

Schildt

Strategische Produktions- und Distributionsplanung

**GABLER** EDITION WISSENSCHAFT

Birgit Schildt

# Strategische Produktions- und Distributionsplanung

Betriebliche Standortoptimierung  
bei degressiv verlaufenden  
Produktionskosten

Mit einem Geleitwort  
von Prof. Dr. Wolfgang Domschke

**DeutscherUniversitätsVerlag**

**Schildt, Birgit:**

Strategische Produktions- und Distributionsplanung : betriebliche Standortoptimierung bei degressiv verlaufenden Produktionskosten

/ Birgit Schildt. Mit einem Geleitw. von Wolfgang Domschke. -

Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl. ; Wiesbaden : Gabler, 1994

(Gabler Edition Wissenschaft)

Zugl.: Darmstadt, Techn. Hoch., Diss., 1994

ISBN 978-3-8244-6066-3 ISBN 978-3-322-99520-9 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-99520-9

NE: GT

Der Deutsche Universitäts-Verlag und der Gabler Verlag sind Unternehmen der Verlagsgruppe Bertelsmann International.

Gabler Verlag, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden

© Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden 1994

Lektorat: Claudia Splittgerber / Irene Müller-Schwertel



Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Höchste inhaltliche und technische Qualität unserer Produkte ist unser Ziel. Bei der Produktion und Auslieferung unserer Bücher wollen wir die Umwelt schonen: Dieses Buch ist auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

## Meinen Eltern

# Geleitwort

Die Konkurrenzfähigkeit eines Unternehmens hängt ganz entscheidend von einer Reihe von Einflüssen ab, die in unmittelbarem Zusammenhang mit den Standorten und der Größe seiner Betriebe stehen.

Aufgrund der weitreichenden Folgen und der geringen Revidierbarkeit sollte die Entwicklung einer langfristigen Standortstruktur im Rahmen der strategischen Unternehmensplanung alle verfügbaren Informationen berücksichtigen.

Die Qualität der Planung der betrieblichen Standortstruktur eines Unternehmens hängt nicht zuletzt auch von der Verfügbarkeit guter Lösungskonzepte für diese komplexe Entscheidungssituation ab. Wichtig ist es hier, den menschlichen Planer bei einer Standortentscheidung geeignet zu unterstützen.

In der Literatur wurden bislang kaum leistungsfähige Verfahren, die die Lösung diskreter Standortoptimierungsprobleme bei expliziter Berücksichtigung von Kostendegressions-effekten in der Produktion ermöglichen, vorgestellt. Vielmehr werden realitätsnahe, d.h. nichtlineare, Produktionskostenverläufe durch Proportionalitätsannahmen vereinfachend substituiert.

Zur rechnergestützten, modellbasierten Lösung solcher Probleme im Hinblick auf die Kostenminimierung für Produktion und Distribution werden in der vorliegenden Arbeit spezialisierte, der Problemstruktur angepasste, Lösungsmethoden entwickelt und untersucht. Die Arbeit gibt erstmals einen strukturierten Überblick über mögliche Werkzeuge zur Lösung kapazitierter Warehouse Location Probleme bei konkaven Produktionskosten. Die verständliche Darstellung und Evaluierung unterschiedlichster exakter und heuristischer Lösungskonzepte, die überwiegend neu entwickelt wurden, leistet einen Beitrag zur Erklärung und Verbreitung quantitativ gestützter Planung im Unternehmen.

Prof. Dr. W. Domschke

## Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Betriebswirtschaftslehre der Technischen Hochschule Darmstadt in den Jahren 1989 bis 1994. Sie wurde im Wintersemester 1993/94 vom Fachbereich Rechts- und Wirtschaftswissenschaften der Technischen Hochschule Darmstadt als Dissertation angenommen.

Meinem Doktorvater und akademischen Lehrer, Herrn Professor Dr. Wolfgang Domschke, danke ich ganz herzlich für die Betreuung und Unterstützung dieser Arbeit und dafür, daß er mir neben der lehrreichen und interessanten Tätigkeit am Fachgebiet genügend Freiraum für die eigene wissenschaftliche Forschung überließ. Ihm und meinen beiden Kollegen Herrn Dipl.-Wirtsch.-Inf. Armin Scholl und Herrn PD Dr. Stefan Voß möchte ich darüber hinaus für die gute Zusammenarbeit während der Zeit meiner Tätigkeit am Lehrstuhl, die mir immer in bester Erinnerung bleiben wird, danken.

