Digitale Produktionsprozessplanung variantenreicher Produkte unter Berücksichtigung von intervallbasierten Eingangsdaten

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

Dennis Arnhold

eingereicht bei der Fakultät für
Mathematik/Informatik und Maschinenbau
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung

06. März 2013

Vorsitzender der Prüfungskommission:

Prof. Dr.-Ing. Norbert Müller

Hauptberichterstatter:

Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht

Berichterstatter:

Prof. Dr.-Ing. Bernd Noche

Innovationen der Fabrikplanung und -organisation

Band 29

Dennis Arnhold

Digitale Produktionsprozessplanung svariantenreicher Produkte unter Berücksichtigung von intervallbasierten Eingangsdaten

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag
Aachen 2013

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

Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2013

Copyright Shaker Verlag 2013
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1924-7
ISSN 1615-5211

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen
Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Nur die erfolgreiche Gestaltung und Weiterentwicklung industrieller Wertschöpfung kann auf Dauer unseren Lebensstandard und die Errungenschaften der sozialen Marktwirtschaft absichern. Die Produktion bildet nach wie vor das Rückgrat einer modernen, im globalen Wettbewerb stehenden Industrie-, Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft. Umfassendes Wissen und stetig neue Erkenntnisse auf den Gebieten der Fabrikplanung und Produktionsorganisation sind existentiell notwendig.

Die unternehmerische Bedeutung der Produktionsplanung ist im gleichen Maße gestiegen, wie sich die Innovationszyklen von Produkten, Fertigungs- und Logistiksystemen sowie der Arbeitsorganisation verkürzt haben. Um die vorhandene Marktposition zu festigen oder um Wettbewerbsvorteile zu erlangen, muss jede Unternehmensleitung neben dem Produkt und der Technologie auch die Produktionsstrukturen ständig analysieren, sie rechtzeitig an die zu erwartenden Marktentwicklungen anpassen und gegebenenfalls erneuern.

Die erhöhten Ansprüche an die Gestaltung und Wandlungsfähigkeit von Produktionsstrukturen im turbulenten Umfeld erfordern ein effizientes Projektmanagement und eine durchgehende rechnergestützte Planungsunterstützung. In der vorliegenden Reihe – Innovationen der Fabrikplanung und -organisation – sollen neue Methoden und Instrumente zur Planung und Optimierung von Produktionssystemen und -abläufen einer breiten Leserschaft in verständlicher Form vorgestellt werden. Es sind Forschungsergebnisse die häufig in enger Zusammenarbeit mit der Industrie am Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der Technischen Universität Clausthal im Bereich Anlagenprojektierung und Materialflusslogistik entstanden sind.

Ein gemeinsamer systemtechnischer Ansatz kennzeichnet die Fachgebiete Anlagenplanung und Logistik, deren technische, informationstechnische, organisatorische und wirtschaftliche Fragestellungen ganzheitlich und zukunftsweisend zu beantworten sind. Die angestrebten Lösungsstrategien sind im Rahmen des gesamten Produkt- und Produktionsentstehungsprozesses zu sehen und beinhalten sowohl eine theoretische, planerische und simulierende Seite als auch die konkrete Ausgestaltung von Prozessketten, Organisationsformen und Abläufen.

In der Vergangenheit wurden Produktionsstrategien, Programme und Teilebedarfe nicht selten aufgrund persönlicher Einschätzung und Erfahrung festgelegt. Heute sind mit Hilfe mathematischer, wissensbasierter Modelle hinreichende Prognosen und Szenarien zu entwickeln und das Komplexitätsmanagement muss bereits bei der Entwicklung variantenreicher Serienprodukte einsetzen. So können z.B. Agentensysteme schon vorausschauend bei der Analyse von Verbindungen möglicher Module helfen.

Früher wurden die darauf aufbauenden Produktionsstrukturen in der Regel nur statisch geplant und für dynamische Betrachtungen allenfalls Mittelwerte herangezogen. Um in Zukunft falsche oder überhöhte Investitionen und unnötige Folgekosten zu vermeiden, sind bestehende und zu planende Anlagen umfassend dynamisch zu analysieren und optimieren. Mit dem inzwischen zur Realität gewordenen ganzheitlichen Ansatz der Digitalen Fabrik kann jetzt – auf Basis eines umfassenden integrierten Datenmanagements durch rechnergestützte Einzelmethoden bis hin zur Virtuellen Realität - der Planungsprozess entscheidend beschleunigt und verbessert sowie die Planungsqualität und -sicherheit erheblich erhöht werden.

