

Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Jan Hochdörffer

**Integrierte Produktallokationsstrategie
und Konfigurationssequenz in
globalen Produktionsnetzwerken**

Band 211



Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Jan Hochdörffer

**Integrierte Produktallokationsstrategie und
Konfigurationssequenz in globalen
Produktionsnetzwerken**

Band 211

Integrierte Produktallokationsstrategie und Konfigurationssequenz in globalen Produktionsnetzwerken

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
der Fakultät für Maschinenbau
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte
Dissertation
von

Jan Hochdörffer
aus Landau in der Pfalz

Tag der mündlichen Prüfung: 23.01.2018

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

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.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-5845-1

ISSN 0724-4967

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

Die schnelle und effiziente Umsetzung innovativer Technologien wird vor dem Hintergrund der Globalisierung der Wirtschaft der entscheidende Wirtschaftsfaktor für produzierende Unternehmen. Universitäten können als "Wertschöpfungspartner" einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der Industrie leisten, indem sie wissenschaftliche Grundlagen sowie neue Methoden und Technologien erarbeiten und aktiv den Umsetzungsprozess in die praktische Anwendung unterstützen.

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieser Schriftenreihe über aktuelle Forschungsergebnisse des Instituts für Produktionstechnik (wbk) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) berichtet werden. Unsere Forschungsarbeiten beschäftigen sich sowohl mit der Leistungssteigerung von Fertigungsverfahren und zugehörigen Werkzeugmaschinen- und Handhabungstechnologien als auch mit der ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung des gesamten Produktionssystems. Hierbei werden jeweils technologische wie auch organisatorische Aspekte betrachtet.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am wbk Institut für Produktionstechnik des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza für die Betreuung meiner wissenschaftlichen Arbeit als Hauptreferentin und für das mir entgegengebrachte Vertrauen in den vergangenen Jahren. Weiter danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhardt für sein Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Korreferats sowie Frau Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml für den Prüfungsvorsitz.

Dem Karlsruhe House of Young Scientists (KHYS) möchte ich an dieser Stelle für die Förderung meines Forschungsaufenthalts an der Sloan School of Management am Massachusetts Institute of Technology (MIT) danken.

Allen Kolleginnen und Kollegen am wbk, im Besonderen im Bereich „Produktionssysteme“, danke ich für die freundschaftliche Atmosphäre am Institut und außerhalb des Arbeitsalltags. Einen besonderen Dank möchte ich an dieser Stelle meinen beiden Kollegen Johannes Fisel und Stefan Treber für die vertrauensvolle Zusammenarbeit während meiner Zeit am wbk und ihr großes Engagement beim Korrekturlesen aussprechen. Mein Dank gilt zudem allen Studierenden, die mit großem Fleiß zum Gelingen meiner wissenschaftlichen Arbeit beigetragen haben. Für die offene, wissenschaftliche Diskussion bedanke ich mich besonders bei Prof. Steven C. Graves, Dr. Frank Bitte, Herrn Hansjörg Tutsch und Herrn Heiko Bühring.

Abschließend möchte ich meinen Eltern und meiner Schwester herzlich für die Unterstützung danken, mit der sie mich stets begleitet haben. Ein besonderer Dank gilt meiner Frau Deborah Hochdörffer, die mit ihrem großen Verständnis entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen hat.

Karlsruhe, im Januar 2018

Jan Hochdörffer

Abstract

Driven by the geographical shift of customer demand, manufacturing companies have continuously extended their product portfolios to meet requirements from different markets. Simultaneously, they have distributed their production activities globally to expand into new markets and to capitalize on varying location factor characteristics to counter increasing cost pressure. Given their large variety product portfolios, manufacturing companies are facing high degrees of complexity when making decisions on the configuration of their global production networks. However, making decisions to proactively adapt production network structures and capacities as well as to allocate product variants becomes necessary to remain competitive.

Current literature offers optimization-based decision approaches for product allocation and for the adaption of the production network configuration. Yet, optimal solutions cannot be found in reasonable computation time for complex problems when considering the necessary level of detail. Moreover, none of the existing approaches support decision makers when seeking further improvement measures.

Hence, an optimization-based approach is proposed in this work which supports integrated decisions relating to the configuration adaption of production networks and the allocation of product variants to production network entities. This approach consists of three modules and features high computational efficiency. Based on a clustering algorithm to cluster the product portfolio developed in the first module, the optimal solution for the integrated decision-making problem is determined in the second module using a mixed-integer linear program. Further improvement potential for the optimal solution is identified and evaluated in the third module by means of post-optimality analysis. The modules were successfully applied at a global production network for final assembly in the aeronautics industry as part of the EU-funded project "ProRegio".

