

Oliver Klein

Fehlmengenverteilung im Demand Fulfillment



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

Fehlmengenverteilung im Demand Fulfillment

Von der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Abteilung Maschinenbau, der
Universität Duisburg-Essen
zur Erlangung des akademischen Grades

DOKTOR-INGENIEUR

genehmigte Dissertation

von
Oliver Klein
aus Mannheim

Referent: Prof. Dr. Rainer Leisten

Korreferent: Prof. Dr. Bernd Noche

Prof. Dr. Alf Kimms

Tag der mündlichen Prüfung: 21.04.2009

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2009

Zugl.: Duisburg-Essen, Univ. Diss., 2009

978-3-86727-970-3

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2009

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2009

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86727-970-3

Geleitwort

Termingerechte Fertigstellung und Auslieferung von Aufträgen spielen bei Industrieunternehmen traditionell eine bedeutende Rolle. Die Wandlung zu Käufermärkten, Überkapazitäten in vielen Bereichen sowie zunehmende Dynamik und Komplexität des Wettbewerbsumfelds haben die Bedeutung der termingerechten Leistungserstellung in den letzten Jahren noch deutlich steigen lassen.

Konsequenterweise ist eine Vielzahl von Anstrengungen bei der Entwicklung und der Implementierung entsprechender Planungs- und Steuerungsinstrumente festzustellen, sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis.

Die Literatur geht dabei, zunächst verständlicherweise, davon aus, dass eine Verbesserung der Lieferfähigkeit im Vordergrund der Betrachtung steht, und behandelt daher fast ausschließlich Ansätze, die entsprechende Ziele verfolgen, grob unterteilt nach Ansätzen zur Lieferterminbestimmung auf der einen und zur Liefertermineinhaltung auf der anderen Seite.

Dabei wird jedoch durchgängig der Umstand ignoriert, dass es in der industriellen Praxis immer wieder zu Problemen bei der Termineinhaltung kommt bzw. dass gewünschte oder zugesagte Liefertermine nicht eingehalten werden (können), selbst wenn sie noch so gut geplant wurden. Oder es ist bereits bei der Auftragsanfrage des Kunden ersichtlich, dass bei Annahme des angefragten Auftrags inkl. des Kundenwunschtermins nicht alle angenommenen Aufträge termingerecht ausgeliefert werden können.

Genau diese Aspekte systematisch in die Planung und in die Steuerung eines Industrieunternehmens einzubringen, ist der Ansatz der Dissertation von Oliver Klein. Er entwickelt für Produktionsumgebungen der Serienproduktion mit relativ kurzen Durchlaufzeiten Ansätze, die absehbare Situationen der Nichtlieferfähigkeit identifizieren und Möglichkeiten zur ökonomisch optimierten Zuordnung der resultierenden Fehlmengen zu vorliegenden (oder angefragten bzw. erwarteten) Kundenaufträgen generieren. Dabei entwickelt der Autor quantitative Modelle, die zum einen statisch-deterministischer Natur sind und zum anderen jüngere Ergebnisse des Revenue Management für die beschriebene Nichterfüllungssituation nutzbar machen. Die Einsetzbarkeit der von ihm entwickelten bzw. adaptierten Modelle weist Oliver Klein anhand von einigen numerischen Beispielen nach, die auf realen Problemsituationen beruhen.

Die vorliegende Monographie eröffnet eine neue Perspektive für die Betrachtung eines an sich oft tabuisierten Themas der industriellen Fertigung, nämlich der Optimierung absehbarer Fehlleistungen, hier in Form von nicht einhaltbaren Lieferterminen. Diesen ‚Tabubruch‘ einer systematischen wissenschaftlichen Vorgehensweise zugänglich zu machen, ist der wesentliche Beitrag der Arbeit von Oliver Klein. Ich wünsche der Arbeit sowohl in der Wissenschaft als auch in der betrieblichen Praxis die ihrer Bedeutung gebührende Beachtung und Verbreitung.

Prof. Dr. Rainer Leisten

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand parallel zu meiner Tätigkeit als Mitarbeiter in einem Unternehmen der Telekommunikationsindustrie. Für das große Verständnis und die Rückendeckung meines ehemaligen Vorgesetzten Herrn Stefan Mensing bedanke ich mich ganz herzlich.

Mein ganz besonderer Dank gebührt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. Rainer Leisten, da seine wertvollen Anregungen und seine wohlwollende Förderung maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. In einer von Menschlichkeit geprägten Atmosphäre konnte ich immer auf seine fachliche Unterstützung und sehr freundliche Betreuung zählen.

Weiterhin gilt mein herzlicher Dank Herrn Prof. Dr. Alf Kimms und Herrn Prof. Dr. Bernd Noche für die Übernahme der Zweitgutachten sowie Herrn Prof. Dr. Johannes Wortberg für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission. Darüber hinaus bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Burak Atakan und Herrn Priv.-Doz. Dr. Frank Schmidt für die Mitwirkung in der Prüfungskommission.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Dr. David Betge, der mir im Rahmen des Korrekturlesens der Arbeit wertvolle Hinweise gegeben und mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat. Darüber hinaus bedanke ich mich ganz herzlich bei meiner Frau Julia, ohne deren Rückhalt, Unterstützung und Verzicht auf gemeinsame Stunden diese Arbeit nicht entstanden wäre.

Abschließend möchte ich meinen Eltern danken, die mich bei all meinen Aktivitäten immer vorbehaltlos gefördert haben. Ohne Sie wäre mein Ausbildungsweg und damit die Erstellung dieser Arbeit nicht möglich gewesen.

Oliver Klein

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	IX
Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XVI
I Einleitung	1
1 Ausgangspunkt und Motivation	1
2 Problemstellung und Zielsetzung	3
3 Gang der Untersuchung	5
II Grundlagen des Demand Fulfillments	7
1 Einordnung des Demand Fulfillments in das Supply Chain Management	7
1.1 Supply Chain Management	10
1.2 Entwicklung betriebswirtschaftlicher Planungssoftware	14
1.3 Hierarchische Produktionsplanung	19
1.4 Grundstruktur eines APS-Systems	26
1.4.1 Strategische Netzwerkplanung	28
1.4.2 Absatzplanung	30
1.4.3 Mittelfristige Produktionsplanung	33
1.4.4 Materialbedarfsplanung	35
1.4.5 Losgrößen- und Ablaufplanung	37
1.4.6 Distributions- und Transportplanung	39
1.4.7 Kollaborationsmodule	40
1.4.8 Koordination der Module	42
1.5 Supply Chain-Steuerungssysteme	46
2 Fertigungsstrategische Aspekte des Entkopplungspunktes	48
3 Elemente des Demand Fulfillments	51
3.1 Auftragsüberwachung	54
3.2 ATP-Berechnung	56
3.2.1 Available-to-Promise (ATP)	56
3.2.2 ATP-Granularität	59
3.2.3 ATP-Berechnung in Abhängigkeit von der Fertigungsstrategie	61

3.3	Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung.....	63
3.3.1	Betriebswirtschaftliche Aufgabe	63
3.3.2	Dimensionen der Verfügbarkeitsprüfung.....	64
3.3.2.1	Entscheidungsunterstützung als Differenzierungsmerkmal.....	65
3.3.2.2	Prüfungsumfang als Differenzierungsmerkmal	65
3.3.2.3	Betrachtungsumfang als Differenzierungsmerkmal.....	68
3.3.2.4	Berücksichtigung bestätigter Aufträge als Differenzierungsmerkmal.....	69
3.3.3	Ansätze der Verfügbarkeitsprüfung.....	70
3.3.3.1	Konventionelle Verfügbarkeitsprüfung	71
3.3.3.2	Regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung	72
3.3.3.3	Optimierende Verfahren	73
3.4	Fehlmengenverteilung.....	76
3.4.1	Auswirkungen von Fehlmengen.....	76
3.4.2	Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung	81
3.4.2.1	Auftreten von Fehlmengen	81
3.4.2.2	Aufgabe der Fehlmengenverteilung.....	82
3.4.2.3	Verfahren der Fehlmengenverteilung	83
3.4.2.4	Kritische Bewertung der existierenden Verfahren.....	88
3.4.3	Fehlmengenverteilung bei Auftragsbestätigung ohne Antizipation	89
3.4.3.1	Auftreten von Fehlmengen	89
3.4.3.2	Aufgabe der Fehlmengenverteilung.....	91
3.4.3.3	Verfahren der Fehlmengenverteilung	93
3.4.3.4	Kritische Bewertung der existierenden Verfahren.....	96
3.4.4	Fehlmengenverteilung bei Auftragsbestätigung mit Antizipation	97
3.4.4.1	Auftreten von Fehlmengen	97
3.4.4.2	Aufgabe der Fehlmengenverteilung.....	99
3.4.4.3	Verfahren der Fehlmengenverteilung	100
3.4.4.4	Kritische Bewertung der existierenden Verfahren.....	104
III	Entwicklung eines quantitativen Ansatzes zur Fehlmengenverteilung im Rahmen der Auftragsüberwachung	107
1	Modellbildung.....	107
1.1	Problembeschreibung	107

1.2	Formulierung des Grundmodells	110
1.3	Modellerweiterungen	123
1.3.1	Keine Zulassung von Teillieferungen	123
1.3.2	Mindestlosgrößen	126
1.3.3	Alternative Stücklisten	127
1.3.4	Berücksichtigung von Platzhalteraufträgen	129
2	Modelleinsatz im Rahmen einer Fallstudie	134
2.1	Vorstellung des Projektpartners.....	134
2.2	Charakterisierung der Supply Chain.....	141
3	Numerische Untersuchungen.....	146
3.1	Leistungsgrößen	146
3.2	Untersuchte Daten	149
3.3	Berechnung der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten	150
3.4	EDV-technische Realisierung.....	152
3.5	Diskussion der Ergebnisse	153
3.5.1	Laufzeitverhalten	153
3.5.2	Lösungsgüte	157
4	Ableitung von Handlungsempfehlungen.....	164
IV	Unterstützung der Fehlmengenverteilung bei Auftragsbestätigung mit	
	Antizipation durch Verfahren des Revenue Managements.....	165
1	Grundlagen des Revenue Managements.....	165
1.1	Entstehung und Definition	165
1.2	Anwendungsvoraussetzungen	167
1.3	Instrumente	169
1.3.1	Segmentorientierte Preisdifferenzierung	170
1.3.2	Preis-Mengen-Steuerung.....	172
1.3.3	Überbuchung	178
1.4	Ausgewählte mathematische Modelle der statischen Ansätze der Preis-	
	Mengen-Steuerung.....	180
1.4.1	Exakte Verfahren	180
1.4.2	Heuristische Verfahren	185
1.5	Anwendbarkeit der Verfahren des Revenue Managements bei	
	Sachgüterproduktion	188

1.5.1	Vergleich der Anwendungsvoraussetzungen	188
1.5.2	Ansätze zur Anwendung der Methoden des Revenue Managements auf Sachgüterproduktionsumgebungen	193
2	Entscheidungsunterstützung bei Auftragsannahme durch Methoden des Revenue Managements	198
2.1	Revenue Management-Systematik.....	198
2.2	Segmentierung der Nachfrage	199
2.2.1	Ausgewählte partitionierende Clusterprobleme	201
2.2.1.1	Minimale Abstandssumme	201
2.2.1.2	K-Medoid.....	203
2.2.2	Ausgewählte heuristische Lösungsverfahren	204
2.2.2.1	Minimale Abstandssumme	204
2.2.2.2	K-Medoid.....	205
2.3	Kontingentierung der Ressourcen	206
2.4	Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung.....	208
2.5	Problemstellung auf Basis einer Fallstudie	209
3	Numerische Untersuchungen.....	211
3.1	Referenzszenarien	211
3.2	Untersuchte Daten	215
3.3	EDV-technische Realisierung.....	216
3.4	Diskussion der Ergebnisse	217
4	Ableitung von Handlungsempfehlungen.....	228
V	Zusammenfassung und Ausblick.....	229
1	Zusammenfassung	229
2	Ausblick	233
Anhang.....		235
1	Übersicht über APS-Systeme verschiedener Hersteller	235
2	Algorithmus zur Bestimmung der optimalen Schutzgrenzen (RM OPT).....	237
3	Vergleich der optimalen Lösung der Clusterformulierung K-Medoid mit der PAM-Heuristik.....	239
Literaturverzeichnis		241

Abkürzungsverzeichnis

AGIFORS	Airline Group of the International Federation of Operational Research Societies
APICS	American Production and Inventory Control Society
APS	Advanced Planning & Scheduling
ATP	Available-to-Promise
BCS	Best-Case-Szenario
bel.	beliebig
bzw.	beziehungsweise
CEC	Certainty Equivalent Control
CNC	Computerized Numerical Control
CTP	Capable-to-Promise
d. h.	das heißt
DINAMO	Dynamic Inventory Allocation and Maintenance Optimizer
EDI	Electronic Data Interchange
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EMS	Electronic Manufacturing Services
EMSR	Expected Marginal Seat Revenue
EMSRa	Expected Marginal Seat Revenue-Version a
EMSRb	Expected Marginal Seat Revenue-Version b
EP	Entkopplungspunkt
ERP	Enterprise Resource Planning
et al.	et alii
etc.	et cetera
f.	folgende
FCFS	First-Come-First-Served-Szenario

ff.	fortfolgende
GB	Gigabyte
ggf.	gegebenenfalls
GHz	Giga Hertz
GSM	Global System for Mobile Communication
ICs	Integrated Circuits
IIE	Institute of Industrial Engineers
INFORMS	Institute for Operations Research and the Management Science
IT	Informationstechnologie
KM	K-Medoid
LP	Lineare Programmierung
LT	Liefertermin
MA	Minimale Abstandssumme
ME	Mengeneinheit
MIP	Mixed Integer Programming
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MLCLSP	Multi-Level Capacitated Lot Sizing Problem
MPS	Master Production Schedule
MRP	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resource Planning
MWS	Mittelwert-Szenario
NP	non-deterministic polynomial-time
ODM	Original Design Manufacturing
OEM	Original Equipment Manufacturing
OLAP	Online Analytical Processing
OLTP	Online Transaction Processing

OPL	Optimization Programming Language
OPP	Order Penetration Point
OPT	Optimale Lösung
PAM	Partitioning around Medoids
PARM	Perishable Asset Revenue Management
PD	Preisdifferenzierungspotential
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RM	Revenue Management
RMS	Revenue Management-Szenario
SCC	Supply Chain Council
SCE	Supply Chain Execution
SCM	Supply Chain Management
SCOR	Supply Chain Operations Reference
SCP	Supply Chain Planning
SCS	Supply Chain Steuerung
SD	Steepest Descent
SGT	Suchstrategie in getrennten Perioden
SIM	Subscriber Identity Module
SNP	Suchstrategie in nachgelagerten Perioden
SVNP	Suchstrategie in vorgelagerten und nachgelagerten Perioden
SVP	Suchstrategie in vorgelagerten Perioden
TA	Threshold Accepting
u. a.	unter anderem
UMTS	Universal Mobile Telecommunication Standard
vgl.	vergleiche
vs.	versus

WCS	Worst-Case-Szenario
WIP	Work-in-Progress
WISU	Wirtschaftsstudium
z. B.	zum Beispiel
ZUMA	Zentrum für Umfragen, Methoden und Analysen

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Aufbau der Arbeit	5
Abbildung 2:	Elemente des Supply Chain Managements	9
Abbildung 3:	Kopplungsmechanismus zwischen hierarchischen Ebenen	22
Abbildung 4:	Hierarchische Planung im Produktionsbereich	24
Abbildung 5:	Supply Chain Planning-Matrix	26
Abbildung 6:	Bedarfsvorhersage als Input für APS-Module	31
Abbildung 7:	Verschiedene Kollaborationsformen in Abhängigkeit von der Fristigkeit	41
Abbildung 8:	Koordination zwischen APS-Modulen	42
Abbildung 9:	Lage der Entkopplungspunkte bei unterschiedlichen Fertigungsstrategien für Stückgutproduktion	49
Abbildung 10:	Elemente des Demand Fulfillments	52
Abbildung 11:	Beispielhafte Auftragsbestätigung gegen eine pauschale Wiederbeschaffungszeit von zwei Perioden	58
Abbildung 12:	Beispielhafte Auftragsbestätigung gegen ATP-Mengen	59
Abbildung 13:	Mögliche Folgen des Auftretens von Fehlmengen	79
Abbildung 14:	Beispielhafte Ausgangssituation der Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung mit vier bestätigten Aufträgen	86
Abbildung 15:	Fehlmengenverteilung bei Freigabe der ATP-Menge von Auftrag 1	87
Abbildung 16:	Fehlmengenverteilung bei Freigabe aller ATP-Reservierungen	88
Abbildung 17:	Beispielhafte ATP-Suchregeln bei i2 Technologies	94
Abbildung 18:	Einzelauftragsbestätigung mit und ohne Kontingentierung	100
Abbildung 19:	Beispiele für regelbasierte Kontingentierung	102
Abbildung 20:	Beispiel für eine zweistufige ATP-Verfügbarkeitsprüfung	103
Abbildung 21:	Geographische Aufteilung des GSM-Absatzmarktes für 2006	136
Abbildung 22:	Wiederbeschaffungszeiten für ausgewählte Komponenten	137

Abbildung 23:	Schematischer Überblick über die Supply Chain der Fallstudie	138
Abbildung 24:	Schematische Darstellung des Produktionsprozesses von Mobiltelefonen	139
Abbildung 25:	Typisierung des Produktionssystems der Fallstudie	141
Abbildung 26:	Typologie der untersuchten Supply Chain	143
Abbildung 27:	Logistikleistungsgrößen und deren Interdependenzen	147
Abbildung 28:	Berechnung der auftragspezifischen Verspätungskosten	151
Abbildung 29:	EDV-technische Realisierung der numerischen Untersuchungen	152
Abbildung 30:	Laufzeitverhalten in Abhängigkeit von der Ressourcenauslastung	154
Abbildung 31:	Einfluss des Anteils der komplett zu beliefernden Aufträge auf die Laufzeit	155
Abbildung 32:	Prozentuale Verringerung der Verspätungs- und Nichtbelieferungs- kosten durch die Anwendung des Optimierungsansatzes gegenüber den aus dem Status Quo des Praxisfalls bestimmten Werten	161
Abbildung 33:	Sensitivitätsanalyse der Nichtbelieferungs- und Verspätungskosten und der Leistungserstellungskosten der Zielfunktion für den Datensatz E1 bei Variation der Gewichtungsfaktoren g' und g''	162
Abbildung 34:	Bestandteile des Planungsprozesses des Revenue Managements	170
Abbildung 35:	Vereinfachte Darstellung der Auswirkungen der Preisdifferenzierung auf den Umsatz	170
Abbildung 36:	Kontingente am Beispiel eines Passagierflugs mit 140 Sitzplätzen und vier Buchungsklassen	173
Abbildung 37:	Bestimmung der Schutzgrenzen mithilfe der EMSRa-Heuristik	187
Abbildung 38:	Hierarchisch kumulierter Ansatz für drei Buchungsklassen und vier Zeitperioden	207
Abbildung 39:	EDV-technische Realisierung der numerischen Untersuchungen	216

Abbildung 40:	Prozentuale durchschnittliche Erlösverbesserung der Strategien Revenue Management (RMS) und Mittelwert (MWS) gegenüber der First-Come-First-Served-Strategie für die Datensätze D1 bis D5 und Vergleich mit dem jeweiligen Preisdifferenzierungspotential.....	219
Abbildung 41:	Prozentuale Verbesserung der durch Anwendung des Revenue Management-Szenarios erzielten Erlöse von MA OPT gegenüber KM OPT.....	223
Abbildung 42:	Prozentuale Erlösverbesserung von RMS gegenüber FCFS in Abhängigkeit von der Klassenanzahl für die Datensätze D1 bis D5.....	225

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Entwicklungsstufen informationstechnischer Planungsunterstützung	14
Tabelle 2:	Charakterisierung von Losgrößenproblemen.....	37
Tabelle 3:	In APS-Modulen zum Einsatz kommende Lösungsverfahren	45
Tabelle 4:	Charakteristika der Auftragsüberwachung verschiedener Fertigungsstrategien.....	55
Tabelle 5:	Vergleich zwischen diskreter und kumulativer ATP-Berechnung mit Vorschau.....	72
Tabelle 6:	Beispielhafte diskrete ATP-Mengen für verschiedene Standorte und Perioden.....	73
Tabelle 7:	Übersicht über optimierende Verfügbarkeitsprüfungsansätze.....	75
Tabelle 8:	Auswirkungen des Backorder Processings bei SAP APO.....	84
Tabelle 9:	Beispielhafte Kriterien zur Verteilung von Fehlmengen	92
Tabelle 10:	Übersicht der ausgewählten Datensätze	149
Tabelle 11:	Kriterien für Verspätungskosten aus Sicht des Projektpartners	150
Tabelle 12:	Prozentuale Veränderung der Leistungserstellungskosten der Datensätze E1 bis E5 gegenüber dem Status Quo durch Anwendung des Optimierungsverfahrens	158
Tabelle 13:	Vergleich der in der Fallstudie beobachteten (Status Quo) mit der durch ex post-Optimierung ermittelten Liefertreue für die Datensätze E1 bis E5 auf Basis der Auftragsanzahl (LTAA) und auf Basis der Auftragsmenge (LTAM)	159
Tabelle 14:	Vergleich der Berechnung der Schutzgrenzen für die Szenarien RMS und MWS anhand von vier Bedarfsklassen.....	214
Tabelle 15:	Ausgewählte Datensätze der Fallstudie.....	215
Tabelle 16:	Erlöse der Referenzszenarien RMS, MWS und FCFS für die Datensätze D1 bis D5 als Prozentwerte des jeweiligen ex post-Optimums (BCS).....	217

Tabelle 17:	Prozentuale Verschlechterung des Zielfunktionswertes von MA SD gegenüber MA TA bzw. MA OPT in Abhängigkeit von der Klassenanzahl <i>I</i>	220
Tabelle 18:	Prozentuale Verschlechterung des mithilfe von MA SD für RMS realisierten Periodengesamterlöses gegenüber MA OPT bzw. MA TA in Abhängigkeit von der Klassenanzahl <i>I</i>	221
Tabelle 19:	Erlöse des Revenue Management-Szenarios bei Kontingentierung mithilfe der Heuristiken EMSRa und EMSRb und des optimalen Ansatzes (OPT) für die Datensätze D1 bis D5 als Prozentwerte des jeweiligen ex post-Optimums.....	224
Tabelle 20:	Erlöse der Suchstrategien SGT, SVP, SNP und SVNP für die Datensätze D1* bis D5* als Prozentwerte des jeweiligen ex post-Optimums (BCS)	227
Tabelle 21:	Durch APS-Module abgedeckte Planungsprozesse	235
Tabelle 22:	Industriefokus und Referenzen von APS-Anbietern.....	236
Tabelle 23:	Verschlechterung des Zielfunktionswertes von KM PAM gegenüber KM OPT in Abhängigkeit von der Klassenanzahl <i>I</i>	239
Tabelle 24:	Prozentuale Verschlechterung des mithilfe von KM PAM für RMS realisierten Periodengesamterlöses gegenüber KM OPT in Abhängigkeit von der Klassenanzahl <i>I</i>	240

Symbolverzeichnis

Indizes

a	Auftrag, mit $a = 1, \dots, A$ und $A =$ Anzahl der Aufträge
\hat{a}	Platzhalterauftrag, mit $\hat{a} = 1, \dots, \hat{A}$ und $\hat{A} =$ Anzahl der Platzhalteraufträge
b	Buchungsklasse, mit $b = 1, \dots, I$ und $I =$ Anzahl der Buchungsklassen
c	Kunde, mit $c = 1, \dots, C$ und $C =$ Anzahl der Kunden
d	Kunde, mit $d = 1, \dots, C$ und $C =$ Anzahl der Kunden
e	Produkt, mit $e = 1, \dots, E$ und $E =$ Anzahl der Produkte
f	Produktionsstandort, mit $f = 1, \dots, F$ und $F =$ Anzahl der Produktionsstandorte
i	Buchungsklasse, mit $i = 1, \dots, I$ und $I =$ Anzahl der Buchungsklassen, und Phase, mit $i = 1, \dots, I$ und $I =$ Anzahl der Phasen
j	Material, mit $j = 1, \dots, J$ und $J =$ Anzahl der Materialien
k	Kapazitätsgruppe, mit $k = 1, \dots, K$ und $K =$ Anzahl der Kapazitätsgruppen
n	normales Objekt, mit $n = 1, \dots, N$ und $N =$ Anzahl der normalen Objekte
r	repräsentatives Objekt, mit $r = 1, \dots, R$ und $R =$ Anzahl der repräsentativen Objekte
s	Sitzplatz, mit $s = 1, \dots, S$ und $S =$ Anzahl der Sitzplätze
t	Periode, mit $t = 0, \dots, T$ und $T =$ Anzahl der Perioden
v	Stücklistenalternative, mit $v = 1, \dots, V$ und $V =$ Anzahl der Stücklistenalternativen

Mengen

β	Menge der untersuchten Strategien, $\beta \in \{\text{FCFS, MWS, BCS, RMS}\}$
γ	Menge der untersuchten Clusterlösungen, $\gamma \in \{\text{MA OPT, MA SD, MA TA, KM OPT, KM PAM}\}$
δ	Menge der untersuchten Kontingentierungsansätze, $\delta \in \{\text{RM OPT, RM EMSRa, RM EMSRb}\}$
ε	Menge der in Teil IV untersuchten Datensätze, $\varepsilon \in \{D1, D2, D3, D4, D5\}$

- ζ Menge der untersuchten, auf 4 Wochen erweiterten Datensätze, $\zeta \in \{D1^*, D2^*, D3^*, D4^*, D5^*\}$
- η Menge der Suchstrategien, $\eta \in \{SGT, SVP, SNP, SVNP\}$

Variablen und Parameter

- AB_a Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn der Auftrag a bestätigt wird, andernfalls 0
- $abst_{c,d,e}^t$ Abstand der bei Kunden c und d für ein Stück des Produktes e erzielbaren Erlöse
- $am_{e,t}$ noch nicht bestätigte Auftragsmenge des Produktes e für Periode t
- AM_i bestätigte Menge der Nachfrage nach Buchungsklasse i
- AM_i^* optimale bestätigte Menge der Nachfrage nach Buchungsklasse i
- ATP_t in Periode t zur Auftragsbestätigung zur Verfügung stehende Menge in Stück
- $ATP_{e,t}$ Menge des Produktes e , die in Periode t zur Auftragsbestätigung zur Verfügung steht
- $ATP_{j,t}$ Menge des Materials j , die in Periode t zur Auftragsbestätigung zur Verfügung steht
- $ATP_{k,t}$ Kapazität der Kapazitätsgruppe k , die in Periode t zur Auftragsbestätigung zur Verfügung steht
- $bk_{f,a,k,t}$ Kapazitätsbedarf eines Stückes des Auftrags a am Produktionsstandort f auf Kapazitätsgruppe k in Periode t
- $bk_{f,\hat{a},k,t}$ Kapazitätsbedarf eines Stückes des Platzhalterauftrags \hat{a} am Produktionsstandort f auf Kapazitätsgruppe k in Periode t
- $BM_{a,t}$ in Periode t bestätigte Menge des Auftrags a
- bm_a zum Termin bt_a bestätigte Menge des Auftrags a
- $bm_{\hat{a}}$ zum Termin $bt_{\hat{a}}$ geplante Menge des Platzhalterauftrags \hat{a}
- $bom_{a,j}$ Menge des Materials j , die für ein Stück des Auftrags a benötigt wird
- $bom_{\hat{a},j}$ Menge des Materials j , die für ein Stück des Platzhalterauftrags \hat{a} benötigt wird
- $bom_{a,j,v}$ Menge des Material j , die für ein Stück des Auftrags a benötigt wird, wenn Stücklistenalternative v verwendet wird

