

ZWF

Zeitschrift für
wirtschaftlichen
Fabrikbetrieb

9/2017

**WIRTSCHAFTS-
RECHNUNGSWISSEN**

Verfahren zur
Produktions-
planung

**WISSEN, ANWEN-
DUNG UND
ANWENDETECHNIK**

**FAKULTÄT FÜR
INGENIEURWISSEN-
SCHAFTEN**

**INTECHNOLOGIE
ANWENDETE
TECHNOLOGIE
FÜR DIE
INDUSTRIE**

**EMERSON
INDUSTRIAL
AUTOMATION**

**INDUSTRIELLE
AUTOMATISIERUNG
UND
FAKULTÄT FÜR
INGENIEURWISSEN-
SCHAFTEN**

INTECHNOLOGIE

**FAKULTÄT FÜR
INGENIEURWISSEN-
SCHAFTEN**

INDUSTRIE 4.0

**FAKULTÄT FÜR
INGENIEURWISSEN-
SCHAFTEN
UND
FAKULTÄT FÜR
INGENIEURWISSEN-
SCHAFTEN**

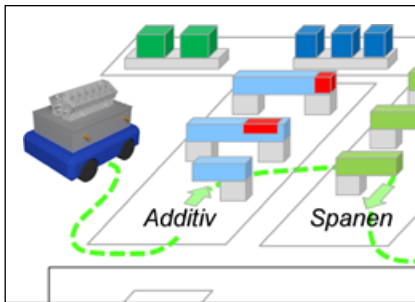
Migrationsunterstützung für die Umsetzung menschenzentrierter Cyber-Physical Systems (MyCPS)



Wirtschaftsinformatik und Produktion | Prof. Dr. Ingrid Isenhardt

www.ingenics.de

ingenics



Intelligentes Fertigungssystem

Seite 535

Im Rahmen der vierten industriellen Revolution befindet sich die Produktion im Wandel. Dieser Beitrag beschreibt die Vision eines modularen und multidisziplinären Fertigungssystems, welches durch eine wachsende Intelligenz eine wirtschaftliche Produktion auch bei geringen Stückzahlen erzielen kann. Dabei werden vorherrschende Herausforderungen und notwendige Anforderungen für das zukünftige System aufgeführt. Der Fokus des Beitrags liegt auf der spanenden Bearbeitung durch Werkzeugmaschinen. Es wird analysiert, inwiefern die aktuellen Maschinen angepasst und erweitert werden müssen.

Energieorientiertes MES

Seite 563

Im Forschungsprojekt eMES wurde im Rahmen der BMBF-Fördermaßnahme „KMU-innovativ“ ein Manufacturing-Execution-System (MES) energieorientiert gestaltet und durch ein Modul zur energieorientierten Planung, Überwachung und Steuerung der Produktion umgesetzt, das die Energietarife in die Kalkulation der Produktionskosten einbezieht und auf diese Weise Energiekosten senken kann. Die Kostenreduktion erfolgt durch die Nutzung von Schwachlastzeiten, Umsetzung von Lastverschiebungen sowie Möglichkeiten zum kurzfristigen Lastabwurf.

Zukunftsfeld Elektromobilität

Seite 576

Elektrofahrzeuge weisen im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen aufgrund fehlender Erfahrungswerte sowie neuer Technologien während des Markthochlaufs hohe Industrialisierungskosten auf. In einem gemeinsamen Forschungsprojekt zwischen namhaften E-Fahrzeugherstellern sowie dem Lehrstuhl Production Engineering of E-Mobility Components (PEM) der RWTH Aachen werden daher praxisorientierte technische Lösungen entwickelt, um Kleinserien im Zukunftsfeld der Elektromobilität möglichst kostengünstig, effizient und flexibel herstellen zu können.



