch-

Roboter-Kollaboration), verschwindet zunehmend die strikte Trennung der Arbeitsräume. Produktionsunternehmen, in denen MRK Szenarien umgesetzt werden sollen, erfordern eine transparente und reflektierte Technologieauswahl bezüglich der Absicherung des Werkers gegenüber der Gefährdung durch den Roboter. *Pierre T. Kirisci, Universität Bremen, Zied Ghrairi, BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH, Marvin Overbeck, Universität Bremen*

Nachhaltige Prozessfähigkeit der Wiederbeschaffungszeit bei autonomen Transportsystemen

Für die Industrie 4.0 stellen autonome Transportsysteme einen wichtigen Anwendungsfall zur Steigerung der Ressourceneffizienz dar. Der Beitrag beschreibt eine Vorgehensweise, wie die Prozessfähigkeit der Wiederbeschaffungszeit auf Six Sigma Niveau bei autonomen Transportsystemen realisiert werden kann.

Nico Hanenkamp, FAU Erlangen-Nürnberg, Martin Müller, Fritz Dräxlmaier GmbH & Co. KG, Christian Ochs, Robert Bosch GmbH

Ausgabe	Schwerpunktthema	erscheint
2.2018	Cross Industry 4.0	April 2018
3.2018	Industrial Internet of Things	Juni 2018
4.2018	Intelligente Materialien	August 2018

impresum

Herausgeber

Prof. Dr.-Ing. Norbert Gronau, Universität Potsdam
Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter, Universität Bremen

Herausgeber-Beirat

Prof. em. Dr.-Ing. Helmut Baumgarten, Technische Universität Berlin
Prof. Dr.-Ing. Matthias Kleiner, Universität Dortmund, Präsident der Leibniz-Gemeinschaft
Prof. Dr. Peter Loos, DFKI GmbH, Institut für Wirtschaftsinformatik
Prof. Dr. em. August-Wilhelm Scheer, Scheer Group
Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Präsident von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.
Prof. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. em. Engelbert Westkämper, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart

Anschrift der Redaktion

Universität Bremen, Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer und logistischer Systeme (PSPS)
Hochschulring 20, 28359 Bremen

Leitende Redakteurin

Dipl.-Betriebsw. Aleksandra Himstedt (AH)
Tel.: 0421 / 218-50107, Fax: 0421 / 218-50154
E-Mail: himstedt@industrie-management.de

Wissenschaftliche Redaktion

M.Sc. Systems Engineering Dirk Schweers (DSch)
Tel.: 0421 / 218-50124
E-Mail: schweers@industrie-management.de
M.Sc. Wirtsch.-Ing. Daniel Sommerfeld (DS)
Tel.: 0421 / 218-50104
E-Mail: sommerfeld@industrie-management.de

Redaktionsassistentz

Maike Gehling (MG), E-Mail: gehling@industrie-management.de

Nachrichten

Wiebke Wegener (WW)

Tel.: 033231 / 6216-6

E-Mail: nachrichten@industrie-management.de

Anzeigenleitung

Martina Braun, Detmolder Str. 62, 10715 Berlin
Tel.: 030 / 419383-65, Fax: 030 / 419383-67
E-Mail: anzeigen@industrie-management.de
Zurzeit gilt Anzeigenpreisliste Nr. 33

Bezugsbedingungen

Industrie 4.0 Management erscheint jeden 2. Monat.
Jahresabonnementpreis Inland 291,00 EUR zzgl. Versand, Einzelheft 56,50 EUR Inlandspreise inkl. 7 % USt. inkl. Versand. E-Journal 61,50 EUR Inlandspreise inkl. 19 % USt. Für Studenten bei Einsendung einer Immatrikulationsbescheinigung 50 % Ermäßigung. Auslandspreise auf Anfrage.

Verlag und Vertrieb

GITO mbH Verlag für Industrielle Informationstechnik und Organisation
Detmolder Str. 62, 10715 Berlin,
E-Mail: service@industrie-management.de

© 1996-2017 GITO mbH - Verlag für Industrielle Informationstechnik und Organisation
33. Jahrgang 2017, ISSN 2364-9208

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung des Verlags strafbar.

Layout/Satz/Titelgrafik: Wiebke Wegener, E-Mail: satz@gito.de

Druck: Westermann Druck Zwickau GmbH

Industrie 4.0 Management ist Organ der Fachgruppe „Informationssysteme in Industrie und Handel“ der Gesellschaft für Informatik e.V. sowie Organ der Wissenschaftlichen Gesellschaft (Hochschulgruppe) für Arbeits- und Betriebsorganisation HAB e.V.

Industrie 4.0 Management enthält qualitätsgesicherte Beiträge, die von unabhängigen Reviewern begutachtet werden. Die Redaktion koordiniert den Reviewprozess; auf der Grundlage der Reviewergebnisse entscheiden die Herausgeber über die Annahme.





LDIC 2018

6th International Conference on Dynamics in Logistics 20. bis 22. Februar 2018

Universität Bremen

Gegenstand der Konferenz ist die Identifizierung, Analyse und Beschreibung der Dynamik logistischer Prozesse und Netze. Das Themenspektrum reicht von der Modellierung, Planung und Steuerung von Supply Chains und Anwendungen in logistischen Prozessen und Netzwerken, über maritime Logistik, cyber-physische Produktion und Robotik bis zu logistischen Systemen.

www.ldic-conference.org