$bom_{j,e}$	Menge des Materials j , die für ein Stück des Produktes e benötigt wird
bt_a	zugesagter Eintrefftermin des Auftrags a beim entsprechenden Kunden
$bt_{\hat{a}}$	prognostizierter Bedarfstermin des Platzhalterauftrags \hat{a}
$cm_{e,a,t}$	in Periode t für Auftrag a bestätigte Menge des Produktes e
db_a	Deckungsbeitrag des Auftrags a
$DIS_{c,d}$	Abstand der bei Kunden c und d für ein Produkt realisierbaren Erlöse, wenn beide Kunden der gleichen Klasse zugeordnet werden
dz_a	Durchlaufzeit des Auftrags a durch den Produktionsprozess
$dz_{\hat{a}}$	Durchlaufzeit des Platzhalterauftrags \hat{a} durch den Produktionsprozess
$E[nf_i]$	Erwartungswert der stochastischen Nachfrage für Buchungsklasse i
$em_{e,t}$	für Periode t zusätzlich erwartete Nachfrage nach Produkt e
Erl_a	Erlös pro Stück des Auftrags a , wenn dieser entsprechend dem Kundenwunschtermin in Periode wp_a bestätigt wird
$Erl_{a,t}$	Erlös pro Stück des Auftrags a , wenn dieser in Periode t bestätigt wird
$Erlös_{c,e}$	bei Kunde c für ein Stück des Produktes e erzielbarer Erlös
$\overline{Erlös}_{\beta,\gamma,\delta,l}^{\varepsilon}$	durchschnittlicher Periodenerlös der Strategie β für Datensatz ε bei l Klassen bei Anwendung des Clusteransatzes γ und des Kontingentierungsansatzes δ
$\overline{Erlös}^{\zeta}_{\eta}$	durchschnittlicher Periodenerlös der Suchstrategie η für Datensatz ζ bei Anwendung des Clusteransatzes MA TA und des Kontingentierungsansatzes RM OPT
$F_i(\cdot)$	Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion der Nachfrage nach Buchungsklasse i
$früh_a$	prozentualer Abschlagfaktor für jede Periode, die Auftrag a früher als wp_a geliefert wird
g', g'', g'''	Gewichtungsfaktoren
g_1 bis g_5	Gewichtungsfaktoren
$gm_{a,t}$	in Periode t gelieferte Menge des Auftrags a
k^0	Gesamtkapazität, die für alle Buchungsanfragen zur Verfügung steht

kap_a	Strafkosten pro Stück, die der neu berechnete Produktionsplan im fixierten Horizont vom Status Quo abweicht
kav_a	administrative Verlagerungskosten, die durch die Verschiebung des Auftrags a zwischen zwei Standorten entstehen
$kb_{k,e}$	Kapazitätsbedarf auf Kapazitätsgruppe k pro Stück des Produktes e
$klm_{f,j}$	Lagerkosten am Produktionsstandort f für ein Stück des Materials j
$klp_{f,a}$	Lagerkosten am Produktionsstandort f für Auftrag a
$klp_{f,\hat{a}}$	Lagerkosten am Produktionsstandort f für Platzhalterauftrag \hat{a}
$klw_{f,a,t}$	Lagerkosten, die für ein Stück eines Halbfertigerzeugnisses am Produktionsstandort f für Auftrag a anfallen, wenn das Halbfertigerzeugnis noch t Perioden von der Umwandlung in ein Endprodukt entfernt ist
$klwa_{f,a,t}$	gesamte Lagerkosten der Halbfertigerzeugnisse am Produktionsstandort f für Auftrag a pro Stück, welches in Periode t als Endprodukt fertig gestellt wird.
$km_{f,j}$	Materialkosten am Produktionsstandort f für ein Stück des Materials j
kn_a	auftragsspezifische Nichterfüllungskosten für ein Stück des Auftrags a
kns_a	Faktor für die Nichtbelieferung bei Stornokunden
$kn_{\hat{a}}$	Auftragsspezifische Nichterfüllungskosten für ein Stück des Platzhalterauftrags \hat{a}
kng_a	Nichtbelieferungskosten des Auftrags a
$kp_{f,a}$	Produktionskosten am Produktionsstandort f pro Stück des Auftrags a
$kp_{f,\hat{a}}$	Produktionskosten am Produktionsstandort f pro Stück des Platzhalterauftrags \hat{a}
$kpwt_{f,a,t}$	Summe aus den Faktoren für Produktions-, Transport- und WIP-Lagerkosten für Produktionsstandort f , Auftrag a und Periode t ($kpwt_{f,a,t} = kp_{f,a} + klwa_{f,a,t} + kt_{f,a}$)
$kslw_a$	Kosten, die durch einen Stücklistenwechsel für Auftrag a entstehen
$kt_{f,a}^t$	Transportkosten eines Endproduktes vom Produktionsstandort f zum Kunden des Auftrags a
$kt_{f,\hat{a}}^t$	Transportkosten eines Endproduktes vom Produktionsstandort f zum Kunden des Platzhalterauftrags \hat{a}
kv_a	Auftragsspezifische Verspätungskosten pro Periode und Stück des Auftrags a

$kv_{\hat{a}}$	Auftragsspezifische Verspätungskosten pro Periode und Stück des Platzhalterauftrags \hat{a}
$KV_{f,k,t}$	Produktionskapazität, die am Produktionsstandort f auf Kapazitätsgruppe k in Periode t verbraucht wird
$KV\hat{A}_{f,k,t}$	Produktionskapazität, die am Produktionsstandort f auf Kapazitätsgruppe k in Periode t durch die Platzhalteraufträge $\hat{a} = 1, \dots, \hat{A}$ verbraucht wird
kg_a	Verspätungskosten des Auftrags a pro Periode, die der gesamte Auftrag verspätet geliefert wird
kvp_a	Verwurfkosten pro Stück eines Endproduktes des Auftrags a
kvw_a	Verwurfkosten pro Halbfertigprodukt des Auftrags a
kvs_a	Faktor für bereits in der Vergangenheit verschobene Kundenaufträge
$LB_{e,t}$	Lagerbestand des Produktes e am Ende der Periode t
$LB_{j,t}$	Lagerbestand des Materials j am Ende der Periode t
$lbm_{f,j}^0$	Anfangslagerbestand des Materials j am Produktionsstandort f zum Zeitpunkt $t = 0$
$LBM_{f,j,t}$	Bestand an Material j am Produktionsstandort f in Periode t
$lbp_{f,a}^0$	Anfangslagerbestand an Endprodukten am Produktionsstandort f für den Auftrag a
$LBP_{f,a,t}$	Bestand an Endprodukten am Produktionsstandort f für Auftrag a in Periode t
$LBP_{f,\hat{a},t}$	geplanter Bestand des Platzhalterauftrags \hat{a} am Produktionsstandort f in Periode t
$LT_{f,a,t}$	Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn der Auftrag a aus dem Produktionsstandort f in Periode t beliefert wird, andernfalls 0
$LTAA$	Liefertreue auf Basis der Auftragsanzahl
$LTAM$	Liefertreue auf Basis der Auftragsmenge
lti_a	Liefertreueindikator des Auftrags a (1, falls Auftrag a komplett pünktlich geliefert wurde, andernfalls 0)
$max_{Preis}^{\varepsilon}$	maximaler Preis der Elemente des Datensatzes ε
$max_{\beta,\gamma,\delta,l}^{\varepsilon}$	maximaler Periodenerlös der Strategie β für Datensatz ε und l Klassen bei Anwendung der Clusterlösung γ und des Kontingentierungsansatzes δ

$max^*_{\zeta, \eta}$	maximaler Periodenerlös der Suchstrategie η für Datensatz ζ bei Anwendung der Clusterlösung MA TA und des Kontingentierungsansatzes RM OPT
$min^{\varepsilon}_{Preis}$	minimaler Preis der Elemente des Datensatzes ε
$min^{\varepsilon}_{\beta, \gamma, \delta, l}$	minimaler Periodenerlös der Strategie β für Datensatz ε und l Klassen bei Anwendung der Clusterlösung γ und des Kontingentierungsansatzes δ
$min^*_{\zeta, \eta}$	minimaler Periodenerlös der Suchstrategie η für Datensatz ζ bei Anwendung der Clusterlösung MA TA und des Kontingentierungsansatzes RM OPT
$mLot_{f,a}$	Mindestproduktionslosgröße des Auftrags a am Produktionsstandort f
$mLot_{f,a,t}$	Mindestproduktionslosgröße des Auftrags a am Produktionsstandort f in Periode t
$MV_{f,j,t}$	Menge des Materials j , die am Produktionsstandort f in Periode t verbraucht wird
$MV\hat{A}_{f,j,t}$	Menge des Materials j , die am Produktionsstandort f in Periode t durch die Platzhalteraufträge $\hat{a} = 1, \dots, \hat{A}$ verbraucht wird
$mz_{j,t}$	Erwarteter Zugang des Materials j in Periode t
G	große Zahl
NB_a	Nichtbelieferungsmenge des Auftrags a
$NB_{\hat{a}}$	Nichtbelieferungsmenge des Platzhalterauftrags \hat{a}
nf_i	stochastische Nachfrage für Buchungsklasse i
$\tilde{O}^+_{f,a,t}$	Hilfsvariable
$\tilde{O}_{f,a,t}$	Hilfsvariable
$P_{f,a,t}$	Menge an Endprodukten für Auftrag a , die am Produktionsstandort f in Periode t fertig gestellt wird
$P_{f,\hat{a},t}$	Menge an Endprodukten für Platzhalterauftrag \hat{a} , die am Produktionsstandort f in Periode t fertig gestellt wird
$p^0_{f,a,t}$	aktuell geplante Produktionsmenge an Endprodukten, die am Produktionsstandort f in Periode t des fixierten Produktionshorizonts ($1 \leq t \leq tf$) fertig gestellt wird
$pk_{f,k,t}$	maximale Kapazität (Personal- und Maschinenkapazität) für Produktionsstandort f , Kapazitätsgruppe k und Periode t

$pl_{f,a}^0$	gibt an, ob am Produktionsstandort f für den Auftrag a bereits Lagerbestand an Endprodukten oder Halbprodukten vorhanden oder ob Produktion im fixierten Bereich im letzten Planungslauf ($t = 0$) eingeplant ist (1, falls Lagerbestand an End- oder Halbprodukten vorliegt oder Produktion im fixierten Bereich geplant ist, andernfalls 0)
pr_i	Preis einer Einheit der Buchungsklasse i
\bar{p}_i	gewichteter Durchschnittspreis der virtuellen Klasse i , die durch die Zusammenfassung der Klassen 1, ..., i entsteht.
$\overline{Preis}^\varepsilon$	Durchschnittlicher Preis aller Elemente des Datensatzes ε
$ps_{f,a}^0$	gibt an, an welchem Produktionsstandort f der Auftrag a zuletzt eingeplant war (1, falls Auftrag a am Produktionsstandort f eingeplant war, andernfalls 0)
$\hat{s}_{Preis}^\varepsilon$	Schätzer der Standardabweichung der Preise des Datensatzes ε
$\hat{s}_{\beta,\gamma,\delta,l}^\varepsilon$	Schätzer der Standardabweichung des Periodenerlöses der Strategie β für Datensatz ε und l Klassen bei Anwendung der Clusterlösung γ und des Kontingentierungsansatzes δ
$\hat{s}^*_{\zeta,\eta}$	Schätzer der Standardabweichung der Periodenerlöse der Suchstrategie η für Datensatz ζ bei Anwendung der Clusterlösung MA TA und des Kontingentierungsansatzes RM OPT
S_i	Nachfrage der virtuellen Buchungsklassen i , die durch die Zusammenfassung der Klassen 1, ..., i entsteht
$sb_{f,j}$	Sicherheitsbestand des Materials j am Produktionsstandort f
$SL_{a,v}$	Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn für den Auftrag a die Stücklistenalternative v verwendet wird
$sl_{a,v}^0$	Gibt an, welche Stückliste aktuell für den Auftrag a verwendet wird. Hat den Wert 1, wenn Stücklistenalternative v für Auftrag a verwendet wird, andernfalls 0.
$spät_a$	prozentualer Abschlagfaktor für jede Periode, die Auftrag a zu spät geliefert wird
σ_i	Standardabweichung der normalverteilten Nachfrage nach Buchungsklasse i
$temp_{a,t}$	Abschlagfaktor für Belieferung des Auftrags a in Periode t
tf	Anzahl der Perioden im fixierten Planungshorizont

$t_{z_{f,a}}$	Transportzeit des Auftrags a vom Produktionsstandort f zum Standort des entsprechenden Kunden
$t_{z_{f,\hat{a}}}$	Transportzeit des Platzhalterauftrags \hat{a} vom Produktionsstandort f zum entsprechenden Kunden
μ_i	Mittelwert der normalverteilten Nachfrage nach Buchungsklasse i
$V_i(x)$	Wertfunktion zu Beginn der Phase i , die den optimalen erwarteten Erlös als Funktion der verbleibenden Kapazität x angibt
$\Delta V_i(x)$	erwarteter Marginalwert der x -ten Kapazitätseinheit in der Phase i
$vk_{k,t}$	verfügbare Kapazität der Kapazitätsgruppe k in Periode t
$W(a > b)$	Wahrscheinlichkeit, dass $a > b$ ist
$wip_{f,a,t}$	Menge an Endprodukten, die am Produktionsstandort f in Periode t verfügbar wird und deren Produktionsstart vor dem aktuellen Planungsbeginn ($t = 1$) liegt
wm_e	Wunschmenge des Produktes e
wm_a	Wunschmenge des Auftrags a
wp_a	Wunschperiode des Auftrags a
$wvlb_a$	gibt an, ob Lagerbestand an Fertigprodukten für Auftrag a für andere Aufträge verwendet werden kann (1, wenn Lagerbestand an Fertigprodukten für Auftrag a für andere Aufträge verwendet werden kann, andernfalls 0)
wvw_a	gibt an, ob Lagerbestand an Halbfertigprodukten für Auftrag a für andere Aufträge verwendet werden kann (1, wenn Lagerbestand an Halbfertigprodukten für Auftrag a für andere Aufträge verwendet werden kann, andernfalls 0)
x	Restkapazität
$X_{f,a}$	Binärvariable zur Entscheidung, an welchem Produktionsstandort f der Auftrag a gefertigt wird (1, wenn der Auftrag a am Produktionsstandort f gefertigt wird, andernfalls 0)
$X_{f,\hat{a}}$	Binärvariable zur Entscheidung, an welchem Produktionsstandort f der Platzhalterauftrag \hat{a} gefertigt wird (1, wenn der Auftrag a am Produktionsstandort f gefertigt wird, andernfalls 0)

$Y_{f,a,t}$	Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn der Auftrag a in Periode t am Produktionsstandort f produziert wird
y_i	für Buchungsklasse i und alle höherwertigen Buchungsklassen ($i - 1, i - 2, \dots, 1$) reservierte Kapazität (geschachtelte Schutzgrenze)
y_i^*	optimale geschachtelte Schutzgrenze für Buchungsklasse i
y_b^{i+1}	Schutzgrenze für Buchungsklasse b vor Nachfrage nach Buchungsklasse $i + 1$
YR_c	Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn Kunde c als repräsentatives Objekt ausgewählt wird, andernfalls 0
$zm_{f,j,t}$	erwarteter Zugang des Materials j am Produktionsstandort f in Periode t
$ZK_{c,i}$	Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn der Kunde c der Buchungsklasse i zugeordnet wird, andernfalls 0
$ZR_{c,d}$	Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn der Kunde d dem Repräsentanten c zugeordnet wird, andernfalls 0
$zU_{e,t}$	Erwarteter Zugang des Produktes e in Periode t

I Einleitung

1 Ausgangspunkt und Motivation

Als Folge der zunehmenden Globalisierung von Beschaffungs- und Absatzmärkten, des steigenden Kostendrucks, der sich verkürzenden Produktlebenszyklen und des schnellen technologischen Fortschritts sehen sich Unternehmen heutzutage einem steigenden Wettbewerbsdruck ausgesetzt. Eine alleinige Abgrenzung der angebotenen Produkte und Dienstleistungen gegenüber denen der Konkurrenten durch die Faktoren Preis und Qualität ist dabei in vielen Fällen nicht mehr ausreichend. Zur erfolgreichen Positionierung im Wettbewerb setzen Unternehmen deshalb darüber hinaus auf einen verbesserten Lieferservice, der sich unter anderem in schnellen und zuverlässigen Termino Zusagen, einer hohen Produktverfügbarkeit und kurzen Lieferzeiten äußert.¹ Aus Kundensicht kommt diesen Aspekten ebenfalls eine wachsende Bedeutung bei der Kaufentscheidung zu, wozu sinkende Transaktionskosten und wachsende Markttransparenz als Folge der Etablierung neuer Informations- und Kommunikationstechnologien beitragen.²

Demgegenüber gestaltet sich aus Unternehmenssicht die schnelle Zusage und zuverlässige Einhaltung von Lieferterminen mit steigender Anzahl von Produkten bzw. Varianten, sich verkürzenden Produktlebenszyklen, komplexer werdenden Wertschöpfungsketten und wachsender Nachfragevolatilität zunehmend schwieriger. Darüber hinaus hält der steigende Kostendruck Unternehmen verstärkt davon ab, sich ein hohes Servicelevel durch Bestände zu „erkaufen“. Die in vielen Branchen zu beobachtende Reduzierung der Wertschöpfungstiefe einzelner Unternehmen und die daraus resultierende Vernetzung von Unternehmen zu Wertschöpfungsketten führen zu einem erhöhten Koordinationsaufwand, der die schnelle und verlässliche Lieferterminermittlung zusätzlich erschwert.³

Um den Herausforderungen des zunehmenden Wettbewerbs- und Kostendrucks, der steigenden Komplexität der Wertschöpfungsketten und der wachsenden Kundenanforderungen erfolgreich zu begegnen, wird in Theorie und Praxis seit geraumer Zeit das Konzept des Supply Chain Managements (SCM) diskutiert. Dieses integrative Planungs- und Steuerungskonzept, in dessen Zentrum die Bedürfnisse der Endkunden stehen, zielt auf eine die gesamte Wert-

¹ Vgl. Pfohl (2003), S. 58, und Dietel (1997), S. 1.

² Vgl. Pfohl (2000), S. 21.

³ Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 179, und Seidl (2000), S. 163.

schöpfungskette umfassende Koordination von Informations-, Waren- und Geldströmen ab. Neben der Erhöhung der Profitabilität und der Steigerung der Flexibilität zählt die Verbesserung des Lieferservice zu den Hauptzielen des Supply Chain Managements.⁴

Zur Unterstützung der Steuerung und der Koordination komplexer Wertschöpfungsketten und zur Realisierung von Wettbewerbsvorteilen werden von verschiedenen Herstellern Softwaretools unter dem Namen Advanced Planning & Scheduling (APS)-Systeme mit dem Anspruch propagiert, den spezifischen Anforderungen des Supply Chain Managements gerecht zu werden. APS-Systeme unterstützen Unternehmen dabei, das globale Optimum innerhalb der Wertschöpfungskette bzw. des Wertschöpfungsnetzwerkes anzustreben.⁵ Im Rahmen des Supply Chain Managements kommt dem Prozess, der sich mit Verfügbarkeitsprüfung, Terminbestätigung und Überwachung von Kundenaufträgen beschäftigt und als Demand Fulfillment bezeichnet wird, eine besondere Bedeutung zu, da er aus Kundensicht maßgeblich die Außenwirkung einer Supply Chain im Bezug auf Reaktionsgeschwindigkeit und Lieferzuverlässigkeit bestimmt.

Innerhalb einer Wertschöpfungskette wird in der Regel eine möglichst effiziente Nutzung der vorhandenen und meist knappen Ressourcen angestrebt. Sicherheitsbestände und Kapazitäten werden mittelfristig auf die erwartete Nachfrage angepasst, da Überbestände und Überkapazitäten Indikatoren für Ineffizienz innerhalb der Lieferkette sind.⁶ Ist in einem Umfeld volatiler und unsicherer Nachfrage eine kurzfristige, flexible Kapazitätsanpassung nicht möglich, so nehmen Unternehmen aus Kostengründen oftmals Fehlmengen, die beim Auftreten von Bedarfsspitzen entstehen können, bewusst in Kauf.⁷ Ein durch Bestände „erkauft“ Servicelevel von 100% lässt sich dabei aus Kostengesichtspunkten nicht rechtfertigen.⁸ Der Steuerung der als Folge dieser Strategie potentiell auftretenden Fehlmengen kommt ein

⁴ Die Steigerung der Termintreue, die Verringerung der Durchlaufzeiten und die Verbesserung der Auskunftsbereitschaft zielen darauf ab, die Kundenzufriedenheit zu erhöhen und dadurch die Kundenbindung zu festigen. Vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 18, Christopher (2005), S. 6 ff., Hahn (2000), S. 13, und Jirik (1999), S. 547.

⁵ Enterprise Resource Planning (ERP)-Systeme streben aufgrund ihrer Architektur im Gegensatz zu APS-Systemen nicht nach einer globalen effizienten Lösung. Vgl. Piontek (2003), S. 3, und Werner (2002), S. 223.

⁶ “A Supply Chain is working more profitable if it is operated on the edge by removing all inefficiencies...” Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 187.

⁷ Fehlmengen werden allerdings nur dann in Kauf genommen, wenn Bedarfsspitzen nicht frühzeitig antizipiert und beispielsweise durch Vorratsproduktion abgedeckt werden können.

⁸ Vgl. Christopher (2005), S. 68.

wesentliche Bedeutung zu. Aus Unternehmenssicht spielt die wirtschaftliche Verteilung der knappen Ressourcen eine entscheidende Rolle, während aus Kundensicht oftmals transparente und nachvollziehbare Verteilungsmechanismen als besonders wichtig angesehen werden.

Ausgangspunkt und Motivation dieser Arbeit ist der in vielen Unternehmen festzustellende unbefriedigende Lieferservice, der sich unter anderem in langen Auftragsbestätigungszeiten und häufiger Verschiebung zugesagter Termine und damit geringer Liefertreue äußert. Im Falle auftretender Fehlmengen werden die knappen Ressourcen oftmals nach intransparenten Verteilungsschlüsseln unter den Nachfragern aufgeteilt. Die daraus resultierende Unzufriedenheit der Kunden kann zu langfristigen Umsatzeinbußen führen. Aufgrund der mangelhaften Entscheidungsunterstützung der gängigen IT-Systeme im Hinblick auf Fragestellungen der Fehlmengenverteilung sind in der Praxis suboptimale Entscheidungen zu beobachten, da weder der Ressourceneinsatz noch die Auswirkungen von Fehlmengen auf Kunden im Rahmen des Entscheidungsproblems systematisch berücksichtigt werden.

2 Problemstellung und Zielsetzung

Im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsüberwachung treten Fehlmengen auf, wenn das zur Verfügung stehende Material- und/oder Kapazitätsangebot nicht ausreicht, die Kundenaufträge nach Art, Termin und Menge zu erfüllen.⁹ Dabei werden im Rahmen dieser Arbeit drei Situationen der Fehlmengenverteilung unterschieden:

Die erste Fehlmengensituation liegt vor, wenn die zur Produktion notwendigen Ressourcen aufgrund einer zum Entscheidungszeitpunkt nicht vorhergesehenen Störung nicht mehr ausreichen, die bereits bestätigten und noch nicht ausgelieferten Aufträge nach Art, Termin und Menge zu erfüllen.¹⁰ Dieses Problem wird im Folgenden als *Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung* bezeichnet. In diesem Zusammenhang sind aus Unternehmenssicht u. a. die Fragen zu beantworten, welche Kundenaufträge zu verschieben, welche zu stornieren und welche zum zugesagten Liefertermin auszuliefern sind.

Die zweite Situation der Fehlmengenverteilung tritt auf, wenn neu eintreffende Kundenaufträge aufgrund der Ressourcenverfügbarkeit innerhalb der Supply Chain nicht entsprechend dem Kundenwunschtermin nach Art und Menge bestätigt werden können. Wenn zum Zeitpunkt der

⁹ Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden unter dem Ressourcenangebot sowohl das Material- als auch das Kapazitätsangebot zusammengefasst.

¹⁰ Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 309.

Entscheidung über die Annahme eines Kundenauftrags nur die bereits vorliegenden Aufträge und keine Annahmen über eventuell noch eintreffende Kundenaufträge berücksichtigt werden, wird diese Situation als *Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme ohne Antizipation* bezeichnet. Aus Unternehmenssicht sind unter anderem die Fragen zu beantworten, welche Kundenaufträge wann zu bestätigen und welche abzulehnen sind.

Die dritte Situation der Fehlmengenverteilung geht davon aus, dass zum Zeitpunkt der Entscheidung über die Annahme bzw. Ablehnung eines Auftrags Informationen über zukünftige Nachfrage explizit berücksichtigt werden. Sie kann aufgrund ihres vorausschauenden Charakters als *Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation* bezeichnet werden.¹¹ Zum Entscheidungszeitpunkt ist dabei zwischen Umsatzverdrängungs- und Leerkosten abzuwägen. Das Ablehnen eines Auftrags in Erwartung des Eintreffens eines lukrativeren kann dabei zu ungenutzten Kapazitäten und damit zu Umsatzverlust führen, falls der erwartete Auftrag nicht eintrifft. Eine ähnliche Problemstellung tritt unter dem Oberbegriff Revenue Management in der Luftfahrtindustrie auf, wo über die Zuordnung von Kundenanfragen zu beschränkten Kapazitäten unter Unsicherheit zu entscheiden ist.¹²

Insgesamt lässt sich feststellen, dass Demand Fulfillment im Hinblick auf Modelle und Methoden des Operations Research in der wissenschaftlichen Forschung weitgehend vernachlässigt wird.¹³ Die Lagerhaltungstheorie gibt zwar an, welches Bestandsniveau für ein Servicelevel von 99% benötigt wird, macht aber keine Aussagen darüber, wie das eine Prozent an Fehlmengen auszuwählen ist.¹⁴ Einige Autoren weisen auf die Ähnlichkeit der Fragestellung der Fehlmengenverteilung des Demand Fulfillments und der Problemstellung des Revenue Managements hin.¹⁵ Die Literatur im Umfeld des Revenue Managements konzentriert sich demgegenüber aber weitgehend auf den Luftfahrt- und Dienstleistungssektor.¹⁶

¹¹ Dabei wird davon ausgegangen, dass ein Unternehmen aufgrund begrenzter Ressourcen nicht alle Aufträge mit positivem Deckungsbeitrag wunschtermingerecht abwickeln kann. Diese Fragestellung wird auch als Problem der Auftragsselektion bei Unsicherheit bezeichnet. Vgl. Laux (1971), S. 164.

¹² Vgl. Pfeifer (1989), S. 149, und Belobaba (1989), S. 183.

¹³ Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 299.

¹⁴ Vgl. Schweiger (1991), S. 7, und Meyr (2005a), S. 1 f.

¹⁵ Für Hinweise auf die Analogie zwischen der Fehlmengenverteilung bei Sachgüterproduktion im Umfeld der Auftragsfertigung und dem Revenue Management vgl. beispielsweise Meyr (2005a), S. 5, Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 187, und Kimms/Klein (2005), S. 22.

¹⁶ Für eine Übersicht sektorspezifischer Ansätze des Revenue Managements vgl. Tscheulin/Lindenmeier (2002), S. 649 ff.

Im Rahmen dieser Arbeit werden drei Teilziele verfolgt:

- Theoretische Einordnung der Aufgaben des Demand Fulfillments in den Kontext des Supply Chain Managements und Herausarbeitung und Bewertung der in Theorie und Praxis eingesetzten Verfahren der Fehlmengenverteilung,
- Entwicklung eines Konzeptes zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung für den Anwendungsfall der auftragspezifischen Konfiguration, Implementierung, Erprobung und Bewertung der Leistungsfähigkeit anhand einer Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie und Ableitung von Handlungsempfehlungen sowie
- theoretische Aufarbeitung der Verfahren des Revenue Managements und Entwicklung eines Konzeptes zur Unterstützung der Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation, Implementierung, Erprobung und Bewertung der Leistungsfähigkeit anhand einer Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie und Ableitung von Handlungsempfehlungen.

3 Gang der Untersuchung

Die Gliederung der Arbeit orientiert sich an den Teilzielen und ist in Abbildung 1 dargestellt:

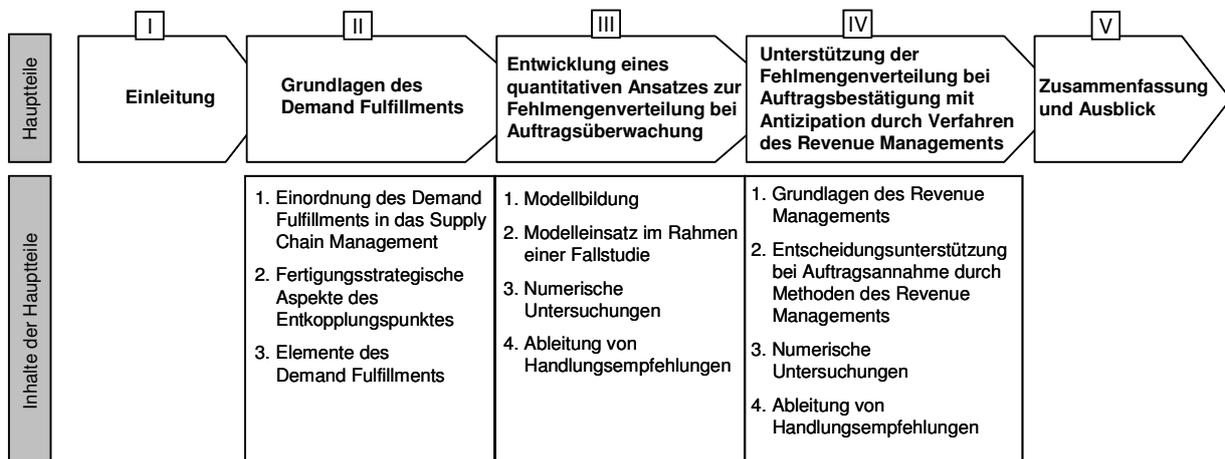


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit¹⁷

¹⁷ Eigene Darstellung.