EDITORIAL

Zentrale Informationsplattform 531

INTELLIGENTE PRODUKTION

Modulare und multidisziplinäre Fertigung 2030 (Richard S.-H. Popp et al.) 535

Integration von Produktionsdaten zur lebenszykluskostenorientierten Prozesskettenplanung (Ingo Labbus et al.) 540

FABRIKPLANUNG

Bewertung der Logistikkosten und -leistung von Fabrikstrukturvarianten (Felix Bussemer et al.) 544

GESCHÄFTSMODELLE

Industriell-kollaborative Wirtschaftsformen (Katharina Eckartz et al.) 551

SUPPLY-CHAIN-MANAGEMENT

Supply-Chain-Strategien im Zeitalter von VUCA (Nils-Christian Böhnke, Alexander Pointer und Christian Ramsauer) 555

ENERGIEEFFIZIENZ & -FLEXIBILITÄT

Energieeffizienz mittels optimierender Produktionsplanung und -steuerung (Thomas Sobottka, Felix Kamhuber und Wilfried Sihn) 559

Energieorientierte Produktionsplanung und -steuerung (Timo Heutmann und Robert Schmitt) 563

Klassifizierung von Energieflexibilitätsmaßnahmen (Martin Roesch et al.) 567

Analyse und Prognose des Energiebedarfs im Karosseriebau (Hanno Teiwes et al.) 572

ELEKTROMOBILITÄT

Produktionseffizienz in der Kleinserie (ProeK) (Achim Kampker et al.) 576

Alternativer Herstellprozess von Batteriegehäusen (Ramona Singer und Jürgen Fleischer) 580

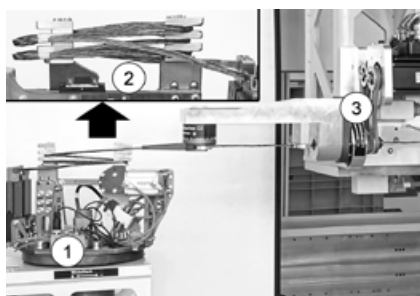
TRAKTIONSANTRIEBE

Automatisierte Herstellung von gewickelten Formspulen (Benjamin Bickel, Raphael Haas und Jörg Franke) 584

ARBEITSPLATZGESTALTUNG

Ergonomiebewertung 4.0 (Vivian K. Bellmann, Sebastian Brede und Peter Nyhuis) 588

Arbeitsplatzgestaltung 4.0 – Einsatz von Virtual Reality (Bastian Pokorni et al.) 593



Vollautomatische Serienfertigung

Seite 584

Die adaptive Formspulenwicklung bietet das Potenzial, dem wachsenden Bedarf an elektrischen Traktionsantrieben mit höchster Leistungsdichte und Effizienz gerecht zu werden. Für die Herstellung der Spulen wurde eine Wickelanlage zur flexiblen und automatisierten Wicklung von Doppelspulen aufgebaut. Außerdem wurden Maßnahmen und Parameter zur Reduzierung von Drahtzugkraftschwankungen und Fehlwicklungen untersucht sowie ein Konzept einer Wickelschablone zur vollautomatischen Serienherstellung von Formspulenerarbeit.

Kosten-Nutzen-Analyse

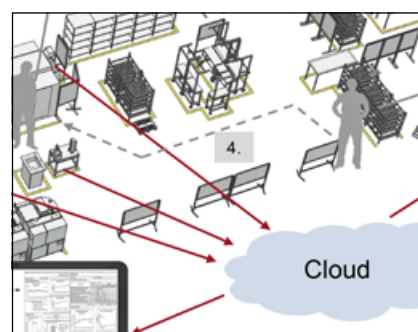
Seite 602

Die Smart Factory wird bisweilen überwiegend aus technischer Sicht diskutiert. Zwar ist von Wettbewerbsvorteilen durch eine flexiblere, wandlungsfähigere Produktion die Rede, für Unternehmen stellt sie zunächst aber eine Investition dar. In diesem Beitrag wird eine Methode zur Kosten-Nutzen-Analyse beschrieben, die es erlaubt, fallspezifisch zu einer monetären Bewertung von IT-Investitionen in der Produktion zu gelangen. Ihre Realisierung in Software und Anwendung wird exemplarisch dargelegt.

Integrierte Lean-Qualität

Seite 612

Mit Industrie 4.0 als Zukunftsvision des deutschen Produktionsstandorts stellt sich die Frage, wie bewährte Verbesserungsansätze mit den neuen, digitalen Möglichkeiten vereint bzw. weiterentwickelt werden können. Insbesondere sind Qualitätstechniken hinsichtlich der kontinuierlichen Verbesserung von Produkten und Prozessen von großer Bedeutung für ganzheitliche Produktionssysteme. Es entsteht somit die Notwendigkeit, die Kombination beider Ansätze im Rahmen einer integrierten Lean Quality 4.0 zu untersuchen. Dazu werden in diesem Beitrag ein systematisches Vorgehen entlang eines kreativen Problemlösungsprozesses sowie ermittelte Szenarien vorgestellt.