Nicht zuletzt gilt es, die in den Produktions- und Logistiksystemen arbeitenden Menschen wieder stärker in den Mittelpunkt zu stellen, ihre Bedürfnisse zu respektieren und ihnen genügend Raum für Engagement und Verantwortung mit effizienten Formen der Arbeitsorganisation zu geben, die Verschwendung vermeiden und eine stetige Steigerung des Produktionsflusses ermöglichen.

Clausthal, im März 2013 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Uwe Bracht

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand in meiner Zeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit der Technischen Universität Clausthal. An dieser Stelle möchte ich mich bei den Menschen bedanken, die mich auf dem Weg der wissenschaftlichen Arbeit begleitet haben.

Herrn Professor Uwe Bracht ermöglichte mir die Chance zur Promotion, förderte und betreute mich und bot mir ein Arbeitsumfeld, in dem ich die Voraussetzungen für diese Arbeit fand, wofür ich ihm zu Dank verpflichtet bin. Für die Übernahme des Zweitgutachtens danke ich Herrn Professor Bernd Noche von der Universität Duisburg-Essen, ebenso wie Herrn Professor Norbert Müller für den Prüfungsvorsitz.

Für das Wissen über die intervallbasierte Bedarfsprognose, die eine sehr wichtige Grundlage meiner Arbeit darstellt, möchte ich mich bei Dr. Andreas Schütte und Dr. Jochen Kappler bedanken. In der mehrjährigen Zusammenarbeit mit der Forschung der Daimler AG habe ich viel gelernt und wertvolle Erfahrungen gesammelt.

Den ehemaligen Kollegen des Instituts für Maschinelle Anlagentechnik, Dipl.-Ing. Patrick Brosch, Dipl.-Inf. Markus Kramer, Dr. Johannes Reichert, Dr. Christian Schlange, Dipl.-Ing. Till Sonntag, Dr. Andrea Spillner und Christian Krage verdanke ich viele weiterführende Diskussionen und eine angenehme Zusammenarbeit. Den beiden Dipl.-Wirtschaftsing. Christoph Klimke und Frederick Engelmann danke ich für ihre Vorarbeiten.

Ein besonderer Dank gebührt Professor Frank Obermeier und Dr. Bardo Behrend, die die Arbeit Korrektur gelesen haben und mir wertvolle Hinweise gaben.

Ohne die jahrelange Unterstützung meiner Eltern hätte ich wohl nicht studiert und damit auch nicht promoviert. Für das Vertrauen, dass Sie mir in all der Zeit entgegengebracht haben, bedanke ich mich herzlich.

Nürnberg, im März 2013 Dennis Arnhold

Kurzfassung

Eine der wichtigsten Planungsprämissen der Fabrikplanung ist das Produktionsprogramm mit den Vorgaben für Art und Menge der herzustellenden Produkte. Aufbauend darauf erfolgen unter anderem die Ausrichtung der Fertigungstechnologien, die Festlegung von Taktzeiten und die Ermittlung von Pufferkapazitäten sowie der benötigten Ressourcen.

Am Beispiel der Automobilindustrie kann exemplarisch gezeigt werden, dass eine frühzeitige, exakte und belastbare Festlegung der Anzahl zu fertigender Fahrzeuge und ihrer Varianten immer schwerer beziehungsweise nicht mehr möglich ist. Ein wichtiger Grund, vor allem im europäischen Raum, ist die starke Ausrichtung an den Kundenwünschen. Durch die Möglichkeit das Endprodukt durch Kombination einer Vielzahl kundenwählbarer Ausstattungsmerkmale zu definieren, gilt es im Rahmen einer Neuplanung, selbst bei Fahrzeugen der Mittelklasse, unter Umständen mehrere Milliarden Varianten zu berücksichtigen. Diese Vielfalt bedingt, dass selbst bei sehr genauen Primärbedarfsprognosen Sekundärbedarfe nur unscharf aufgelöst werden können.

