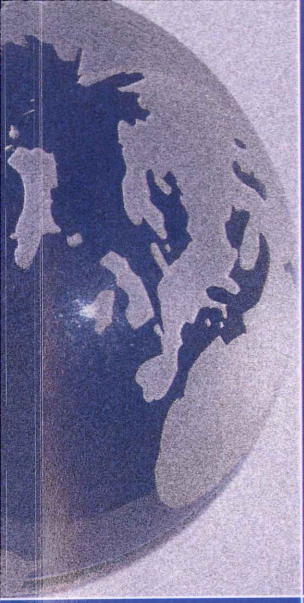

Schriftenreihe der Hochschulgruppe
für Arbeits- und Betriebsorganisation e. V. (HAB)

Wolfgang Kersten, Hans Koller, Hermann Lödding (Hrsg.)

Industrie 4.0
Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern

GITO

Prof. Dr. Hans Koller
Helmut Schmidt Universität
Professur für Betriebswirtschaftslehre, insbes. Industriebetriebslehre & Technologiemanagement
Holstenhofweg 85
22043 Hamburg

Prof. Dr. Dr. h. c. Wolfgang Kersten
Technische Universität Hamburg-Harburg
Institut für Logistik und Unternehmensführung
21071 Hamburg

Prof. Dr.-Ing. habil. Hermann Lödding
Technische Universität Hamburg-Harburg
Institut für Produktionsmanagement und -technik
21071 Hamburg

ISBN 978-3-95545-083-0

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

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

Veröffentlicht im GITO Verlag 2014
Gedruckt und gebunden in Berlin 2014

© GITO mbH Verlag Berlin 2014

GITO mbH Verlag
für Industrielle Informationstechnik und Organisation
Detmolder Straße 62
10715 Berlin
Tel.: +49.(0)30.41 93 83 64
Fax: +49.(0)30.41 93 83 67
E-Mail: service@gito.de

Internet: www.gito.de

Inhaltsverzeichnis

Modellierungsansätze für Industrie 4.0 11

Die Arbeit (auch) vom Menschen her denken: Modellierung produktiver Arbeit – Eine Kernaufgabe bei Industrie 4.0 13

Peter Kuhlang, Thomas Finsterbusch, Markus Busenbach, Bernd Britzke, Thomas Mühlbradt, Knut Kille

Erhöhung der Ressourceneffizienz durch ein Modellierungs- und Analysetool zur Unterstützung kognitiver Prozesse 37

Markus Gram, Hubert Biedermann

Modellbasierte Gestaltung vernetzter Systeme in der Fabrik im Fokus der Energie- und Ressourceneffizienz 53

Hendrik Hopf, Egon Müller

Die Bedeutung von Industrie 4.0 als Enabler für logistische Modelle 79

Peter Nyhuis, Jonas Mayer, Thorben Kuprat

Industrie 4.0: Auswirkungen auf das Supply Chain Risikomanagement .. 101

Wolfgang Kersten, Meike Schröder, Marius Indorf

Der Mensch und Industrie 4.0 127

Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution 129

Uwe Dombrowski, Christoph Riechel, Maren Evers

Chancen zur Bewältigung des Fachkräftemangels in KMU durch die Urbane Produktion von morgen 155

Dominik T. Matt, Erwin Rauch

Integration von Lösungskompetenz operativer Mitarbeiter des Shop-Floors in die Produktionsplanung und -steuerung 177

Lukas Lingitz, Philipp Hold, Robert Glawar, Wilfried Sihn

Umgang mit Paradoxien von Industrie 4.0 – Die Bedeutung reflexiven Arbeitshandelns 199

Uta Wilkens, Thomas Süße, Bernd-Friedrich Voigt

Humanzentrierte Entscheidungsunterstützung in intelligent vernetzten Produktionssystemen 211

Egon Müller, Ralph Riedel

Erweiterung einer kognitiven Architektur zur Unterstützung der Mensch-Roboter-Kooperation in der Montage 239

Christopher M. Schlick, Marco Faber, Sinem Kuz, Jennifer Bützler

Industrie 4.0 in der Anwendung 265

Industrie 4.0 – Wege und Lösungsbeispiele 267

Michael Schenk

Der Einfluss von Cyber-Physical Systems auf die Gestaltung von Produktionssystemen **279**

Norbert Gronau

Augmented Reality zur kundenintegrierten Variantenplanung **297**

Fedor Titov, Axel Friedewald, Hermann Lödding

Ansätze für eine Online-Optimierung der Losgrößen in der Serienfertigung **317**

Wilhelm Dangelmaier

Intelligenter Störungsassistent im Serienanlauf als Industrie 4.0-Anwendungsfall **343**

Dieter Spath, Bastian Pokorni, Oliver Ganschar, Sebastian Schlund

Wissensentdeckung in vernetzten, industriellen Datenbeständen **373**

Jochen Deuse, Olga Erohin, Daniel Lieber

IT-Sicherheit als besondere Herausforderung von Industrie 4.0 ..... **397**

Sander Lass, David Kotarski

Modellierungsansätze für Industrie 4.0

Die Arbeit (auch) vom Menschen her denken: Modellierung produktiver Arbeit – Eine Kernaufgabe bei Industrie 4.0

Peter Kuhlang, Thomas Finsterbusch, Markus Busenbach, Bernd Britzke, Thomas Mühlbradt, Knut Kille

Erhöhung der Ressourceneffizienz durch ein Modellierungs- und Analysetool zur Unterstützung kognitiver Prozesse

Markus Gram, Hubert Biedermann

Modellbasierte Gestaltung vernetzter Systeme in der Fabrik im Fokus der Energie- und Ressourceneffizienz

Hendrik Hopf, Egon Müller

Die Bedeutung von Industrie 4.0 als Enabler für logistische Modelle

Peter Nyhuis, Jonas Mayer, Thorben Kuprat

Industrie 4.0: Auswirkungen auf das Supply Chain Risikomanagement

Wolfgang Kersten, Meike Schröder, Marius Indorf

Integration von Lösungskompetenz operativer Mitarbeiter des Shop-Floors in die Produktionsplanung und -steuerung

Lukas Lingitz, Philipp Hold, Robert Glawar, Wilfried Sihn

1 Einleitung

Hohen Absatzschwankungen, steigende Variantenzahlen, häufigere Produktneuanläufe, die Reduktion des Produktlebenszyklus und die Notwendigkeit auf kurzfristig auftretende Störungen flexible zu reagieren prägen das Umfeld der industriellen Fertigung. (Schuh & Stich, 2012) Diesen Herausforderungen begegnete die Industrie mit einer Steigerung der Flexibilität ihrer Produktionssysteme. So wurden zum Beispiel flexible Arbeitszeitmodelle, rekonfigurierbare und flexibel einsetzbare Maschinen entwickelt und wandlungsfähige Fabrikstrukturen geschaffen. (Wiendahl, et al., 2007)