In **Kapitel II** wird im Rahmen der Darstellung der Grundlagen des Demand Fulfillments zuerst dessen Einordnung in den Kontext des Supply Chain Managements und der software-unterstützten Planungssysteme vorgenommen. Dazu wird die Entwicklung von Supply Chain Management-Systemen dargestellt und deren Grundstruktur erläutert. Im Anschluss daran erfolgt die Herausarbeitung der Planungsaufgaben des Demand Fulfillments für ausgewählte idealtypische Fertigungsstrategien. Anschließend werden die in Theorie und Praxis bekannten Verfahren und quantitativen Modelle zur Lösung der Teilaufgaben der Fehlmengenverteilung des Demand Fulfillments zusammengefasst und hinsichtlich ihrer Eignung zur Entscheidungsunterstützung bewertet.

Kapitel III stellt einen gemischt-binären Lösungsansatz zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung für die Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration vor. Im Rahmen der Modellbildung werden dabei neben dem Grundmodell verschiedene modelltheoretische Erweiterungen diskutiert. Anschließend wird die Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie vorgestellt und die Abgrenzung der konkreten Problemstellung vorgenommen. Im Rahmen der numerischen Untersuchungen erfolgen die Definition geeigneter Leistungsgrößen und die Berechnung auftragspezifischer Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten. Aufbauend auf der Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf Laufzeitverhalten und Lösungsgüte schließt das Kapitel mit der Ableitung von Handlungsempfehlungen.

Kapitel IV beschreibt die Entwicklung eines auf den Methoden des Revenue Managements basierenden Verfahrens zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation. Dazu werden zuerst die Grundlagen des Revenue Managements herausgearbeitet und ausgewählte mathematische Verfahren zur Kontingentierung vorgestellt. Nach einer theoretischen Überprüfung der Anwendbarkeit der Verfahren des Revenue Managements auf die Fragestellung der Auftragsannahme bei Sachgüterproduktion wird ein entsprechender Kontingentierungsansatz entwickelt. Die Segmentierung der Nachfrage erfolgt durch die Anwendung von Clusterverfahren. Die Kontingentierung der Ressourcen wird mithilfe der statischen Verfahren der Preis-Mengen-Steuerung des Revenue Managements optimal und heuristisch durchgeführt. Im Rahmen der numerischen Untersuchungen wird das entwickelte Verfahren anhand realer Daten einer Fallstudie getestet, bevor abschließend Handlungsempfehlungen formuliert werden.

Kapitel V fasst die Ergebnisse der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf.

II Grundlagen des Demand Fulfillments

In diesem Kapitel wird zuerst eine Einordnung des Demand Fulfillments in den konzeptionellen Rahmen des Supply Chain Managements und der entsprechenden Planungsunterstützungsansätze vorgenommen. Im Anschluss daran erfolgt die Herausarbeitung der betriebswirtschaftlichen Aufgaben des Demand Fulfillments, wobei die zum Einsatz kommende Fertigungsstrategie und die daraus ableitbare Lage des Auftragsentkopplungspunktes ein wichtiges Differenzierungsmerkmal darstellen.¹⁸ Im Rahmen dieser Arbeit werden die idealtypischen Strategien der Auftragsfertigung, der auftragspezifischen Konfiguration und der Lagerfertigung unterschieden.¹⁹ Der Schwerpunkt des Kapitels liegt auf der Analyse der im Rahmen des Demand Fulfillments in Theorie und Praxis angewendeten Verfahren der Fehlmengenverteilung. Dazu werden zuerst die Auswirkungen von Fehlmengen auf das Kundenverhalten untersucht und anhand eines Fehlmengenmodells klassifiziert. Im Anschluss daran werden drei konkrete Fehlmengensituationen hinsichtlich ihres Auftretens, der daraus resultierenden Aufgaben, der angewendeten Verfahren und deren Eignung zur Aufgabenerfüllung untersucht. Die dabei festgestellten Defizite bilden die Grundlage für die in Kapitel III und IV entwickelten eigenen Ansätze zur Fehlmengenverteilung.

1 Einordnung des Demand Fulfillments in das Supply Chain Management

Der Prozess der Auftragsabwicklung ist für jedes Unternehmen Grundlage der Geschäftstätigkeit. Dabei wird ein Auftrag als die Grundlage des Informationsflusses in einem Logistiksystem verstanden.²⁰ Die Auftragsabwicklung kann als marktgerechte Steuerung der Material- und Informationsflüsse vom Rohmateriallieferanten bis zum Endkunden definiert werden.²¹ Der Prozess des Demand Fulfillments beschäftigt sich mit der Erfüllung von Kundenaufträgen nach deren Eingang im Planungssystem eines Unternehmens.²² Er umfasst

¹⁸ Unter dem Auftragsentkopplungspunkt wird die Schnittstelle zwischen auftragsgetriebenen und planungsgetriebenen Prozessen verstanden. Im englischsprachigen Raum wird die Schnittstelle auch als „Decoupling Point“ oder „Order Penetration Point“ bezeichnet. Vgl. Hoekstra/Romme (1992), S. 6, und Sharman (1984), S. 73.

¹⁹ Im englischsprachigen Raum haben sich die Begriffe „Make-to-Order“, „Configure-to-Order“ bzw. „Assemble-to-Order“ und „Make-to-Stock“ etabliert. Vgl. Sharman (1984), S. 73, Meyr/Stadtler (2005), S. 70, und Kilger/Schneeweiss (2005), S. 184.

²⁰ Vgl. Pfohl (2003), S. 78.

²¹ Die Auftragsabwicklung kann dabei als umfassendes Koordinationskonzept aller am Auftragsdurchlauf beteiligten Funktionsbereiche interpretiert werden. Vgl. Pfohl (2003), S. 80.

²² Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 298.

sowohl Elemente der Auftragsbestätigung als auch solche der Auftragsüberwachung.²³ Seine Ziele sind die schnelle und verlässliche Beantwortung von Kundenanfragen in Form von Auftragsbestätigungen und die Sicherstellung der Einhaltung der bestätigten Liefertermine. Den Kern bildet dabei die Verfügbarkeitsprüfung, die verschiedene Lösungsalternativen für einen Kundenauftrag aufzeigt und nach definierten Kriterien bewertet, bevor ein Auftrag im Rahmen der Auftragsbestätigung dem Kunden mit Menge und Liefertermin bestätigt wird. Der Prozess des Demand Fulfillments ist somit nicht deckungsgleich mit dem der operativen Auftragsabwicklung, sondern deckt die planerischen Teilprozesse ab.²⁴ Folgende Teilaufgaben werden im Rahmen dieser Arbeit dem Demand Fulfillment zugerechnet:²⁵

- Auftragsüberwachung,
- ATP-Berechnung²⁶,
- Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung sowie
- Fehlmengenverteilung im Engpassfall.

Die im Rahmen des Demand Fulfillments verfolgten Ziele lassen sich in drei Blöcken zusammenfassen:²⁷

- Verbesserung der Liefertreue durch eine höhere Zuverlässigkeit der Lieferterminezusagen auf Basis genauerer Verfügbarkeitsinformationen,
- Reduzierung der Anzahl der entgangenen Geschäftsgelegenheiten durch eine effektivere Suche nach möglichen Lieferterminen und Teilmengen sowie
- Steigerung des Gewinns und der Profitabilität durch Kontingentierung und gewinnmaximierende Allokation knapper Ressourcen unter Unsicherheit.

²³ Während der Prozess des Demand Fulfillments in der Praxis oftmals nur mit Verfügbarkeitsprüfung und Terminbestätigung gleichgesetzt wird, kommt der Überwachung bereits bestätigter Aufträge ebenfalls eine wichtige Aufgabe zu. Vgl. Fischer (2001), S. 31.

²⁴ Von den Aufgaben Auftragserfassung, technische Auftragsprüfung, Bonitätsprüfung und Terminprüfung ist lediglich die Aufgabe der Terminprüfung im Kern dem Demand Fulfillment zuzurechnen. Vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 44 ff., und Fischer (2001), S. 18.

²⁵ Je nach zum Einsatz kommender Fertigungsstrategie und in Abhängigkeit des Produktionsumfelds wird im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung entweder gegen das vorab festgelegte Produktionsprogramm geprüft (passiv) oder die Bestimmung des Produktionstermins wird über eine Interaktion mit dem Produktionsplanungsmodul vorgenommen (aktiv). Vgl. Pibernik (2005), S. 242.

²⁶ Der Begriff ATP steht für „Available-to-Promise“ und wird in Abschnitt II.3.2.1 näher ausgeführt.

²⁷ Vgl. Pibernik (2005), S. 239, und Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 179.

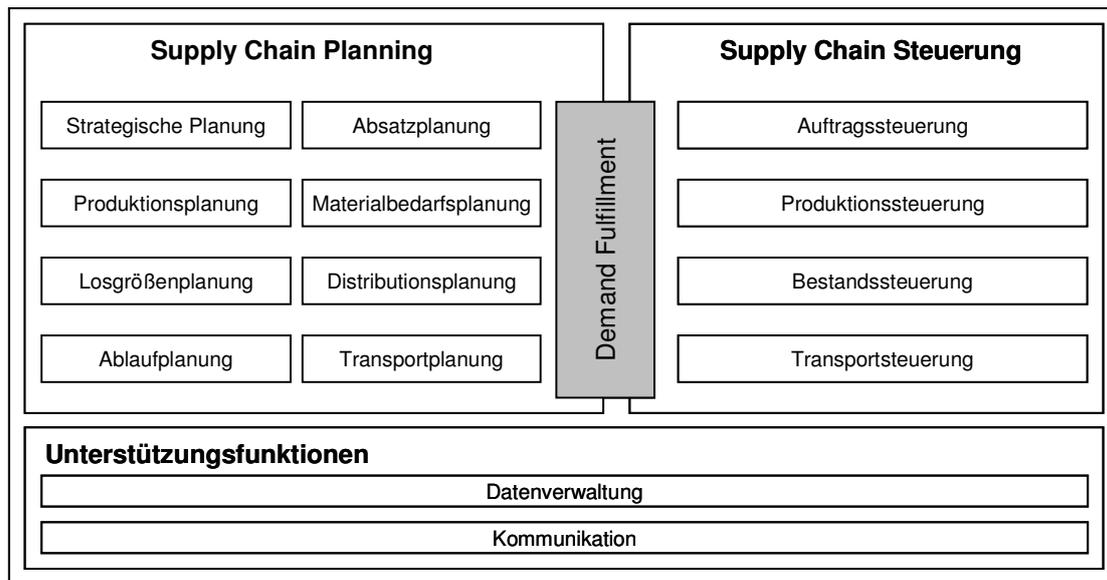


Abbildung 2: Elemente des Supply Chain Managements²⁸

Der Prozess des Demand Fulfillments lässt sich somit wie in Abbildung 2 dargestellt als Bindeglied zwischen den planenden und den ausführenden Funktionen im Rahmen der Entscheidungsunterstützungskonzepte für das Supply Chain Management interpretieren. Zur Unterstützung der Aufgaben des Demand Fulfillments haben verschiedene Hersteller in die APS-Systeme entsprechende Module integriert.²⁹ In der Regel werden Kundenaufträge im Auftragsmodul der ERP-Systeme erfasst und nach erfolgreicher Bonitätsprüfung und technischer Klärung zur Bestimmung eines Liefertermins an das entsprechende Demand Fulfillment-Modul des APS-Systems übergeben. Dort wird dann eine sich im Idealfall über die gesamte Wertschöpfungskette erstreckende Verfügbarkeitsprüfung durchgeführt und ein Liefertermin und je nach Fertigungsstrategie ggf. auch ein entsprechender Produktionstermin bestimmt. Kann dem Kundenwunsch nach Art, Termin und Menge nicht entsprochen werden, dann wird dies als Fehlmengende bezeichnet und macht den Einsatz von Mechanismen der Fehlmengende notwendig. Nach Bestimmung eines Liefertermins wird dieser an das ERP-System zurückgemeldet und über das Auftragsmanagement an den Kunden kommuniziert.³⁰

²⁸ In Anlehnung an Pirron et al. (1999), S. 70.

²⁹ Die Module des Demand Fulfillments werden je nach Hersteller zum Teil auch mit „Demand Fulfillment & ATP“, „Order Promising“ oder „Global ATP“ bezeichnet. Vgl. Meyr et al. (2005), S. 341 ff.

³⁰ Vgl. Dickersbach (2004), S. 252. Akzeptiert der Kunde den bestätigten Termin, wird der anfangs unbestätigte Kundenauftrag in einen bestätigten Kundenauftrag umgewandelt.

Zur konzeptionellen Einordnung des Demand Fulfillments wird in diesem Abschnitt zuerst das Konzept des Supply Chain Managements vorgestellt. Im Anschluss daran wird die Entwicklung betriebswirtschaftlicher Planungsunterstützung bis zur vorläufig höchsten Evolutionsstufe, den auch als Supply Chain Planungssysteme bezeichneten APS-Systemen, aufgezeigt. Da diese auf dem Konzept der hierarchischen Produktionsplanung aufbauen, wird dieses Konzept näher erläutert. Anschließend erfolgt die Vorstellung des modularen Grundkonzeptes eines APS-Systems. Die einzelnen Module werden dabei hinsichtlich der betriebswirtschaftlichen Planungsaufgaben, der identifizierten Lösungsverfahren und ihrer Koordinationsmechanismen analysiert. Der Abschnitt schließt mit einer Vorstellung der Aufgaben der Supply Chain-Steuerungssysteme.

1.1 Supply Chain Management

Während erste Ansätze bereits Ende der 50er Jahre nicht nur einzelne Funktionsbereiche, sondern logistische Ketten in ihrer Gesamtheit betrachteten, wurde der Begriff Supply Chain Management erst Anfang der 80er Jahre in den USA geprägt.³¹ In Europa gewannen Begriff und zugehörige Konzepte seit Beginn der 90er Jahre zunehmend an Bedeutung.³²

Eine Supply Chain wird als Liefer- oder Wertschöpfungskette³³ definiert, die aus verschiedenen Stufen von Zulieferern, Produzenten, Händlern und Verbrauchern besteht.³⁴ *CHRISTOPHER* beschreibt sie als:

„A network of connected and interdependent organisations mutually and co-operatively working together to control, manage and improve the flow of materials and information from suppliers to end users.“³⁵

Die verschiedenen Stufen im Materialfluss werden dabei häufig durch eigenständige Logistikdienstleister verbunden.³⁶ Idealtypisch erstreckt sich eine Supply Chain von der Gewinnung der

³¹ Vgl. Stadtler (2005a), S. 24, Rade (2004), S. 19, und Bowersox (1969), S. 64.

³² Vgl. Werner (2002), S. 4.

³³ Trotz des Terminus „Chain“ bzw. „Kette“ kann es sich auch um netzwerkartige Strukturen handeln. Vgl. Ellram (1991), S. 13, und Ellram/Cooper (1990), S. 2.

³⁴ Vgl. Pfohl (2000), S. 5, und Busch et al. (2003), S. 5.

³⁵ Vgl. Christopher (2005), S. 6.

³⁶ Vgl. Vahrenkamp (1999), S. 309, und Jirik (1999), S. 547.

Rohmaterialien bis zur Lieferung an die Endkunden.³⁷ Im engeren Sinne wird der Begriff Supply Chain auf ein rechtlich eigenständiges Unternehmen mit verschiedenen Produktionsstätten angewendet.³⁸ Eine sich über mehrere rechtlich selbständige Unternehmen erstreckende Supply Chain kann demgegenüber als unternehmensübergreifende Supply Chain bezeichnet werden.³⁹ Dabei sind die rechtlich selbständigen Unternehmen durch Material-, Informations- und Finanzflüsse verbunden.⁴⁰ Das einen solchen Verbund dominierende Unternehmen wird als fokales Unternehmen bezeichnet.⁴¹ Kriterien für die Dominanz können dabei beispielsweise die finanzielle Stärke, das Know-How, der Marktzugang oder der relative Wertschöpfungsanteil an der Gesamtwertschöpfung sein.⁴²

Für einzelne Unternehmen gestaltet es sich vor dem Hintergrund des steigenden Wettbewerbsdrucks und der zunehmenden Globalisierung immer schwieriger, komplexe Produkte und Leistungen alleine zu entwickeln, herzustellen und zu vertreiben.⁴³ Als Treiber für die verstärkte Bildung von Liefer- bzw. Wertschöpfungsketten lassen sich unter anderem die zunehmende Globalisierung, die steigende Produkt- und Prozesskomplexität, die Zunahme der Kundenanforderungen im Hinblick auf Qualität, Zeit und Preis und die Verbesserung der Informations- und Kommunikationstechnologien identifizieren.⁴⁴

Besonders der sich als Konsequenz der Globalisierung verstärkende Kostendruck und die zunehmende Produkt- und Prozesskomplexität zwingen zahlreiche Unternehmen dazu, sich auf ihre jeweiligen Kernkompetenzen⁴⁵ zu konzentrieren.⁴⁶ Die damit verbundene Ausgliederung von Wertschöpfungsstufen bzw. Geschäftsbereichen führt zu einer Verkürzung der innerbetrieb-

³⁷ Vgl. Piontek (1998), S. 28, Siebert/Kempf (2000), S. 46, Stevens (1989), S. 3, und Beckmann (2004), S. 1.

³⁸ In diesem Zusammenhang wird auch von einer unternehmensinternen Supply Chain gesprochen. Vgl. Stadtler (2005a), S. 10, und Werner (2002), S. 6.

³⁹ Vgl. Matthyssens/Van den Bulte (1994), S. 75, und Ross (1998), S. 9.

⁴⁰ Vgl. Hahn (2000), S. 12.

⁴¹ Vgl. Buse (1997), S. 73 f.

⁴² Vgl. Philippon et al. (1999), S. 6 f.

⁴³ Vgl. Baumgarten/Darkow (1999), S. 146 f.

⁴⁴ Vgl. Bovet/Sheffi (1998), S. 15 ff., und Hahn (2000), S. 11.

⁴⁵ Kernkompetenzen beschränken sich dabei nicht nur auf die Beherrschung von Prozessen und Technologien. Auch die Marktposition eines Unternehmens, Wissen, spezielle Fähigkeiten oder Kundenbindung können als Kernkompetenzen interpretiert werden. Vgl. Prahalad/Hamel (1990), S. 81 ff.

⁴⁶ Vgl. Thome/Böhnlein (2001), S. 1521.

lichen Wertschöpfungskette und folglich zu einer Verlängerung der unternehmensübergreifenden Lieferkette.⁴⁷ Als Konsequenz entstehen zunehmend verzahnte Lieferketten bzw. ganze Liefernetzwerke.⁴⁸

Die Ausrichtung der unternehmerischen Aktivitäten auf die Bedürfnisse der Endkonsumenten hat seit der Anfang der 60er Jahre begonnenen Wandlung von Verkäufer- zu Käufermärkten zunehmend an Bedeutung gewonnen. Eine leistungsfähige Logistik bzw. ein leistungsfähiges Supply Chain Management wird im Sinne einer kundenorientierten Unternehmensausrichtung zunehmend als wichtiger Wettbewerbsfaktor begriffen.⁴⁹

Ein weiterer Treiber für die zunehmende Bildung von Lieferketten ist im schnellen Fortschritt der Informations- und Kommunikationsmittel zu sehen. Auf der einen Seite beschleunigt die Technologie des Internets den Informationsaustausch zwischen Unternehmen, auf der anderen Seite können mit Hilfe der neuen Technologien virtuelle Marktplätze bei sinkenden Transaktionskosten und wachsender Markttransparenz geschaffen werden.⁵⁰

Im Ergebnis konkurrieren auf den jeweiligen Märkten in zunehmendem Maße komplex strukturierte Supply Chains, die sich aus systematisch verbundenen, aber autonom agierenden unternehmerischen Einheiten zusammensetzen. Zur Beherrschung dieser unternehmensübergreifenden Lieferketten bzw. Liefernetzwerke reicht die isolierte Betrachtung der internen Unternehmensprozesse nicht mehr aus. Es bedarf vielmehr einer unternehmensübergreifenden Planung und Steuerung der Supply Chain, die unter dem Begriff Supply Chain Management zusammengefasst wird.⁵¹

Der im Supply Chain Management enthaltene Managementbegriff wird von verschiedenen Autoren mit unterschiedlichen Inhalten belegt.⁵² Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird ein aus

⁴⁷ Vgl. Specht/Hellmich (2000), S. 91, und Wildemann (2000), S. 65.

⁴⁸ Vgl. Pfohl (2000), S. 12 ff.

⁴⁹ Vgl. Thome/Böhnlein (2001), S. 1521, und Angeli (2002), S. 537.

⁵⁰ Vgl. Pfohl (2000), S. 21, und Bölzing (2000), S. 110.

⁵¹ Der Begriff Supply Chain Management hat sich in Theorie und Praxis etabliert. Die in der Literatur diesem zum Teil gleichgestellten Begriffe Demand Chain Management, Network Sourcing, Value Stream Management oder Supply Pipeline Management werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht verwendet. Vgl. Croom/Romano/Giannakis (2000), S. 67.

⁵² Vgl. Hahn (2000), S. 12, Kotzab (2000), S. 25, und Kaluza/Blecker (2000), S. 123 f.

der Betrachtung eines Netzwerkes von Einzelunternehmen abgeleiteter Managementbegriff verwendet, der sich aufteilt in:⁵³

- Gestaltung und
- Betrieb der Supply Chain.

Unter Supply Chain Management kann daher die Gestaltung, Planung, Steuerung und Kontrolle des gesamten Material-, Informations- und Finanzflusses innerhalb eines Netzwerkes von Unternehmen verstanden werden, die im Rahmen von aufeinander folgenden Stufen der Wertschöpfungskette an der Entwicklung, der Herstellung und dem Vertrieb von Sachgütern bzw. Dienstleistungen partnerschaftlich zusammenarbeiten.⁵⁴ Ziel des Supply Chain Managements ist die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen für alle am Wertschöpfungsprozess beteiligten Partner durch eine prozessuale Integration der gesamten informatorischen, physischen und monetären Austauschprozesse.⁵⁵ Diese Wettbewerbsvorteile äußern sich unter anderem in:⁵⁶

- Kostenvorteilen,
- Flexibilitätserhöhung und Qualitätsverbesserungen sowie
- Verbesserung des Kundenservice.

In zahlreichen Praxisstudien werden signifikante Kostenreduktionen angegeben, die oft aus einer erheblichen Lagerbestandsreduktion entlang der gesamten Supply Chain resultieren.⁵⁷ Die Flexibilitätserhöhung erlaubt eine rasche Anpassung an ein sich veränderndes Marktumfeld und sichert dadurch die Marktstellung eines Unternehmens bzw. eines Unternehmensverbundes gegenüber den Wettbewerbern. Die Verbesserung des Kundenservice wird u. a. durch bedarfs-

⁵³ Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass vor der konkreten Planung, Steuerung und Kontrolle einer Supply Chain über deren prinzipielle Gestaltung entschieden werden muss. Vgl. Klein (1989), S. 999.

⁵⁴ Vgl. Hahn (2000), S. 12. Wird eine unternehmensinterne Supply Chain betrachtet, dann ist auch der Supply Chain Management-Begriff im engeren Sinne zu verstehen. Vgl. Stadler (2005a), S. 10.

⁵⁵ Vgl. Bechtel/Jayaram (1997), S. 16, Bovet/Sheffi (1998), S. 17 f., und Lambert/Emmelhainz/Gardner (1996), S. 4 f.

⁵⁶ Vgl. Christopher (2005), S. 6 ff., und Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 18.

⁵⁷ Vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 18, und Stadler (2005c), S. 1.

gerechte Anlieferungen, Verkürzung der Auftragsdurchlaufzeiten, Erhöhung der Liefertreue und Steigerung der Produkt- und Prozessqualität mit dem Ziel steigender Kundenzufriedenheit verfolgt.⁵⁸ Darüber hinaus werden durch partnerschaftlichen Informationsaustausch die Auswirkungen des Bullwhip-Effektes reduziert.⁵⁹

1.2 Entwicklung betriebswirtschaftlicher Planungssoftware

Ähnlich wie die Logistik, die sich von einer material- und warenflussbezogenen Dienstleistungsfunktion über eine flussbezogene Koordinationsfunktion hin zur unternehmensübergreifenden Flussorientierung des Supply Chain Managements entwickelt hat, ist auch die Evolution der betriebswirtschaftlichen Planungssoftware über verschiedene Stufen erfolgt.⁶⁰ Von den Anfängen der isolierten Automatisierung einzelner betrieblicher Funktionen über die Zwischenstufe eines auf ein Unternehmen beschränkten, integrierten betrieblichen Informationssystems bildet die funktionsübergreifende, simultane Planung der gesamten Supply Chain den vorläufig höchsten Entwicklungsstand betriebswirtschaftlicher Planungssoftware.⁶¹ Tabelle 1 fasst die Entwicklungsstufen informationstechnischer Planungsunterstützung zusammen.

Stufe	Betrachtungsgegenstand	Fokus der Informationsverarbeitung	Typische Schlüsselanwendung
1	Teilfunktion	Automatisierung	MRP
2	Gesamtfunktion	Softwarepakete	PPS, MRP II
3	Gesamtunternehmen	Gemeinsame Datenbasis	ERP
4	Wertschöpfungskette	Funktionsübergreifende, simultane Planung und Steuerung	APS

Tabelle 1: Entwicklungsstufen informationstechnischer Planungsunterstützung⁶²

⁵⁸ Vgl. Vahrenkamp (1999), S. 309.

⁵⁹ Als Konsequenzen des Bullwip-Effektes können sich Perioden mit erschöpfter Lagerkapazität gefolgt von Perioden mit Knappheit einstellen. Unzureichende Prognosen über die Höhe der Nachfrage, Produktionsstufen mit hohem Rüstaufwand sowie Losgrößenentscheidungen und asymmetrische Informationen entlang der Supply Chain führen dazu, dass sich durch kleine Veränderungen der Endkundennachfrage ausgelöste Bestellmengenschwankungen entlang der Supply Chain wie ein Peitschenhieb aufschaukeln. Vgl. Forrester (1958), S. 42 ff., und Lee/Padmanabhan/Whang (1997), S. 546 f.

⁶⁰ Vgl. Weber (2002), S. 9, Prockl (1998), S. 441 f., und Hieber (2002), S. 35 ff.

⁶¹ Vgl. Kahl (1999), S. 57.

⁶² In Anlehnung an Kuhn/Hellingrath (2002), S. 127.

In den 60er Jahren wurde das Material Requirements Planning (MRP) als System zur Materialbedarfsplanung entwickelt.⁶³ Es handelt sich dabei um eine rechnergestützte Materialbedarfsplanung, die sicherstellt, dass Fertigungs- und Beschaffungsaufträge nicht nur die richtigen Materialien nach Art und Menge erhalten, sondern auch die genauen Bedarfszeitpunkte ermittelt werden.⁶⁴ Dabei wird von der Idee ausgegangen, dass sich die Sekundärbedarfe für Rohmaterialien und Vorprodukte aus den gegebenen Primärbedarfen der Endprodukte über den Stücklistenzusammenhang und die Wiederbeschaffungszeiten errechnen lassen.⁶⁵

Unter PPS-Systemen werden computergestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme zusammengefasst. Es handelt sich dabei um Softwaresysteme, die zur operativen Planung und Steuerung des Produktionsgeschehens in Industrieunternehmen eingesetzt werden.⁶⁶ In den 70er Jahren erfolgte die Weiterentwicklung zum Konzept des Manufacturing Resource Planning (MRP II). Dieser Ansatz stellt insofern eine Verbesserung zum Material Requirements Planning dar, als dass auch verfügbare Kapazitäten berücksichtigt werden. Er schließt als Erweiterung der MRP-Systeme Funktionen der Programmplanung, der Termin- und Kapazitätsplanung und der Auftragsveranlassung mit ein.⁶⁷ Allerdings orientiert sich auch dieser Ansatz an einer Sukzessivplanung, da Kapazitäten und Materialbedarfe weiterhin isoliert voneinander betrachtet werden.⁶⁸

Die nächste Entwicklungsstufe der betriebswirtschaftlichen Planungssoftware stellen die Enterprise Resource Planning (ERP)-Systeme dar.⁶⁹ Im Hinblick auf die Produktionsplanung und -steuerung bieten ERP-Systeme konzeptionell keine Neuerungen, sie integrieren jedoch

⁶³ Vgl. Werner (2002), S. 222. Das Material Requirements Planning wird in Abgrenzung zum Manufacturing Resource Planning, welches mit MRP II bezeichnet wird, mit MRP abgekürzt. Vgl. Poirier (1999), S. 11.

⁶⁴ Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 128.

⁶⁵ Vgl. Stadler (2005d), S. 217.

⁶⁶ Vgl. Specht/Wolter (1997), S. 227, und Corsten (2004), S. 520.

⁶⁷ Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 128.

⁶⁸ Bedarfe verschiedener Perioden werden ohne Beachtung der Kapazitätsgrenzen bzw. Kapazitätsauslastung zu Fertigungsaufträgen zusammengefasst. In der Regel erfolgt die Berücksichtigung von Kapazitätsgrenzen erst im nachgelagerten Schritt der Kapazitätsterminierung. Vgl. Knolmayer (2001), S. 136, Günther/Tempelmeier (2005), S. 301 ff., und Drexler et al. (1994), S. 1023 f.

