

**Gestaltungsrahmen zur Implementierung von
Selbststeuerung in der variantenreichen
Großserienfertigung der
Automobilzulieferindustrie**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Ingenieurwissenschaften

(Dr.-Ing.)

im Fachbereich Maschinenbau
der Universität Kassel

vorgelegt von

Dipl.-Wi.-Ing. Pinar Boyaci

aus Pforzheim

Kassel, im September 2012

Die vorliegende Arbeit wurde vom Fachbereich Maschinenbau der Universität Kassel als Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) angenommen.

Erste Gutachterin:	Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel, Universität Kassel
Zweiter Gutachter:	Prof. Dr.-Ing. Roland Jochem, Technische Universität Berlin
Weitere Prüfer:	Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm, Universität Kassel Prof. Dr.-Ing. Konrad Spang, Universität Kassel

Tag der mündlichen Prüfung: 17.12.2012

Produktionsorganisation und Fabrikplanung

Band 3

Pinar Boyaci

**Gestaltungsrahmen zur Implementierung von
Selbststeuerung in der variantenreichen Großserien-
fertigung der Automobilzulieferindustrie**

D 34 (Diss. Univ. Kassel)

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.: Kassel, Univ., Diss., 2012

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 978-3-8440-2132-5

ISSN 2192-5569

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

Geleitwort der Herausgeberin

Globalisierung und Strukturwandel bedingen eine permanente Anpassung der unternehmenseigenen Produktions- und Dienstleistungsprozesse an die Bedarfe des Marktes. Damit Produktions- und Logistiksysteme wettbewerbsfähig, nachhaltig und wandlungsfähig werden, bedarf es einer vernetzten Betrachtung von Produkten, Prozessen und Ressourcen sowie einer durchgängigen Integration von Informations- und Kommunikationstechniken in Planung und Betrieb. Um diesen Anforderungen zu genügen, verlangen die heutigen Fabrikplanungsprozesse kollaborative Arbeitsweisen und den intensiven Einsatz modellgestützter Methoden und Werkzeuge.

Ziele der Forschungsarbeiten des Fachgebietes Produktionsorganisation und Fabrikplanung *ppf* im Institut für Produktionstechnik und Logistik an der Universität Kassel sind die Weiterentwicklung von Methoden und Werkzeugen der Digitalen Fabrik und ihre verbesserte Anwendung im Rahmen eines Virtual Simultaneous Engineering in interdisziplinären Planungsteams. Mit diesen Forschungen einher gehen eine permanente Verbesserung des Planungsprozesses, eine Erhöhung von Planungsqualität und -sicherheit, aber auch eine Weiterentwicklung der Produktions- und Logistiksysteme sowie -prozesse und damit verbunden der Material- und Informationsflüsse in der produzierenden Industrie, im Handel, in der Landwirtschaft, aber auch in Organisationen.

Im Rahmen dieser Buchreihe werden die Ergebnisse einschlägiger Forschungsarbeiten des Fachgebietes *ppf* publiziert. Diese beziehen sich einerseits auf die methodische Verbesserung und informationstechnische Ausgestaltung der Fabrikplanung, andererseits auf zukunftsorientierte Konzepte für Produktions- und Logistikprozesse. In diesem Zusammenhang werden auch die für eine intelligente, wandlungsfähige und vernetzte Systemgestaltung wichtigen Querschnittsaufgaben der Modellbildung, der Simulation und Visualisierung, des Daten-, Informations- und Wissensmanagements sowie der Kooperation und Kollaboration behandelt. Die einzelnen Bände der Buchreihe präsentieren ausgewählte Forschungsarbeiten, mit denen die Autoren dem Anwender in der Praxis einen Einblick in ihre aktuellen Forschungserkenntnisse und Anhaltspunkte für potentielle Verbesserungen in Planung und Betrieb geben möchten.

Vorwort der Autorin

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorandin in der Abteilung für Materialwirtschaft und Logistik, Produktbereich Lambdasonde der Robert Bosch GmbH.