Die Produktionsplanung und -steuerung ist für den effizienten Betrieb dieser flexiblen und komplexen Produktionssysteme verantwortlich und sichert damit den Unternehmenserfolg nachhaltig. (Eversheim, 2002) Um Planer und Steuerer bei der Bewältigung Ihrer Aufgaben zu unterstützen wurden IT-Systeme wie z.B. ERP-Systeme, APS-Systeme oder MES-Systeme entwickelt. Diese verwenden oft komplexe mathematische Optimierungsmodelle und -verfahren sowie Heuristiken, um für gegebene Inputdaten optimale oder nahezu optimale Planungsergebnisse zu generieren.(Kletti, 2007) Im realen Einsatz zeigt sich jedoch, dass es zu Abweichungen zwischen den Produktionsplänen, die mit solchen Systemen gemacht werden und der realen Ausführung kommt. Dies liegt unter anderem daran, dass die Modelle das reale Produktionssystem nicht abbilden und somit nicht geeignet sind um längerfristige Vorhersagen zu treffen. (Schuh, et al. 2013b)

Ein weiterer Grund warum es zu Abweichungen kommt ist, dass die Planungsergebnisse für die operativen Mitarbeiter häufig nicht

nachvollziehbar sind. (Schönsleben, 2011 ; Schuh, Potente & Thomas, 2013c) Dies kann dazu führen, dass beispielsweise Reihenfolgen von einem Mitarbeiter verändert werden, um Rüstzeiten an seiner Maschine zu minimieren. Die logistischen Zusammenhänge und Auswirkungen auf anderen Arbeitsplätze und das Gesamtsystem können jedoch auf der operativen Ebene nicht vorhergesagt bzw. überblickt werden. (Wiendahl & Behringer, 2006, 19-32)

In diesem Beitrag soll ein Konzept zur Produktionsplanung und -steuerung vorgestellt werden, wodurch einerseits das reale Produktionssystem umfassender abgebildet wird und Möglichkeiten bietet, die operativen Mitarbeiter und deren Wissen in die Planung zu integrieren. Dies heißt konkret, dass operative Mitarbeiter wie auch Meister oder der Planer, die Möglichkeit bekommen sollen, in einem Planungssystem eigene Vorschläge – z.B. alternative Vorschläger für die Fertigungsreihenfolge in Folge einer im System nicht vorhandenen Restriktion – zu simulieren. Die Auswirkungen durch diese Veränderung soll mittels geeigneter Kennzahlen – für die jeweilige Ebene – visualisiert werden, um auf dieser Basis die Verbesserungsvorschläge zu verwerfen oder bis an die entscheidende Instanz weiterzugeben. Dort kann über die endgültige Umsetzung der Änderung und ob diese Änderung eventuell als neue Restriktion bei der Planung aufgenommen werden soll, entschieden werden.

Nachfolgend wird in Kapitel 2 der Stand der Technik in Bezug auf Planungssysteme und Planungsmodelle dargestellt. Kapitel 3 stellt das spezifische Konzept vor, mit dem der oben skizzierte Ansatz umgesetzt werden soll. In Kapitel 4 werden erste Resultate von Teilaspekten des Konzepts, die bereits pilothaft umgesetzt wurden, dargestellt.

2 State of the Art

2.1 *Werkzeuge zur Unterstützung der Produktionsplanung und -steuerung*

In der Industrie werden drei Arten von IT-Systemen zu Planung verwendet. Diese sind: Enterprise Ressource Planning Systeme, Advanced Planning and Scheduling-Systeme und MES-Systeme.

Die Funktionen der PPS sind als Funktionalitäten in Informations- und Anwendungssystemen umgesetzt, wie beispielsweise eines Enterprise Ressource Planning Systems (ERP), welches die Ressourcen eines Unternehmens prozessorientiert plant (Schuh & Stich, 2012. S. 195). Jedoch gelingt es ERP-Systemen nicht Kapazitäten und Durchführbarkeiten von Aufträgen ganzheitlich abzubilden. Bekannte Probleme in diesen Systemen sind Bullwhip-Effekte, geringe Datenqualität und die Fehlerfortpflanzung in großen Datenmengen (Berlak, 2009, S. 381). Diese Schwächen von ERP-Systemen haben zur Entwicklung von s.g. „Advanced Planning and Scheduling Systemen" (APS) geführt. Es sei auch angemerkt, dass je nach Hersteller bereits Funktionalitäten von APS-Systemen in ERP-Systemen implementiert sein können.

„Advanced Planning & Scheduling" Systeme sind modular strukturierte Softwaresysteme zur integrierten Planung und Steuerung unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg. APS-Systeme verwenden hierzu exakte mathematische Optimierungsverfahren und Heuristiken zur restriktions- und engpassorientierten Planung. APS-Systeme bieten zudem die Möglichkeit, eine kontinuierliche Aktualisierung des realisierten Plans vorzunehmen. (Thome, 2007, S. 7 f.)

Das Bindeglied zwischen Planung und operativer Fertigung und Produktion stellt das so genannte **„Manufacturing Execution-System" (MES)** dar. Nach der VDI-Richtlinie 5600 unterstützt ein MES zeitnah die produktionsrelevanten Geschäftsprozesse eines Unternehmens. (VDI 5600, 2007, S.4 ff.)

2.2 Aufgaben der PPS

Mit dem Fokus auf die Beherrschung der Komplexität von flexiblen Produktionssystemen und der Einbindung von Wissen operativer Mitarbeiter in den Planungs- und Steuerungsprozess, soll an dieser Stelle auf die Aufgabe der Reihenfolgeplanung eingegangen werden.