The developed approach contributes towards decision-making in the context of long-term design of production networks. Its application may reduce the risk of disadvantages decisions regarding the product allocation strategy and the production network configuration sequences. Moreover, it supports the identification of further improvement measures in complex decision-making problems.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungen	IV
Formelverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Forschungsleitende Fragestellungen	3
1.3 Zielsetzung	4
1.4 Aufbau der Arbeit	5
2 Grundlagen	6
2.1 Produktion in globalen Produktionsnetzwerken	6
2.1.1 Produktion und Wertschöpfungsprozess	6
2.1.2 Produktionssystem und Produktionsprozess	7
2.1.3 Globales Produktionsnetzwerk	8
2.2 Produktallokation im globalen Produktionsnetzwerk	10
2.2.1 Produktprogramm, Produktvariante und Produktionsprogramm	10
2.2.2 Variantenvielfalt und Variantenmanagement	11
2.2.3 Strategien des Variantenmanagements	12
2.2.4 Bedeutung der Variantenvielfalt für die Produktionsgestaltung	13
2.3 Integrierte Gestaltung globaler Produktionsnetzwerke	14
2.3.1 Gestaltungsebenen in der globalen Produktion	14
2.3.2 Eigenschaften des Produktionsnetzwerks	16
2.3.3 Strukturierung der Planungsaufgaben zur Konfiguration von Produktionsnetzwerken	19

2.3.4	Planungsaufgabenstruktur zur Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke in dieser Arbeit	20
2.3.5	Zwischenfazit zur integrierten Gestaltung globaler Produktionsnetzwerke	24
2.4	Optimierung als Methode zur Entscheidungsunterstützung	25
2.4.1	Operations Research	25
2.4.2	Modellgestützte Planung	26
2.4.3	Optimierung und Optimierungsmodell	26
2.4.4	Lösungsverfahren	30
2.4.5	Postoptimale Analyse und Postoptimierung	31
2.4.6	Clusteranalyse	33
3	Stand der Forschung	34
3.1	Anforderungen an die Methodik	34
3.2	Vorstellung und Einordnung bestehender Ansätze	36
3.2.1	Ansätze zur Produktallokation	38
3.2.2	Ansätze zur Optimierung der Netzwerkkonfiguration	39
3.2.3	Ansätze zur integrierten Produktallokation und Optimierung der Netzwerkkonfiguration	41
3.3	Forschungsdefizit	48
4	Lösungsansatz und Vorgehensweise	53
5	Integrierte Produktallokationsstrategie und Konfigurationssequenz	56
5.1	Clusterungsmodul	56
5.1.1	Attributspezifikation	57
5.1.2	Ähnlichkeitsbestimmung	59
5.1.3	Clustering-Algorithmus	62
5.2	Optimierungsmodul	63
5.2.1	Annahmen	64
5.2.2	Grundmodell	66
5.2.3	Erweiterung um Anpassungsaspekte	73
5.2.4	Bewertungsmodell	85
5.2.5	Verbesserung der Rechenzeitperformance	91

5.2.6	Lösungsverfahren	94
5.3	Analysemodul	96
5.3.1	Relaxation des teilfixierten Ursprungsproblems	96
5.3.2	Identifikation und Bewertung von weiterem Verbesserungspotential	98
5.3.3	Absicherung der gefundenen Lösung	101
5.4	Zusammenführung zu einem Vorgehensmodell zur Postoptimierung	105
5.4.1	Postoptimierung auf Basis der Optimierungsrichtung	106
5.4.2	Postoptimierung auf Basis von Schattenpreisen	107
5.4.3	Postoptimierung auf Basis von Schlupfvariablen	108
6	Erprobung und prototypische Realisierung	109
6.1	Erprobung der Methodik	109
6.1.1	Modellierung des Anwendungsfalls	110
6.1.2	Clusterung des Produktprogramms	118
6.1.3	Validierung des Netzwerkmodells	123
6.1.4	Anwendung des Vorgehensmodells zur Postoptimierung	126
6.2	Prototypische Implementierung	146
7	Diskussion und Ausblick	149
7.1	Diskussion und kritische Würdigung	149
7.2	Ausblick	151
8	Zusammenfassung	153
Literaturverzeichnis		I
Abbildungsverzeichnis		XXV
Tabellenverzeichnis		XXVIII
Anhang		XXIX