

Quantitative Optimierung dynamischer Produktionsnetzwerke

Vom Fachbereich Maschinenbau
an der Technischen Universität Darmstadt
zur
Erlangung des Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

D i s s e r t a t i o n

vorgelegt von

Dipl.-Phys. Frank Jacob

aus Offenbach am Main

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. E. Abele
Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing P. Groche
Tag der Einreichung: 7. September 2005
Tag der mündlichen Prüfung: 1. November 2005

Darmstadt 2005

D17

Darmstädter Forschungsberichte für Konstruktion und Fertigung

Frank Jacob

**Quantitative Optimierung dynamischer
Produktionsnetzwerke**

D 17 (Diss. TU Darmstadt)

Shaker Verlag
Aachen 2006

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2005

Copyright Shaker Verlag 2006

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-4818-8

ISSN 1430-7901

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407/95 96 - 0 • Telefax: 02407/95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Globalisierung ist kein neues Phänomen; globale Handelsbeziehungen gab es praktisch „schon immer“. Bereits der griechische „Vater der Geschichtsschreibung“ Herodot berichtete um 430 v. Chr. detailliert über die Route der Weihrauch- bzw. Seidenstraße, die dazu diente, Gewürze, Seide, Glas, Harze, Edelmetalle und Porzellan zwischen Asien und Europa auszutauschen.

Beschränkten sich früher angesichts schlechter Transport- und Kommunikationsmöglichkeiten die grenzüberschreitenden Beziehungen auf den Handel hochwertiger Güter, so ist seit Jahrzehnten ein beständiger Trend zur weltweiten Zusammenarbeit in der Produktion von Gütern ungebrochen. Die Möglichkeiten für produzierende Unternehmen haben sich vervielfacht. Waren die Entscheidungsgrundlagen für eine lokale Standortwahl im Heimatmarkt noch überschaubar, hat sich der Datenkranz im Zeitalter schier grenzenloser Absatz- und Beschaffungsmärkte enorm vergrößert. Die Folge davon: Unternehmerische Intuition reicht nicht mehr aus; Entscheidungen aus dem Bauch bergen ein großes Risiko.

Bereits in der Vergangenheit wurden zur Objektivierung von Entscheidungen konventionelle Hilfsmittel genutzt, von Checklisten-Verfahren bis hin zu einfachen Wirtschaftlichkeitsrechnungen. Diese reichen jedoch in der Regel nicht mehr aus, um die Flut der Einflussfaktoren und insbesondere ihre Interdependenzen, zumal im Zeitablauf, zu bewältigen. Erst die heutige Informationstechnologie hat neue Möglichkeiten eröffnet, einen weiteren Schritt in Richtung eines optimalen Lösungsansatzes zu gehen.

Er basiert auf einem mathematischen Ansatz, in dem alle entscheidungsrelevanten Faktoren abgebildet werden können. Dabei handelt es um ein überaus praxisnahes Verfahren, dem es gelingt, die Balance zwischen wissenschaftlicher Exaktheit und Praktikabilität zu halten. Dass dies keine bloße Behauptung ist belegen vier Anwendungsbeispiele aus unterschiedlichen industriellen Bereichen. Dennoch kann das Modell – wie nicht anders zu erwarten – keine Patentlösung liefern, jedoch eine erhebliche Arbeitserleichterung in der Entscheidungsvorbereitung. Damit gibt die Arbeit einen Leitfaden zur langfristigen strategischen Neuausrichtung von Produktionsnetzwerken.

Vorwort des Verfassers

Produktionsnetzwerke befinden sich in einem Wandel, der sich in den kommenden Jahren noch verstärken wird. Nachdem die Expansion in den Weltmarkt in den 80er und 90er Jahren erfolgreich vorangetrieben wurde, sind viele Märkte heute nicht mehr mit einer reinen Exportstrategie zu erschließen. Durch die Auslandsproduktion „vor Ort“ lassen sich Märkte flexibler und oftmals kostengünstiger bedienen.

Diese Entwicklung hin zu globalen Produktionsnetzwerken stellt Entscheidungsträger vor die Aufgabe, unter Berücksichtigung von zahlreichen Einflussgrößen einen günstigen Standort für neue Produktionsstätten zu finden. Die Beurteilung wird dadurch erschwert, dass nicht zuletzt auch die Wechselwirkung mit bestehenden Standorten zu berücksichtigen ist. Insbesondere hier liegt der Schwachpunkt bestehender Lösungsansätze.

Das vorliegende Buch beschreibt einen methodischen Ansatz, um die Entscheidungsfindung unter Berücksichtigung zeitlicher Entwicklungen und bestehender Standorte zu unterstützen. Dazu wird ein mathematischer Optimierungsansatz vorgestellt, der bereits anhand von vier Praxisanwendungen erfolgreich validiert worden ist. Die Anregung dazu stammt aus einem gemeinsamen Forschungsprojekt der Firma McKinsey & Company, Inc. und dem Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt, in dem das Optimierungspotential globaler Produktionsnetzwerke untersucht wurde.