Ein bedeutsamer Teil der PPS stellt die Reihenfolgeplanung dar, welche die Grundlade für die Veranlassung der Produktionsprozesse bildet (Günther & Tempelmeier, 2012, S.223) und deren Ziel es ist, die Zielgrößen der Produktionslogistik, Durchlaufzeit, Termineinhaltung, Bestand, Leistung und Kosten (Nyhuis & Wiendahl, 2012, S. 9) zu optimieren. Dabei kommen unterschiedliche Prioritätsregeln zur Anwendung, mittels denen die Warteschlange an vorhandenen Aufträgen sequenziert wird. Übliche Regeln sind beispielsweise FIFO bei welcher nach dem „First In First Out Prinzip" sequenziert wird, KOZ bzw. LOZ bei welchen die kürzeste bzw. längste Operationszeit ausschlaggebend für die Sequenzierung ist sowie die so genannte Schlupfzeitregel, bei welcher der Arbeitsgang mit der geringsten verbleibenden Zeit bis zum Fertigstellungstermin des Auftrags priorisiert wird (Schuh & Stich, 2012, S.53). Zu dem gibt es unterschiedliche optimierende Verfahren, welche mittels intelligenter Algorithmen eine zielgrößenoptimierende Reihenfolgeplanung ermöglichen. Mittels solcher Verfahren können beispielsweise Rüstzeiten und Bestände im Produktionsablauf reduziert (Stadtler, 2011, S.242), Durchlaufzeiten minimiert (Schenk, 2014, S.403) als auch Liefertreue und Auslastung der Produktion erhöht (Lödding, 2008, 443 f.) werden. Aufgrund der unterschiedlichen Zielsetzungen der Prioritätsregeln und Optimierungsverfahren kommen für jeden individuellen Anwendungsfall unterschiedliche Kombinationen der einzelnen Methoden zum Tragen (Schönsleben, 2011, S.686 f.). Reihenfolgeregeln wie FIFO, KOZ, LOZ und die Schlupfzeitregel betrachten nur die Auslastung der Maschine bzw. versuchen Sie Aufträge durch entsprechende Reihung termingerecht fertigzustellen. Ob genügend Transportkapazitäten für die Aufträge zur Verfügung stehen, um diese zeitgerecht von einer Anlage zur nächsten zu

bringen, wird hierbei nicht betrachtet. In Zhang et al. (Q. Zhang, H. Manier, M.-A. Manier, 2012) wird ein mathematisches Optimierungsmodell zur Reihenfolgeplanung unter Berücksichtigung von internen Transporten beschrieben. Dabei wird davon ausgegangen, dass jeder Transport von jeder Transportressource erledigt werden kann. Zumeist werden, vor allem in größeren Produktionsstätten, die logistischen Aufgaben nach Bereichen oder Tätigkeitsart unterschiedlichen Logistikgruppen zugeteilt. Dies ist im genannten Modell nicht vorgesehen. Rossi (2014) zeigt ebenfalls ein Modell zur Reihenfolgeplanung unter Berücksichtigung von internen Transporten. Hier werden jedoch nur Transportzeiten zwischen den Stationen – nicht jedoch Transportkapazitäten – berücksichtigt.

Um Transportkapazitäten in der Planung berücksichtigen zu können, ist es notwendig, die logistischen Aufwände quantifizieren zu können. Eine methodische Vorgehensweise zu Analyse, quantitativen Bewertung und zur Planung logistischer Prozesse und Kapazitäten stellt MTM-Logistik dar.

2.3 Quantifizierung von logistischen Prozessen

MTM - Methods- Time Measurement:

MTM (Methods-Time Measurement, Methodenzeitmessung) erklärt, dass die bei der Durchführung einer bestimmten Arbeit beanspruchte Zeit von der gewählten Methode dieser Arbeit abhängt. Das Ergebnis einer MTM-Analyse sind in Grundbewegungen gegliederte Bewegungsabläufe. Jeder Grundbewegung sind Normzeitwerte (Verteil- und Erholungszeiten sind darin nicht enthalten) zugeordnet, die einem einheitlichen, international gültigen Leistungsstandard unterliegen und in ihrer Höhe durch die erfassten Einflussfaktoren vorbestimmt sind. MTM ist ein modernes Instrument zur Beschreibung, Analyse, Planung und Gestaltung von Arbeitssystemen mittels standardisierter Prozessbausteine. Ein Prozessbaustein ist ein Ablaufabschnitt mit definiertem Arbeitsinhalt (branchenneutral) und klarem Verwendungszweck, für den ein Zeitstandard gilt. Die Verwendung von MTM stellt eine valide Basis für die Bewertung der Produktivität dar - unter Berücksichtigung der medialen zu der

menschlichen Leistung - und unterstützt die Identifizierung von Mängeln in der Organisation. MTM zielt im Sinne des Lean Management auf die Identifikation, Bewertung, Verringerung und Beseitigung von Verschwendung ab (Kuhlang, Edtmayr & Sihn, 2011; Kuhlang, 2010, Bokranz & Landau, 2006, Maynard, Stegemerten & Schwab, 1948).

MTM in der Logistik:

MTM bietet speziell für Logistiktätigen einen „Katalog von Bausteinen" an, mit dessen Einsatz sich die Möglichkeit ergibt, unternehmensindividuelle Arbeitsweisen im Bereich der Logistik zu analysieren und zu bewerten. Auf dieser - branchenweit gültigen - Grundlage kann eine einheitliche Kalkulation verschiedenster logistischer Tätigkeiten ermöglicht und sichergestellt werden. Neue Prozesse können ebenso wie bestehende Prozesse hinsichtlich der Ermittlung des Zeit- und Personalbedarfs kalkuliert werden. Durch Überprüfung des Zeitbedarfs bei Verwendung verschiedener Technologien und Arbeitsweisen können ferner Verbesserungspotenziale identifiziert werden (Kuhlang & Matyas, 2005).

Jeder Zeitbaustein repräsentiert einen exakt definierten Arbeitsinhalt und wird durch einen einzigen Zeitwert genau spezifiziert. Durch „Zusammensetzen" der Bausteine erfolgt die Beschreibung von konkreten Arbeitsaufgaben bzw. Prozessfunktionen und automatisch die Berechnung ihrer Zeit. Bei MTM-Logistik stehen Zeitbausteine für Transporttätigkeiten, maschinelles und manuelles Handhaben, Be- und Entladen, Verpacken sowie für administrative Tätigkeiten zur Verfügung (Kuhlang & Matyas, 2005). Anhand der Prozessbausteine können die Aufwände für die Logistik abhängig vom Produktionsplan für einzelne Perioden bestimmt werden.

2.4 Produktionsplanung und Steuerung innerhalb der CPPS

Cyber Physikalische Systeme (CPS), engl. Cyber-Physical-Systems, sind beschrieben als umfassende **eingebettete Systeme**, die mittels **Sensoren** physikalische Daten erfassen und mittels **Aktoren** auf physikalische Vorgänge einwirken. Sie sind mittels digitaler Netze untereinander verbunden und können weltweit verfügbare Daten und Dienste nutzen.

Ferner verfügen sie über **multimodale Mensch-Maschine- Schnittstellen** (Plattform Industrie 4.0, 2014a). **Cyber-Physikalische Produktionssysteme (CPPS)**, engl. Cyber-Physical-Production-Systems, stellen die Anwendung von Cyber-Physical Systems in der produzierenden Industrie dar und agieren damit als Befähiger zur durchgängigen Betrachtung von Produkt, Produktionsmittel und Produktionssystem unter Berücksichtigung sich ändernder und geänderter Prozesse (Plattform Industrie 4.0, 2014b).