Frau Prof. Dr.-Ing. Sigrid Wenzel vom Institut für Produktionstechnik und Logistik, Fachgebiet Produktionsorganisation und Fabrikplanung, Fachbereich Maschinenbau der Universität Kassel, danke ich ganz herzlich für die wissenschaftliche Betreuung, die Übernahme des Hauptreferats sowie die hervorragende fachliche Unterstützung im Laufe meiner gesamten Zeit als externe Doktorandin an ihrem Institut.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Roland Jochem vom Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb der Technischen Universität Berlin danke ich für die Übernahme des Korreferats sowie die Anregungen im Laufe dieser Arbeit.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Stefan Böhm vom Fachgebiet Trennende und Fügende Fertigungsverfahren sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Konrad Spang vom Institut für Arbeitswissenschaft und Prozessmanagement danke ich für die Teilnahme als Mitglieder der Prüfungskommission.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Christoph Pauen für die großartige Unterstützung im Rahmen dieser Arbeit und auch die wohlwollende Förderung über die letzten Jahre. Seine zahlreichen Anregungen wie auch die fachlichen Diskussionen sind für mich von unschätzbarem Wert.

Allen Mitarbeitern des Standortes Rutesheim danke ich für die gute Zusammenarbeit und die kollegiale Atmosphäre. Besonders hervorheben möchte ich dabei Herrn Martin Mayer und Herrn Stefan Lomnitz, die mir den für diese Arbeit benötigten zeitlichen Freiraum während meiner Projekte ermöglicht und somit erheblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei Herrn Martin Ogaza für die zahlreichen fachlichen Diskussionen, guten Ideen sowie Korrekturhinweise zum Ende der Arbeit. Mein Dank gilt ebenso Frau Hien Pham Thu, Frau Mareike Petry sowie Herrn Peter Volker Müller, die mit ihren kritischen Hinweisen einen großartigen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet haben.

Abschließend danke ich von ganzem Herzen meiner Familie, die mich über den gesamten Zeitraum unterstützt und motiviert hat.

Mühlacker, den 17. Dezember 2012
Pinar Boyaci

Kurzfassung

Die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit stellt eine der zentralen Herausforderungen der deutschen Automobilzulieferindustrie dar. Diese wird unter anderem durch die Gestaltung ihrer Produktionsprozesse beeinflusst. Klassische Produktionssysteme zeichnen sich durch eine zentrale Planungseinheit aus, welche die Vorausplanung aller Materialflüsse und Prozesse übernimmt. Zentrale Vorausplanung und Steuerung kann jedoch zu suboptimalen Ergebnissen führen, die in niedrigerer Effizienz resultieren. Daher werden in der vorliegenden Arbeit zunächst die Vorteile von Selbststeuerungsstrategien für die Produktion und Logistik aus der aktuellen Literatur abgeleitet.

Die Steuerung im Umfeld einer variantenreichen Großserienfertigung birgt weitere kritische Punkte, die sich in der Umsetzung selbststeuernder Verfahren negativ bemerkbar machen und diese erschweren. Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch verdeutlicht, dass gerade diese Konstellation sich häufig bei Automobilzulieferern der ersten Stufe zeigt, die durch ihre Positionierung in der Lieferkette einen strategisch wichtigen Stellenwert einnehmen. Darüber hinaus wird herausgearbeitet, welche betriebswirtschaftlichen Vorteile sich durch den Einsatz der Selbststeuerung bei dieser Unternehmensklasse bieten.

Somit ist das übergeordnete Ziel dieser Arbeit die Implementierung von Selbststeuerung bei einem Automobilzulieferer der ersten Stufe mit hohen Variantenzahlen und einem großen Stückzahlauflkommen. Nähere Untersuchungen der existierenden Methoden zur Selbststeuerung ergeben aber einen Bedarf an Untersuchungsmethoden und Strategien der Selbststeuerung für diese Art von Unternehmen. Darüber hinaus fehlt ein ganzheitlicher Ansatz, der interessierte Unternehmen von der Idee zum Einsatz der Selbststeuerung bis zu ihrer Realisierung unterstützt. Mit dieser Arbeit wird daher ein Gestaltungsrahmen für potentielle Anwenderunternehmen geschaffen, mit dessen Hilfe sowohl eine Einschätzung der präferierten Selbststeuerungsmethode als auch der passenden Simulationsmethode für die Systemumgebung ermöglicht wird.