⁶⁹ Zu den ERP-Systemen zählen beispielsweise das R/3-System der SAP AG, die Oracle E-Business Suite der Oracle Corporation und Microsoft NAV der Microsoft Corporation. Vgl. Gronau (2007), S. 25, Eggert (2007), S. 31, und Alsène (2007), S. 420.

beispielsweise Funktionen der Instandhaltung, der Auftragsverwaltung, des Vertriebs und der Personalwirtschaft. Ihr erklärtes Ziel ist die Überwindung der funktionalen Orientierung früherer Lösungskonzepte. Einzellösungen werden dabei durch klar abgegrenzte Module ersetzt, die über eine einheitliche Datenbank miteinander verbunden werden.⁷⁰ Dadurch wird sichergestellt, dass alle Unternehmensbereiche, in denen ERP-Module zum Einsatz kommen, mit einheitlichen Daten versorgt und von einem Modul vorgenommene Änderungen auch für alle anderen Funktionsbereiche zeitnah zur Verfügung gestellt werden.⁷¹

Die Grenzen der den PPS-Systemen und damit auch den entsprechenden Logistikmodulen der ERP-Systeme zugrunde liegenden Planungsmethoden lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:⁷²

- Keine systematische Berücksichtigung begrenzter Ressourcenverfügbarkeit in den einzelnen Planungsphasen,
- fehlende Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen nachgelagerten Planungsebenen aufgrund der reinen Sukzessivplanung,
- ungenügende Entscheidungsunterstützung sowie
- keine auf aktuellen Auslastungsdaten beruhende Prognose der Länge der Durchlaufzeiten.

Komplexe Lieferketten bzw. -netzwerke stellen Anforderungen an Planungsverfahren, die weit über die Möglichkeiten traditioneller PPS-Systeme hinausgehen.⁷³ Zur Überwindung der identifizierten Schwächen der Sukzessivplanung ist eine simultane Betrachtung des Gesamtproblems notwendig. Bei der Simultanplanung werden die Absatz- und die Produktionsplanung verbunden, um die Berücksichtigung der im Produktionsbereich vorliegenden Restriktionen bei der Bestimmung des Absatzprogramms gewährleisten zu können. Allerdings steigt die Komplexität der zu lösenden Planungsaufgabe in Abhängigkeit von den zu berücksichtigenden Entscheidungsparametern erheblich an. Praxisrelevante Problemgrößen lassen sich mit den bekannten Lösungsverfahren in der Regel nicht mehr bzw. noch

⁷⁰ Vgl. Nicolai (2002), S. 3, und Kuhn/Hellingrath (2002), S. 128.

⁷¹ Vgl. Corsten (2004), S. 538.

⁷² Vgl. Kurbel (2003), S. 25 ff., Knolmayer (2001), S. 137, Günther/Tempelmeier (2005), S. 303 f., Drexel et al. (1994), S. 1024 ff., und Werner (2002), S. 222 f.

⁷³ Vgl. Stadler (1996), S. 638 f.

nicht optimal lösen.⁷⁴ Die Simultanplanungsansätze werden oftmals lediglich für das Aufzeigen der Wechselbeziehungen zwischen den Planungsproblemen herangezogen.⁷⁵

Einen Ansatz zur Verbindung der jeweiligen Vorteile von sukzessiver und simultaner Planung stellt das Konzept der hierarchischen Produktionsplanung dar. Dabei wird das Planungsproblem in kleinere, leichter lösbare Teilaufgaben zerlegt, die durch Koordinationsmechanismen miteinander verbunden werden.⁷⁶ Dieses Konzept machen sich seit Mitte der 90er Jahre als Advanced Planning & Scheduling-Systeme⁷⁷ Verbreitung findende, modular aufgebaute Planungsunterstützungssysteme zu eigen. Die Hersteller propagieren diese Systeme dabei als Antwort auf die beschriebenen Schwächen der Sukzessivplanungskonzepte von PPS- und ERP-Systemen und als Lösung der im Rahmen des Supply Chain Managements auftretenden Herausforderungen.⁷⁸ In der Literatur werden APS-Konzepte teilweise als Komplettlösung für alle Fragestellungen des Supply Chain Managements gesehen.⁷⁹ Verbreiteter ist aber die Auffassung, dass APS-Systeme nur eine Untermenge der im Supply Chain Management zu lösenden Aufgaben abdecken.⁸⁰ Wird der Unterteilung von Supply Chain Management Software in Supply Chain Planning (SCP)-Systeme und Supply Chain Execution (SCE)-Systeme gefolgt, so sind APS-Systeme den SCP-Systemen zuzuordnen.⁸¹

Im Unterschied zu ERP-Systemen wird bei APS-Systemen die Planung bereichsübergreifend für Beschaffung, Produktion und Distribution und unternehmensübergreifend für unabhängige Supply Chain Partner unter Verwendung leistungsfähiger Verfahren des Operations Research und unter Berücksichtigung der vorliegenden Ressourcenbeschränkungen durchgeführt.⁸² Obwohl die Konzepte des Operations Research bereits in den 70er Jahren bekannt wurden,

⁷⁴ Vgl. Knolmayer (2001), S. 138.

⁷⁵ Vgl. Steven (1994), S. 14.

⁷⁶ Für eine Einführung in das Konzept der hierarchischen Produktionsplanung vgl. Abschnitt II.1.3 und die darin angegebene Literatur.

⁷⁷ Der Begriff „Advanced“ lässt sich dabei sowohl als Anspruch, die Defizite der herkömmlichen Planungssysteme durch „neue“ Planungsansätze zu überwinden, als auch als Ausdruck der ergänzenden Stellung der APS-Systeme zu den herkömmlichen Planungssystemen interpretieren. Vgl. Corsten (2004), S. 539.

⁷⁸ Vgl. Pirron et al. (1998), S. 62.

⁷⁹ Vgl. Schönsleben (2000), S. 323.

⁸⁰ Vgl. Bartsch/Bickenbach (2002), S. 28, Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 21, und Corsten (2004), S. 539.

⁸¹ Vgl. Knolmayer (2001), S. 140, und Krupp (2002), S. 15.

⁸² Vgl. Piontek (2003), S. 25 ff., und Prockl (1998), S. 443.

wird der Einsatz dieser Verfahren in APS-Systemen erst seit Ende der 90er Jahre in Betracht gezogen. Als Gründe für die zunehmende Verbreitung der APS-Systeme sind anzuführen:⁸³

- Leistungsfähige Algorithmen und Heuristiken,
- benutzerfreundliche Umsetzung der Planungsprobleme in Optimierungsverfahren,
- leistungsfähige Hardware sowie
- verbesserte Datenqualität und -bereitstellung aufgrund einheitlicher Datenbanken.⁸⁴

Dabei sind APS-Systeme nicht als Ersatz von ERP-Systemen zu verstehen, sondern können als Ergänzung zu diesen mit dem Anspruch, die Schwächen der Planungsfunktionalität der ERP-Systeme zu kompensieren, gesehen werden.⁸⁵ Während die Planung der Supply Chain durch das APS-System vorgenommen wird, verbleibt die operative Umsetzung der erzeugten Pläne und die Pflege der Stammdaten im ERP-System.⁸⁶ Wenn ein Unternehmen für verschiedene Produktionsstätten unterschiedliche ERP-Systeme einsetzt, dann wird die unternehmensinterne Planung in der Regel in einem zentralen, allen ERP-Systemen übergeordneten APS-System durchgeführt.⁸⁷

Die Unterstützung einer echten unternehmensübergreifenden Planung in einem gemeinsamen APS-System stellt Unternehmen vor große Herausforderungen, da das angestrebte globale Optimum aus Sicht einzelner Mitglieder der Supply Chain zu suboptimalen Ergebnissen führen kann. Die benachteiligten Mitglieder sind dabei wiederum aus der zentralen Planungsstelle heraus zu kompensieren, um ihre Partizipation am Gesamterfolg sicherzustellen.⁸⁸ Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass Geschäftspartner die ihnen bereitgestellten Informationen dazu

⁸³ Vgl. Kilger (1998), S. 54, und Knolmayer (2001), S. 143.

⁸⁴ Die Datengrundlage für die APS-Systeme wird in der Regel von den Datenbanken der ERP-Systeme gebildet. Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 130.

⁸⁵ Vgl. Corsten (2004), S. 539.

⁸⁶ Vgl. Buscher/Jelken (2000), S. 65, und Philippon et al. (1999), S. 17.

⁸⁷ Es können aber auch andere Systemarchitekturen gewählt werden. Für einen Überblick verschiedener Varianten vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 144.

⁸⁸ Als Folge der Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette kann es beispielsweise vorkommen, dass ein Unternehmen in der Supply Chain größere Bestände vorhält als es dies als alleiniger Marktteilnehmer tun würde. In einem solchen Fall von ungleicher Verteilung der Erfolgspotentiale gestaltet es sich schwierig, die Höhe des Interessensausgleichs festzulegen. Vgl. Rade (2004), S. 53.

nutzen, um sich einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen.⁸⁹ Oftmals besitzt nur das fokale Unternehmen die Möglichkeit, eine echte Planung der gesamten Supply Chain unter seiner Führung durchzusetzen. In der Praxis werden APS-Systeme deshalb häufig nur für die Planung innerhalb eines einzelnen Unternehmens eingesetzt.⁹⁰ Der Austausch von Planungsdaten mit anderen Unternehmen sowie mit Lieferanten und Kunden beschränkt sich meistens auf den Austausch von Informationen im Rahmen einer unternehmensübergreifenden Kollaboration.⁹¹

1.3 Hierarchische Produktionsplanung

Im Rahmen der hierarchischen Produktionsplanung erfolgt eine Zerlegung der Planungsaufgabe in Teilaufgaben, die sich an der hierarchischen Struktur des Problems der Produktionsplanung ausrichten.⁹² Die Anordnung der Teilaufgaben erfolgt unter Berücksichtigung der vorhandenen Entscheidungskompetenzen derart, dass der Detaillierungsgrad der Entscheidungen im Planungsablauf zunimmt, ihre zeitliche Reichweite aber abnimmt.⁹³ Dadurch, dass die Ergebnisse einer übergeordneten Planungsebene Vorgaben und Restriktionen für die nachfolgende Ebene darstellen, werden die Teilaufgaben gekoppelt. Eine begrenzte Rückkopplung an die verursachende Ebene findet im Falle starker Abweichungen oder Unzulässigkeiten statt, um eine Neuplanung oder Änderung der Daten zu bewirken. Die Teilaufgaben der Produktionsplanung werden durch lösbare Partialmodelle abgebildet, die über ein übergeordnetes aggregiertes Totalmodell der Produktionsplanung koordiniert werden. Dadurch wird versucht, die jeweiligen Vorteile der sukzessiven und der simultanen Planung zu

⁸⁹ Vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 19

⁹⁰ Vgl. Kilger/Reuter (2005), S. 259 f.

⁹¹ Für Details zur unternehmensübergreifenden Kollaboration vgl. Abschnitt II.1.4.7.

⁹² Die hierarchische Produktionsplanung ist eine Form der allgemeinen hierarchischen Planung, deren Idee in einer Zerlegung der Gesamtplanungsaufgabe in leichter lösbare Teilaufgaben liegt, die über Kopplungsmechanismen miteinander verknüpft eine möglichst gute Lösung der Gesamtproblems ermöglichen. Für Details zur allgemeinen hierarchischen Planung vgl. Schneeweiß (1989), S. 564 ff., und Schneeweiß (2003), S. 26 ff.

⁹³ Vgl. Steven (1994), S. 16, und Stadtler (1996), S. 631. Dieser Ansatz ist für Produktionsumgebungen auch deshalb geeignet, weil er die typischerweise in Unternehmen vorherrschende hierarchische Organisationsstruktur abbildet. Vgl. Jahnke/Biskup (1999), S. 52.

vereinen.⁹⁴ Zur Lösung der Teilprobleme werden effiziente Kopplungsmechanismen und leistungsfähige Lösungsalgorithmen des Operations Research verwendet.⁹⁵

Zu den in den 70er Jahren entstandenen Grundmodellen der hierarchischen Produktionsplanung existiert eine Vielzahl von Weiterentwicklungen.⁹⁶ Die hierarchische Produktionsplanung kann als konzeptioneller Rahmen angesehen werden, in dem die Methoden des Operations Research anwendungsspezifisch kombiniert werden können.⁹⁷

Folgende Elemente zur Vereinfachung und damit Lösbarkeit des komplexen Gesamtproblems finden sich in fast allen hierarchischen Produktionsplanungssystemen:⁹⁸

- Hierarchisierung,
- Dekomposition,
- Koordination,
- Aggregation bzw. Disaggregation sowie
- rollierende Planung.

Bei der **Hierarchisierung** wird die Planungsaufgabe auf mehrere, hierarchisch angeordnete Planungsebenen aufgeteilt. Durch die vertikale Anordnung der Planungsebenen und die Definition von Über- und Unterordnungsbeziehungen entstehen die Hierarchieverhältnisse. Darüber hinaus ist ein hierarchisches System dadurch gekennzeichnet, dass die übergeordnete Ebene Vorgaben an die untere Ebene gibt. Durch diese Vorgaben wird der Entscheidungs-

⁹⁴ Die hierarchische Produktionsplanung kann als Kompromiss zwischen Simultan- und Sukzessivplanung gesehen werden. Da die hierarchische Produktionsplanung das Problem als Ganzes angeht und auf der obersten Ebene (aggregierte Planung) sämtliche relevanten Beziehungen, wenn auch auf aggregiertem Niveau, berücksichtigt, enthält sie Aspekte der Simultanplanung. Die Teilung in Aufgaben und deren Anordnung und Lösung in einer bestimmten Reihenfolge spricht allerdings für eine Sukzessivplanung. Vgl. Steven (1994), S. 16. Da die Elemente der Sukzessivplanung überwiegen, wird sie im Folgenden als spezifische Ausgestaltungsform der sukzessiven Planung verstanden. Vgl. Corsten (2004), S. 513.

⁹⁵ Trotz der hierarchischen Vorgehensweise erreicht die hierarchische Produktionsplanung in vielen Fällen Ergebnisse, die der optimalen Lösung des Totalmodells nahe kommen. Vgl. Kistner/Switalski (1989), S. 478.

⁹⁶ Für die ersten Veröffentlichungen zur hierarchischen Produktionsplanung vgl. Hax/Meal (1975), S. 53 ff. und Axsäter (1979), S. 92 ff. Für die Entwicklung des Konzeptes der hierarchischen Produktionsplanung vgl. Steven (1994), S. 105 ff.

⁹⁷ Vgl. Fleischmann (1988), S. 366.

⁹⁸ Vgl. Steven (1994), S. 25, Kistner/Switalski (1989), S. 478 ff., und Stadler (1996), S. 633 ff.

spielraum der unteren Ebene eingeengt. Darüber hinaus hängt der Erfolg der oberen Ebene von den Ergebnissen der untergeordneten ab. Das bedeutet, dass sich der Wert einer Entscheidung der oberen Ebene erst durch das zeitlich nachgelagerte Ergebnis der unteren Ebene beurteilen lässt.⁹⁹ Zur Optimierung des Gesamtergebnisses kann die obere Ebene Annahmen über das Systemverhalten der unteren Ebene ex ante berücksichtigen.¹⁰⁰

Die **Dekomposition** bzw. Zerlegung des Planungsproblems zielt auf die einfachere Lösbarkeit der entstandenen Teilprobleme gegenüber dem Totalmodell ab, da sich dieses in der Regel nicht bzw. nur mit großem Aufwand lösen lässt.¹⁰¹ Die Herausforderung liegt in einer sinnvollen Trennung des Gesamtproblems, um bei der späteren Zusammenführung der Ergebnisse dem Optimum des Totalmodells möglichst nahe zu kommen. Die Dekomposition kann horizontal, vertikal und horizontal-vertikal durchgeführt werden.¹⁰² Sie ist so zu wählen, dass die entstehenden Probleme mit den gängigen Verfahren des Operations Research lösbar sind. Bei der horizontalen Zerlegung werden gleichrangige Teilprobleme erzeugt, die parallel gelöst werden können. Bei der vertikalen Zerlegung eines Planungsproblems wird eine hierarchische Struktur zwischen den Problemen bestimmt. Sie findet dann Anwendung, wenn Interdependenzbeziehungen nur in eine Richtung existieren bzw. stark dominieren.¹⁰³ Bei der horizontal-vertikalen Dekomposition finden sowohl Interdependenzen zwischen gleichrangigen Teilproblemen als auch hierarchische Modellkonstruktionen Berücksichtigung.¹⁰⁴

Das Prinzip der **Kopplungsmechanismen** bzw. die Koordination zwischen Planungsebenen wird im Folgenden anhand eines zweistufigen Beispiels in Abbildung 3 erläutert. Beim Objektsystem handelt es sich beispielsweise um eine Produktionsmaschine, die im Rahmen der Planung beeinflusst werden soll. Das zweistufige Planungssystem besteht aus der übergeordneten Top-Ebene und der untergeordneten Basis-Ebene. Beide Ebenen stehen somit in einem hierarchischen Verhältnis zueinander. Die von der untergeordneten Ebene zum

⁹⁹ Vgl. Kistner/Switalski (1989), S. 478.

¹⁰⁰ Dieser Prozess wird auch als Antizipation bezeichnet. Vgl. Stadler (1996), S. 633.

¹⁰¹ Vgl. Kistner/Switalski (1989), S. 480.

¹⁰² Vgl. Meyer (1997), S. 24 f.

¹⁰³ Die Interdependenzen werden dann zu Über- bzw. Unterordnungsbeziehungen. Vgl. Steven (1994), S. 36.

¹⁰⁴ Im Rahmen der hierarchischen Produktionsplanung finden sowohl horizontale (gleichrangige Planungsprobleme auf der operativen Ebene) als auch vertikale Beziehungen (Interaktion von taktischer und operativer Planungsebene) Berücksichtigung. Vgl. Steven (1994), S. 36.

Entscheidungszeitpunkt bereitgestellten Informationen werden Feedforward-Einfluss genannt.¹⁰⁵ Wichtiger Bestandteil des Entscheidungsmodells der Top-Ebene ist die Antizipationsfunktion. Darunter wird die Berücksichtigung der Eigenschaften und Charakteristika bzw. das Abschätzen der Reaktionen der untergeordneten Ebene auf eine Vorgabe verstanden.¹⁰⁶ Die auf der Top-Ebene getroffenen Entscheidungen werden an die Basis-Ebene weitergegeben, welche darauf aufbauend die aus ihrer Sicht beste Entscheidung trifft. Entscheidungen der Basis-Ebene können als Rückkopplung an die Top-Ebene übermittelt werden, soweit dies vom Modell zugelassen wird. Reaktionen bzw. Rückkopplungen der unteren Ebene finden statt, wenn in der Basis-Ebene Unzulässigkeiten auftreten oder die Zielerfüllungsvorgabe der Basisebene nicht erreicht wird.¹⁰⁷ Je nach Ausgestaltung des Modells kann der Kopplungsmechanismus zu einmaliger oder ggf. mehrmaliger Iteration des Planungs- und Koordinationsprozesses führen, bis eine im Rahmen der Zielvorgaben akzeptierbare Lösung erreicht wird.¹⁰⁸

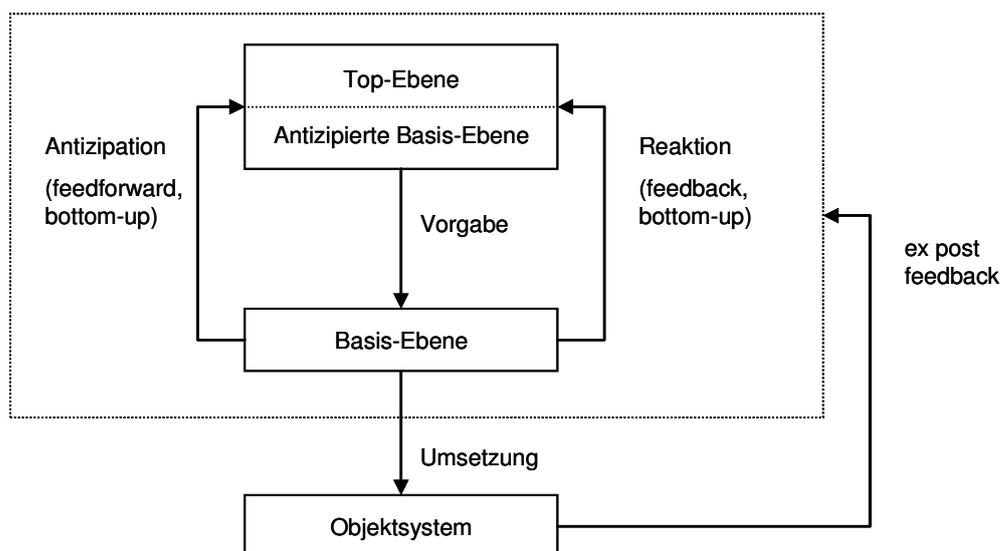


Abbildung 3: Kopplungsmechanismus zwischen hierarchischen Ebenen¹⁰⁹

¹⁰⁵ Dabei kann es sich beispielsweise um verfügbare Lagerbestände oder eingeleitete Instandhaltungsmaßnahmen handeln. Vgl. Stadler (1996), S. 633.

¹⁰⁶ Vgl. Corsten (2004), S. 514, und Schneeweiß (1989), S. 564. Je besser die Abschätzung des Verhaltens der untergeordneten Stufe, umso geringer ist der mit der Zerlegung einhergehende Optimalitätsverlust. Vgl. Schneeweiß (2003), S. 42, und Ausborn (2003), S. 14.

¹⁰⁷ Vgl. Stadler (1996), S. 634.

¹⁰⁸ Vgl. Meyer (1997), S. 29.

¹⁰⁹ In Anlehnung an Schneeweiß (2003), S. 17.

Unter **Aggregation** wird die Zusammenfassung mehrerer Objekte und/oder Eigenschaften zu einem oder wenigen Objekten und/oder Eigenschaften verstanden.¹¹⁰ Ziel ist es, ein komplexes Planungsproblem durch Reduzierung der Objektvielfalt und/oder Relationsvielfalt leichter beschreibbar, strukturierbar und lösbar zu machen. Die mithilfe der aggregierten Daten ermittelten Ergebnisse lassen sich durch Disaggregation auf den gewünschten Detaillierungsgrad zurückführen.¹¹¹ Im Rahmen der hierarchischen Produktionsplanung bietet sich die Aggregation der Zeit, der Produkte und der Ressourcen an. Bei der Aggregation der Zeit ist die Zeitachse in diskrete Intervalle einzuteilen. Bei der Aggregation von Produkten zu Produktgruppen sind in der Regel auch damit zusammenhängende Daten wie beispielsweise die Ressourcenbeanspruchung und die Kosten entsprechend der gewählten Aggregationsvorschriften zusammenzufassen. Ressourcen können analog zu Ressourcengruppen verdichtet werden.¹¹² Die Vorteile der Aggregation liegen u. a. in:¹¹³

- Reduktion der Kosten und des Zeitaufwandes für Datenbeschaffung und leichtere Berechenbarkeit des Modells,
- Entlastung der oberen Entscheidungsebene von Detailinformationen sowie
- Gewinnung eines besseren Verständnisses für grundlegende Zusammenhänge und Einflüsse.

Unter **rollierender Planung** wird eine periodenorientierte Planungsform verstanden, bei der nach bestimmten Zeitintervallen eine bereits erfolgte Planung aktualisiert wird.¹¹⁴ Dabei wird nicht unbedingt jede Periode neu geplant, sondern zwischen Perioden des zugrundeliegenden Planungsproblems und dem zeitlichen Abstand der revidierenden Planung unterschieden.¹¹⁵ Durch das Konzept der rollierenden Planung wird den unterschiedlichen Qualitätsanforderungen an die Planungsergebnisse Rechnung getragen. In der Regel sind die Anforderungen an die Ergebnisse umso geringer, je weiter die betrachteten Perioden in der Zukunft liegen.

¹¹⁰ Vgl. Leisten (1996), S. 26.

¹¹¹ Ein aggregierter Plan ist zulässig, wenn er sich über den gesamten Planungszeitraum der aggregierten Planung in zulässige Entscheidungen der untergeordneten Planungsebene auflösen lässt. Vgl. Lasserre/Mercé (1990), S. 78.

¹¹² Vgl. Stadtler (1996), S. 635.

¹¹³ Vgl. Kistner/Switalski (1989), S. 481, und Steven (1994), S. 43.

¹¹⁴ Vgl. Bitran/Tirupati (1993), S. 529.

¹¹⁵ Vgl. Steven (1994), S. 57.

Unabhängig von den Elementen zur Vereinfachung von Planungsproblemen stellt Abbildung 4 beispielhaft den Aufbau eines Konzeptes zur hierarchischen Produktionsplanung dar, welches in eine strategische, eine taktische und eine operative Planungsebene unterteilt werden kann.¹¹⁶

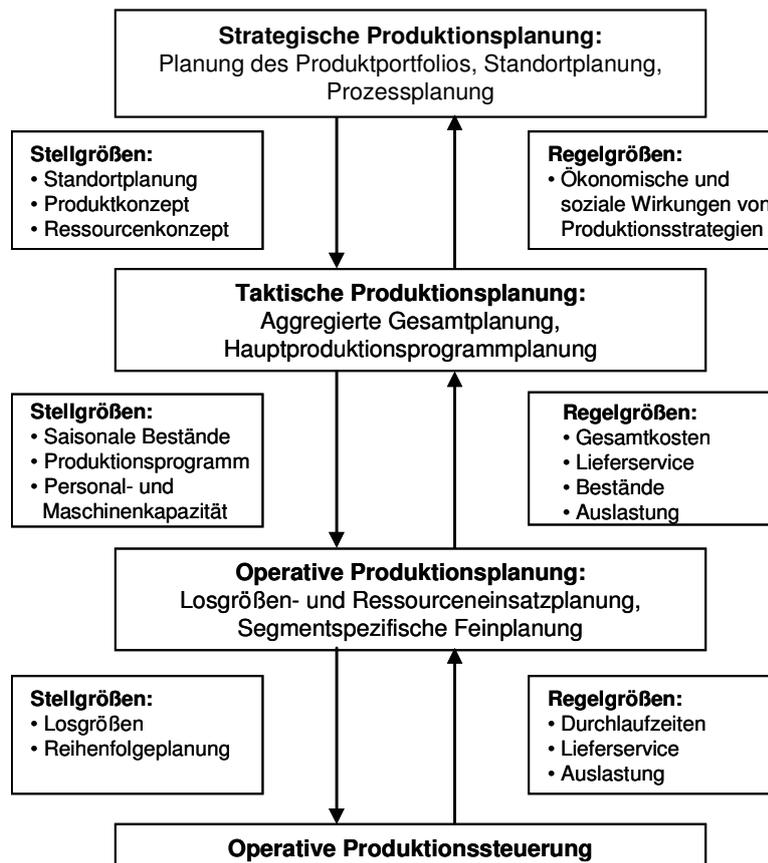


Abbildung 4: Hierarchische Planung im Produktionsbereich¹¹⁷

Zur strategischen Ebene, die bis zu zehn Jahre umfasst, gehören die Entscheidungen über Lage und Größe der Produktions- und Lagerstandorte und damit die Entscheidung über die

¹¹⁶ Vgl. Drexl et al. (1994), S. 1022.

¹¹⁷ In Anlehnung an Knolmayer (2001), S. 139.

Gestaltung der Supply Chain.¹¹⁸ Aufgrund des hohen Kapitaleinsatzes ist die strategische Ebene relativ unflexibel, Änderungen müssen mit einem großen zeitlichen Vorlauf geplant werden.¹¹⁹

Zur taktischen Ebene gehören die aggregierte Gesamtplanung und die kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung. Bei der aggregierten Gesamtplanung wird auf eine Glättung der Kapazitätsauslastung über alle Standorte hinweg abgezielt, was beispielsweise mit Auf- und Abbau saisonaler Lagerbestände erreicht wird.¹²⁰ Als Ergebnis der aggregierten Gesamtplanung werden werksbezogene Produktionsvorgaben erzeugt. Ziel der kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung ist es, auf Basis der bereits vorhandenen Kundenaufträge und Absatzprognosen die Produktionsprogramme der jeweiligen Produkte bzw. Produktgruppen eines Werkes über einen mittelfristigen Planungshorizont aufzustellen.¹²¹ Darüber hinaus koordiniert die kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung die Materialflüsse zwischen den Produktionssegmenten durch Vorgabe von Eckterminen für die einzelnen Fertigungsaufträge.¹²²

Die Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung lässt sich wie in Abbildung 4 dargestellt der operativen Ebene zuordnen. Es existieren aber auch Ansätze, in der sie der taktischen Planung zugeordnet wird. Dabei werden Losgrößen bestimmt und der Ressourceneinsatz geplant. Ebenfalls zur operativen Produktionsplanung zählt die segmentspezifische Feinplanung, im Rahmen derer die konkrete Zuordnung von Produktionslosen zu Maschinen stattfindet. Wenn wie beispielsweise bei der Fließfertigung erhebliche Abhängigkeiten zwischen den beiden Planungsebenen der operativen Ebene bestehen, können beide Planungsebenen auch simultan betrachtet werden.¹²³

Die operative Produktionssteuerung zählt nicht mehr zu den Planungsebenen der hierarchischen Produktionsplanung, sondern beschäftigt sich mit der konkreten Umsetzung und Überwachung der Aufträge in der Produktion.