Ein Cyber-Physikalisches System verfügt über Sensoren, Aktoren eine Benutzerschnittstelle und Funktionen, welche die Aufgaben der Datenaufnahme, -verarbeitung und -ausgabe erfüllen. Dabei sind die Sensoren und Aktuatoren smarte in das CPS eingebundene Systeme. CPS verfügen über hochwertige Funktionen beispielsweise zur Signalverarbeitung oder zur Regelung, sowie über IP-fähige Kommunikationsschnittstellen. CPS sind in zwei Richtungen vernetzt – in einer horizontalen Richtung und in einer vertikalen Richtung. Während ein CPS in horizontaler Richtung auf gleicher Ebene, beispielsweise mit einem nachgelagerten Fertigungsschritt oder zwischen zwei Organisationseinheiten kommuniziert, erfolgt die Kommunikation eines CPS in vertikaler Richtung mit über- oder untergeordneten Systemen. Diese Kommunikationsrichtungen spiegeln den zentralen Gedanken der verteilten Intelligenz sowie der Dezentralität wieder. Durch dezentrale Entscheidungen sinkt die Komplexität eines Gesamtsystems und Entscheidungen können in Arbeitsabläufen selbstständig getroffen werden. Technische Kriterien von CPS sind beispielsweise Anforderungen hinsichtlich der Echtzeitfähigkeit, die je nach Anwendungsfall variieren kann. Generell sind dabei vor allem technische und wirtschaftliche Kriterien abzuwiegen (IPA, 2014).

Schuh et al. (2013b) stellen einen konzeptionellen Entwurf für ein Cyber-Physikalisches System zur Produktionsplanung und -steuerung dar.

Das Beurteilungssystem zu einer Entscheidungsfindung wird hier durch eine Simulationsplattform unterstützt. Das implementierte Modell ist mit Rückmeldedaten der Produktion parametriert. Nach jedem Simulationslauf,

wird das Ergebnis mit direkten Rückkopplungsdaten aus der Produktion verglichen, um die Qualität des Simulationsmodells zu bestimmen und im Bedarfsfall die Simulationsparameter nachzubessern (inneren Regelkreis in Abbildung 1). Der äußere Regelkreis berücksichtigt die ständige Optimierung des Produktionssystems. Als selbstlernendes System bildet das Simulationsmodell die Realität besser ab, je mehr Simulationsläufe durchlaufen werden und je öfter die Parameter angepasst werden.

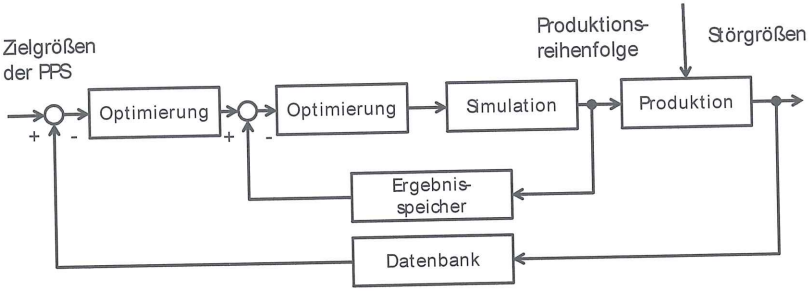

Abbildung 1: Architektur eines Cyber-Physikalischen Produktionskontrollsystems (Schuh et al., 2013b)

Im Modell werden der operative Mitarbeiter und der Meister nicht in den Regelkreis einbezogen, wodurch das Wissen dieser Gruppe nicht in die Modelle einfließt. Das Potential zur Nutzung der kollektiven Intelligenz wird somit nicht voll ausgeschöpft.

2.5 *Data Mining in der Produktionsplanung und Steuerung*

Obwohl Data Mining Methoden in unterschiedlichen Bereichen wie Marketing, Finanzplanung oder Analyse biologischer Strukturen erfolgreich eingesetzt werden, finden sich im Produktionsumfeld verhältnismäßig wenige Anwendungen (Choudhary, 2009, S.514), was einerseits auf die Echtzeitanforderung und andererseits auf die starken Unterschiede in der Struktur der produktionsspezifischen Daten zurückzuführen ist (Kuntze et al. 2008; S.609 f.). Vor allem im Bereich der Produktionsplanung und Steuerung und im Speziellen in der Integration von Data Mining in ERP Systemen finden sich wenige Anwendungsfälle und Forschungslücken können

aufgezeigt werden (Gröger et al., 2012, S.4). Dabei wird neben der Herausforderung schwer prognostizierbarer Nachfrage, die mangelnde Vertrautheit der Forscher im Bereich der Produktionslogistik mit den Methoden und Algorithmen von Data Mining, als Ursache für diese Forschungslücken gesehen (Ismail et al., 2009, S.157). Bisher wurden in diesem Zusammenhang die Potentiale, welche sich durch Data Mining in Hinblick auf eine Erhöhung der Datenzuverlässigkeit ergeben, nicht berücksichtigt (Schuh et al. 2013a, S.45). Vor dem Hintergrund der stetigen Zunahme von Produktionskomplexität können Data Mining Methoden jedoch einen wertvollen Beitrag zur Beherrschung dieser Komplexität leisten und vor allem in folgenden Bereichen unterstützend eingesetzt werden (Bernard, 2012; Westkamp et al., 2014):

- Stammdaten und Variantenmanagement
- Versuchsplanung und Produktgestaltung
- Prozess-, Qualitäts- und Zustandsüberwachung
- Prozessoptimierung
- Analyse von Kennzahlen
- Produktionsplanung und Steuerung

Im Bereich der Produktionsplanung und Steuerung können mittels Data Mining aus einer Vielzahl vorhandener Produktionsdaten Informationen zeitkritisch als Grundlage für Entscheidungsunterstützungssysteme zur Verfügung gestellt werden (Tanuska et al., 2012). Vor allem effiziente Algorithmen für die Reihenfolgeplanung (Wang et al., 2014) bzw. Planungsregeln für die Produktionssteuerung (Rainer 2013) können mittels Data Mining erzielt werden.

3 Konzept

In Abbildung 2 wird ein Konzept dargestellt, das zum Ziel hat, die Akzeptanz von Produktionsplänen – die durch den Einsatz IKT-gestützter

Planungssysteme erzeugt wurden – einerseits über alle Ebenen – operative Mitarbeiter, Meister und Planer – hinweg zu steigern.