Dank gebührt auch meinen Zweitgutachter Herrn Professor Dr. Andreas Drexel für seine wertvollen Verbesserungsvorschläge sowie für die Übernahme des Korreferats.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Wirtsch.-Inf. Stefan Freigang für die große Hilfsbereitschaft und die zahlreichen Diskussionen, die wichtige Impulse für die Arbeit ergaben, sowie für die kritische Erstkorrektur einiger Kapitel des Manuskripts. In gleicher Weise bin ich Herrn Dr. Stefan Helber für seine kritischen Anmerkungen und die zahlreichen konstruktiven Hinweise zu großem Dank verpflichtet.

Für die sorgfältige und detaillierte Durchsicht des Manuskriptes möchte ich meinen Eltern Frau Helga Schildt und Herrn Walter Schildt ganz herzlich danken.

Schließlich gilt mein Dank allen, die mit ihrer Unterstützung zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben, und insbesondere denen, die mir den Rückhalt gaben, ohne den diese Arbeit sicher nicht entstanden wäre.

Birgit Schildt

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungs- und Symbolverzeichnis</b> .....	XIV
<b>1. Einleitung</b> .....	1
<b>2. Grundlagen der strategischen Produktions- und Distributionsplanung und Definition des Grundproblems</b> .....	6
<b>2.1 Standortoptimierung als zentrale Komponente der strategischen Produktions- und Distributionsplanung</b> .....	6
2.1.1 Aufgaben und Entscheidungsfelder der Produktions- und Distributionsplanung .....	6
2.1.2 Begriff des Produktions- und Distributionssystems .....	10
2.1.3 Die kostenminimale Gestaltung des Produktions- und Distributionssystems als Problem der strategischen Produktions- und Distributionsplanung ...	12
2.1.3.1 Ziele des Produktions- und Distributionsdesigns .....	12
2.1.3.2 Rahmenbedingungen des Produktions- und Distributionsdesigns ...	14
2.1.3.3 Ein hierarchischer Planungsansatz zur strategischen Produktions- und Distributionsplanung .....	16
2.1.3.3.1 Das Konzept der hierarchischen Planung .....	16
2.1.3.3.2 Der Einsatz hierarchischer Planung beim Design eines Produktions- und Distributionssystems .....	17
2.1.3.3.3 Das strategische Produktions- und Distributionsdesign .....	20
<b>2.2 Kostendegressionseffekte im Bereich der Produktion</b> .....	21
2.2.1 Begriff der Economies of Scale .....	22
2.2.2 Ursachen der Kostendegression .....	23
2.2.3 Auftreten von Economies of Scale .....	26
2.2.4 Abbildung und Berücksichtigung von Economies of Scale bei der Planung .....	27
<b>2.3 Das Entscheidungsproblem des strategischen Produktions- und Distributionsdesigns</b> .....	28
2.3.1 Charakterisierung der Systemkomponenten .....	29
2.3.1.1 Beschreibung der Produktionsstruktur .....	30
2.3.1.2 Beschreibung der Nachfragerstruktur .....	32
2.3.1.3 Beschreibung der Distributionsstruktur .....	33
2.3.2 Charakterisierung der Planungsaufgabe .....	34



<b>2.4 Prämissen und Alternativen einer modellgestützten Planung</b> . . . . .	35
<b>3. Diskrete Modelle zur mathematischen Abbildung des Grundproblems</b> . . . . .	41
<b>3.1 Mathematische Formulierungen für das Grundproblem</b> . . . . .	42
3.1.1 Formulierung als gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem . . . . .	42
3.1.2 Formulierung als kontinuierliches Optimierungsproblem . . . . .	45
3.1.3 Die Beziehung der Modellformulierungen zueinander . . . . .	48
<b>3.2 Beziehungen des Grundproblems zu anderen Optimierungsproblemen</b> . . . . .	51
3.2.1 Spezielle Ausprägungen des Grundproblems – Wichtige Teilprobleme . . .	52
3.2.1.1 Das Production-Allocation Problem mit konkaven Produktionskosten	54
3.2.1.2 Warehouse Location Probleme . . . . .	56
3.2.1.3 Das lineare Transportproblem . . . . .	57
3.2.1.4 Das Production-Distribution Problem . . . . .	58
3.2.2 Verwandte Problemstellungen . . . . .	61
3.2.3 Beziehungen zu weiteren kombinatorischen Optimierungsproblemen . . . .	62
<b>3.3 Mathematische Eigenschaften der Modelle zum Grundproblem und ihrer   Lösungen</b> . . . . .	63
<b>4. Verfahren zur Lösung des Grundproblems</b> . . . . .	70
<b>4.1 Heuristische Verfahren</b> . . . . .	71
4.1.1 Verfahren zur Ermittlung einer zulässigen Lösung . . . . .	73
4.1.1.1 ADD- und DROP-Vorgehensweisen . . . . .	73
4.1.1.2 Verfahren der sukzessiven linearen Programmierung . . . . .	75
4.1.1.2.1 Zwei einfache Linearisierungsverfahren . . . . .	76
4.1.1.2.2 Ein iteratives Linearisierungsverfahren . . . . .	82
4.1.1.2.3 Ein iteratives Lösungsverfahren bei expliziter Berücksichtigung von Fixkosten . . . . .	88
4.1.2 Verfahren zur Verbesserung einer zulässigen Lösung . . . . .	97
4.1.2.1 Lokale Suchverfahren . . . . .	97
4.1.2.1.1 Abstiegsverfahren – "Traditionelle" deterministische lokale Suche	99
4.1.2.1.2 Simulated Annealing . . . . .	100
4.1.2.1.3 Tabu Search . . . . .	105
4.1.2.2 Genetische Algorithmen . . . . .	110
<b>4.2 Exakte Verfahren</b> . . . . .	119
4.2.1 Prinzipielle Vorgehensweise eines Branch&Bound-Verfahrens . . . . .	119
4.2.2 Branch&Bound-Verfahren auf Basis der kontinuierlichen Modell- formulierung . . . . .	125