¹¹⁸ Vgl. Günther (2005), S. 14, und Pillep/von Wrede (1999), S. 19. Daneben sind im Rahmen der strategischen Produktionsplanung Entscheidungen hinsichtlich der Wettbewerbsstrategie und der Produktfelder (Programmplanung) und der Technologie-, Automatisierungs- und Organisationsentwicklungsstrategie (Prozessplanung) zu treffen. Vgl. Nebel (2007), S. 605.

¹¹⁹ Vgl. Nickel/Velten/Weimerskirch (2005), S. 158.

¹²⁰ Die aggregierte Gesamtplanung kann auch als Jahresplanung bezeichnet werden, weil in der Regel ein vollständiger Saisonzyklus geplant wird. Vgl. Drexel et al. (1994), S. 1031.

¹²¹ Bei entsprechenden logistischen Verflechtungen wird die kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung auch über Werksgrenzen hinaus eingesetzt. Vgl. Drexel et al. (1994), S. 1032.

¹²² Vgl. Stadtler (1996), S. 639.

¹²³ Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 223, und Stadtler (1996), S. 639.

1.4 Grundstruktur eines APS-Systems

Auf den Grundlagen der hierarchischen Produktionsplanung aufbauend zerlegen Advanced Planning & Scheduling-Systeme die Planung der Wertschöpfungskette in einzelne Module, die über Koordinationsmechanismen miteinander verbunden sind und Informationen austauschen. Dabei wird von den Herstellern der Anspruch erhoben, dass Teilpläne einer Ebene durch einen aggregierten Plan auf der übergeordneten Ebene koordiniert werden.¹²⁴ Ein Vergleich von APS-Systemen verschiedener Hersteller lässt erkennen, dass trotz Unterschieden im Umfang einzelner Module aus einer funktionalen Perspektive heraus die gleichen Aufgabenpakete durch Module einheitlich abgebildet werden.¹²⁵ Zur inhaltlichen Erläuterung wird im Folgenden die in Abbildung 5 dargestellte Supply Chain Planning-Matrix herangezogen.

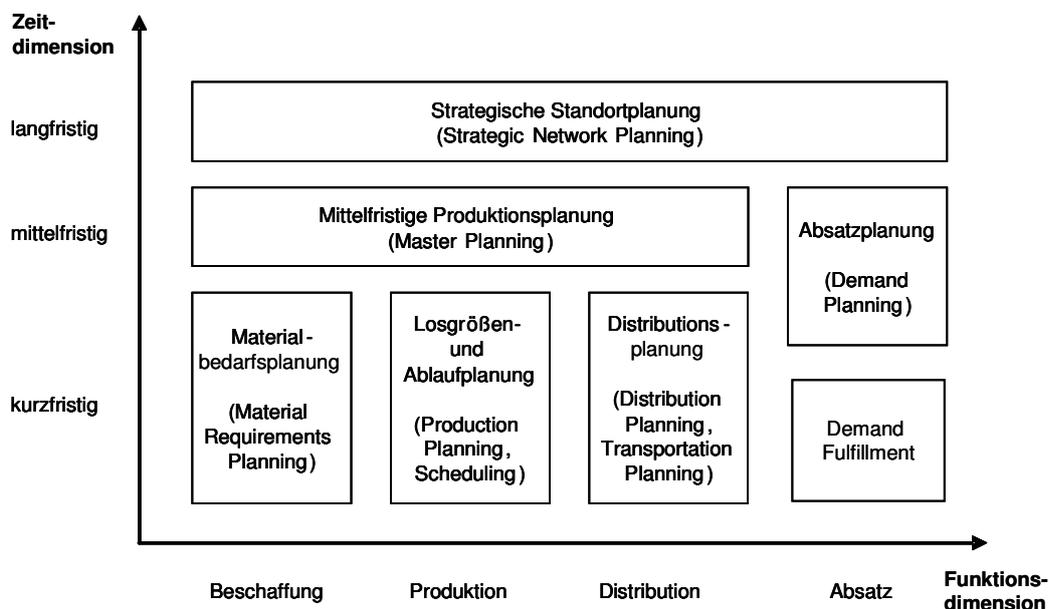


Abbildung 5: Supply Chain Planning-Matrix¹²⁶

Die einzelnen Module orientieren sich dabei an den im Rahmen der hierarchischen Produktionsplanung vorgestellten strategischen bzw. langfristigen, taktischen bzw. mittelfristigen und operativen bzw. kurzfristigen Planungsaufgaben. Den Spalten der Matrix entsprechen die funktionalen Bereiche Beschaffung, Produktion, Distribution und Absatz entlang der Wert-

¹²⁴ Vgl. Prockl (1998), S. 443 f.

¹²⁵ Vgl. Meyr/Wagner/Rohde (2005), S. 109.

¹²⁶ In Anlehnung an Rohde/Meyr/Wagner (2001), S. 10.

schöpfungskette. Der Austausch mit anderen APS-Systemen bzw. mit Lieferanten und Kunden findet dabei über kollaborierende Planungsmodule statt, die in dieser Darstellung nicht enthalten sind.¹²⁷

Die Anbieter von APS-Systemen lassen sich in zwei Gruppen aufteilen. Auf der einen Seite bieten etablierte ERP-Anbieter APS-Systeme an, die ihre eigenen ERP-Lösungen ergänzen.¹²⁸ Auf der anderen Seite finden sich spezialisierte Anbieter, die keine eigenen ERP-Systeme anbieten und ihre APS-Systeme als Zusatz zu ERP-Systemen von Fremdanbietern vertreiben.¹²⁹ In diesem Fall kommt der Datenintegration der verschiedenen Systeme eine besondere Bedeutung zu.¹³⁰ Die Analyse hinsichtlich des Abdeckungsgrades der APS-Module verschiedener Hersteller zeigt, dass ein großer Teil der Anbieter Lösungen für das gesamte Modulspektrum der Supply Chain Planning-Matrix im Programm hat.¹³¹ Lediglich einige Nischenanbieter vertreiben nur ausgewählte Module der Matrix.¹³² Der Tatsache, dass die Ansprüche an die Planungsunterstützung je nach Branche variieren können, tragen die APS-Hersteller durch das Angebot branchenspezifisch angepasster Lösungen Rechnung.¹³³

Im Folgenden werden die einzelnen Module im Hinblick auf ihre betriebswirtschaftlichen Planungsaufgaben und die in der Praxis identifizierten Lösungsansätze vorgestellt und in das Konzept der hierarchischen Produktionsplanung eingeordnet.¹³⁴ Abschließend wird auf den Informationsfluss zwischen den Modulen im Rahmen der Koordination eingegangen und ein Überblick über die eingesetzten Optimierungsverfahren gegeben.

¹²⁷ Die Darstellung der Supply Chain Planning-Matrix bezieht sich in der Regel auf ein Unternehmen. Vgl. Stadler (2005a), S. 10.

¹²⁸ Dazu gehören beispielsweise Oracle und SAP. Vgl. Krupp (2002), S. 45.

¹²⁹ Zu den Anbietern ohne eigenes ERP-System zählen i2 Technologies und AspenTech. Vgl. Meyr et al. (2008), S. 349 ff.

¹³⁰ Die die ERP- und APS-Systeme verbindende Datenbank wird auch als Data Warehouse bezeichnet. Vgl. Rohde (2005), S. 249. Da APS-Systeme Daten aus Data Warehouse und ERP-System benötigen sind entsprechenden Schnittstellen für eine reibungslose Planung mit APS unentbehrlich.

¹³¹ Vgl. Kilger/Wetterauer (2005), S. 305, und Busch et al. (2003), S. 73.

¹³² Zu den Anbietern, die nur ausgewählte Module der Matrix vertreiben und sich auf bestimmte Teilprobleme spezialisiert haben, gehören Flexis und DynaSys, die beide zu den kleinsten Anbietern im APS-Umfeld gehören und. Vgl. Kilger/Wetterauer (2005), S. 309.

¹³³ Der Trend zur Entwicklung branchenspezifischer Lösungen wurde aus der ERP-Landschaft übernommen. Für die im Rahmen von APS-Systemen abgedeckten Planungsprozesse und Branchen vgl. Tabellen 21 und 22 im Anhang.

¹³⁴ Die detaillierte Vorstellung der Planungsaufgaben des Demand Fulfillments erfolgt in Abschnitt II.3.

1.4.1 Strategische Netzwerkplanung

Die Aufgabe der strategischen Netzwerkplanung ist die Festlegung der grundsätzlichen Konfiguration der gesamten Supply Chain.¹³⁵ Die Struktur der Supply Chain kann dabei als Netzwerk interpretiert werden, dessen Knoten die Standorte der Zulieferer, Lager, Produzenten, Verteilzentren und Kunden bilden. Die Verknüpfung der Knoten erfolgt über Material-, Informations- und Finanzflüsse.¹³⁶ Im Rahmen der strategischen Netzwerkplanung wird versucht, die Fragen sowohl nach der optimalen Anzahl und der geographischen Lage der Knoten als auch nach den optimalen Verknüpfungen der Knoten zu beantworten.¹³⁷ Einige mögliche Entscheidungen sind im Folgenden beispielhaft aufgeführt:¹³⁸

- Standort und Kapazität der Produktionsstätten,
- Standort und Anbindung der Lieferanten sowie
- Lage und Größe der Distributionslager.

In der Regel umfasst der Planungshorizont der strategischen Netzwerkplanung drei bis zehn Jahre.¹³⁹ Die für diesen Zeitraum getroffenen Entscheidungen haben wesentliche Bedeutung für die langfristige Wettbewerbsfähigkeit und damit den finanziellen Erfolg des betrachteten Unternehmens.¹⁴⁰ Deshalb sind die im Rahmen der Entscheidungsmodelle zu optimierenden Zielgrößen überwiegend finanzieller Natur.¹⁴¹ Aufgrund des langen Planungszeitraums wird die Standortplanung mit stark aggregierten Daten und unter relativ großer Unsicherheit durchgeführt. Da sich Marktentwicklungen und Veränderungen der ökonomischen und politischen Rahmenbedingungen nicht über einen Zeitraum von zehn Jahren exakt voraussagen lassen und einmal getroffene Standortentscheidungen nur mit sehr hohen Kosten korrigiert werden können, muss die Konfiguration einer Supply Chain nicht nur unter den zum Zeitpunkt der Analyse

¹³⁵ Vgl. Günther (2005), S. 14, und Pillep/von Wrede (1999), S. 19.

¹³⁶ Vgl. Sürrie/Wagner (2005), S. 48.

¹³⁷ Die Festlegung der Lage der Knoten und der erlaubten Verbindungen (Graphen) wird auch als Strukturkonfiguration bezeichnet, während die Definition der Kapazitäten der Knoten und Graphen als Ressourcenkonfiguration interpretiert werden kann. Vgl. Pibernik (2004), S. 58.

¹³⁸ Vgl. Simchi-Levi/Kaminski/Simchi-Levi (2000), S. 17 f.

¹³⁹ Vgl. Busch et al. (2003), S. 39.

¹⁴⁰ Vgl. Nickel/Velten/Weimerskirch (2005), S. 158.

¹⁴¹ Beispielsweise kann als zu optimierende Zielgröße der erwartete weltweite Net-Cash-Flow eines Unternehmens über den gesamten Planungshorizont herangezogen werden. Vgl. Goetschalckx/Fleischmann (2005), S. 120.

getroffenen Annahmen gute Ergebnisse liefern, sondern sich auch als robust im Hinblick auf mögliche Veränderungen der Rahmenbedingungen erweisen.¹⁴²

Die verfügbaren Planungsmodelle reichen von einfachen geometrischen Konzepten (Voronoi-Diagramm¹⁴³) über Standortmodelle in der Ebene (Steiner-Weber-Modell¹⁴⁴) bis hin zu diskreten, mehrstufigen Standortmodellen.¹⁴⁵ Aufgrund der zum Teil schwer zu quantifizierenden Einflüsse, zu denen neben Steuern, gesetzlichen Vorschriften und Wechselkursen auch demographische Entwicklungen zählen, werden in der Praxis teilweise Scoring-Modelle eingesetzt.¹⁴⁶ Darüber hinaus werden simulationsbasierte Ansätze verwendet, um die komplexen Zusammenhänge innerhalb einer Supply Chain zu analysieren und verschiedene Konfigurationen hinsichtlich bestimmter Zielkriterien bewerten zu können.¹⁴⁷ Daneben existieren in der Literatur zahlreiche gemischt-ganzzahlige Problemformulierungsansätze für die Problemstellung der strategischen Netzwerkplanung.¹⁴⁸

Je nach Modellgröße werden die gemischt-ganzzahligen Problemformulierungen entweder mit Standardsolvern oder mithilfe heuristischer Verfahren gelöst.¹⁴⁹ In der Regel legen die

¹⁴² Eine Möglichkeit zur Quantifizierung der Robustheit einer Supply Chain im Hinblick auf veränderte Rahmenbedingungen liegt in der Variabilitätsberechnung des zukünftig erwarteten Cash-Flows als Funktion sich verändernder Rahmenbedingungen. Robuste Supply Chains sind in diesem Zusammenhang durch eine geringe Variabilität gekennzeichnet. Für Details vgl. Goetschalckx/Fleischmann (2005), S. 119.

¹⁴³ Ein Voronoi-Diagramm dient dazu, die Abdeckung bzw. Zuordnung des Einflussbereiches eines Punktes (z.B. Lager/Produktionsstätte) in der Fläche darzustellen, also alle Punkte in der Fläche, für die der betrachtete Punkt der nächstgelegene ist. Ein Voronoi-Diagramm zeigt unter sehr vereinfachten Annahmen die optimalen Grenzen der Einzugsbereiche der betrachteten Standorte in der Ebene. Vgl. Albers et al. (1998), S. 365 ff., und Okabe/Suzuki (1997), S. 445.

¹⁴⁴ Im Rahmen des Steiner-Weber-Modells kann beispielsweise der Standort eines Zentrallagers derart festgelegt werden, dass die Gesamtbelieferungskosten aller Kunden minimiert werden. Zur Bestimmung des optimalen Standortes kommt ein iteratives Verfahren zum Einsatz, bei dem beispielsweise mit dem Schwerpunkt begonnen und sich im Verfahrensverlauf schrittweise dem kostenminimalen Standort angenähert wird. Vgl. Delfmann (1987), S. 291.

¹⁴⁵ Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 72 f.

¹⁴⁶ Hinter Scoring-Modellen verbergen sich in der Regel einfache Punktbewertungsverfahren. Sie umfassen die Transformation der qualitativen Bewertung sich ausschließender Handlungsalternativen in eine einheitliche quantitative Nutzenskala. Anschließend wird die Alternative mit dem höchsten Gesamtnutzen ausgewählt. Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 68 f.

¹⁴⁷ Vgl. Preusser et al. (2005), S. 96.

¹⁴⁸ Für eine Übersicht vgl. Goetschalckx/Fleischmann (2005), S. 127.

¹⁴⁹ APS-Systeme unterstützen die Modellierung entweder über eine Modellierungssprache oder eine graphische Benutzeroberfläche. Graphische Benutzeroberflächen vereinfachen zwar die Modellierung, schränken aufgrund ihrer standardisierten Struktur allerdings in der Regel auch die Modellierungsflexibilität ein. Vgl. Goetschalckx/Fleischmann (2005), S. 133 f.

Softwarehersteller nicht offen, welche der in der Literatur verfügbaren Algorithmen verwendet werden.¹⁵⁰

Obwohl die im Rahmen der strategischen Netzwerkplanung getroffenen Entscheidungen für den langfristigen wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens maßgeblich sein können, ist die strategische Netzwerkplanung die in der Praxis normalerweise am wenigsten implementierte Funktionalität von APS-Systemen.¹⁵¹ Dies lässt sich auf der einen Seite darauf zurückführen, dass die Struktur der Supply Chain von den Entscheidungsträgern in der Regel als gegeben vorausgesetzt wird. Konsequenzen bzw. Ergebnisse struktureller Veränderungen werden erst nach Jahren bzw. Jahrzehnten sichtbar. Deshalb setzen Unternehmen APS-Systeme eher im Hinblick auf die taktische und operative Planungsunterstützung ein, um kurzfristig den Geschäftserfolg zu steigern und messbare Ergebnisse erzielen zu können. Als zweiter Grund lässt sich anführen, dass aufgrund des hohen Verdichtungslevels der Daten und der punktuellen Anwendung keine enge Integration mit den anderen APS-Modulen notwendig ist. Daher werden für die Aufgabe der strategischen Standortplanung oftmals isolierte Lösungen ohne Integration zu den anderen Modulen eingesetzt.¹⁵²

1.4.2 Absatzplanung

Die Aufgabe der Absatzplanung ist die adäquate Prognose zukünftiger Marktnachfrage.¹⁵³ Sie bildet somit den Ausgangspunkt aller Planungsaktivitäten im Supply Chain Management und hat dadurch entscheidenden Anteil an der Qualität der Planung der gesamten Wertschöpfungskette.¹⁵⁴ Je nach Länge des zu prognostizierenden Zeitraums kann zwischen kurzfristiger (bis zu drei Monate), mittelfristiger (drei Monate bis zwei Jahre) und langfristiger (über zwei Jahre) Absatzplanung unterschieden werden.¹⁵⁵

Abbildung 6 stellt den allgemeinen Prozess zur Bedarfsvorhersage dar. Im ersten Schritt werden auf Basis der Analyse historischer Daten ein geeignetes Prognosemodell ausgewählt und die

¹⁵⁰ Vgl. Meyr et al. (2005), S. 342 ff., und Corsten (2004), S. 541.

¹⁵¹ Vgl. Günther (2005), S. 15.

¹⁵² Vgl. Goetschalckx/Fleischmann (2005), S. 133.

¹⁵³ Vgl. Lawrenz/Hildebrand/Nenninger (2000), S. 262, und Wagner (2005), S. 139.

¹⁵⁴ Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 144. Besonders für die Produktionsstrategie der Lagerfertigung kommt der Absatzplanung eine entscheidende Bedeutung zu, da alle nachfolgenden Planungs- und Ausführungsaktivitäten von der Absatzplanung ausgehen. Vgl. Günther (2005), S. 16.

¹⁵⁵ Vgl. Busch et al. (2003), S. 39.

benötigten Parameter des Prognosemodells bestimmt. Im zweiten Schritt wird der Bedarf auf Basis aktueller Beobachtungsdaten prognostiziert.¹⁵⁶ Dabei finden auch Sondereinflüsse Berücksichtigung, durch die eine Beeinflussung der Nachfragefunktion erwartet wird.¹⁵⁷ Diese Abschätzung erfolgt in der Regel durch Spezialisten, die die Ergebnisse des Prognosemodells auf Basis ihrer gesammelten Erfahrungen zusätzlich qualitativ bewerten und entsprechend anpassen. Parallel zum Prozess der Prognose wird der Prognosefehler durch den Vergleich der prognostizierten mit den tatsächlich beobachteten Daten berechnet, um gegebenenfalls durch Anpassung des Modells oder der Modellparameter das Prognoseergebnis zu verbessern.¹⁵⁸

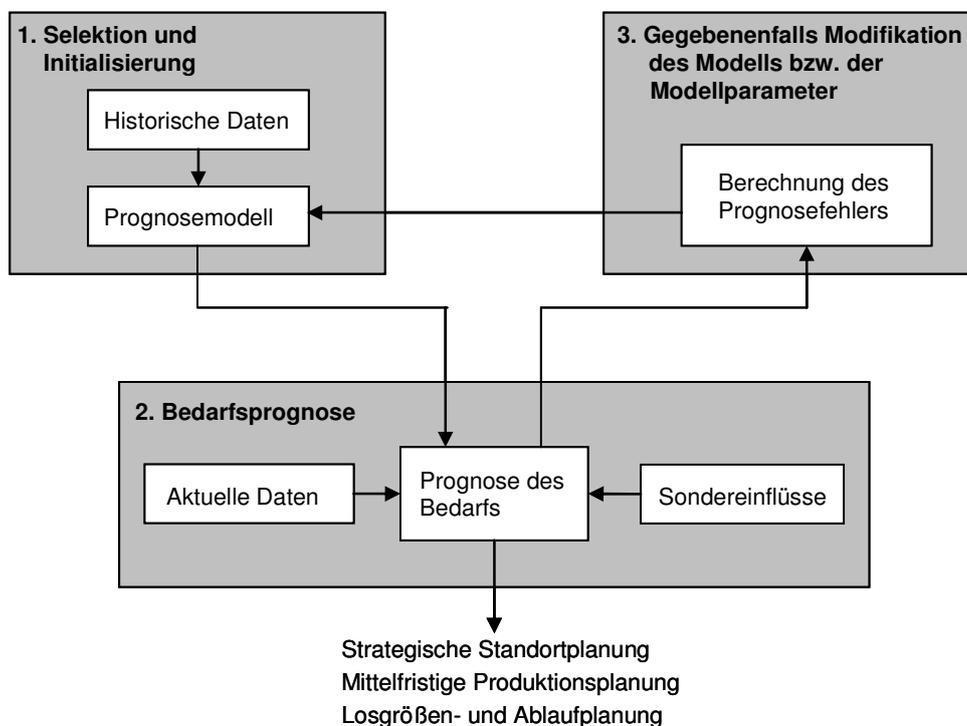


Abbildung 6: Bedarfsvorhersage als Input für APS-Module¹⁵⁹

¹⁵⁶ Je nach Verdichtungslevel und Zeithorizont dient die Bedarfsprognose als Input für die Strategische Netzwerkplanung, die mittelfristige Produktionsplanung oder die Losgrößen- und Reihenfolgeplanung. Vgl. Busch et al. (2003), S. 39.

¹⁵⁷ Zu den prognosebeeinflussenden Ereignissen zählen beispielsweise Marketingaktivitäten oder geplante Werbekampagnen. Vgl. Seidl (2000), S. 175, und Krupp (2002), S. 54.

¹⁵⁸ Vgl. Corsten/Gössinger (2001a), S. 8.

¹⁵⁹ In Anlehnung an Günther (2005), S. 17.

Den Kern der Absatzplanung bilden Prognoseverfahren, die sich in folgende zwei Hauptgruppen unterteilen lassen:¹⁶⁰

- Qualitative Verfahren und
- quantitative Verfahren.

Unter **qualitativen Prognoseverfahren** werden Einschätzungen von Experten verstanden, die diese mit Hilfe ihres Fachwissens erstellen.¹⁶¹ Als Beispiel wird hier die Delphi-Methode angeführt, bei der es sich um eine schriftliche, mehrphasige Befragung von Experten handelt. Vor jeder neuen Fragerunde werden die Experten über das Ergebnis der vorherigen Runde informiert, um diese Information bei der Generierung ihrer Prognosen zu berücksichtigen.¹⁶²

Quantitative Verfahren basieren auf der Annahme, dass die Entwicklung der Zukunft auf Basis von Vergangenheitsdaten mithilfe mathematischer Verfahren vorhergesagt werden kann. Quantitative Verfahren können dabei auf kausalen Modellen und Zeitreihenmodellen basieren.¹⁶³ Bei kausalen Prognosemodellen wird die zu prognostizierende Größe durch eine oder mehrere kausale Variablen erklärt. In der Regel wird dabei versucht, unsichere Zukunftsparameter in Abhängigkeit eines beobachtbaren oder zumindest leichter zu prognostizierenden Parameters vorherzusagen. Mit Hilfe eines auf einem Zeitreihenmodell basierenden Prognoseverfahrens wird aus dem Verlauf des zum Prognosezeitpunkt bekannten, empirisch beobachteten Bedarfs auf den zu erwartenden künftigen Bedarf geschlossen.¹⁶⁴ Beispiele für extrapolierende Verfahren sind Trendextrapolation, Methoden der gleitenden Durchschnittsbildung, Methoden der exponentiellen Glättung und einfache bzw. multiple Regression.¹⁶⁵

¹⁶⁰ Vgl. Pirron et al. (1998), S. 62, und Makridakis/Wheelwright/Hyndman (1998), S. 10 ff.

¹⁶¹ Qualitative Prognoseverfahren werden auch als intuitive Prognoseverfahren bezeichnet. Vgl. Schönsleben (2000), S. 378.

¹⁶² Vgl. Linstone (1979), S. 273 ff., und Häder/Häder (1994), S. 1 ff.

¹⁶³ Vgl. Hopp/Spearman (2008), S. 441.

¹⁶⁴ Dabei kann zwischen univariaten Modellen, bei denen die Entwicklung einer Zeitreihe unabhängig vom Verlauf anderer möglicherweise existierenden Einflussgrößen in die Zukunft extrapoliert wird, und multivariaten Modellen, bei denen auch zusätzliche, nicht zu prognostizierende Variablen mit in die Prognose einbezogen werden, unterschieden werden. Vgl. Tempelmeier (2003), S. 40.

¹⁶⁵ Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 138 ff., und Meyr (2005b), S. 461 ff. Für eine vertiefende Übersicht der Prognoseverfahren vgl. Makridakis/Wheelwright/Hyndman (1998), S. 1 ff.

Neben den bereits vorgestellten Standardverfahren der quantitativen Prognosemodelle erlauben APS-Module in der Regel die spezifische Berücksichtigung von Sondereinflüssen.¹⁶⁶ Dazu gehört die Lebenszyklusplanung, die die Berücksichtigung einer Produkteinführungsphase und einer Produktdegenerationsphase erlaubt und auch Aspekte einer möglichen Kannibalisierung abbildet.¹⁶⁷ Daneben kann die Planung von Werbeaktionen über relative oder absolute Einflussfaktoren berücksichtigt werden.¹⁶⁸ Über die klassischen Prognoseverfahren hinaus bieten die Demand Planning-Module der gängigen APS-Systeme die Möglichkeit, Simulationen durchzuführen und verschiedene Szenarien zu analysieren.¹⁶⁹

Die prognostizierten Daten werden den anderen APS-Modulen auf dem jeweils gewünschten Verdichtungslevel zur Verfügung gestellt, da die Datenhaltung in der Regel auf der niedrigsten Hierarchiestufe durchgeführt wird und somit ohne großen Aufwand je nach Anwendungsfall beliebige Zusammenfassungen vorgenommen werden können.¹⁷⁰ Im Falle einer aggregierten Prognose werden hilfsweise disaggregierte Ergebnisse durch Gleichgewichtung erreicht.

1.4.3 Mittelfristige Produktionsplanung

Die Aufgabe der mittelfristigen Produktionsplanung ist die kostenoptimale Bestimmung der Materialflüsse in der von der strategischen Netzwerkplanung vorgegebenen Struktur der Wertschöpfungskette unter Berücksichtigung knapper Produktions-, Lager- und Transportkapazität sowie der Materialverfügbarkeit.¹⁷¹ Bei zeitlich schwankender Nachfrage und beschränkten Kapazitäten ist zu entscheiden, ob Nachfragespitzen durch Vorratsproduktion in nachfrageschwachen Perioden unter Inkaufnahme der resultierenden Lagerkosten zu

¹⁶⁶ Vgl. Meyr et al. (2005), S. 341 ff.

¹⁶⁷ Kannibalisierung bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Nachfrage eines Produktes die Nachfrage nach einem in der Regel ähnlichen Produkt senkt. Kommt beispielsweise ein neues Automodell auf den Markt, sinkt in der Regel der Absatz ähnlicher Modelle des gleichen Herstellers. Durch die systematische Berücksichtigung dieses Effektes kann eine zu hohe Nachfrageprognose durch Mehrfachberücksichtigung vermieden werden.

¹⁶⁸ Vgl. Dickersbach (2004), S. 22 ff.

¹⁶⁹ Die Möglichkeit der Simulation erweitert die Prognose, da es sich bei dieser um keinen echten Planungs- bzw. Entscheidungsprozess handelt. Die Prognose versucht lediglich, die Zukunft so genau wie möglich vorherzusagen. Vgl. Wagner (2005), S. 140.

¹⁷⁰ Gängige Aggregationsdimensionen sind Produkt (Produkt, Produktgruppe, Produktfamilie), Region (Verkaufsstelle, Ort, Region, Land, Kontinent) und Zeit (Tag, Woche, Monat, Quartal, Jahr). Vgl. Corsten (2004), S. 514. Darüber hinaus werden den anderen Modulen auch historische Nachfragedaten, beispielsweise als Input zur Sicherheitsbestandsberechnung, zur Verfügung gestellt.