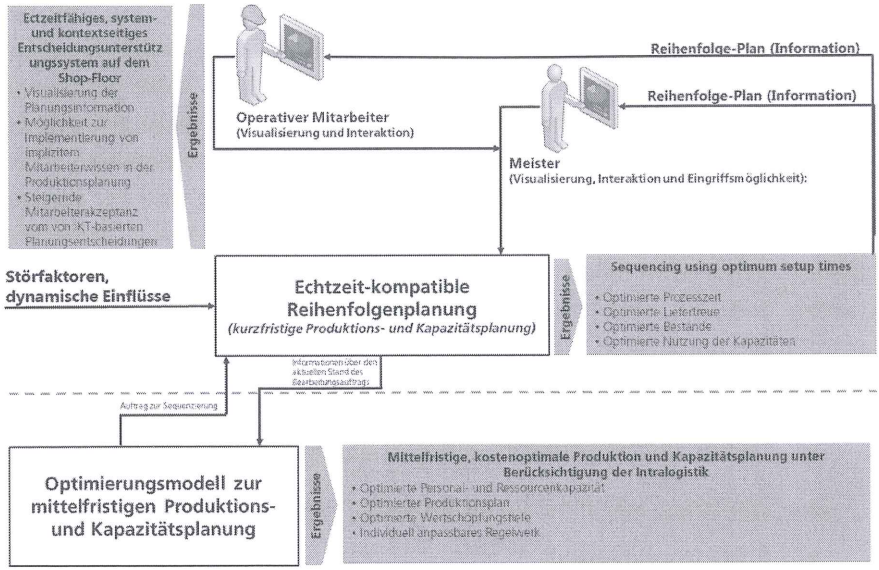

Abbildung 2: Schematische Darstellung zu Integration von Lösungskompetenzen operativer Mitarbeiter des Shop-Floors in der Produktionsplanung und -steuerung

Das Konzept besteht aus zwei grundlegenden Elementen: Zum einen der Einsatz realistischerer Modelle und zum anderen die Integration von Mitarbeitern in die Produktionssteuerung.

Das erste Element des Konzepts wird durch die Integration der intralogistischen Aspekte in die mittelfristige Produktions- und Kapazitätsplanung als auch durch die Integration in die Reihenfolgeplanung realisiert. (siehe 3.1)

Da davon auszugehen ist, dass auch bei der Anwendung von verbesserten Modellen nicht alle Restriktionen und Abhängigkeiten berücksichtigt werden können und durch den Einsatz komplexer Modelle die Transparenz in der Planung sinkt, sollen die operativen Mitarbeiter und Meister stärker in die Planung einbezogen werden. Dies wird durch den oberen Teil der

Grafik verdeutlicht. Dabei wird durch den Einsatz moderner IKT-Lösungen eine Schnittstelle realisiert, die den Mitarbeitern die Möglichkeit bietet, Planungsergebnisse in einer Simulationsumgebung zu verändern.

Nach einem erneuten Optimierungslauf kann die, unter Berücksichtigung dieser (geänderten) Restriktionen, generierte Lösung mit der ursprünglichen Lösung verglichen werden. Eine übergelagerte Entscheidungsinstanz kann die neuen Restriktionen dauerhaft übernehmen und bei der weiteren Planung berücksichtigen.

3.1 Vorgehensweise zur Implementierung logistischer Prozesse und Kapazitäten in die Produktionsplanung und -steuerung

Zur Implementierung logistischer Prozesse und Kapazitäten ist zunächst eine Prozessanalyse und -bewertung intralogistischer Abläufe z.B. Transport, Handhabung, Informationsverarbeitung etc. von Nöten. Die daraus identifizierten Prozessbausteine müssen unterschiedlichen Aufwandstreibern zugeordnet werden. Diese können sein

- Auftragsbezogene Aufwände: z.B. Informationsverarbeitung
- Transportbezogene Aufwände: z.B. Handhabungsaufwände
- Wegstreckenabhängige Transportzeiten
- Schichtbezogene Aufwände: Wartung der Transportmittel, Schichtbesprechung/-übergaben
- Organisationale Aufwände: Gruppenbesprechungen, KVPs, Verteilzeiten

Durch Einteilung der Prozessbausteine in die entsprechenden Kategorien kann in weiter Folge der Gesamtaufwand abhängig vom Produktionsprogramm determiniert werden.

Die benötigten Stammdaten für die Implementierung sind damit die Wegstrecken zw. Quellen und Senken, die Zeitbausteine und Transportmengeneinheit je Produkt. Aus dem ERP-System lassen sich z.B. Quelle und Senke-Beziehungen aus Arbeitsplänen ableiten, müssen jedoch

um Zwischenlagerstufen ergänzt werden, sofern diese vorhanden sind. Die Wegstrecken, die für die Bestimmung der Transportzeiten notwendig sind, können aus dem Layout der Fabrik entnommen werden. Somit ergibt sich ein sehr hoher Aufwand zur Datenerhebung und -pflege, der durch eine Integration der Fabrikplanungssoftware mit dem operativen Produktionsplanungssystem handhabbar gemacht werden kann.

Im Weiteren ist ein Optimierungsmodell für die mittelfristige Produktions- und Kapazitätsplanung sowie ein Modell zur kurzfristigen Terminplanung zu erstellen und entsprechende Algorithmen zu entwickeln. Das entwickelte Modell ist schließlich in eine Software zu überführen. (siehe 3.3.)

3.2 Vorgehensweise zur Einbeziehung der Mitarbeiter durch Implementierung von Data Mining Agenten in einem Produktionssteuerungssystem

Durch die fortschreitende Ausweitung der Vernetzung zwischen digitaler und reale Welt und den damit verbunden steigenden Datenmengen und -anforderungen innerhalb der Produktion – aufgrund der durchgängigen Integration von informationstechnischen Lösungen – nimmt die Bedeutung von Data Mining kontinuierlich zu. Durch eine systematische Integration von Data Mining in die PPS kann einerseits die Datenqualität erhöht werden und andererseits den Herausforderungen bezüglich Echtzeitverarbeitung der Daten genüge getan werden (Westkamp et al., 2014; Schöning, 2014, S.543). Dadurch soll ein Vertrauen der Mitarbeiter in die Planung und im speziellen der Akzeptanz von IT-Systemen geschaffen werden.

Durch die Implementierung von Data Mining Algorithmen in der PPS können Daten unterschiedlicher Wissensquellen echtzeitnahe miteinander verknüpft werden. Ziel ist die Ableitung von Planungsregeln und Kennzahlen welche dem Menschen bei der Planung unterstützen (Rainer, 2012, S.355), und unter Berücksichtigung der menschlichen Interaktion eine Optimierung der Produktionsplanung ermöglicht.

In Abbildung 3 wird ein Konzept zur Implementierung eines Data Mining Agenten in einem Produktionssteuerungssystems vorgestellt.