Mein besonderer Dank gilt Professor Dr.-Ing. E. Abele für die fachliche Betreuung dieser Arbeit, der durch seine fundierten Anregungen und seine konstruktive Kritik wesentlich zum Gelingen beitrug und vor allem darauf achtete, den Bezug zur industriellen Praxis zu wahren. Ebenfalls danken möchte ich Professor Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. P. Groche für die Übernahme des Koreferats. Der Firma McKinsey & Company, Inc. danke ich für die Gelegenheit zur Mitarbeit im Forschungsprojekt „ProNet“. Für die zahlreichen anregenden Diskussionen sage ich ferner meinen Freunden und Kollegen Dank, mit denen ich im Rahmen des Forschungsprojekts zusammenarbeiten durfte.

Darmstadt, Juli 2005

Frank Jacob

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Problemstellung	6
1.3	Zielsetzung und Vorgehensweise	7
2	Untersuchungs- und Einsatzbereich	9
2.1	Begriffsbestimmung	9
2.1.1	Globale Produktionsnetzwerke	9
2.1.2	Prozessschritte	11
2.1.3	Prozessketten	12
2.2	Abgrenzungen des Untersuchungs- und Einsatzbereichs	12
2.2.1	Strategische Planung / Taktische Planung	13
2.2.2	Faktoren außerhalb des Untersuchungsbereichs	15
2.3	Typische Einsatzszenarien	19
3	Stand der Forschung und zusätzlicher Erkenntnisgewinn des neuen Ansatzes	22
3.1	Methoden der Entscheidungsvorbereitung und -unterstützung	22
3.1.1	Checklisten-Verfahren	23
3.1.2	Szenariobasierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	24
3.1.3	Modellgestützte Simulationsansätze	25
3.1.4	Modellgestützte Optimierungsansätze	25
3.2	Darstellung der Anwendbarkeit der verschiedenen Verfahren	26
3.3	Bisherige Ansätze strategischer modellgestützter Netzwerkoptimierungsverfahren	29
3.3.1	Taktische Optimierungsansätze	31
3.3.2	Strategisch-statische Optimierungsansätze	32
3.3.3	Strategisch-dynamische Optimierungsansätze	34
3.4	Zusätzlicher Erkenntnisgewinn des dynamischen Ansatzes dieser Arbeit	35
4	Einflussfaktoren für die Wahl eines Produktionsstandortes	40

4.1	Vorgehen zur Sensitivitätsanalyse	40
4.2	Faktorkosten und Produktivität	42
4.3	Transaktionale Kosten	45
4.4	Investitionen	47
4.5	Produktionsanlaufkosten	49
4.6	Restrukturierungskosten	53
4.7	Skaleneffekte	56
4.8	Standortgerechte Fertigungsverfahren	59
5	Darstellung des Modellierungsansatzes	69
5.1	Gemischt-ganzzahlige Optimierung	69
5.2	Zielfunktion der Optimierung: Kapitalwert	70
5.3	Abbildung der Prozesskette und Erhebung der Eingangsgrößen	75
5.4	Abbildung der (Re-)Investitionen	78
5.5	Abbildung der Zahlungsströme	81
5.5.1	Material	81
5.5.2	Investitionen	81
5.5.3	Personal	82
5.5.4	Transport	82
5.5.5	Zölle	82
5.5.6	Wartung und Instandhaltung	83
5.5.7	Lagerhaltung	83
5.5.8	Subventionen	83
5.5.9	Fixe Aufwendungen	84
5.5.10	Aufwendungen für Restrukturierung	84
5.5.11	Aufwendungen des Produktionsanlaufs	85
5.6	Optionale Randbedingungen	87
5.6.1	Ausgangsnetzwerk	87
5.6.2	Zielnetzwerk	87
5.6.3	Mindest-Produktion	88
5.6.4	Maximal handhabbare Komplexität	88
5.6.5	Finanzierbarkeit	88
5.7	IT-technische Implementation	89
5.7.1	Eingabe / Ausgabe-Schnittstelle	89
5.7.2	Optimierungslauf	90
5.7.3	Laufzeitverhalten	91
5.7.4	Ergebnisauswertung	95
5.7.5	Nutzung zur Simulation	95
5.8	Vergleich: Statische und dynamische Optimierung	96

5.9 Fehlerabschätzung	98
5.9.1 Fehlersensitivität der Eingangsgrößen	99
5.9.2 Einfluss des gewählten Betrachtungshorizonts	101
5.9.3 Einfluss der Anzahl Prozessschritte	103
6 Anwendungsbeispiele	105
6.1 Handschaltgetriebe	105
6.2 Unterhaltungselektronik	109
6.3 Haushaltsgeräte	114
6.4 Pumpe	117
6.5 Ausblick	120
7 Zusammenfassung	122
A Herleitung der Zielfunktion	125
B Nomenklatur der verwendeten Variablen und Parameter	127
C Ländercodes nach "DIN EN ISO 3166" bzw. "ISO 3166-1-alpha-2"	133