¹⁷¹ Die Kostenfunktion kann sich beispielsweise aus Produktions-, Bestands- und Transportkosten und Zusatzkosten für Überstunden zusammensetzen. Vgl. Rohde/Wagner (2005), S. 159.

kompensieren sind. Alternativ können Nachfragespitzen durch Überstundenproduktion unter Inkaufnahme höherer Löhne, durch Produktionsverlagerung auf andere Werke in Verbindung mit den dadurch entstehenden höheren Produktions- und Transportkosten oder durch Fremdbeschaffung abgedeckt werden.¹⁷² Ergebnis der mittelfristigen Produktionsplanung ist ein Gesamtplan über alle Elemente der Lieferkette.¹⁷³ In der Regel erstreckt sich der Horizont der mittelfristigen Produktionsplanung über zwölf Monate.¹⁷⁴ Wenn zyklische Nachfrageschwankungen vorliegen, dann empfiehlt sich die Ausdehnung des Planungshorizonts auf einen kompletten Zyklus.¹⁷⁵

Die Planungssituation lässt sich anschaulich in Form eines Netzwerks der gesamten Supply Chain darstellen, in dem die Knoten die verschiedenen Elemente (Lager, Produktionsstätten, Verteilzentren, Lieferanten etc.) und die Graphen die Transportverbindungen darstellen.¹⁷⁶ Die Aggregation erfolgt dabei in der Regel über die Dimensionen Zeit, Produkt und Ressource.¹⁷⁷ Für jede Planungsperiode und jede Produktgruppe sind beispielsweise folgende Entscheidungen zu treffen:¹⁷⁸

- Verteilung der Produktionsmengen auf die Standorte unter Berücksichtigung der Transport- und Produktionskosten sowie der Kapazitäten,
- Inanspruchnahme der Überstundenkapazitäten an jedem Standort,
- Menge an Endprodukten, die in den einzelnen Distributionslagern bereitzustellen ist, und
- Mengen, die zwischen den Standorten zu transportieren sind.

¹⁷² Die Alternative der Vorratsproduktion kann nur bei lagerfähigen Produkten in Betracht gezogen werden.

¹⁷³ Dabei werden abgestimmte, mittelfristige Leistungsprogramme festgelegt. Vgl. Pibernik/Sucky (2005), S. 70, und Philippson et al. (1999), S. 21 f.

¹⁷⁴ Vgl. Werner (2002), S. 225. Je nach Anwendungsfall kann der Zeitraum auch kürzer gewählt werden. Vgl. Busch et al. (2003), S. 40.

¹⁷⁵ Zyklische Effekte finden auf den der mittelfristigen Produktionsplanung nachgelagerten Planungsstufen keine Berücksichtigung mehr. Vgl. Rohde/Meyr/Wagner (2000), S. 12.

¹⁷⁶ Das Problem ist als Netzwerkflussproblem darstellbar. Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 329.

¹⁷⁷ Vgl. Stadler (1996), S. 636.

¹⁷⁸ Vgl. Günther (2005), S. 20.

Zur Lösung der im Rahmen der mittelfristigen Produktionsplanung entstehenden Planungsprobleme werden in der betriebswirtschaftlichen Literatur vorwiegend Kostenminimierungsmodelle auf der Grundlage der Linearen Programmierung vorgeschlagen.¹⁷⁹ Diese werden oftmals zu gemischt-ganzzahligen Formulierungen erweitert, da sich bestimmte Rahmenbedingungen nur durch Binärvariablen modellieren lassen.¹⁸⁰ Trotz der bereits beschriebenen Aggregation der Daten sind gemischt-ganzzahlige Modelle praxisrelevanter Größenordnungen oftmals zu komplex, um mit der zur Verfügung stehenden Software optimal gelöst zu werden. Deshalb kommen in APS-Systemen vorwiegend Heuristiken zum Einsatz, mit deren Hilfe nach guten, zulässigen Lösungen gesucht wird.¹⁸¹

APS-Anbieter nehmen keine Differenzierung zwischen der im Rahmen der hierarchischen Produktionsplanung vorgestellten aggregierten Gesamtplanung und der Hauptproduktionsprogrammplanung vor. Sie überlassen es dem Anwender, durch Aggregationsmechanismen und modellierungsbezogene Konfigurationsoptionen die Module der mittelfristigen Produktionsplanung sowohl zur Modellierung von aggregierten Modellen mit mehrjährigem Planungsbezug als auch von detaillierteren Modellen mit unterjährigem Planungshorizont zu nutzen.¹⁸²

1.4.4 Materialbedarfsplanung

Die Aufgabe der Materialbedarfsplanung ist die Ermittlung und Bestellung der für die Herstellung der im Hauptproduktionsprogramm festgelegten und für den Absatz bestimmten Erzeugnisse erforderlichen Verbrauchsfaktoren.¹⁸³ Dabei werden die abhängigen Bedarfe, die auch als Sekundärbedarfe bezeichnet werden, anhand der Erzeugnisstruktur und unter Berücksichtigung der zur Produktion notwendigen Durchlaufzeiten und der zur Fremdbeschaffung notwendigen Lieferzeiten aus den unabhängigen Primärbedarfen der mittelfristigen Produktionsprogrammplanung abgeleitet.¹⁸⁴ Darüber hinaus unterstützt das Modul der Materialbedarfsplanung bei der

¹⁷⁹ Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 329. Alternative Formulierungen zielen auf die Maximierung des Gesamtertrags.

¹⁸⁰ Für einfache Formulierungsbeispiele der Probleme der mittelfristigen Produktionsplanung vgl. beispielsweise Tempelmeier (2001), S. 27 ff.

¹⁸¹ Vgl. Günther (2005), S. 21 f., und Meyr et al. (2005), S. 342 ff.

¹⁸² Aggregierte Modelle mit mehrjährigem Planungsbezug entsprechen dabei der aggregierten Gesamtplanung, während detaillierte Modelle die kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung modellieren. Vgl. Rohde/Wagner (2005), S. 159 ff., und Dickersbach (2004), S. 75 ff.

¹⁸³ Vgl. Tempelmeier (2003), S. 118.

¹⁸⁴ Vgl. Voß/Woodruff (2000), S. 180.

Lieferantenauswahl und bei der Planung von Materialsicherheitsbeständen.¹⁸⁵ Der Horizont der Materialbedarfsplanung reicht je nach Länge der Wiederbeschaffungszeiten der Komponenten von einigen Wochen bis hin zu mehreren Monaten.

Der Materialbedarfsplanung vorgelagert wird in der Regel anhand einer ABC-Analyse¹⁸⁶ entschieden, ob ein Material plangesteuert oder verbrauchsorientiert zu disponieren ist.¹⁸⁷ Bei der plangesteuerten bzw. programmorientierten Disposition werden die Sekundärbedarfe in direkter Abhängigkeit der Primärbedarfe, die durch die mittelfristige Produktionsplanung vorgegeben werden, durch Stücklisten- bzw. Rezeptauflösung berechnet.¹⁸⁸ Bei der verbrauchs-gesteuerten Disposition wird der Bedarf an Verbrauchsfaktoren anhand von Prognoseverfahren auf Basis von Vergangenheitsdaten zum Verbrauch geschätzt.¹⁸⁹

Während im Rahmen der mittelfristigen Produktionsplanung in der Regel nur Materialien berücksichtigt werden, deren Verfügbarkeit als potentieller Engpass angesehen wird, hat das Modul der Materialbedarfsplanung die Sicherstellung der Materialversorgung aller Komponenten zum Ziel.¹⁹⁰ Im Portfolio der APS-Module spielt die Materialbedarfsplanung eine eher untergeordnete Rolle, da die Funktion der Stücklistenauflösung bzw. Materialbedarfsrechnung auch in den ERP-Systemen abgebildet wird und die APS-Systeme in der Regel die Funktionen der integrierten ERP-Systeme nutzen, indem sie die abgestimmten Primärbedarfe an diese zur MRP-Berechnung übergeben und die berechneten Sekundärbedarfe verwenden.

¹⁸⁵ Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 146, und Corsten (2004), S. 541.

¹⁸⁶ Produkte werden entsprechend ihres wertmäßigen Verbrauchs klassifiziert, wobei A-Produkte den höchsten und C-Produkte den niedrigsten Wert haben. Vgl. Buxmann/König (2000), S. 16 f., und Werner (2002), S. 157. Bei der XYZ-Analyse werden die Materialien nach den Kriterien Vorhersagegenauigkeit des Materialverbrauchs und zu erwartende Schwankungen des Materialverbrauchs klassifiziert. X-Materialien weisen eine hohe Vorhersagegenauigkeit und einen konstanten Verbrauch auf, während Y-Materialien eine mittlere Vorhersagegenauigkeit und einen schwankenden Verbrauch besitzen. Z-Materialien sind durch eine niedrige Vorhersagegenauigkeit und einen unregelmäßigen Verbrauch gekennzeichnet. Vgl. Nebel (2007), S. 244. In der Literatur wird die XYZ-Analyse auch als RSU-Analyse bezeichnet. Vgl. Tempelmeier (2003), S. 31.

¹⁸⁷ Für A-Produkte wird in der Literatur eine programmorientierte Materialbedarfsplanung, für B-Produkte eine verbrauchsgesteuerte Bedarfsplanung und für C-Produkte eine Bedarfsermittlung auf Basis grober Schätzungen vorgeschlagen. Vgl. Nebel (2007), S. 243 ff., und Corsten (2004), S. 403.

¹⁸⁸ Vgl. Hopp/Spearman (2008), S. 115.

¹⁸⁹ Für Verfahren der Materialbedarfsplanung vgl. beispielsweise Tempelmeier (2003), S. 118 ff., und Corsten (2004), S. 407 ff.

¹⁹⁰ Die im Rahmen der engpassorientierten Hauptproduktionsprogrammplanung berücksichtigten Materialien werden auch als kritische Materialien bezeichnet. Vgl. Stadler (2005d), S. 216.

1.4.5 Losgrößen- und Ablaufplanung

Aufgabe der Losgrößen- und Ablaufplanung ist die segmentspezifische, dezentrale Terminierung von Produktionslosen zur Fertigung und Montage von End-, Zwischen- und Vorprodukten.¹⁹¹ Die Losgrößenplanung legt dabei Produktionsmengen für die Produkte in den einzelnen Perioden des Planungshorizontes fest. Ziel dabei ist die Minimierung der Summe aus Lagerhaltungs- und Rüstkosten bzw. Bestellkosten.¹⁹² Die sich an die Losgrößenplanung anschließende Ablaufplanung ordnet den sich hieraus ergebenden Arbeitsgängen Ausführungszeitpunkte auf den Ressourcen zu, wobei zeitbezogene Zielgrößen wie Zykluszeit, Termintreue oder die Summe der Rüstzeiten im Vordergrund stehen.¹⁹³ Der Planungshorizont beschränkt sich dabei auf einen kurzfristigeren Zeitraum als in der übergeordneten Programmplanung.¹⁹⁴

	Entwicklung der Bedarfsmengen	
Abhängigkeit der Bedarfsmengen einzelner Produkte	gleichbleibend	schwankend
unabhängig	Statische Losgrößenprobleme mit unabhängigem Bedarf	Dynamische Losgrößenprobleme mit unabhängigem Bedarf
abhängig	Statische Losgrößenprobleme mit abhängigem Bedarf	Dynamische Losgrößenprobleme mit abhängigem Bedarf

Tabelle 2: Charakterisierung von Losgrößenproblemen¹⁹⁵

Das Entscheidungsproblem der Losgrößen entsteht deshalb, weil bei Fremdbeschaffung mit jedem Beschaffungsvorgang Bestellkosten und bei Eigenproduktion mit jedem Produktwechsel Rüstkosten und -zeiten verbunden sind, auf der anderen Seite aber auch Lagerhaltungskosten zu berücksichtigen sind. Das Entscheidungsproblem wird dadurch erschwert, dass bei mehrstufigen Erzeugnisstrukturen die Bedarfsmengen der einzelnen Produkte voneinander abhängig sind. Zur Bestimmung optimaler Losgrößen existieren zahlreiche quantitative Entscheidungsmodelle, die in Tabelle 2 hinsichtlich des Grads der Abhängigkeit der Bedarfs-

¹⁹¹ Vgl. Stadtler (2005b), S. 197.

¹⁹² Vgl. Bogaschewsky (1996), S. 1142.

¹⁹³ Vgl. Derstroff (1995), S. 27, und Kimms (1997), S. 46. Die Ablaufplanung wird auch als Reihenfolgeplanung bezeichnet. Vgl. Corsten (2004), S. 542.

¹⁹⁴ Vgl. Busch et al. (2003), S. 41.

¹⁹⁵ Vgl. Tempelmeier (2003), S. 137.

mengen einzelner Produkte und der Entwicklung der Bedarfsmengen eingeordnet werden. Zur Lösung der Modelle kommen je nach Komplexität entweder optimierende Verfahren oder Heuristiken zum Einsatz.¹⁹⁶

In der Ablaufplanung werden Probleme der zeitlichen Zuordnung von Aktivitäten zu limitierten Ressourcen betrachtet. Dabei sind unterschiedliche Nebenbedingungen, zu denen beispielsweise Kapazitätsbeschränkungen und vorgegebene Fertigstellungszeitpunkte zählen, zu berücksichtigen. Zudem sind im Gegensatz zur Losgrößenplanung, bei der in der Regel nur die wichtigsten Erzeugnisse geplant werden, alle Aufträge und Ressourcen zu berücksichtigen. Als Zielkriterien für die Ablaufplanung kommen unter anderem folgende zum Einsatz:¹⁹⁷

- Minimierung der Gesamtbearbeitungszeit,
- Minimierung der Fertigstellungszeitpunkte,
- Minimierung der Summe der Durchlaufzeiten sowie
- Minimierung der Summe der Verspätungen.

Zur Lösung der Probleme der Ablaufplanung existiert eine Vielzahl verschiedener Verfahren.¹⁹⁸ Da bereits kleine Modelle komplexer Problemstellungen nicht mehr exakt lösbar sind, werden in der betriebswirtschaftlichen Literatur im Allgemeinen idealisierte Probleme untersucht, die Komplexitätsbetrachtungen erlauben und für die geeignete Heuristiken entwickelt werden.¹⁹⁹ In der Praxis dominieren häufig einfache Verfahren wie Netzplantechnik oder Prioritätsregeln.

Die Modelle der Losgrößen- und Ablaufplanung können entweder sukzessive mittels Dekomposition oder simultan gelöst werden. Bei der Dekomposition ist dabei eine

¹⁹⁶ So lässt sich beispielsweise das von *TEMPELMEIER* so bezeichnete Multi-Level Capacitated Lot Sizing Problem (MLCLSP) als Vertreter der dynamischen, mehrstufigen Losgrößenprobleme für praxisrelevanten Größenordnungen nicht exakt lösen, weshalb der Einsatz von Heuristiken notwendig wird. Vgl. Tempelmeier (2003), S. 210.

¹⁹⁷ Vgl. Henning (2002), S. 12.

¹⁹⁸ Vgl. Lechleiter (1999), S. 5 ff.

¹⁹⁹ Vgl. Stadtler (2005b), S. 213. Genetische Algorithmen haben in diesem Zusammenhang große Popularität erlangt. Vgl. Klein (2005), S. 485 ff.

Rückkopplung zwischen den beiden Planungsebenen vorzusehen, um Inkonsistenzen zwischen Losgrößenplanung und Ablaufplanung zu vermeiden.²⁰⁰

In den APS-Modulen zur Losgrößen- und Reihenfolgeplanung kommen in der Regel heuristische Verfahren zum Einsatz, wobei die Details von den Herstellern nicht offen gelegt werden.²⁰¹ Durch die heuristischen Lösungsansätze wird die Lösbarkeit praxisrelevanter Größenordnungen erreicht, allerdings mit Verlust der nachweisbaren Optimalität.²⁰²

1.4.6 Distributions- und Transportplanung

Die Aufgabe der Distributionsplanung ist die Ermittlung der transportkostenoptimalen Verteilung der Produktionsmengen von den Produktionsstätten über die Distributionslager zu den Kunden.²⁰³ Im Mittelpunkt der Transportplanung stehen die Wahl der Transportwege und die Bestimmung der jeweiligen Transportmengen. Typische unterstützende Funktionen sind dabei die Auswahl der Transportmittel, die Festlegung von Transportrouten, die Bestimmung von Transporthäufigkeiten und die Konsolidierung von Transporten. Ziel der Distributionsplanung ist die kostenminimale Erreichung eines vorgegebenen Servicegrades. Der Planungshorizont für die Distributionsplanung liegt in der Regel zwischen Tagen und Monaten, während der Planungshorizont für die Transportplanung von Stunden bis zu Tagen reicht.²⁰⁴

Das entstehende Planungsproblem der Distributionsplanung kann als Mehrgüterflussproblem charakterisiert werden, zu dessen Lösung eine Reihe exakter und heuristischer Lösungsverfahren existiert.²⁰⁵ Basis der Transportplanung sind die Planungsergebnisse der Distributionsplanung.²⁰⁶ Auf diesen aufbauend ist es die Aufgabe der Transportplanung, die

²⁰⁰ Vgl. Meyer (1997), S. 24. Die Planungsmethoden und Lösungen müssen besonders für das Modul der Losgrößen- und Ablaufplanung unterschiedlichen Fertigungstypen und Branchen Rechnung tragen. Bei Fließfertigung sollte die Losgrößen- und Ablaufplanung simultan vorgenommen werden, bei Werkstattfertigung erscheint die Trennung von beiden Ebenen aufgrund der hohen Komplexität sinnvoll. Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 168 ff.

²⁰¹ Vgl. Meyr et al. (2005), S. 343, und S. 351.

²⁰² Vgl. Corsten (2004), S. 542.

²⁰³ Vgl. Angelelli/Mansini (2002), S. 250. Da in einigen Branchen die Distributionskosten von Fertigprodukten einen Großteil der Gesamtkosten ausmachen, kommt dieser Planungsaufgabe eine große wirtschaftliche Bedeutung zu. Vgl. Rohde/Meyr/Wagner (2002), S. 13.

²⁰⁴ Vgl. Busch et al. (2003), S. 42.

²⁰⁵ Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 261 ff. Exakte Verfahren sind dabei die der linearen bzw. gemischt-ganzzahlige Optimierung.

²⁰⁶ Vgl. Seidl (2000), S. 173.

durchzuführenden Fahrten und die Beladungen der Fahrzeuge zu ermitteln.²⁰⁷ Als Zielkriterien für die Transportplanung können beispielhaft folgende gewählt werden:²⁰⁸

- Möglichst kurze Route,
- hohe Auslastung der Transportressourcen sowie
- Minimierung von Leerfahrten.

Die Ergebnisse der Tourenplanung sind die Zuordnung von Kundenaufträgen zu den verfügbaren Fahrzeugen und der genaue zeitliche Ablauf der Touren. Die Aufgabe der Fahrzeugbeladung besteht demgegenüber in der möglichst platzsparenden Ausnutzung des Stauraums der einzelnen Fahrzeuge.²⁰⁹

Innerhalb der verschiedenen APS-Hersteller gibt es keine standardisierte Struktur für die Distributions- und Transportplanung. Aufgrund der Interdependenzen der Distributionsplanung mit der mittelfristigen Produktionsplanung sind bei den meisten Herstellern Aspekte der Distributionsplanung in die mittelfristige Produktionsplanung integriert. Die Transportplanung erlaubt in der Regel eine detaillierte Planung der einzelnen Lieferungen und versucht, diese effizient auf die verfügbaren Transportmittel aufzuteilen.²¹⁰

1.4.7 Kollaborationsmodule

Während die bisher beschriebenen APS-Module in der Praxis oftmals für die Planung unternehmensinterner Einheiten eingesetzt werden, ist es die Aufgabe der kollaborierenden Planung, einen gemeinsamen und abgestimmten Plan zwischen zwei oder mehr unabhängigen Planungseinheiten bzw. rechtlich selbständigen Unternehmen einer Supply Chain zu erzeugen.²¹¹ Erklärtes Ziel ist dabei die gemeinsame Nutzung von Erfolgspotentialen.²¹² Durch

²⁰⁷ Vgl. Günther (2005), S. 36.

²⁰⁸ Vgl. Hackelbusch (2005), S. 11.

²⁰⁹ Die Tourenplanung wird auch als „Vehicle Scheduling“ und die Fahrzeugbeladung als „Vehicle Loading“ bezeichnet. Vgl. Fleischmann (2005), S. 241.

²¹⁰ Vgl. Fleischmann (2005), S. 242, Dickersbach (2004), S. 95 ff., und Meyr et al. (2005), S. 341 ff.

²¹¹ Voraussetzung dafür ist das Bestehen einer kollaborierenden Beziehung zwischen den Parteien. Vgl. Kilger/Reuter (2005), S. 259.

²¹² Für den Fall, dass sich die Erfolgspotentiale nicht zu gleichen Anteilen auf die an der Kollaboration beteiligten Unternehmen verteilen, ist die Kompensation der benachteiligten Teilnehmer durch eine zentrale Koordinationsstelle sicherzustellen. Vgl. Rade (2004), S. 53.

Informationsaustausch und Integration zwischen den Parteien wird eine gemeinsame Planungsgrundlage gebildet.²¹³

Der Kollaborationsprozess setzt in der Regel einen formalen Vertrag zwischen den an der Kollaboration beteiligten Unternehmen voraus, in dem sich die Parteien auf die Spielregeln der Kollaboration festlegen. Zentrale Bestandteile sind dabei die Elemente und der Zeithorizont der Kollaboration.²¹⁴ Darüber hinaus ist festzulegen, welcher Input von den Parteien bzw. Partnern in die Kollaboration einzubringen ist und welchen Output sie im Gegenzug erhalten. Darüber hinaus sind Mechanismen zur Lösung von Konfliktfällen zu vereinbaren.²¹⁵

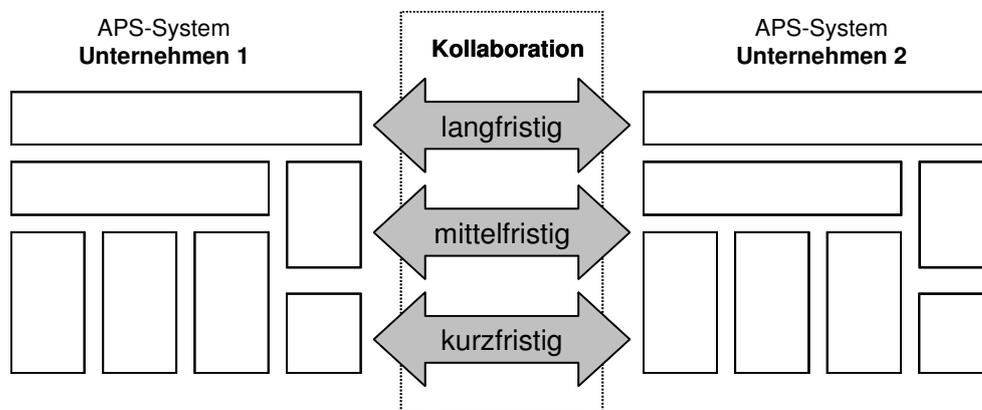


Abbildung 7: Verschiedene Kollaborationsformen in Abhängigkeit von der Fristigkeit²¹⁶

Eine Kollaboration kann für verschiedene Prozesse realisiert werden und dabei unterschiedliche Ausprägungen haben. Aufgabe der Kollaborationsprozesse ist die Ermöglichung der möglichst frühzeitigen und intensiven Synchronisation von Planungsprozessen unterschiedlicher Planungseinheiten. Eine unmittelbare Rückkopplung der Ergebnisse der gemeinschaftlich

²¹³ Vgl. Krupp (2002), S. 56, und Hieber (2002), S. 55. Die Partner tauschen dabei nur die Informationen aus, zu denen sie sich im Vertrag verpflichtet haben. Vgl. Busch et al. (2003), S. 45.

²¹⁴ Vgl. Anderson/Narus (1998), S. 25.

²¹⁵ Verhandlung, Moderation und Schlichtung durch eine festgelegte Schiedspartei stellen einige der unterschiedlichen Möglichkeiten zur Konfliktlösung dar. Diese Mechanismen können einzeln oder in einer bestimmten Reihenfolge angewendet werden. Vgl. Anderson/Narus (1998), S. 27 f.

²¹⁶ In Anlehnung an Kilger/Reuter (2005), S. 271.

erzielten Planungsergebnisse ist dabei anzustreben. Abbildung 7 gibt einen Überblick über die möglichen Kollaborationsformen in Abhängigkeit vom betrachteten Zeithorizont.²¹⁷

Die Kollaborationsmodule der gängigen APS-Systeme unterstützen den Kollaborationsprozess in der Regel durch Internetplattformen, die den schnellen und unkomplizierten Austausch von Informationen zwischen den beteiligten Kollaborationspartnern ermöglichen.²¹⁸ Dabei kommen keine mathematischen Optimierungsverfahren zum Einsatz.

1.4.8 Koordination der Module

Einen Auszug aus den möglichen Informationsflüssen zwischen den Modulen eines APS-Systems stellt Abbildung 8 dar. Dabei wird deutlich, dass sich die Architektur eines APS-Systems an das Konzept der hierarchischen Produktionsplanung anlehnt, da übergeordnete Module die Vorgaben festlegen, in denen die untergeordneten Module agieren.

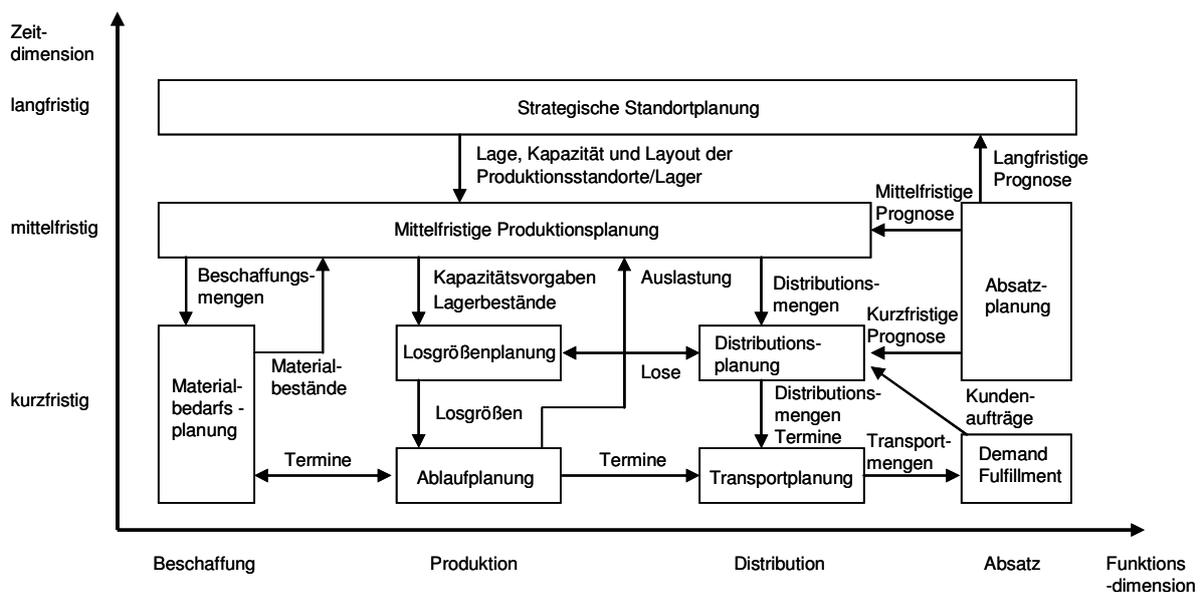


Abbildung 8: Koordination zwischen APS-Modulen²¹⁹

²¹⁷ Im Umfeld von APS-Systemen spielen unter anderem Bedarfskollaboration, Bestandskollaboration, Beschaffungskollaboration, Kapazitätskollaboration und Transportkollaboration eine Rolle. Vgl. Busch et al. (2003), S. 45 ff.

²¹⁸ Vgl. Buxmann/König (2000) S. 51, und Dickersbach (2004), S. 249.

²¹⁹ In Anlehnung an Rohde (2005), S. 246.

Umgekehrt liefern die untergeordneten Module Informationen an die übergeordneten.²²⁰ Anzumerken bleibt, dass es sich trotz des hierarchischen Aufbaus nicht um einen optimierenden Ansatz handelt, da die Parametrisierung (insbesondere Problemzerlegung, Aggregation und Koordination) auf einer iterativen Vorgehensweise basiert. Dem Anspruch, die interdependent in Beziehung stehenden Teilpläne „advanced“ zu einer global zulässigen Lösung zu koordinieren, werden APS-Systeme nicht gerecht.²²¹

Das Modul der Absatzplanung besitzt Schnittstellen zur strategischen, zur taktischen und zur operativen Planungsebene.²²² Die im Modul der strategischen Netzwerkplanung getroffenen Entscheidungen hinsichtlich Struktur- und Ressourcenkonfiguration der Supply Chain stecken den Rahmen für die taktischen Planungsmodule ab.²²³ Als Input für die mittelfristige Produktionsplanung werden u. a. die Ergebnisse aus dem Modul der strategischen Netzwerkplanung, die mittelfristigen Nachfrageprognosen und Material- und Kapazitätsinformationen aus den untergeordneten Modulen verwendet.²²⁴ Die mittelfristige Produktionsplanung liefert dem Modul der Materialbedarfsplanung Informationen über Beschaffungsmengen und gibt der Distributionsplanung die aggregierten Transportmengen vor.²²⁵ Das Modul zur Materialbedarfsplanung ermittelt auf der Basis der durch die mittelfristige Produktionsplanung vorgegebenen Primärbedarfe die Bestellmengen und Lieferzeitpunkte aller Komponenten, die

²²⁰ Die Module der Lösgrößen- und Ablaufplanung liefern beispielsweise Auslastungsinformationen an das Modul der mittelfristigen Produktionsplanung. Vgl. Corsten (2004), S. 542.