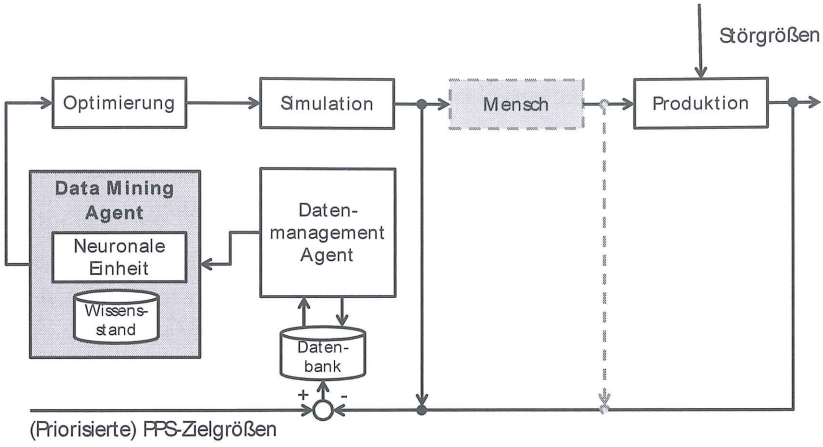

Abbildung 3: Konzept zur Implementierung eines Data Mining Agenten im Produktionssteuerungssystems

Der Data Management Agent übernimmt die Verwaltung der Daten und ist mit einer Datenbank gekoppelt, welche die Zielgrößen der PPS, wie beispielsweise Bedarfe, Kostensätze etc., enthält und regelmäßig aktualisiert wird. Die Datenbank wird zusätzlich sowohl mit Messdaten aus der realen Produktion, digitalen Ergebnissen der Simulation als auch mit Eingabedaten resultierend aus einer menschlichen Interaktion gespeist.

Der Datenmanagement Agent übernimmt im Folgenden die vorläufige Aufbereitung der Daten. Das bedeutet, dass Ausreißer eliminiert werden und Daten normalisiert und in das für den Data Mining Agenten notwendige Datenformat umgewandelt werden. Im Data Mining Agent wird ein Lernprozess initialisiert, in welchem die neuronalen Netze entsprechend den Daten, welche vom Datenmanagement Agenten aufbereitet wurden, geordnet werden. Durch die darauffolgende Bildung von Clustern, welche von den neuronalen Netzen identifiziert wurden, wird die Wissensbasis des Data Mining Agenten gebildet. Aufgrund der durch den Data Mining Agenten zur Verfügung gestellten Daten, kann schließlich eine Optimierung der Produktionsplanung und Steuerung erfolgen. Mittels einer

durchgeführten Simulation stellt sich ein iterativer Prozess ein, in dem Aufgrund der Simulationsergebnisse und der realen PPS Zielgrößen eine neuerliche Optimierung erfolgt. Somit ergibt sich ein Regelkreis der die menschliche Interaktion berücksichtigt und dadurch das Wissen der Mitarbeiter in die Planung integriert. Damit erhält man ein ganzheitliches System welches in der Lage ist echtzeitnah auf Änderungen in der realen Welt zu reagieren (in Anlehnung an Parshutin & Borisov, 2009).

3.3 Umsetzung in eine Planungs- und Steuerungssoftware

Oben genanntes Konzept muss in eine Software umgesetzt werden, die in ein Backend und in ein Frontend für die Benutzerinteraktion auf dem Shop-Floor aufgeteilt ist. Das Backend wird verwendet, um die Optimierungsalgorithmen auszuführen. Abhängig von den Algorithmen kann das Backend unter mehreren Modulen verteilt werden. Das Frontend ermöglicht die Nutzung von mobilen Geräten für die Mitarbeiter auf dem Shop-Floor.

Ferner soll das Frontend den Mitarbeitern auf dem Shop-Floor ermöglichen, die Konsequenzen ihres Handelns und die Ergebnisse des geplanten und optimierten Produktionsablaufs nachvollziehbar darzustellen. Eine weitere Funktion des Frontends soll des Weiteren auch darin bestehen, dass Mitarbeiter befähigt werden, ihre praktischen Kenntnisse in die laufenden Prozesse der Produktionsplanung einzubinden. Dieses Ziel soll das Risiko des Verlustes von Akzeptanz und damit negative Einflüsse auf die Produktivität und die Qualität des Produktionsprozesses reduzieren.

Für die Frontend-Anwendung ist die Entwicklung einer dynamischen Benutzerschnittstelle für verschiedene Arten von Eingabegeräten und Bildschirmgrößen von Nöten, da v.a. Mobiltelefone und Tablet-PCs als alternative Eingabegeräte ein wichtiger Aspekt für eine breite Akzeptanz des Frontends auf dem Shop-Floor darstellen.

4 Ergebnisse

4.1 Auswirkungen von Steuerungseingriffen auf die interne Logistik

In einer Simulationsstudie für die Automobilzulieferindustrie wurde folgende Fragestellung untersucht. „Welche Auswirkungen hat die Stabilität von Produktionsplänen auf die Auslastung der internen Logistik?"

Hierfür wurden eine Montagelinie für Scheinwerfer und der montagenahe Supermarkt modelliert. Das Montageband besteht aus einer Vormontage in der Module vormontiert werden, die dann auf dem Hauptmontageband endmontiert werden. Die Montageprozesse wurden nicht weiter betrachtet. Neben dem Supermarkt gibt es vor den Linien noch Pufferflächen, welche als Stellplätze für die Transportroller dienen auf denen Boxen mit den Teilen im Supermarkt zwischengelagert und zur Linie gebracht werden. Als logistische Prozesse wurden identifiziert:

- Transportroller zum Pufferplatz bringen
- Boxen von Puffer an Montageband bringen
- Transportrolle, Boxen und Verpackungsmaterial (Zwischenlagen und Gefache) von der Montagelinie abtransportieren und sortieren
- Materialbestellung mit Readern tätigen
- Nebentätigkeiten

Die Nebentätigkeiten wurden als fixe Zeit unabhängig von den Ver- bzw. Entsorgungsprozessen kumuliert aufgenommen und als Grundlast einbezogen.

Es wurde die Annahme getätigt, dass die Pufferfläche vor der Montagelinie sehr groß ist, sodass der Logistiker bereits Material aus dem Supermarkt im Puffer zwischenlagern kann, um bei der Rüstung dieses Material schneller an die Montagelinie bringen zu können und somit die Montage schneller wieder zu beginnen. Eine weitere Annahme war, dass die Montageplätze schneller rüsten können als die Logistiker. Das bedeutet, dass die Montagerüstzeit keine Stillstand am Band verursacht, sondern das Fehlen

des neuen Materials in Folge der Rüstung. Die letzte Annahme war, dass die Montage erst wieder beginnt, wenn alle Materialien am Montageband verfügbar sind.