INDUSTRIE 4.0

SMART FACTORY

Wirtschaftlichkeitsbewertung der Smart Factory – Ein Ansatz zur Bewertung der Digitalisierung in der Produktion
(Alexander Sinsel et al.) 602

DIGITALISIERUNG

Hindernisse der Industrie 4.0 – Umdenken notwendig?
(Alyssa Meißner et al.) 607

QUALITÄTSMETHODEN

Der Weg zur Lean Quality 4.0 – Weiterentwicklung der Qualitätsinstrumente schlanker Produktionssysteme durch Industrie 4.0
(Judith Enke et al.) 612

GESCHÄFTSMODELLE FÜR KMU

Industrie-4.0-Geschäftsmodellinnovation für KMU
(Sven Seidenstricker, Erwin Rauch und Patrick Dallasega) 616

MENSCH UND DIGITALISIERUNG

Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit und Menschzentrierung stehen nicht im Widerspruch
(Oliver Herkommer, Thomas Kleinbeck und Jens Nitsche) 621

MIKROFRÄSEN

Untersuchung des Verschleißverhaltens von TiB₂-beschichteten Mikrofräswerkzeugen
(Martin Bohley et al.) 598

VORSCHAU

626

KONTAKT ZUM VERLAG

Redaktion

Dipl.-Ing. Yetvart Ficiciyan
(verantwortlich)
Huberweg 14E
13599 Berlin
Tel.: 0 30/22 19 05 53
Mobil: +49/1 73/6 04 07 41
E-Mail: ZWF@mediatech-berlin.de

Anzeigen

Regine Schmidt
Tel.: 0 89/9 98 30-2 21
Fax: 0 89/9 98 30-6 23
E-Mail: regine.schmidt@hanser.de

Abo/Vertrieb

Kristin Großkopf
Tel.: 0 89/9 98 30-1 11
Fax: 0 89/98 48 09
E-Mail: abo-service@hanser.de

Verlag

Car Hanser Verlag GmbH & Co. KG
Kolbergerstraße 22
81679 München
www.hanser.de
info@hanser.de

Energieeffizienz mittels optimierender Produktionsplanung und -steuerung

Thomas Sobottka,
Felix Kamhuber und
Wilfried Sihn, Wien

Energieeffizienz ist aufgrund des zunehmenden gesellschaftlich-politischen Drucks, langfristig steigender Energiepreise sowie der Energiewende und ihrer Implikationen zu einem wichtigen Bestandteil des Zielsystems produzierender Unternehmen geworden. Großes Potenzial liegt darin, das Ziel der Energieeffizienz mittels der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) zu verfolgen – allerdings fehlen den Unternehmen dafür aktuell die Planungswerkzeuge. Im folgenden Beitrag wird eine Planungsmethode vorgestellt, die genau hier Abhilfe schaffen soll: Mit einem neuartigen Simulator werden das Materialfluss- und Energiesystem eines Produktionssystems integriert abgebildet und mittels einer multikriteriellen Optimierung Produktionspläne erstellt, wobei auch die Anlagen-Steuerung in der Peripherie optimiert wird. Eine Industrie-Fallstudie in der Lebensmittelproduktion wird vorgestellt, in der ein erhebliches Optimierungspotenzial erzielt werden konnte.*)

I Einführung und Motivation

An einem durchschnittlichen Werktag schwanken die Preise auf dem Spotmarkt, einem kurzfristigen Markt für Elektroenergie, bis zu 100 Prozent um den Durchschnittswert. Diese Volatilität des Stromangebotes wird durch den im Zuge der Energiewende wachsenden Anteil erneuerbarer Energiequellen, mit ihrer wetterabhängigen Bereitstellungsmenge, weiter steigen [1]. Sofern es moderne flexible Stromtarife oder gar ein eigenes Energieportfoliomanagement produzierenden Unternehmen ermöglichen, ihren Energiebedarf auf das zeitlich variierende Angebot anzupassen, sind erhebliche Kostenvorteile für sie erreichbar [2]. Voraussetzung hierfür ist allerdings die Planbarkeit des eigenen Energieverbrauchs für die produzierenden Unternehmen.

*) Danksagung

Die in diesem Beitrag vorgestellte Planungsmethode ist Ergebnis des Forschungsprojekts Balanced Manufacturing, gefördert vom Klima- und Energiefonds bzw. der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft FFG. Die Autoren bedanken sich bei allen Projektpartnern.