²²¹ Vgl. Corsten (2004), S. 543, und Betge (2006), S. 229.

²²² Das Modul der Bedarfsplanung versorgt die strategische Netzwerkplanung mit verdichteten Nachfragedaten, während es die mittelfristige Produktionsplanung mit mittelfristigen Absatzprognosen für die Hauptprodukte unterstützt. Der Lösgrößen- und Ablaufplanung werden detaillierte, kurzfristige Bedarfsprognosen in Form von Aufträgen und antizipierten Aufträgen zur Verfügung gestellt. Vgl. Günther (2005), S. 18.

²²³ Als Ergebnis liefert die strategische Netzwerkplanung beispielsweise die maximalen Kapazitäten der Produktionsstandorte als Input für die mittelfristige Produktionsplanung und die Lage der Produktionsstandorte als Input für die Distributionsplanung. Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 143.

²²⁴ Aufgrund der Interdependenzen der mittelfristigen Produktionsplanung und der Distributionsplanung ist in der Regel eine enge Abstimmung dieser beiden Module vorteilhaft. Vgl. Fleischmann (2005), S. 242.

²²⁵ Vgl. Busch et al. (2003), S. 40. Den Modulen Lösgrößen- und Ablaufplanung werden beispielsweise die Belegung potentieller Engpässe und die Zielbestände am Ende jeder Periode vorgegeben. Eine Rückkopplung der Lösgrößen- und Ablaufplanung kann in Form aktueller Bestands- und Kapazitätsauslastungsinformationen erfolgen. Vgl. Rohde (2005), S. 247. Das Modul zur Materialbedarfsplanung ermittelt auf der Basis der durch die mittelfristige Produktionsplanung und die Lösgrößenplanung vorgegebenen Primärbedarfe die Bestellmengen und Lieferzeitpunkte aller Komponenten. Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 146.

wiederum der Ablaufplanung als Inputgröße dienen.²²⁶ Die im Rahmen der Ablaufplanung bestimmte Maschinenbelegung bzw. Reihenfolgeplanung liefert den Input für die Produktionssteuerung.²²⁷ Während die strategische Netzwerkplanung dem Modul der Distributions- und Transportplanung die Infrastrukturdaten zur Verfügung stellt, liefert die mittelfristige Produktionsplanung die zur planmäßigen Abwicklung der Transporte notwendigen aggregierten Transportkapazitäten.²²⁸

Zur Entscheidungsunterstützung des Modules des Demand Fulfillments bilden die prognostizierte Nachfrageplanung der Absatzplanung und die Produktionsmengen und Produktionstermine der mittelfristigen Produktionsplanung und der Losgrößen- und Ablaufplanung die Eingangsgrößen. Darüber hinaus finden die Lagerbestände und Transportkapazitäten der Distributionsplanung sowie die Materialbestände und erwarteten Materiallieferungen der Materialbedarfsplanung Berücksichtigung.²²⁹

Die mit APS-Systemen zu integrierenden Systeme weisen unterschiedliche Informationsbeziehungen auf. Die transaktionsorientierten ERP-Systeme dienen der Unterstützung bzw. Ausführung der betriebswirtschaftlichen Vorgänge innerhalb eines Unternehmens.²³⁰ Sie versuchen, das betrachtete Unternehmen und die relevanten Objekte in Datenstrukturen abzubilden und stellen Abwicklungsfunktionen zur Verfügung. Der Datenaustausch zwischen APS- und ERP-Systemen erfolgt über ein Datenintegrationsmodell.²³¹ Dabei werden nach bestimmten Regeln planungsrelevante Daten aus einem oder mehreren ERP-Systemen in das APS-System geladen und die Ergebnisse nach erfolgter Planung zur operativen Umsetzung

²²⁶ Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 146.

²²⁷ Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 330. Zu den Ergebnissen der Module Losgrößen- und Ablaufplanung zählen unter anderem die Produktionsaufträge mit zeitgenauer Terminierung, die Reihenfolge der Auftragsbearbeitung für jede Maschine und die Personaleinsatzplanung. Vgl. Rohde/Meyr/Wagner (2001), S. 13.

²²⁸ Die Module der Losgrößen- und Ablaufplanung stellen die kurzfristigen Produktionsmengen zur Verfügung, während die zu befriedigenden kurzfristigen Bedarfe in Form von Kundenaufträgen und Prognosen aus dem Modul der Absatzplanung geliefert werden. Vgl. Busch et al. (2003), S. 41.

²²⁹ Vgl. Rohde (2005), S. 247.

²³⁰ Transaktionsorientierte Systeme werden auch als Online Transaction Processing (OLTP)-Systeme bezeichnet. Vgl. Rohde (2005), S. 248 f.

²³¹ Während das Integrationsmodell festlegt, welche Objekte ausgetauscht werden, woher sie stammen und welche Planungsaufgaben in welchen Systemen durchgeführt werden, beschreibt das Datenaustauschmodell die Organisation des Datenflusses zwischen den Systemen. Für Details zum Datenintegrationsmodell vgl. Rohde (2005), S. 249 ff.

zurückgeliefert.²³² Analyseorientierte Systeme dienen der Datenauswertung aus verschiedenen Quellsystemen.²³³

Tabelle 3 fasst abschließend die in den verschiedenen Modulen zum Einsatz kommenden Lösungsansätze zusammen. Dabei wird deutlich, dass optimierende Verfahren nur in einem Teil der Module eingesetzt werden. In der Praxis werden die mittelfristige Produktionsplanung und die Losgrößen- und Ablaufplanung von heuristischen Lösungsansätzen dominiert.

	Zeitreihenanalyse	Lineare Programmierung	Gemischt-ganzzahlige Programmierung	(Meta-)Heuristiken	Constraint Programming	Sukzessivplanungsansätze	Regelbasierte Ansätze
Strategische Netzwerkplanung		•	•				
Absatzplanung	•						
Mittelfristige Produktionsplanung		•	•	•		•	
Losgrößen- und Ablaufplanung			•	•	•	•	
Distributions- und Transportplanung		•	•				•
Materialbedarfsplanung						•	
Demand Fulfillment							•

Tabelle 3: In APS-Modulen zum Einsatz kommende Lösungsverfahren²³⁴

²³² Vgl. Seidl (2000), S. 177.

²³³ Analyseorientierte Systeme werden auch als Online Analytical Processing (OLAP)-Systeme bezeichnet. Sie erlauben eine aufgabengerechte Datenaufbereitung. Vgl. Groffmann (1997), S. 15, und Simchi-Levi/Kaminski/Simchi-Levi (2000), S. 253.

²³⁴ Vgl. Goetschalckx/Fleischmann (2005), S. 133 f., Wagner (2005), S. 143 ff., Rohde/Wagner (2005), S. 166, Stadler (2005b), S. 209 ff., Fleischmann (2005), S. 242, Stadler (2005d), S. 215 f., und Kilger/Schneeweiss (2005), S. 192 ff.

1.5 Supply Chain-Steuerungssysteme

Die Aufgaben der Supply Chain-Steuerungssysteme (SCS-Systeme)²³⁵ sind die Umsetzung und die Umsetzungsüberwachung der durch die Supply Chain Planning-Systeme erzeugten Pläne.²³⁶ Als Teilbereich des Supply Chain Managements umfasst Supply Chain Steuerung somit den Bereich der Aktivitäten, die auf die Steuerung und Ausführung von Geschäftsprozessen entlang der Wertschöpfungskette gerichtet sind. Supply Chain-Steuerungssysteme bieten zur flexiblen Reaktion auf Veränderungen der Rahmenbedingungen zeitnahe Entscheidungsunterstützung.²³⁷

Die Module der SCS-Systeme lassen sich entlang der logistischen Funktionen in Auftrags-, Produktions-, Bestands- bzw. Beschaffungssteuerung und Transportsteuerung klassifizieren. Die inhaltliche Ausgestaltung ist hierbei von den Rahmenbedingungen und der Struktur der betrachteten Supply Chain abhängig.²³⁸ Darüber hinaus umfassen Supply Chain-Steuerungssysteme ein so genanntes Supply Chain Event Management.

Die **Auftragssteuerung** beinhaltet alle zur operativen Auftragsabwicklung notwendigen Funktionen inklusive der Produktions-, Beschaffungs- und Distributionsaufgaben mit Kundenbezug. Dazu gehört neben der Übermittlung, der Aufbereitung, der Umsetzung, der Zusammenstellung und des Versandes der Aufträge auch die Auftragsfakturierung.²³⁹ Darüber hinaus werden mit dem Modul zur Auftragssteuerung bzw. -abwicklung alle notwendigen Papiere, zu denen neben der Auftragsbestätigung und den Lieferpapieren auch Rechnungen zählen, erzeugt.

Innerhalb der Module zur **Produktionssteuerung** werden alle operativen Aufgaben zur Abwicklung von Produktionsaufträgen durchgeführt. Dazu gehört der Druck notwendiger

²³⁵ Supply Chain-Steuerungssysteme können auch als Komponenten zur Supply Chain Ausführung bzw. Supply Chain Execution (SCE) bezeichnet werden. Vgl. Bartsch/Bickenbach (2002), S. 28.

²³⁶ Die SCS-Systeme dienen der Auskunftsfähigkeit und der operativen Prozessabwicklung. Ihre Aufgabe ist die Umsetzung der im Rahmen der Supply Chain Planung erzeugten Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsfeinplanung. Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 152.

²³⁷ Die dabei erhaltenen Daten können permanent mit den Vorgaben des Supply Chain Planning verglichen werden, um Bedarf und Angebot entlang der Wertschöpfungskette abzustimmen. Vgl. Bartsch/Bickenbach (2002), S. 38.

²³⁸ Aufgrund der Beschreibung wird bereits die Nähe zu den in der Praxis eingesetzten ERP-Systemen deutlich. Im Unterschied zu diesen liegt der Anspruch der Supply Chain-Steuerungssysteme aber in der Supply Chain-weiten Unterstützung. In der Praxis wird versucht, relevante Daten der einzelnen ERP-Systeme allen Beteiligten zur Verfügung zu stellen. Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 152 f.

²³⁹ Vgl. Pfohl (2003), S. 84.

Arbeitspapiere, die Übergabe der Daten an Fertigungsleitsysteme und die Erfassung der Rückmeldungen von Produktionsvorgängen als Schnittstelle zu den Fertigungsleitsystemen. Darüber hinaus werden Funktionen zur Buchung von Materialbewegungen und Bestandsveränderungen bereitgestellt. Diese Funktionen werden in der Regel in den ERP- bzw. PPS-Systemen abgebildet.²⁴⁰

In den Modulen der **Bestands- bzw. Beschaffungssteuerung** werden alle materialrelevanten operativen Themen abgewickelt. Dazu zählen neben der Ermittlung des Materialbedarfs, der Generierung automatischer Nachbestellungen und der Festlegung von Sicherheitsbeständen auch die Erstellung von Bestellanforderungen, der Druck der relevanten Papiere und die Bestandsüberwachung.²⁴¹

Im Rahmen der **Transportsteuerung** werden alle Aufgaben zur Erfassung, Abwicklung und Verwaltung der Beschaffungs- und Distributionstransportvorgänge abgedeckt. Dazu gehören die Erstellung notwendiger Dokumente wie Lieferscheine und Transportpapiere, die Kalkulation von Transportkosten und die Veranlassung von Transportvorgängen. Darüber hinaus werden spezielle Vorgaben im Hinblick auf die Verladung und Entladung von Gütern berücksichtigt.²⁴²

Das Ziel des **Supply Chain Event Management** ist es, für alle am Prozess beteiligten Parteien Transparenz hinsichtlich der wichtigsten Prozessparameter zu schaffen.²⁴³ Dabei werden die Aktivitäten innerhalb der Supply Chain überwacht, Planabweichungen gemeldet und im Bedarfsfall korrigierende Maßnahmen eingeleitet. Durch ein Monitoring- bzw. Controlling-Modul werden allen Anwendern umfassender Zugriff auf relevante Daten ermöglicht und Ausnahmen angezeigt.²⁴⁴ Die Verantwortung für die Umsetzung der Planung liegt weiterhin beim Planer.²⁴⁵

²⁴⁰ Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 153.

²⁴¹ Vgl. Busch et al. (2003), S. 44, und Pfohl (2003), S. 98 ff. Der Informationsaustausch kann beispielsweise über das Internet oder mittels Electronic Data Interchange (EDI) erfolgen. Vgl. Wannewetsch (2002), S. 32 ff.

²⁴² Vgl. Busch et al. (2003), S. 43.

²⁴³ Dazu gehören beispielsweise Störungen und Bestands- und Bedarfsinformationen. Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 154.

²⁴⁴ Im SAP-Umfeld wird eine solche Steuerzentrale auch als „Supply Chain Cockpit“ bezeichnet. Vgl. Bartsch/Bickenbach (2002), S. 118.

²⁴⁵ Vgl. Dickersbach (2004), S. 295 ff., und Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 107.

2 Fertigungsstrategische Aspekte des Entkopplungspunktes

Die im Rahmen der Leistungserstellung betrachteten Prozessschritte Beschaffung, Produktion und Absatz lassen sich je nach Ausprägung in planungsgetriebene und kundenauftragsgetriebene Prozesse unterteilen.²⁴⁶ Auftragsgetriebene Prozesse werden durch das Eintreffen eines Kundenauftrags ausgelöst, während planungsgetriebene Prozesse auf Absatzprognosen basieren.²⁴⁷ Der Punkt, der die Schnittstelle zwischen auftragsgetriebenen und planungsgetriebenen Prozessen bildet, wird auch als Entkopplungspunkt (EP) bzw. Order Penetration Point (OPP) bezeichnet.²⁴⁸ Alternativ dazu wird er in der Literatur als push-pull-Interface interpretiert.²⁴⁹

Die Lage des Entkopplungspunktes bestimmt in der Regel auch die Wertschöpfungsstufe, auf der ein Unternehmen den Großteil seines Lagers unterhält. Theoretisch ist abwärts des Entkopplungspunktes keine Lagerhaltung mehr notwendig.²⁵⁰ Die Wahl der Lage des Auftragsentkopplungspunktes wird in der Praxis von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst.²⁵¹ Im Zentrum der Entscheidung steht der Zielkonflikt zwischen hoher Produktverfügbarkeit bzw. kurzer Lieferzeit und geringem Bestandsrisiko. Je weiter der EP flussabwärts liegt, umso höher ist die Produktverfügbarkeit und umso kürzer und verlässlicher ist die Lieferzeit gegenüber den

²⁴⁶ Vgl. Fleischmann/Meyr (2003), S. 301. Die Typologie industrieller Produktionssysteme orientiert sich an einsatzbezogenen (Input), prozessbezogenen (Throughput) und an programm- bzw. ausbringungsbezogenen Kriterien (Output). Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 10 ff., Hoitsch (1993), S. 12 ff., und Corsten (2004), S. 3 ff.

²⁴⁷ Die Absatzprognose kann dabei als Summe der antizipierten, zum Betrachtungszeitraum noch nicht vorliegenden Kundenaufträge interpretiert werden. Im Hinblick auf die ergebnisorientierte Typisierung eines Produktionssystems sind die auftragsorientierte Produktion und die marktorientierte Produktion Ausprägungen des Merkmals Absatzstruktur. Vgl. Corsten (2004), S. 29.

²⁴⁸ Vgl. Sharman (1984), S. 75, Meyr/Stadtler (2005), S. 70, und Hoekstra/Romme (1992), S. 6.

²⁴⁹ Der Begriff „push-pull-Interface“ wurde von *LEE/BILLINGTON* geprägt. Vgl. Lee/Billington (1995), S. 55. In der Literatur werden die planungsgetriebenen Prozesse überwiegend als push-Elemente und die auftragsgetriebenen Prozesse als pull-Komponenten interpretiert. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der planungsgetriebene Prozess allerdings im Sinne eines pull-Prozesses und der auftragsgetriebene im Sinne eines push-Prozesses verstanden. Diese Interpretation soll am Beispiel eines Kanban-orientierten Fertigungsprozesses verdeutlicht werden: Bis zum Auftragsentkopplungspunkt wird der Lagerbestand an Material bzw. Fertig- und Halbfertigerzeugnissen durch ein sich durch Mindestbestände regulierendes pull-System gesteuert. Ein eintreffender Kundenauftrag sorgt dann dafür, dass die zur Fertigstellung des Produktes notwendigen Prozessschritte durchlaufen werden. Für Details zu push- und pull-Systemen vgl. Hopp/Spearman (2008), S. 356 ff., und die darin angegebenen Literatur.

²⁵⁰ Vgl. Hoekstra/Romme (1991), S. 6.

²⁵¹ Zu den die Lage des Entkopplungspunktes beeinflussenden Faktoren zählen unter anderem die betrachtete Branche, die Komplexität der Produkte, die jeweilige Konkurrenzsituation, die Kundenanforderungen und die verfolgte Marketingpolitik.

Kunden.²⁵² Gleichzeitig steigt mit einem weiter flussabwärts liegenden EP das Risiko, für auf Basis von Prognosen gefertigte End- bzw. Zwischenprodukte ohne zusätzliche Produktmodifikation keine Abnehmer mehr zu finden.²⁵³

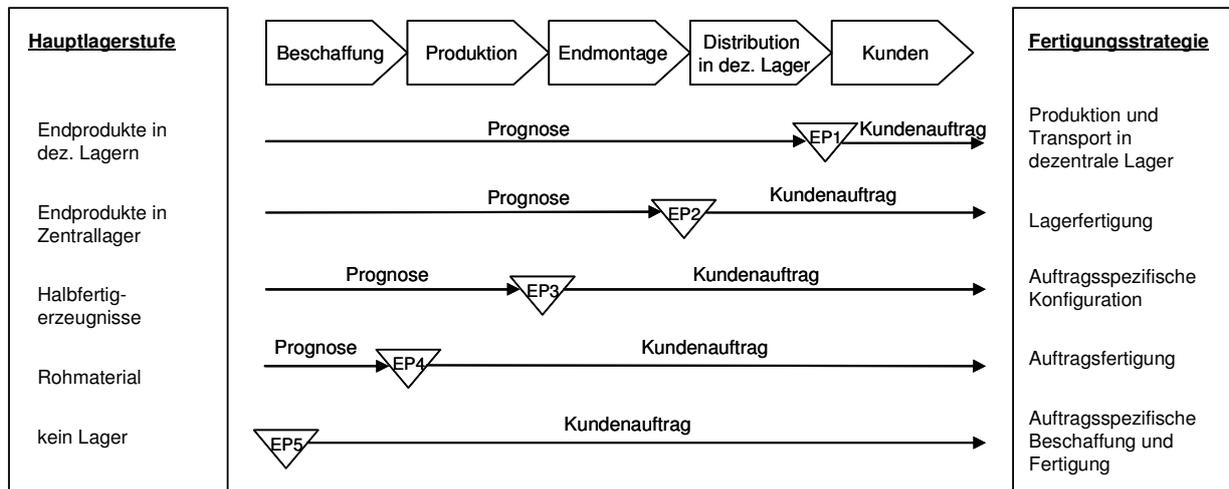


Abbildung 9: Lage der Entkopplungspunkte bei unterschiedlichen Fertigungsstrategien für Stückgutproduktion²⁵⁴

In Abbildung 9 werden verschiedene Fertigungsstrategien mit den entsprechenden Entkopplungspunkten schematisch dargestellt. Der Prozess flussaufwärts (links) des Entkopplungspunktes wird dabei durch Planung getrieben, während der Prozess flussabwärts (rechts) des EP durch das Eintreffen eines Kundenauftrags angestoßen wird. Bei EP 1 werden gefertigte Endprodukte in dezentralen Lagern, die in der Regel in Kundennähe angesiedelt sind, vorgehalten.²⁵⁵ Bei EP 2 wird ebenfalls auf Lager gefertigt, allerdings werden die Endprodukte nicht an dezentrale Lager verteilt, sondern in einem Zentrallager vorgehalten. Diese Strategie wird im weiteren Verlauf der Arbeit als klassische Lagerfertigung interpretiert. Bei der auftragspezifischen Konfiguration werden Halbfertigerzeugnisse gelagert, die dann nach den

²⁵² Mit längeren Durchlaufzeiten werden in der Regel auch die Lieferzeiten ungenauer. Damit steigt die Wahrscheinlichkeit, zugesagte Liefertermine nicht mehr einhalten zu können. Vgl. Hoekstra/Romme (1991), S. 68

²⁵³ Dieses Risiko steigt mit zunehmender Produkt- bzw. Variantenanzahl und wachsender Nachfrageunsicherheit. Vgl. Sharman (1985), S. 51 f.

²⁵⁴ In Anlehnung an Delfmann (1995), S. 181, Corsten/Gössinger (2001b), S. 101, und Kilger/Meyr (2008), S. 185.

²⁵⁵ Die damit verbundene Fertigungsstrategie kommt bei zahlreichen Unternehmen aus der Konsumgüterindustrie zum Einsatz. Vgl. Lin/Chen/Huang (2004), S. 62.

Maßgaben eines eintreffenden Auftrags konfiguriert bzw. endmontiert werden.²⁵⁶ Bei der klassischen Auftragsfertigung werden normalerweise nur Rohmaterialien auf Lager vorgehalten (EP4). Sobald ein Kundenauftrag eintrifft, werden die Endprodukte entsprechend den Stücklisten und Arbeitsplänen gefertigt.²⁵⁷ EP 5 kommt als Modifikation der Auftragsfertigung zum Einsatz, und zwar in dem Fall, in dem Materialbestellungen erst nach Eintreffen des Kundenauftrags durchgeführt werden. Dadurch erhöht sich die Lieferzeit um die Materialbeschaffungszeit, während sich das Bestandsrisiko stark reduziert.²⁵⁸ Neben den dargestellten Entkopplungs-punkten existieren auch noch einige Sonderfälle, die in der Praxis aber weniger verbreitet sind.²⁵⁹ Festgestellt werden kann, dass selbst in der gleichen Industrie der Entkopplungspunkt je nach Wettbewerbsstrategie an verschiedenen Stellen liegen kann.²⁶⁰

Als Strategie der Risikoreduzierung wird versucht, den EP zur Verbesserung des Servicelevels soweit wie möglich flussabwärts zu verlegen, ohne dabei das Bestandsrisiko zu erhöhen. Dies wird dadurch erreicht, dass die ein Endprodukt charakterisierenden Ausprägungen erst so spät wie möglich im Produktionsprozess hinzugefügt werden, es also möglichst wenige unterschiedliche Varianten an Halbprodukten gibt.²⁶¹

²⁵⁶ Durch den Einsatz dieser Fertigungsstrategie konnte der Computerhersteller DELL seine Kosten bei gleichzeitiger Verbesserung der Produktverfügbarkeit signifikant reduzieren. Vgl. Kraemer/Dedrick/Yamashiro (2000), S. 5 ff.

²⁵⁷ Existiert ein Spektrum standardisierter Produkte, dann kann der Grund für die Auftragsfertigung in der Vermeidung von Kapitalbindungskosten liegen, die durch Vorratshaltung von Endprodukten entstünden. Auf der anderen Seite kann es aber sein, dass die Produkte bis zum Auftragseingang noch nicht im Detail hinsichtlich aller Ausprägungen festgelegt sind. Für eine Übersicht idealtypischer Abstufungen hinsichtlich der Produktspezifizierung im Rahmen der Auftragsfertigung vgl. Kurbel (2003), S. 188.

²⁵⁸ Das Bestandsrisiko geht bei dieser Fertigungsstrategie gegen Null, wenn keine Auftragsstornierungen zu erwarten sind. Vgl. Sharman (1984), S. 73, und Hoekstra/Romme (1991), S. 7.

²⁵⁹ *SHARMAN* unterscheidet noch zusätzlich zwischen „Design and Make-to-Order“ am Beispiel des Spezialmaschinenbaus und „Make-to-Stock and Install“ am Beispiel des Anlagenbaus. Vgl. Sharman (1984), S. 73.

²⁶⁰ Während deutsche Autohersteller Auftragsfertigung praktizieren, indem sie Kunden aus einer großen Auswahl an Sonderausstattungen auswählen lassen und im Gegenzug dafür lange Lieferzeiten veranschlagen, setzen japanische Hersteller auf wenige Ausstattungsvarianten und ermöglichen dadurch kurze Lieferzeiten. Vgl. Rose/Sharman (1989), S. 31.

²⁶¹ Eine Reduktion der bestandsgeführten Endprodukte kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass einem Produkt der Elektronikindustrie Handbücher und Netzgeräte für verschiedene Länder hinzugefügt werden. Dies führt zwar zu leicht erhöhten Kosten pro Endprodukt, verbessert aber aufgrund der erhöhten Flexibilität die Möglichkeit der Bestandssteuerung und reduziert das Bestandsrisiko. Durch diese auch als „Postponement“ bezeichnete Strategie hat Hewlett Packard im Druckerbereich erhebliche Verbesserungen im Hinblick auf Servicelevel und Lagerhaltungskosten erreicht. Vgl. Lee/Billington (1995), S. 51 f.

3 Elemente des Demand Fulfillments

Im konzeptionellen Rahmen der Supply Chain Planning-Matrix bilden die Module der Absatzplanung und des Demand Fulfillments die Schnittstelle zu den Absatzmärkten bzw. Kunden.²⁶² Wird zur Aufgabenabgrenzung das Konzept der Auftragsentkopplungspunkte herangezogen, so umfasst die Absatzplanung die planungsgetriebenen Prozesse flussaufwärts des Entkopplungspunktes, während im Zentrum des Demand Fulfillments die kundenauftragsgetriebenen Prozesse flussabwärts des Entkopplungspunktes stehen.²⁶³ Aufgrund des Kundenauftragsbezugs hat die Ausgestaltung des Auftragsabwicklungsprozesses direkten Einfluss auf die Kundenorientierung einer Supply Chain. Dabei kommt dem Umgang mit Fehlmengen eine besondere Bedeutung zu.²⁶⁴ Im Sinne der Kundenorientierung sind die Auswirkungen von Fehlmengen auf Kunden bzw. das Kundenverhalten zu analysieren, um die dabei gewonnenen Erkenntnisse im zweiten Schritt bei der Entscheidung über die Verteilung von Fehlmengen zu berücksichtigen.²⁶⁵ Demand Fulfillment wird oftmals mit Verfügbarkeitsprüfung und Terminbestätigung gleichgesetzt, obwohl damit nur ein Teilaspekt des Aufgabenspektrums abgedeckt wird. Insgesamt lassen sich vier Teilaufgaben identifizieren:²⁶⁶

- Auftragsüberwachung (Abschnitt II.3.1),
- ATP-Berechnung (Abschnitt II.3.2),
- Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung (Abschnitt II.3.3) sowie
- Fehlmengenverteilung (Abschnitt II.3.4).

²⁶² Sowohl die Module der Absatzplanung als auch die Module des Demand Fulfillments sind im Rahmen der Supply Chain Planning-Matrix der Funktionsdimension Absatz zuzuordnen. Vgl. Rohde/Meyr/Wagner (2001), S. 10 f.

²⁶³ Die Absatzplanung umfasst dabei den mittel- und langfristigen Zeithorizont, während sich das Demand Fulfillment in der Regel auf den unmittelbaren Kurzfristbereich fokussiert. Vgl. Busch et al. (2003), S. 39.

²⁶⁴ Fehlmengen treten auf, wenn ein gegebener Bedarf an Gütern/Dienstleistungen nicht in seiner mengenmäßigen, zeitlichen und räumlichen Dimension entsprechend dem Anforderungsprofil des Nachfragers befriedigt werden kann. Vgl. Pfohl (2003), S. 35.

²⁶⁵ Die Auswirkungen von Fehlmengen auf Kunden werden im Abschnitt II.3.4.1 anhand eines Fehlmengenmodells untersucht.

²⁶⁶ Während Fischer die Verfügbarkeitsprüfung und die Auftragsbestätigung als getrennte Aufgaben ansieht, werden sie im Rahmen dieser Arbeit auf Grund ihrer Interdependenzen zusammengefasst. Darüber hinaus wird die Berechnung der zur Auftragsbestätigung zur Verfügung stehenden Ressourcenmenge (ATP-Berechnung) als eigene Aufgabe identifiziert. Vgl. Fischer (2001), S. 31, und Fleischmann/Meyr (2003a), S. 304.