In 3 Studien wurde untersucht, wie sich die Auslastung der Logistiker bei abhängig von der Vorschauzeit – die Zeitspanne, gemessen in Takten, zwischen der Bekanntmachung einer anstehenden Umrüstung des Montagebandes und des Beginns der Rüstung – verhält. Die drei Studien waren:

- Keine Vorschau auf den Montageplan: Die simuliert einen plötzlichen Rüstwechsel
- Lange Vorschau auf den Montageplan: Dies würde eine stabile Einhaltung des Montageplans simulieren (keine plötzlichen Rüstwechsel in Folge von z.B. Materialengpässen aus der Vorfertigung)
- Keine Rüstung: Hier sollte die Grundlast untersucht werden

Des Weiteren wurde für Studie eins uns zwei unterschiedliche Reihenfolgen der Produkte getestet, da bestimmte Produktewechsel weniger Rüstaufwand verursachen als andere.

Ergebnisse der Simulationsstudie

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass die Logistik einen hohen Einfluss auf die Auslastung des Montagebandes hat. Während die Grundauslastung der Logistiker ohne Rüstung bei ca. 76 % liegt, so steigt diese Auslastung in Folge der Rüstungen auf bis zu 91% an, wenn genügend Vorschauzeit vorhanden ist. Bei plötzlichen Rüstwechseln sinkt die Auslastung wieder, da kein Material für die nächste Rüstung im Puffer bereitgestellt wird.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die interne Logistik in modernen Produktionssystemen als Ressource mit beschränkter Kapazität genauso berücksichtig werden sollte wie Maschinen und Anlagen. Dabei geht es im ersten Schritt nicht darum, die Reihenfolge der Arbeitsaufgaben eines Logistikers in Bezug auf z.B. eine Wegoptimierung zu optimieren,

sondern vielmehr die Auswirkungen von Produktionsplänen auf die Logistik zu verstehen und proaktive in der Erstellung von Produktionsplänen zu integrieren.

4.2 Entscheidungsunterstützung von Planern

Ein weiterer Aspekt des Konzepts aus Kapitel 3 ist die Einbindung des Mitarbeiterwissens. Im Forschungsprojekt „KoKa - Entwicklung eines Entscheidungsunterstützungssystems zur kostenoptimalen Kapazitätsanpassung für den kurz- und mittelfristigen Planungshorizont" wurde eine Entscheidungsunterstützungssystems entwickelt, das dem Planer erlaubt aktiv Ergebnisse zu verändern und die dadurch vorgegeben Ergebniswerte als zusätzliche Beschränkungen für einen neuerlichen Optimierungslauf festzulegen. Durch verschiedene Darstellungsformen und Analysemöglichkeiten für den Planer, konnte die Akzeptanz der Lösung erheblich gesteigert werden. Dies lag vor allem daran, dass der Planer die vorgeschlagene Lösung besser verstehen konnte und notwendige Vereinfachungen des Modells besser ausgleichen konnte. Diese Vereinfachungen sind oft notwendig, um Modelle lösbar zu halten und wurden bei der Modellierung bewusst eingegangen. Es zeigte sich auch, dass die Anzahl der Veränderung der ursprünglichen Lösung mit fortlaufender Bedienung des Systems abnahm wurde. Dies kann als ein gesteigertes Vertrauen ins das System interpretiert werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Wie in den Ergebnissen gezeigt wird, kann die Akzeptanz der Mitarbeiter für eine IKT-gestützte Produktionsplanung und -steuerung durch eine verstärkte Einbindung dieser in den Planungs- und Steuerungsprozess erreicht werden. Ansätze wie beispielsweise die Simulation von Auswirkungen von Reihenfolgeänderungen und Visualisierung durch Kennzahlen sind hierfür notwendig. In weiterer Folge ist zu untersuchen, welche Kennzahlen für welche Mitarbeitergruppen, – Planer, Meister und operative Mitarbeiter – aussagekräftig und nachvollziehbar sind, um die

Tragweite ihrer vorgeschlagenen Planänderungen verstehen und interpretieren zu können.

Des Weiteren ist zu untersuchen, wie die operativen Mitarbeiter während ihrer Arbeitstätigkeit solche Reihenfolgeänderungen in einem IT-System simulieren können. Hier gilt es entsprechende mobile Devices wie z.B. Datenbrillen, Tablets oder Smartphones auf Eignung zu untersuchen. Darüber hinaus müssen Prozesse entwickelt werden, wie Änderungsvorschläge durch den operativen Mitarbeiter am Shop Floor, in die höheren Entscheidungsinstanzen transportiert werden können, um dort umgesetzt oder verworfen zu werden. Abschließend müssen Methoden entwickelt werden, wie diese Änderungen auch als neue Restriktionen in das Planungssystem eingebracht werden, um ein selbstlernendes System zu realisieren.

Literatur

Berlak, J. et al. (2009). E.EDV-Unterstützung in der Produktion und im Materialfluss. In: Dickamnn, P. (Hrsg.). Schlanker Materialfluss. Springer Verlag

Bernard, T. (2012). Datenbestände optimal nutzen - Entscheidungsunterstützung im Produktionsumfeld mit Data-Mining-Werkzeugen; in P&A-Kompendium 2011-2012, S. 115-117, publish-industry Verlag

Bokranz, R. / Landau, K. (2006). Produktivitätsmanagement von Arbeitssystemen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.

Choudhary, A. et al. (2009). Data mining in manufacturing: a review based on the kind of knowledge; in: Journal of Intelligent Manufacturing Volume 20, Issue 5, S.501-521

Eversheim, W. (2002). Organisation in der Produktionstechnik. Band 3: Arbeitsvorbereitung. 4. Aufl., ISBN: 978-3-642-62640-1, Springer Verlag

Gröger, C. et al. (2012). Data mining-driven manufacturing process optimization; in: Proceedings of the World Congress on Engineering, Vol. 3, S. 4-6)

Günther, H.O. / Tempelmeier, H. (2012). Produktion und Logistik, 9.Auflage, ISBN-13: 978-3642251641, Springer Verlag

IPA (2014). Fraunhofer IPA. Strukturstudie „Industrie 4.0 für Baden-Württemberg". Ministerium für Finanzen und Wirtschaft Baden Württemberg. 2014

Ismail R. et al. (2009). Data mining in production planning and scheduling: A review. In Data Mining and Optimization, DMO'09. 2nd Conference on Data Mining and Optimization (S. 154-159)

Kletti, J. (2007). Konzeption und Einführung von MES-Systemen: Zielorientierte Einführungsstrategie mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, Fallbeispielen und Checklisten. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Kuhlang, P. (2010). Prozesse und Produktivität – Produktivitätssteigerung durch die kombinierte An-wendung von MTM und Wertstromdesign, in: B. Britzke [Hrsg.] MTM in einer globalisierten Wirtschaft. Arbeitsprozesse systematisch gestalten und optimieren. Landsberg/ Lech : MI Verlag, 2010.