Auch für diese neue Herausforderung soll die in diesem Beitrag beschriebene Planungsmethode eine Möglichkeit anbieten, allerdings soll sie auch ganz allgemein einen Beitrag zu höherer Energieeffizienz in der Produktion leisten: Der Klimaschutz und die damit verbundene gesellschaftliche Verantwortung zu nachhaltigem Wirtschaften auf der einen Seite [3] und die mittel- bis langfristig steigenden Energiepreise für knappe Energieresourcen auf der anderen Seite haben die Energieeffizienz seit geraumer Zeit zu einem wichtigen Ziel moderner Unternehmen gemacht. Gleichzeitig fehlen den Unternehmen aber verbreitet noch die notwendigen Planungswerkzeuge, um ihre Energieeffizienz – vereinfacht gesprochen, die Produktionsleistung im Verhältnis zur eingesetzten Energie – gezielt zu verbessern [4]. Während es im Bereich technologischer Maßnahmen, beispielsweise im Zuge von Energieaudits, bereits Maßnahmen im Energiemanagement gibt, wird Energieeffizienz im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) bislang kaum berücksichtigt. Gleichzeitig wird hierin aber großes Potenzial gesehen, jedoch besonders hier fehlen die notwendigen Planungs-

werkzeuge für Unternehmen [5]. Die im vorliegenden Beitrag vorgestellte Planungsmethode hat zum Ziel, genau diese Lücke füllen zu helfen: Energieeffizienz wird in das Zielsystem der PPS aufgenommen und eine optimierende Planung soll die Terminierung und Sequenzierung von Aufträgen, aber auch die Steuerung von Produktionsanlagen sowie Anlagen in der Peripherie – hier vor allem die Technische Gebäudeausstattung (TGA) – so ausrichten, dass Energieeffizienz zusammen mit den klassischen wirtschaftlichen Zielgrößen verfolgt wird. Vereinfacht ausgedrückt, soll die Funktion eines energiebewussten Advanced Planning Systems (APS) ermöglicht werden. Dadurch schließt sich auch der Bogen zur dynamischen Anpassung des Energiebedarfs produzierender Unternehmen an das volatile Energieangebot und schwankende Energiepreise: auch hierfür ist die in diesem Beitrag vorgestellte Methode ein Schlüssel zur Umsetzung des Optimierungspotenzials.

Im Folgenden wird zunächst das Konzept der Planungsmethode erläutert, dann werden die beiden Hauptbestandteile – die Modellierung/Simulation und die Optimierung – vorgestellt, bevor eine