Zunächst wird mittels eines Eignungsfeststellungsverfahrens die Tauglichkeit des Unternehmens für den Gestaltungsrahmen geprüft. Entsprechen die Eigenschaften des Betriebs den Anforderungen des Gestaltungsrahmens, erfolgt die Potentialanalyse. Diese ermöglicht den Abgleich der Präferenzen der anwendenden Firma mit den Verbesserungspotentialen, die sich durch den Einsatz der Selbststeuerung eröffnen. Im nächsten Schritt wählt der Anwender die individuelle Selbststeuerungsstrategie. Unterstützung bietet dabei das Konfigurationsmodul. Experimentierung und Analyse kritischer Prozesse unter dem Gesichtspunkt der neuen Selbststeuerungskonfiguration werden durch das Simulationsmodul ermöglicht. Hierbei stehen sowohl die kontinuierliche als auch die ereignisdiskrete Simulation zur Verfügung. Eine passende Bewertungssystematik dient dabei der Auswahl eines geeigneten Simulationsmodells.

Der vorliegende Gestaltungsrahmen bietet einen Beitrag zur Realisierung der Selbststeuerung in der Praxis für eine komplexe Zielgruppe. Somit wird einer Klasse von Unternehmen die Erhaltung ihrer Wettbewerbsfähigkeit mit Hilfe der Selbststeuerung ermöglicht, für die es in der bisherigen Selbststeuerungsforschung keine Anwendung gab.

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbstständig, ohne unerlaubte Hilfe Dritter angefertigt und andere als die in der Dissertation angegebenen Hilfsmittel nicht benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder unveröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Dritte waren an der inhaltlich-materiellen Erstellung der Dissertation nicht beteiligt; insbesondere habe ich hierfür nicht die Hilfe eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Kein Teil dieser Arbeit ist in einem anderen Promotions- oder Habilitationsverfahren verwendet worden.

Mühlacker, 10. September 2012

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung	1
1.1	Zielsetzung und Motivation	2
1.2	Aufbau der Arbeit und wissenschaftliches Vorgehen	7
2	Selbststeuerung und Simulation in Produktion und Logistik	11
2.1	Steuerung und Regelung technischer Systeme	11
2.2	Selbststeuerung in der Produktion und Logistik	13
2.3	Simulation in Produktion und Logistik	16
3	Selbststeuerung im Kontext variantenreicher Großserienfertigung der Automobilzulieferindustrie	19
3.1	Definition von Anforderungen an die Selbststeuerung	19
3.1.1	Herleitung typischer Merkmalsausprägungen bei Automobilzulieferern	23
3.1.2	Resultierende Anforderungen an die Selbststeuerung aus der Charakterisierung von Automobilzulieferern	32
3.2	Ableitung von Potentialen und Bewertungskriterien der Selbststeuerung	34
3.2.1	Betriebswirtschaftliche Kennzahlen und Kennzahlensysteme	35
3.2.2	Ableitung der Potentiale und Bewertungskriterien von Selbststeuerung	38
3.3	Zusammenfassung und Bedeutung für den Gestaltungsrahmen	42
4	Evaluierung aktueller Forschung im Bereich der Selbststeuerung	45
4.1	Übersicht evaluierter Literatur	45
4.2	Bewertung vorhandener Produktionsszenarien zur Untersuchung der Selbststeuerung	48
4.2.1	Produktionsszenario paralleler Produktionslinien	49
4.2.2	Produktionsszenario der Werkstattfertigung	49
4.2.3	Produktionsszenario einer Supply Chain	52
4.2.4	Produktionsszenario einer Fließbandfertigung	53
4.2.5	Bewertung der Produktionsszenarien	54
4.3	Abgleich der Anforderungen an die Selbststeuerung mit Selbststeuerungsstrategien aus der Literatur	57
4.3.1	Regelbasierte Selbststeuerungsstrategien	57
4.3.2	Bioanaloge Selbststeuerungsstrategien	57
4.3.3	Selbststeuerungsstrategien unter Anwendung der Steuerungs- und Regelungstechnik	60
4.3.4	Selbststeuerungsstrategien mittels Methoden der künstlichen Intelligenz	61
4.3.5	Abgleich vorhandener Selbststeuerungsstrategien mit Anforderungen	62
4.4	Darstellung erforderlicher Simulationsparameter mit existierenden Simulationsmodellen	64
4.4.1	Kontinuierliche Simulation der Selbststeuerungsmethoden	64