Kuhlang, P. / Edtmayr, T. / Sihn, W. (2011). Methodical approach to increase productivity and reduce lead time in assembly and production-logistic processes, in: CIRP Journal of Manufacturing and Technology, 4, pp. 24-32

Kuhlang, P. / Matyas, K. (2005). Entwicklung von Logistikprozessen; in: Schnäppi, B. et al. (Hrsg.); Handbuch Produktentwicklung; Carl Hanser Verlag; 2005.

Kuntze, H. et al. (2008). Entscheidungsunterstützung im Produktionsumfeld mit Data Mining Werkzeugen, in: Automatisierungs-ATLAS 2011, SPS-Magazin, Band 5, S. 608-610

Lödding, H. (2008). Verfahren der Fertigungssteuerung -Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, ISBN: 978-3-540-76859-3, Springer Verlag

Maynard, H.B. / Stegemerten, G.J. / Schwab, J.L. (1948). Methods-time Measurement, McGraw Hill, New York.

Nyhuis, P. / Wiendahl, H.-P. (2012). Logistische Kennlinien: Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen, 3. Aufl ed. Springer Vieweg, Berlin, Online-Ressource.

Parshutin, S. / Borisov, A. (2009). Agents Based Data Mining and Decision Support System in Agents and Data Mining Interaction ; Lecture Notes in Computer Science Volume 5680, 2009, pp 36-49

Plattform Industrie 4.0 (2014a). Cyber-Physical-System: Onlinequelle: http://www.plattform-i40.de/glossar/cyber-physical-systems-cps. Eingesehen am 15.04.2014.

Plattform Industrie 4.0 (2014b). Cyber-Physical-Production-System: Onlinequelle: http://www.plattform-i40.de/glossar/cyber-physical-production-systems -cpps. Eingesehen am 15.04.2014.

Rainer, Ch. (2012). Wissensbasierte Produktionsplanung in der flexibilitätsorientierten Prozessindustrie, BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte, Volume 157, S.354-359.

Rainer, Ch. (2013). Data Mining as Technique to Generate Planning Rules for Manufacturing Control in a Complex Production System, in: Robust Manufacturing Control, S. 203-214 , Springer Verlag.

Rossi, A. (2014). Flexible job shop scheduling with sequence-dependent setup and transportation times by ant colony with reinforced pheromone relationships. International Journal of Production Economics, 153(0), 253–267.

Schenk, M. et al. (2014). Fabrikplanung und Fabrikbetrieb - Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik, ISBN: 978-3-642-05458-7 , Springer Verlag

Schuh, G. et al. (2013a). Improving Data Integrity in Production Control , in: Procedia CIRP Volume 9, S. 44–48

Schuh, G. et al. (2013b). Cyber-Physical Production Management. In: Prabhu, V., Taisch, M., Kiritsis, D. (Hrsg.): APMS 2013. Part II. IFIP AICT 415. pp. 477 - 484

Schuh, G. / Potente, T. / Thomas, C. (2013c). Design of Production Control's Behavior. Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013, 7(0), 145–150. doi:10.1016/j.procir.2013.05.025

Schuh, G. / Stich, V. (2012). Produktionsplanung und -steuerung 1 - Grundlagen der PPS, 4., überarbeitete Auflage, ISBN: 978-3-642-25422-2, Springer Verlag

Schöning, H. (2014). Data Mining und Analyse, in: Bauernhansl et al. (Hrsg.):Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, ISBN: 978-3-658-04681-1, Springer Verlag

Schönsleben, P. (2011). Integrales Logistikmanagement - Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend, 6. Auflage, ISBN: 978-3-642-20380-0, Springer Verlag

Stadtler, H. (2011). Multi-level single machine lot-sizing and scheduling with zero lead times, European Journal of Operational Research, Volume 209, Issue 3, S.241–252

Tanuska, P. et al. (2012). Data Mining Model Building as a Support for Decision Making in Production Management; in: Advances in Intelligent and Soft Computing Volume 166, S. 695-7

Thome, R. (2007). Business-Software. ERP, SCM, APS, MES – was steckt hinter dem Begriffsdschungel der Business-Software-Lösungen. Mainfränkisches Commerce Kompetenzzentrum

VDI 5600 (2007). Verein Deutscher Ingenieure: Fertigungsmanagementsysteme - Manufacturing Execution Systems (MES), Beuth Verlag Berlin

Wang, Y. et al. (2014). Data Mining Based Approach for Jobshop Scheduling; in: Proceedings of 2013 4th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2013) S. 761-771

Westkamp, M. et al. (2014). Einsatz und Nutzenpotenziale von Data Mining in Produktionsunternehmen; Studie Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart

Wiendahl, H.-H. / Behringer, S. (2006). Stolpersteine der Lieferterminermittlung und -erfüllung, in: Liefertreue im Maschinen- und Anlagenbau: Stand - Potenziale - Trends, Schuh G., Westkämper E., study results of FIR, IPA and WZL, Aachen and Stuttgart, pp.19-32.

Wiendahl, H.-P. / et al. (2007). Changeable Manufacturing – Classification, Design and Operation. Annals of the CIRP 56 (2), S. 782-809.

Zhang, Q. / Manier, H. / & Manier, M.-A. (2012). A genetic algorithm with tabu search procedure for flexible job shop scheduling with transportation constraints and bounded processing times. Computers & Operations Research, 39(7), 1713–1723.

Die Fortschritte der Informationstechnik eröffnen ungeahnte Chancen für die industrielle Produktion: Informationen über Maschinen, Bauteile und Aufträge können zu geringen Kosten und in hoher Detaillierung erfasst und im Netzwerk weitergeleitet werden. Gleichzeitig nimmt die Fähigkeit zu, auch große Informationsmengen automatisch verarbeiten, Diagnosen treffen und Maßnahmen einleiten zu können. Entsprechend gilt es, viel versprechende Konzepte zu entwickeln, um die neuen Möglichkeiten gewinnbringend nutzen zu können. Dabei kann man leicht übersehen, dass die sog. vierte industrielle Revolution auch den Menschen betrifft und unsere Arbeit zum Teil grundlegend verändern wird.

Der vorliegende Tagungsband stellt Forschungsergebnisse der Mitglieder der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation vor.
Die Beiträge behandeln das Thema aus der Perspektive der Modellierung, des Menschen und der industriellen Anwendung, so dass ein umfassender Überblick entsteht.

ISBN 978-3-95545-083-0