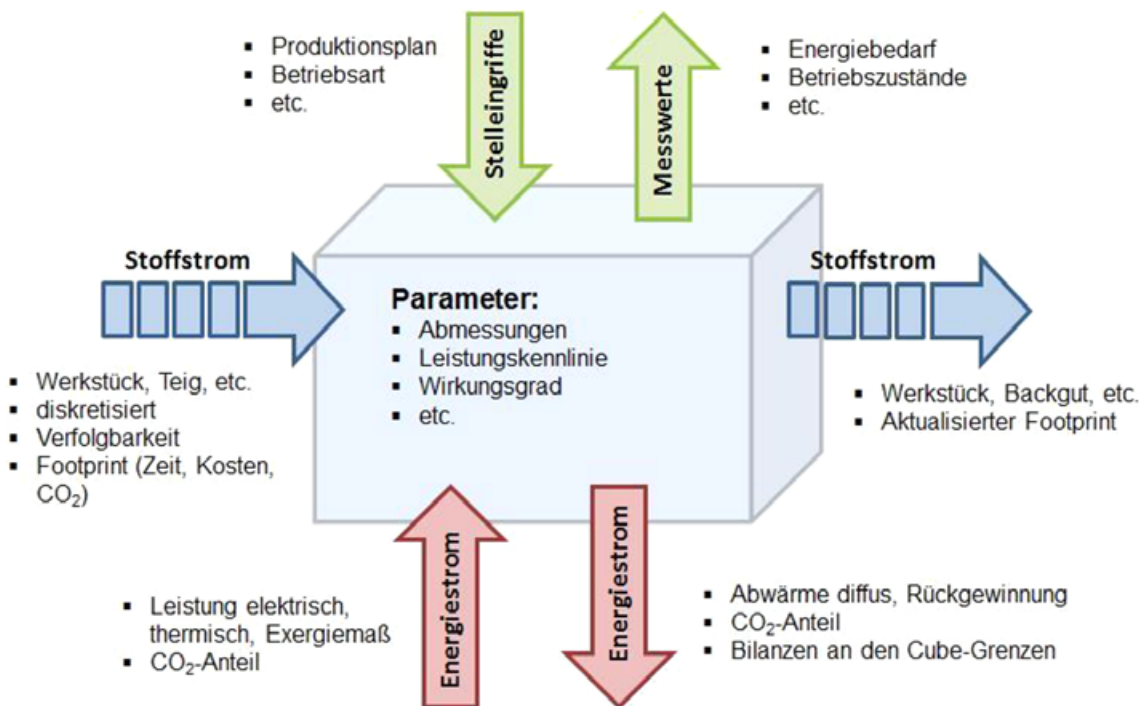


Bild 2. Cube – Grundstruktur und Schnittstellen

der Zielfunktion gemessenen Fitness – der Güte der Lösung – erstellt die Optimierung anhand einer stochastischen aber gerichteten Parametervariation neue Lösungen und überprüft diese wieder mittels der Simulation. Dieser Prozess wiederholt sich unzählige Male, bis eine gute Lösung gefunden wird. Am Ende wird die gefundene Lösung an die Planungssysteme bzw. die PlanerIn des Unternehmens zur Umsetzung in der realen Fertigung übergeben.

Details zur Entwicklung des Optimierungsmoduls wurden ebenfalls bereits veröffentlicht [13]. Nach der Evaluation verschiedener potenziell geeigneter Verfahren für die Optimierung – sogenannter Metaheuristiken – wurde ein Genetischer Algorithmus ausgewählt, in der Folge weiter adaptiert und auf die Art der Lösungsfindung in der energiebewussten Planung von Produktionssystemen zugeschnitten. Der Genetische Algorithmus ist in seiner Funktionsweise der Optimierung der Evolution in der Natur nachempfunden, mit Merkmalsmutation und -kombination sowie der Selektion gut an Umgebungsanforderungen angepasster Merkmale. Die Zielfunktion enthält mehrere Teilziele, die beispielsweise die Bewertung des Energieverbrauches, der Energiekosten, der zu späten oder zu frühen Fertigstellung von Aufträgen, der Durchlaufzeit oder der CO₂-Emissionen umfasst. Die exakte Zielfunktion wird spezifisch für jeden Anwendungsfall von den PlanerInnen bzw. dem Management

des Unternehmens erstellt. Über die Gewichtungen der Teilziele in der Zielfunktion werden die Präferenzen des Managements im Planungstool verfolgt. Sowohl die entwickelte Simulation als auch die Optimierung wurden mittlerweile von einem Umsetzungspartner – einem MES-Entwickler – in eine pilotweise Software-Implementierung überführt.

■ Fallstudie zur Validierung

Zur Beurteilung des Nutzenpotenzials sollen an dieser Stelle die Ergebnisse einer Pilot-Anwendung in einer industriellen Großbäckerei in Österreich in Kurzform vorgestellt werden. Abgebildet wurde eine Produktionslinie für Semmeln mit unterschiedlichen Produktvarianten, von fertiggebackenen über halbfertiggebackene und tiefgekühlte Produkte. Der Anwendungsfall bietet sowohl einen komplexen Materialfluss mit Produktvarianten als auch ein komplexes Energiesystem mit u.a. Backöfen, Kälteanlagen und Wärmeerzeugung in der TGA. Auch

zeitvariable Energiepreise auf Spotmärkten wurden in Test-Szenarien als Inputdaten verwendet, um das Nutzenpotenzial einer Anpassung an fluktuierende Preise mit flexibler Energiebeschaffung zu evaluieren. Die Ergebnisse der Planungsoptimierung variieren je nach Szenario – diese werden bestimmt u.a. durch Jahreszeit, Produktionstag, Planungszeitraum – und bewegen sich zwischen 15 bis 50 Prozent Optimierung des Zielfunktionswertes, also der Erreichung des Gesamtzieles. Die Zielfunktion wurde zusammen mit dem Management des Unternehmens erstellt und ist als eine Kostenfunktion formuliert, in der alle Teilzeile – die der Energieeffizienz wie auch die wirtschaftlichen – auf einen Kostenwert normiert werden. Die Optimierung minimiert den Wert dieser Zielfunktion. Bezogen auf den Energieverbrauch können bis zu 33 Prozent Einsparung erreicht werden. Die Basis- bzw. Vergleichslösung ist hierbei immer der manuell von menschlichen PlanerInnen erstellte Plan. Das Optimierungspotenzi-