4.4.2	Diskrete Simulation der Selbststeuerungsmethoden	65
4.4.3	Einordnung der kontinuierlichen und ereignisdiskreten Simulationsmodelle	67
4.5	Zwischenfazit und Handlungsbedarf	69
5	Simulationsgestützte Entwicklung von Selbststeuerungsstrategien	71
5.1	Herleitung eines typischen Produktionsszenarios für die Automobilzulieferindustrie	71
5.2	Erstellung von Simulationsmodellen zur Untersuchung der Selbststeuerung	73
5.2.1	Kontinuierliches Simulationsmodell	73
5.2.2	Ereignisdiskretes Simulationsmodell	75
5.3	Entwicklung von Selbststeuerungsstrategien für die Automobilzulieferindustrie	77
5.3.1	Selbststeuerungsstrategien im kontinuierlichen Fall	77
5.3.2	Selbststeuerungsstrategien im ereignisdiskreten Fall	83
5.4	Gestaltungsansatz zur individuellen Selbststeuerungskonfiguration	87
5.4.1	Ermittlung eines geeigneten Entscheidungsverfahrens	87
5.4.2	Individuelle Selbststeuerungskonfiguration	91
5.5	Zusammenfassung und Bedeutung für den Gestaltungsrahmen	95
6	Bewertungsverfahren zur Auswahl eines passenden Simulationsmodells	97
6.1	Bestimmung geeigneter Bewertungskriterien	97
6.2	Bewertung der Simulationsmodelle anhand praktischer Simulationsstudien produktions-typischer Szenarien	102
6.2.1	Modellformalisierung	103
6.2.2	Verifikation und Validierung	103
6.2.3	Implementierung	104
6.2.4	Experimente und Analyse	105
6.3	Relevante Bewertungskriterien und Gewichtung zur Festlegung individueller Simulationsmethodik	128
6.4	Zusammenfassung und Bedeutung für den Gestaltungsrahmen	129
7	Gestaltungsrahmen zur Selbststeuerung in der variantenreichen Großserienfertigung der Automobilzulieferindustrie	131
7.1	Auswahlmodul	133
7.1.1	Eignungsfeststellungsverfahren	133
7.1.2	Potentialanalyse	135
7.2	Konfigurationsmodul	135
7.3	Simulationsmodul	139
7.4	Anwendungshinweise	140
8	Studie in Beispielunternehmen	143
8.1	Beschreibung des Fallbeispielunternehmens	143
8.2	Abgleich durch Auswahlmodul	144
8.2.1	Durchführung des Eignungsfeststellungsverfahrens	144
8.2.2	Potentialanalyse des potentiellen Anwenderunternehmens	147
8.3	Individuelle Selbststeuerungskonfiguration anhand Konfigurationsmodul	150
8.4	Simulation mittels Simulationsmodul	154
8.5	Evaluation der Gesamtlösung	163

9 Zusammenfassung und Ausblick	167
A Grafiken zum Konfigurationsmodul	173
B Grafiken zum Simulationsmodul	175
C Grafiken zur Praxisstudie	179
Symbolverzeichnis	185
Abkürzungsverzeichnis	189
Abbildungsverzeichnis	191
Tabellenverzeichnis	195
Literaturverzeichnis	197