Um diesen Umstand zu berücksichtigen, wurden in der vorliegenden Arbeit im Rahmen der Produktionsprozessplanung die Ergebnisse eines neuartigen Ansatzes zur intervallbasierten Primär- und Sekundärbedarfsprognose integriert. Dieser erzielt robuste Eingangsdaten bis auf Teileebene, allerdings auf Kosten der Exaktheit, was durch Intervalle zum Ausdruck kommt. Da bisherige Planungsmethoden auf punktexakte Daten ausgerichtet sind und mit unscharfe Eingangsdaten nicht verarbeiten können, ist in dieser Arbeit ein neues Konzept zur Berücksichtigung von Intervallen entwickelt und im Rahmen von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik umgesetzt worden.

Durch die Entwicklung eines entsprechenden Datenmodells und notwendiger Modellierungsrichtlinien für die statische Prozessplanung kann ein Produkt-Prozess-Ressource-Modell geplant werden, dass die Varianten und die zugehörigen Intervalle in einer Komplexstückliste berücksichtigt. Durch Anpassung eines Modellgenerators wird es ermöglicht teilautomatisch ein Modell für die ereignisdiskrete Ablaufsimulation zu erstellen, um dort die Auswirkungen der intervallbasierten Verbauraten auf Taktzeiten, Flächen und Auslastung zu untersuchen. Um den Anforderungen der unscharfen Eingangsdaten gerecht zu werden, mussten hierzu zwei neue Steuerungsprinzipien entwickelt werden. Damit wird in dieser Arbeit erstmals ein Weg gezeigt, wie in der Produktionsprozessplanung durchgängig komplexe und unscharfe Eingangsdaten verwendet werden können. Dies führt zu unscharfen aber robusten Ergebnissen, die die Scheingenauigkeit punktexakter Ergebnisse vermeiden.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1
1.1 Ausgangssituation 1
1.2 Motivation und Ziel der Arbeit 4
1.3 Aufbau der Arbeit 5
2 Planungsumfeld 7
2.1 Fabrikplanung 8
2.1.1 Phasen der Fabrikplanung 10
2.1.2 Produktionsprozessplanung 28
2.2 Grundlagen und Definitionen der Digitalen Fabrik 37
2.2.1 Eingrenzung des Anwendungsfeldes in der Digitalen Fabrik 42
2.2.2 Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik 47
2.3 Methoden 51
2.3.1 Statische Prozessplanung 51
2.3.2 Materialflusssimulation 57
2.3.3 Automatische Modellgenerierung 62
2.4 Werkzeuge 66
2.4.1 Process Designer 67
2.4.2 Plant Simulation 73
2.4.3 Schnittstelle zwischen Process Designer und Plant Simulation 74
3 Datengrundlagen variantenreiche Serienprodukte 80
3.1 Kundenauftragsprozess und Produktentstehungsprozess 80
3.2 Produktinformationen 83
3.2.1 Stückliste 85
3.2.2 Produktübersicht 89
3.3 Intervallbasierte Primär- und Sekundärbedarfsprognose 90
3.3.1 Arten von Prognoseverfahren 91
3.3.2 Struktur der intervallbasierten Bedarfsplanung 92
3.3.3 Intervallarithmetik 96
3.3.4 Eigenschaften 101
3.4 Verteilungen und Erwartungen 103
4 Intervallbasierte Produktionsprozessplanung 105
4.1 Zusammenfassung der Anforderungen 106

4.1.1 Ableitung des zeitlichen Einsatzes und der damit verbundenen Planungstätigkeiten 107
4.1.2 Berücksichtigung bestehender Ansätze für unscharfe Sekundärbedarfe ... 109
4.1.3 Validierungsmöglichkeiten ... 110
4.2 Beschreibung der Methodik ... 112
4.2.1 Statische Prozessplanung ... 112
4.2.2 Dynamische Planung ... 116
4.2.3 Bidirektionaler Datenaustausch ... 123
4.3 Implementierung ... 124
4.3.1 Process Designer ... 125
4.3.2 Plant Simulation und Process Designer Interface ... 132
5 Beispielhafte Nutzung und Auswertung ... 138
5.1 Entwicklung des statischen PPR-Modells ... 138
5.2 Dynamische Untersuchung des PPR-Modells ... 144
5.3 Diskussion der Ergebnisse ... 151
6 Zusammenfassung und Ausblick ... 153
6.1 Zusammenfassung ... 153
6.2 Ausblick ... 154
Abbildungsverzeichnis ... 156
Tabellenverzeichnis ... 158
Abkürzungsverzeichnis ... 159
Anhang ... 161
Anhang A ... 161
Anhang B ... 163
Anhang C ... 165
Anhang D ... 169
Literaturverzeichnis ... 171