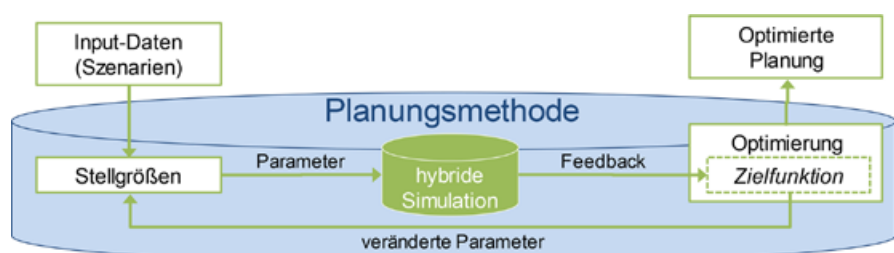


Bild 3. Grundaufbau und -ablauf der simulationsbasierten Optimierung im Planungstool

al vergrößert sich relativ, wenn Spotmarktpreise für die Beschaffung von Energie als Inputdaten genutzt werden. Besonders ergiebig sind hierbei – bezüglich der Energiekosten – vor allem Produktionszeitpunkte im Sommer, an denen der Kühlungsbedarf in der Produktion am größten ist und günstige Energie aus erneuerbaren Quellen zeitweise in großer Menge zur Verfügung steht; die Optimierung kann über kleine Terminadjustierungen von Aufträgen die Nutzung dieser günstigen Energie maximieren. Die Optimierung umfasst weiterhin beispielsweise günstige Auftragssequenzierung, Terminierung von Aufträgen zu Zeitpunkten günstiger Energie sowie die optimale An- und Abschaltung von Aggregaten in der TGA. Das Simulationsmodell und die Zielfunktion wurden mit realen Mess- und Produktionsdaten parametrisiert, sodass die Planungsergebnisse praxisrelevant sind.

Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellte Planungsmethode ermöglicht eine Berücksichtigung der Energieeffizienz im Zielsystem der PPS und bietet dabei nicht nur eine Optimierung der Produktionsanlagen selbst, sondern umfasst auch die optimierte Steuerung von Aggregaten in der Peripherie. Erreicht wird die integrierte Planungsoptimierung über eine neuentwickelte hybride Simulation, kombiniert mit einer multikriteriellen Optimierung. Die Ergebnisse einer Fallstudie in der Lebensmittelindustrie weisen erhebliches Optimierungspotenzial von 15 bis 50 Prozent Gesamtoptimierung und bis ca. 30 Prozent Energieeinsparung aus. Die Methode entspricht dem Grundansatz biointelligenter Produktionssysteme, in denen über Imitation biologischer Prozesse – in diesem Fall des Evolutionsprozesses – eine positive Umweltwirkung erzielt werden kann.

Ein kritischer Faktor bei der Anwendung in komplexen realen Produktionssystemen ist die Rechenzeit der Planungsoptimierung. Um im Sinne des energiebewussten APS eingesetzt zu werden, muss die Methode innerhalb kurzer Zeit Ergebnisse liefern. Wichtig sind hier eine gezielte Suche in der Optimierung sowie die bedarfsgerechte Modellierung – großes Detail sollte nur für

die Modellbestandteile des Systems abgebildet werden, in denen entsprechend großes Optimierungspotenzial liegt. So kann beispielsweise das energetische Verhalten von einfachen mechanischen und wenig energieintensiven Prozessen stark vereinfacht oder gar nicht abgebildet werden, um die Rechenperformance des Tools zu verbessern. Ein wesentlicher Faktor ist zudem die effiziente Software-Implementierung, die aktuell mit Partnern vorangetrieben wird. Außerdem werden Fallstudien mit ganzen Fabriken durchgeführt, um das Verhalten in sehr großen, komplexen Produktionssystemen zu evaluieren.