---

4.2.2.1	Initialisierung der globalen oberen Schranke . . . . .	125
4.2.2.2	Charakterisierung der Teilprobleme . . . . .	125
4.2.2.3	Möglichkeiten der Ermittlung unterer Schranken – Boundingregeln	127
4.2.2.3.1	Untere Schranken auf Basis einer primalen Vorgehensweise . . . . .	127
4.2.2.3.2	Untere Schranken auf Basis dualer Konzepte . . . . .	134
4.2.2.4	Möglichkeiten des Auslotens und Logische Tests – Ausloteregeln . . . . .	153
4.2.2.5	Verzweigung von Teilproblemen – Verzweigungs- und Auswahlregeln	155
4.2.2.6	Abgrenzung ausgewählter Branch & Bound-Verfahren . . . . .	160
4.2.3	Branch & Bound-Verfahren auf Basis der gemischt-ganzzahligen Modellformulierung . . . . .	162
4.3	<b>(Unvollständige) Cross Dekomposition . . . . .</b>	164
4.4	<b>Verwendung relaxierter Modelle . . . . .</b>	179
5.	<b>Numerische Ergebnisse und Verfahrensvergleiche . . . . .</b>	185
5.1	<b>Hard- und Softwareumgebung . . . . .</b>	185
5.2	<b>Testdaten . . . . .</b>	185
5.3	<b>Numerische Untersuchungen und Bewertung der Verfahren . . . . .</b>	189
5.3.1	Heuristische Verfahren . . . . .	190
5.3.1.1	Verfahren der sukzessiven linearen Programmierung . . . . .	190
5.3.1.2	Verfahren zur Verbesserung einer zulässigen Lösung . . . . .	193
5.3.1.2.1	Deterministische Abstiegsverfahren . . . . .	193
5.3.1.2.2	Simulated Annealing . . . . .	195
5.3.1.2.3	Tabu Search . . . . .	199
5.3.1.2.4	Genetische Algorithmen . . . . .	206
5.3.1.3	Cross Dekomposition . . . . .	211
5.3.2	Exakte Verfahren . . . . .	216
5.3.2.1	Vergleich unterschiedlicher Ansätze zur Ermittlung unterer Schranken . . . . .	216
5.3.2.2	Branch & Bound-Verfahren mit primalem Bounding . . . . .	219
5.3.2.3	Branch & Bound-Verfahren mit dualem Bounding . . . . .	225
5.3.3	Abschließende Bewertung der Lösungsverfahren . . . . .	228
6.	<b>Zusammenfassung und Ausblick . . . . .</b>	235
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	239
	<b>Anhang . . . . .</b>	255
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	259

## Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

### Allgemeine Abkürzungen und Symbole

AÜ	Angebotsüberschuß
B&B	Branch & Bound
EoS	Economies of Scale
i.w.S.	im weiteren Sinne
LB ( $LB_k$ )	untere Schranke für den Zielfunktionswert (in Knoten $P_k$ )
LBglobal	globale untere Schranke für den Zielfunktionswert
$\lim_{\epsilon \rightarrow 0^+} f(\epsilon)$	Grenzwert der Funktion $f$ im Punkt Null bei Annäherung "von rechts"
LP	Lineares Optimierungsproblem
MIP	Gemischt - ganzzahliges lineares Optimierungsproblem
$P_k$	Teilproblem in einem B&B-Verfahren
o.B.d.A.	ohne Beeinträchtigung der Allgemeinheit
SLP	Sukzessive lineare Programmierung
SOS1, SOS2	Special Ordered Sets vom Typ 1, Special Ordered Sets vom Typ 2
UB ( $UB_k$ )	obere Schranke für den Zielfunktionswert (in Knoten $P_k$ )
UBglobal	globale obere Schranke für den Zielfunktionswert
$X(P)$	Menge der zulässigen Lösungen des Problems $P$
$\nu(P)$	optimaler Zielfunktionswert des Problems $P$
$:=$	definitionsgemäß gleich
$\Rightarrow$	daraus folgt
#	Anzahl
$[a, b]$	abgeschlossenes Intervall mit den Endpunkten $a$ und $b$ in $\mathbb{R}$
$]a, b]$	einseitig offenes Intervall mit den Endpunkten $a$ und $b$ in $\mathbb{R}$
$]a, b[$	offenes Intervall mit den Endpunkten $a$ und $b$ in $\mathbb{R}$
$f: X \rightarrow \mathbb{R}$	Funktion mit Definitionsbereich $X$ und Wertebereich $\mathbb{R}$
$f'(x)$	erste Ableitung der Funktion $f(\cdot)$ an der Stelle $x$
$\min_x f(x)$	Minimum der Funktion $f$ bezüglich des Arguments $x$
$\nabla$	Gradient
$\mathbb{N}$ ( $\mathbb{R}$ , $\mathbb{Z}$ )	Menge der natürlichen (reellen, ganzen) Zahlen
$\lceil x \rceil$	obere Gaußklammer: kleinste ganze Zahl, die größer oder gleich $x$ ist
$\lfloor x \rfloor$	untere Gaußklammer: größte ganze Zahl, die kleiner oder gleich $x$ ist
$x \in X$	$x$ ist Element der Menge $X$
$X \subseteq Y$	$X$ ist Teilmenge von $Y$ ( $X \subset Y$ : $X$ ist echte Teilmenge von $Y$ )
$ x $ , $ X $	Absolutbetrag des Skalars $x$ , Mächtigkeit der Menge $X$

---

$x^T$	Transponierte des Vektors $x \in \mathbb{R}^n$
$\ x\ _1$	$l_1$ -Norm des Vektors $x \in \mathbb{R}^n$ : $\ x\ _1 := \sum_{i=1}^m  x_i $
$\prod_{i=1}^m X_i$	Kartesisches Produkt der Mengen $X_1, X_2, \dots, X_m$ : $\prod_{i=1}^m X_i = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m$
$\min \{x_i \mid i = 1, \dots, m\}$	Minimum aller $x_1, x_2, \dots, x_m$

### Problembezeichnungen

CWLP	kapazitiertes Warehouse Location Problem
LocPDP	kontinuierliche Formulierung des Grundproblems
LocPDPx	äquivalente kontinuierliche Formulierung des Grundproblems
NLWLP	gemischt - ganzzahlige Formulierung des Grundproblems
PAP	Production - Allocation Problem
PDP, PDPx	Production - Distribution Problem
TPP	lineares Transportproblem
(U)WLP	(unkapazitiertes) Warehouse Location Problem

### Verfahrensbezeichnungen

BBDH/BBDI	B&B-Verfahren mit dualem Bounding bei halbierender, trennender bzw. intelligenter, trennender Verzweigung
BGA	Genetischer Algorithmus auf Basis einer binären Kodierung
BBPrs	verschiedene B&B-Verfahren mit primalem Bounding bei unterschiedlicher Verzweigung ( $r \in \{0, 1\}$ und $s \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$ )
BW	Verfahren von Baumol und Wolfe
BW(k)	verkürztes Verfahren von Baumol und Wolfe mit Abbruch nach $k \in \mathbb{N}$ Iterationen
CSM	Cancellation Sequence Methode beim Tabu Search
DET	deterministisches Abstiegsverfahren
GA	Genetischer Algorithmus
IGA	Genetischer Algorithmus auf Basis einer ganzzahligen Kodierung
KK	Verfahren von Kelly und Khumawala
REM	Reverse Elimination Methode beim Tabu Search
SA	Simulated Annealing
SAA	Heuristik zur Lösung des Grundproblems nach Durchschnittskostenapproximation
SMA	Heuristik zur Lösung des Grundproblems nach Grenzkostenapproximation
STA	statische Tabu-Listen-Verwaltung beim Tabu Search