Literatur

1. Neugebauer, R. (Hrsg.): Handbuch ressourcenorientierte Produktion: Hanser eLibrary. Carl Hanser Verlag, München, Wien 2014
2. Uslar, M.; Specht, M.; Dänekas, C.; Trefke, J.; Rohjans, S.; González, J.; Rosinger, C.; Bleiker, R.: Standardization in Smart Grids. Introduction to IT-Related Methodologies, Architectures and Standards: Power Systems. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2013
DOI: 10.1007/978-3-642-34916-4
3. United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC): Historic Paris Agreement on Climate Change 2017. Online: <http://newsroom.unfccc.int/unfccc-newsroom/finale-cop21/>
4. Kara, S.; Manmek, S.; Herrmann, C.: Global Manufacturing and the Embodied Energy of Products. CIRP Annals – Manufacturing Technology 59 (2010) 1, S. 29–32
5. Michaloski, J.; Shao, G.; Arinez, J.; Lyons, K.; Leong, S.; Riddick, F.: Analysis of Sustainable Manufacturing Using Simulation for Integration of Production and Building Service. Society for Computer Simulation International 2011. Online: http://dl.acm.org/ft_gateway.cfm?id=2048548&type=pdf
6. He, Y.; Li, Y.; Wu, T.; Sutherland, J.: An Energy-responsive Optimization Method for Machine Tool Selection and Operation Sequence in Flexible Machining Job Shops. Journal of Cleaner Production 87 (2015), S. 245–254
DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.10.006
7. Herrmann, C.; Thiede, S.; Kara, S.; Hesselbach, J.: Energy Oriented Simulation of Manufacturing Systems – Concept and Application. CIRP Annals – Manufacturing Technology 60 (2011) 1, S. 45–48
8. Li, W.: Efficiency of Manufacturing Processes. Energy and Ecological Perspectives: Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management. Springer, Cham 2015
DOI: 10.1007/978-3-319-17365-8
9. Thiede, S.; Schönemann, M.; Kurle, D.; Herrmann, C.: Multi-level Simulation in Manufacturing Companies. The Water-energy Nexus Case. Journal of Cleaner Production 139 (2016), S. 1118–1127
DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.08.144
10. Zeigler, B.; Praehofer, H.; Kim, T.: Theory of Modeling and Simulation. Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems. Acad. Press, Amsterdam 2007
11. Raich, P.; Heinzl, B.; Preysler, F.; Kastner, W.: Modeling Techniques for Integrated Simulation of Industrial Systems Based on Hybrid PDEVS: 2016 Workshop on Modeling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems (MSCPES), S. 1–6
DOI: 10.1109/MSCPES.2016.7480221
12. Popper, N.; Hafner, I.; Rössler, M.; Preysler, F.; Heinzl, B.; Smolek, P.; Leobner, I.: A General Concept for Description of Production Plans with a Concept of Cubes. Simulation Notes Europe 24 (2014) 2, S. 105–114
13. Sobottka, T.; Kamhuber, F.; Sihm, W.: Increasing Energy Efficiency in Production Environments Through an Optimized, Hybrid Simulation-based Planning of Production and Its Periphery. Procedia CIRP 61 (2017), S. 440–445
DOI: 10.1016/j.procir.2016.11.151

Die Autoren dieses Beitrags

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Thomas Sobottka arbeitet als Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Fraunhofer Austria in Wien im Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement sowie der TU Wien. Seine Themenschwerpunkte sind Planungswerkzeuge in der Materialflussplanung sowie der PPS, dynamische Simulation sowie Energieeffizienz in der Produktion.

Dipl.-Ing. Felix Kamhuber ist Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU Wien sowie bei Fraunhofer Austria in Wien. Seine Themenschwerpunkte sind dynamische Simulation, Optimierungsverfahren und Produktionsglättung.

Univ. Prof. Dr. Ing. DI Prof. eh. Dr. h. c. Wilfried Sihm ist seit September 2004 Professor für Betriebstechnik und Systemplanung am Institut für Managementwissenschaften an der TU Wien. Er ist Geschäftsführer der Fraunhofer Austria Research GmbH und verantwortlich für den Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement in Wien. Prof. Dr. Wilfried Sihm ist seit 30 Jahren im Bereich der angewandten Forschung und Beratung tätig und trug maßgeblich zur konzeptionellen Entwicklung der Fraktalen Fabrik und der Dezentralen Anlagen- und Prozessverantwortung und ihrer erfolgreichen Umsetzung in verschiedenen Branchen bei.

Bibliography

DOI 10.3139/104.111780

ZWF 112 (2017) 9; page 559–562

© Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG
ISSN 0032–678X