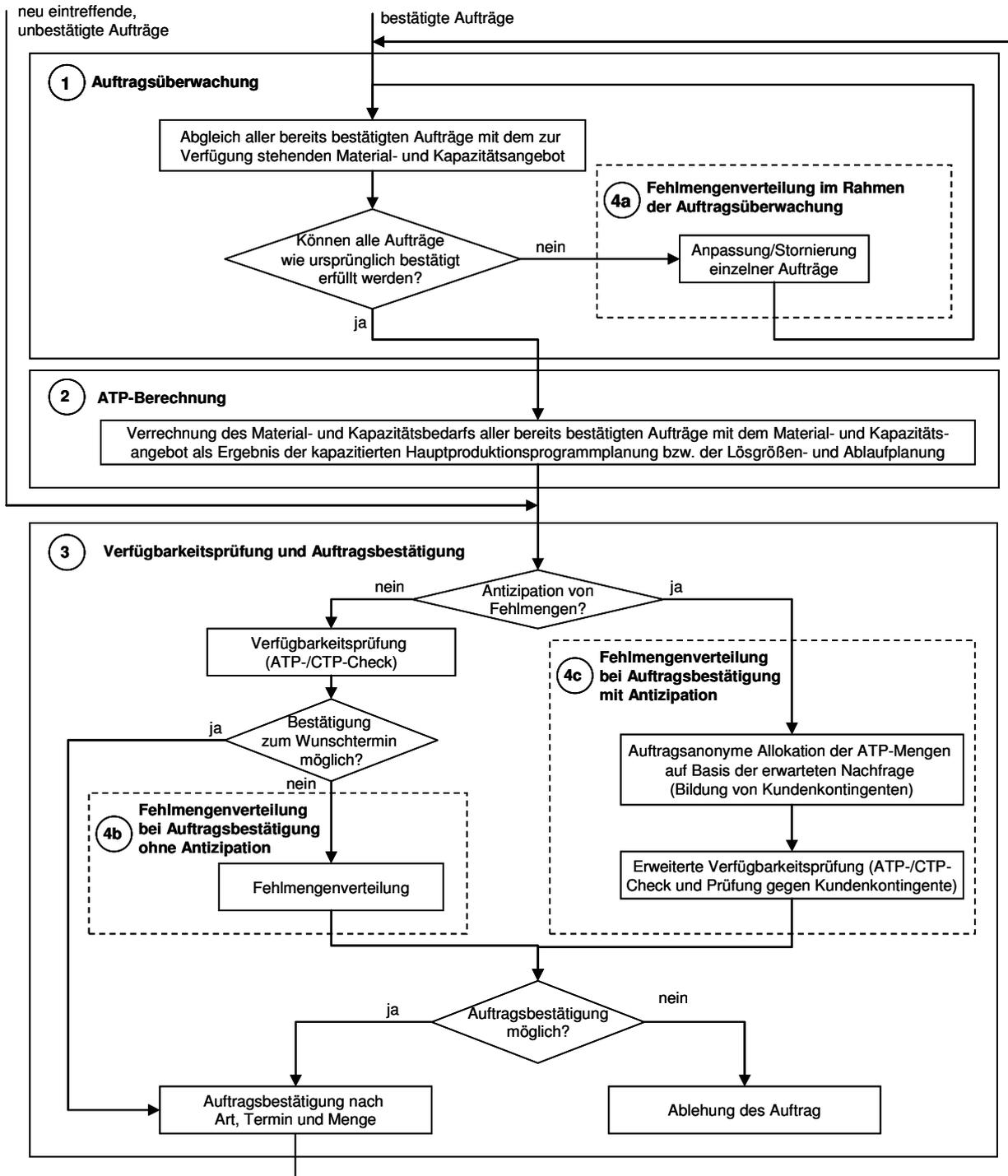


Abbildung 10: Elemente des Demand Fulfillments²⁶⁷

²⁶⁷ In Anlehnung an Fleischmann/Meyr (2003a), S. 304, und Pfohl (2003), S. 89.

Abbildung 10 stellt die Elemente des Demand Fulfillments schematisch dar.²⁶⁸ Den Input für die **Auftragsüberwachung** (Teilaufgabe 1) bilden alle bereits bestätigten Aufträge und das als Ergebnis der kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung bzw. Losgrößen- und Ablaufplanung vorliegende Material- und Kapazitätsangebot. Im Rahmen der Auftragsüberwachung wird überprüft, ob alle bereits bestätigten Aufträge nach Art, Termin und Mengen (wie ursprünglich bestätigt) erfüllt werden können. Ist dies nicht der Fall, so werden Maßnahmen der **Fehlmengenverteilung im Rahmen der Auftragsüberwachung** (Teilaufgabe 4a) notwendig. Dabei werden einzelne Aufträge so lange verschoben und damit neu bestätigt, bis alle Aufträge vor dem Hintergrund des Ressourcenangebots erfüllt werden können. Im Rahmen der sich an die Auftragsüberwachung anschließenden **ATP-Berechnung** (Teilaufgabe 2) wird der Material- und Kapazitätsbedarf der bereits bestätigten Aufträge mit dem insgesamt zur Verfügung stehenden Material- und Kapazitätsangebot verrechnet, um die neuen Kundenaufträgen zur Verfügung stehende Ressourcenmenge zu bestimmen.²⁶⁹ Die ATP-Menge liefert, wie in Abbildung 10 dargestellt, den Input für die **Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung** (Teilaufgabe 3). Werden Fehlmengen nicht antizipiert, dann erfolgt die Verfügbarkeitsprüfung eines oder mehrerer Aufträge gegen die im Rahmen der Teilaufgabe 2 berechneten ATP-Mengen.²⁷⁰ Ist als Ergebnis der Verfügbarkeitsprüfung die Bestätigung der betrachteten Aufträge zum jeweiligen Wunschtermin nicht möglich, dann sind Maßnahmen der **Fehlmengenverteilung bei Auftragsbestätigung ohne Antizipation** (Teilaufgabe 4b) notwendig. Ist als Ergebnis der Fehlmengenverteilung eine Bestätigung des Auftrags bzw. der Aufträge möglich oder kann der Auftrag zum Wunschtermin bestätigt werden, dann erfolgt die Bestätigung nach Art, Termin und Menge. Ist keine Auftragsbestätigung möglich, wird der Auftrag bzw. werden die Aufträge abgelehnt. Werden Fehlmengen dagegen antizipiert, dann findet im Rahmen der **Fehlmengenverteilung bei Auftragsbestätigung mit Antizipation** (Teilaufgabe 4c) ein der Verfügbarkeitsprüfung vorgelagerter Kontingentierungsschritt statt, bei dem das zur Verfügung stehende Material- und Kapazitätsangebot auf Basis der erwarteten Kundennachfrage in

²⁶⁸ Die bereits in Abschnitt I.2 vorgestellten Situationen der Fehlmengenverteilung werden dabei im Kontext des Demand Fulfillments dargestellt.

²⁶⁹ Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird der Begriff „Ressourcenmenge“ synonym sowohl für die verfügbare Menge an Material als auch für die verfügbare Menge an Kapazität verwendet. Die Berechnung der zur weiteren Auftragsbestätigung zur Verfügung stehenden Ressourcenmenge wird auch als „ATP/CTP-Calculatation“ bezeichnet. Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 304.

²⁷⁰ Bevor neu eintreffende Aufträge die Verfügbarkeitsprüfung durchlaufen können, werden sie einer formalen Auftragsprüfung unterzogen, bei der beispielsweise die Bonität des Kunden, der Preis und die Existenz der gewünschten Produktkonfiguration überprüft werden. Vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 44 ff.

Kontingente eingeteilt wird.²⁷¹ Gegen diese Kontingente wird dann eine erweiterte Verfügbarkeitsprüfung durchgeführt. Ist eine Auftragsbestätigung möglich, dann wird diese nach Art, Termin und Menge durchgeführt. Kann eine Auftragsbestätigung nicht ermittelt werden, dann führt dies zur Ablehnung des Auftrags bzw. der Aufträge. Sowohl bei Auftragsüberwachung als auch bei Auftragsbestätigung kann in Abhängigkeit von der Kundenreaktion im Fehlmengenfall zwischen Verzugsmenge und Verlustmenge differenziert werden. Während bei Verzugsmenge die gewünschte Menge zu einem späteren Zeitpunkt nachgeliefert werden kann, wird von Verlustmenge gesprochen, wenn ein Auftrag im Fehlmengenfall verloren geht.²⁷²

Im Folgenden werden nun alle Teilaufgaben näher erläutert, wobei der Schwerpunkt auf die Verfahren der Fehlmengenverteilung gelegt wird (Abschnitt II.3.4).

3.1 Auftragsüberwachung

Die Aufgabe der auch als „Demand-Supply-Matching“ bezeichneten Auftragsüberwachung ist die kontinuierliche Überprüfung der bereits bestätigten, noch nicht belieferten Aufträge hinsichtlich ihrer Erfüllbarkeit nach Art, Termin und Menge.²⁷³ Können beispielsweise aufgrund einer kurzfristigen Änderung des Material- und/oder Kapazitätsangebots nicht mehr alle Aufträge (wie ursprünglich bestätigt) erfüllt werden, dann werden Maßnahmen der Fehlmengenverteilung im Rahmen der Auftragsüberwachung notwendig. In diesem Zusammenhang ist die Frage zu beantworten, welche Aufträge zu verschieben und zu welchen Lieferterminen die verschobenen Aufträge zu bestätigen sind.²⁷⁴ Die Grundlage für die Auftragsüberwachung bilden die vorhandenen Informationen über die Bestände, die geplanten Zugänge an Material und die zur Verfügung stehenden Kapazitäten.²⁷⁵ Erklärtes Ziel ist die Minimierung der durch die Leistungserstellungsprozesse verursachten Kosten bei gleichzeitiger Einhaltung der bestätigten

²⁷¹ Die Idee hinter der auch als „Allocation Planning“ bezeichneten Kontingentierung ist es, die verfügbaren Ressourcenmengen so in Kontingente einzuteilen, dass sie im Rahmen der Auftragsbestätigung zu ertragsmaximalen Ergebnissen führen. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 186 f.

²⁷² Während im Zusammenhang mit Verzugsmengen in der englischsprachigen Literatur von „Backlog“ gesprochen wird, werden Verlustmengen als „Lost Sales“ bezeichnet. Vgl. Chang/Niland (1965), S. 430, und Silver/Peterson (1985), S. 253 f.

²⁷³ Vgl. Dickersbach (2003), S. 287, Fischer (2001), S. 57, und Kilger/Schneeweiss (2005b), S. 402.

²⁷⁴ Auf die Fragestellung der Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung wird im Abschnitt II.3.4.2 näher eingegangen.

²⁷⁵ Die Granularität der Prüfung hängt dabei von der Fertigungsstrategie ab. Vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 132.

Termine.²⁷⁶ Darüber hinaus sollen mögliche Lieferengpässe so früh wie möglich identifiziert werden, um frühzeitig reagieren und gegebenenfalls die betroffenen Kunden informieren zu können.

Fertigungsstrategie	Abgleich	
	von	gegen
Lagerfertigung	Aufträgen	Endprodukte (Lager und geplanter Zugang)
Konfiguration	Arbeitsplänen/Stücklisten	Konfigurationskapazität/Halffertigerzeugnisse
Auftragsfertigung	Arbeitsplänen/(ggf. Stücklisten)	Produktionskapazität/(ggf. Rohmaterial)

Tabelle 4: Charakteristika der Auftragsüberwachung verschiedener Fertigungsstrategien²⁷⁷

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Charakteristika der Auftragsüberwachung für verschiedene Fertigungsstrategien. Bei **Lagerfertigung** sind die bereits bestätigten Aufträge mit den Lagerbeständen und erwarteten Zugängen an Endprodukten abzugleichen.²⁷⁸ Die zu minimierenden Kosten sind dabei in der Regel die Transportkosten, da alle anderen Kosten bereits durch die abgeschlossene Produktion und Montage festgelegt worden sind. Die Zuordnung von Lagerbeständen zu Kunden wird auch als „Deployment“ bezeichnet.²⁷⁹

Bei **auftragsspezifischer Konfiguration** sind die bereits bestätigten Kundenaufträge gegen die geplanten Konfigurationsaufträge zu prüfen. Dabei sind neben dem Bedarf an Konfigurationskapazität, der sich aus den Arbeitsplänen der bereits bestätigten Aufträge ergibt, auch die Materialbedarfe zu berücksichtigen, welche sich aus den Konfigurationsstücklisten der Aufträge errechnen lassen. Unterschiedliche Aufträge konkurrieren dabei um dieselben Halfertigerzeugnisse und Komponenten, wodurch das Entscheidungsproblem deutlich komplexer wird.²⁸⁰

Bei **Auftragsfertigung** sind die bereits bestätigten Aufträge ebenfalls mit den geplanten Materialzugängen abzugleichen. Im Gegensatz zur auftragsspezifischen Konfiguration sind aber nicht nur die Konfigurationskapazitäten, sondern zusätzlich die gesamten Produktions-

²⁷⁶ Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 309.

²⁷⁷ In Anlehnung an Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 188.

²⁷⁸ Die Datengrundlage zum Abgleich bietet der so genannte „Master Production Schedule“ (MPS) bzw. die kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung. Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 450.

²⁷⁹ Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 309.

²⁸⁰ Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 336.

kapazitäten zu berücksichtigen. Je nach konkreter Ausgestaltung der Auftragsfertigung werden in der Literatur Kapazitäts- und Materialinformationen im Rahmen der Auftragsüberwachung unterschiedlich gewichtet.²⁸¹

3.2 ATP-Berechnung

Aufgabe der ATP-Berechnung ist es, von dem insgesamt zur Verfügung stehenden Material- und Kapazitätsangebot den Material- und Kapazitätsbedarf der bereits bestätigten Aufträge abzuziehen, um die Menge zu ermitteln, die für neu zu bestätigende Aufträge im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung und Terminvergabe genutzt werden kann.²⁸² Dieser auch als „Order Netting“ bezeichnete Prozess kann in Abhängigkeit von der eingesetzten Fertigungsstrategie entweder auf der Ebene von Endprodukten, Zwischenprodukten oder Rohmaterialien in Verbindung mit Kapazitätsressourcen durchgeführt werden.²⁸³ Die zur Bestätigung neuer Kundenaufträge zur Verfügung stehende Menge wird auch als Available-to-Promise (ATP)-Menge bezeichnet.²⁸⁴ Aufgrund der begrifflichen Unschärfe von ATP-Menge und Verfügbarkeitsprüfung werden beide Begriffe in diesem Abschnitt abgegrenzt. Im Anschluss wird der konzeptionelle Vorteil der Bestätigung von Kundenaufträgen gegen ATP-Mengen gegenüber der Bestätigung von Aufträgen gegen pauschale Wiederbeschaffungszeiten aufgezeigt. Abschließend erfolgen die Erläuterung der Granularität der ATP-Mengen in Abhängigkeit von der verfolgten Fertigungsstrategie und die Vorstellung einfacher Ansätze zur ATP-Berechnung.

3.2.1 Available-to-Promise (ATP)

Der oftmals mit APS-Systemen in Verbindung gebrachte Begriff „Available-to-Promise“ (ATP) entstand bereits Ende der 70er Jahre im Umfeld von PPS-Systemen.²⁸⁵ Er bezog sich auf die

²⁸¹ Für eine Übersicht verschiedener Ausprägungsformen der Auftragsfertigung vgl. Kurbel (2003), S. 188. Für Beispiele mit Kapazitätsdominanz bei der Auftragsüberwachung im Rahmen der Auftragsfertigung vgl. beispielsweise Ashayeri/Selen (2001), S. 1098 ff., und Özdamar/Yazgac (1997), S. 29 ff. *KILGER* und *SCHNEEWEISS* weisen auf die Notwendigkeit der simultanen Betrachtung von Material- und Kapazitätsverfügbarkeit hin. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 185.

²⁸² Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 304.

²⁸³ Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass die zur Verfügung stehende Bruttomenge an Komponenten maßgeblich durch die vorgelagerte mittelfristige Hauptproduktionsprogrammplanung bestimmt wird. Somit hängt die Qualität der späteren Verfügbarkeitsprüfung stark von der Güte der Bedarfsprognose ab, da diese unmittelbaren Eingang in die Hauptproduktionsprogrammplanung findet.

²⁸⁴ Vgl. Chen/Ball/Zhao (2004), S. 450, und Fleischmann/Meyr (2003a), S. 298.

²⁸⁵ Der Begriff „Available-to-Promise“ wurde erstmals 1978 in einem Aufsatz von *SCHWENDINGER* erwähnt. Vgl. Schwendinger (1978), S. 316 ff.

Menge an Endprodukten, die zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft verfügbar wurde. Die ATP-Menge wurde dabei definiert als:

„...uncommitted portion of a company’s inventory and planned production, maintained in the master schedule to support customer order promising.“²⁸⁶

In verschiedenen Literaturquellen wird der ATP-Begriff im Kontext moderner APS-Systeme allerdings mit der Verfügbarkeitsprüfung gleichgesetzt, d. h. unter ATP wird auch der Prozess der Prüfung selbst verstanden.²⁸⁷ Im Zusammenhang mit neuen Ansätzen der Verfügbarkeitsprüfung wird auch vereinzelt von „Advanced ATP“ gesprochen.²⁸⁸ Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird eine klare Trennung zwischen ATP im Sinne der ATP-Menge und ATP-Check im Sinne der entsprechenden Verfügbarkeitsprüfung vorgenommen.²⁸⁹

Da ATP-Mengen als Ergebnis der Verrechnung der kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung bzw. der Losgrößen- und Ablaufplanung mit den bereits bestätigten Aufträgen verstanden werden können, sind sie aus planerischer Sicht sowohl auf Material- als auch auf Kapazitätsverfügbarkeit auf Basis der zum Entscheidungszeitpunkt vorliegenden Informationen geprüft. Aufgrund dieser Tatsache bietet das ATP-Konzept im Hinblick auf die Verfügbarkeitsprüfung einen Vorteil gegenüber einer Bestätigung gegen Standardwiederbeschaffungszeiten.²⁹⁰ Während bei der klassischen Bestätigung gegen Standardlieferzeiten in der Regel eine „unendliche“ Liefermenge außerhalb der Lieferzeit angenommen wird, erlaubt das ATP-Konzept die Prüfung gegen ein bereits im Rahmen des Planungsprozesses bestätigtes Kapazitäts- und Materialangebot.²⁹¹

²⁸⁶ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 450.

²⁸⁷ Vgl. Fischer (2001), S. 34, Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 132, und Günther (2005), S. 32.

²⁸⁸ Vgl. Chen/Zhao/Ball (2002), S. 425, und Pibernik (2005), S. 239.

²⁸⁹ Damit wird auch der wörtlichen Übersetzung „verfügbar zum Versprechen“ Rechnung getragen. Die Verfügbarkeitsprüfung kann in diesem Zusammenhang als ATP-Check bezeichnet werden, da eintreffende Aufträge gegen die ATP-Mengen geprüft werden. Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 308, und Dickersbach (2004), S. 251.

²⁹⁰ In Analogie zur Scheduling-Literatur kann die Bestätigung gegen Standardwiederbeschaffungszeiten bzw. Standarddurchlaufzeiten auch als „Open-Loop“-Ansatz bezeichnet werden, da der aktuelle Systemstatus, beispielsweise die Auslastung der Zulieferer, nicht berücksichtigt wird. Vgl. Kingsman et al. (1993), S. 53 ff., und Moses (1999), S. 989 ff.

²⁹¹ Dabei werden die Kapazitäten der Zulieferer implizit über geprüfte Materiallieferpläne berücksichtigt. Vgl. Chen/Zhao/Ball (2002), S. 425, und Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 180 f.

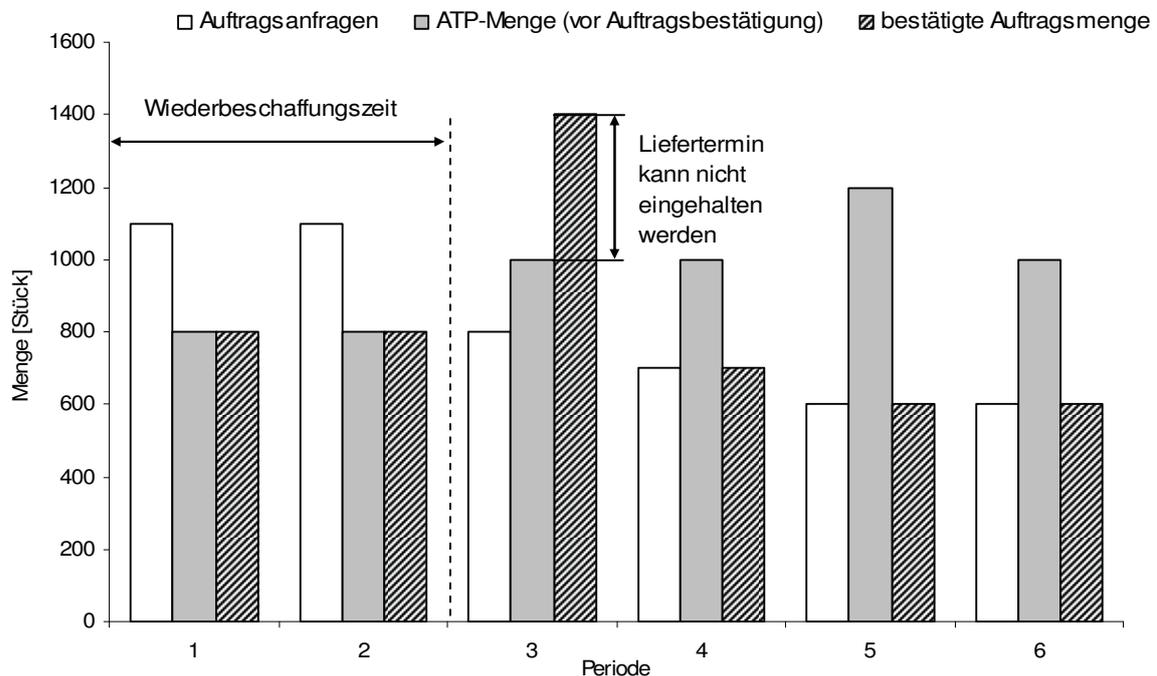


Abbildung 11: Beispielhafte Auftragsbestätigung gegen eine pauschale Wiederbeschaffungszeit von zwei Perioden²⁹²

Dieser konzeptionelle Unterschied wird anhand eines einfachen Beispiels in Abbildung 11 und 12 deutlich. In Abbildung 11 werden unter der Annahme einer pauschalen Standardwiederbeschaffungszeit von zwei Perioden die in Perioden 1 und 2 nicht erfüllbaren Bedarfe, die in Summe 600 Stück ergeben, zusammen mit der Nachfrage für Periode 3 komplett in dieser bestätigt.²⁹³ Beim Vergleich mit dem Ergebnis der Bestätigung gegen ATP-Mengen in Abbildung 12 wird deutlich, dass in Periode 3 nur 1000 Stück zur Auftragsbestätigung zur Verfügung stehen, deren Verfügbarkeit im zeitlich vorgelagerten Planungsprozess bestätigt wurde. Deshalb ist davon auszugehen, dass unter der Annahme von zulieferkapazitätsauslastungsunabhängigen Standardlieferzeiten in Periode 3 600 Stück zu viel bestätigt worden sind. Dabei zeigt sich, dass auf Basis des Konzeptes der Bestätigung gegen ATP-Mengen verlässlichere Liefertermine bestimmen werden können, die sich letztlich in einer verbesserten Liefertreue niederschlagen.

²⁹² In Anlehnung an Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 180.

²⁹³ Alternativ zu Wiederbeschaffungszeiten lässt sich das Beispiel auch mit internen Durchlaufzeiten konstruieren.

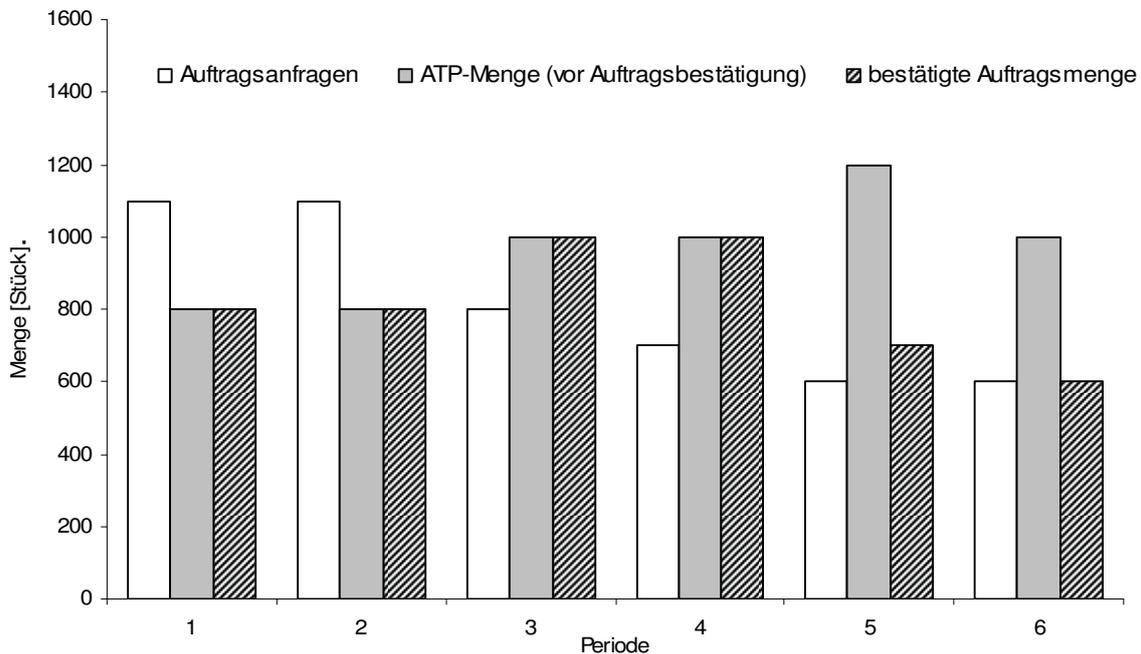


Abbildung 12: Beispielhafte Auftragsbestätigung gegen ATP-Mengen²⁹⁴

3.2.2 ATP-Granularität

ATP-Mengen können auf verschiedenen Ebenen der Supply Chain-Ressourcen gebildet werden. Infrage kommt neben der Ebene der End- und Halbfertigprodukte auch die Rohmaterialebene, wobei die Entscheidung normalerweise von der gewählten Fertigungsstrategie und dem zugehörigen Auftragsentkopplungspunkt abhängt.²⁹⁵ Im Folgenden wird die zu den im Rahmen dieser Arbeit analysierten Fertigungsstrategien geeignete ATP-Granularität erläutert.²⁹⁶

Bei **Lagerfertigung** wird unter Available-to-Promise die Menge an Endprodukten verstanden, die zu einem bestimmten Zeitpunkt für die Auftragsbestätigung zur Verfügung steht.²⁹⁷ Der Prognosegenauigkeit auf Endproduktebene kommt eine große Bedeutung zu, da der gesamte

²⁹⁴ In Anlehnung an Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 180.

²⁹⁵ Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden die Begriffe „ATP“ und ATP-Menge“ gleichwertig verwendet.

²⁹⁶ Die ATP-Ebene kann auch als Granularität der ATP-Produktdimension bezeichnet werden. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 182.

²⁹⁷ Vgl. Pibernik (2005), S. 241, und Fischer (2001), S. 60.

Produktionsprozess planungsgetrieben abläuft.²⁹⁸ Darüber hinaus können auch Teile des Distributionsprozesses prognosegetrieben sein.²⁹⁹

Bei **auftragsspezifischer Konfiguration** wird die ATP-Menge sowohl auf der Ebene von Halbfertigerzeugnissen bzw. Komponenten als auch auf der Ebene der Konfigurationskapazitäten gebildet.³⁰⁰ Die Komponentenmengen ergeben sich dabei aus dem Produktionsplan der Endprodukte nach Auflösung der entsprechenden Stücklisten. Für den Fall, dass bei konfigurierbaren Produkten keine feste Stückliste vorliegt, kann auch im Rahmen der Supply Chain Planung keine originäre Planung auf Endprodukten durchgeführt werden. Um diesem Anwendungsfall gerecht zu werden, wird in der Praxis das so genannte „Attach-Rate-Planning“ eingesetzt, bei dem Merkmalsausprägungen über Prozentschlüssel geplant werden.³⁰¹ Im Planungsprozess wird nun über diese Prozentverteilungen aus der Bedarfsprognose auf Endprodukten/Produktgruppen ein Lieferplan auf Komponentenebene erzeugt.³⁰² Darüber hinaus können bestimmte Komponenten zusätzlich über Sicherheitsbestände geplant werden, um im späteren Verfügbarkeitsprüfungsprozess eine größere Flexibilität zu ermöglichen.³⁰³ Die Bildung von ATP auf Komponenten- bzw. Rohmaterialebene wird auch als Multi-Level-ATP bezeichnet.³⁰⁴ Im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung kann dann ein virtueller Produktionsprozess simuliert werden, indem die laut Stückliste notwendigen Komponenten sukzessive auf Verfügbarkeit geprüft werden. Um die Konfigurationskapazitäten abbilden zu können, kann die Kapazität in Endproduktäquivalente umgerechnet werden, deren Verfügbarkeit dann analog zu einer Komponente im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung abgeprüft wird.³⁰⁵ Die Verdichtung der Konfigurationskapazitäten auf Stück pro Zeiteinheit ist nur bei einem einfachen, einstufigen Leistungserstellungsprozess erfolgversprechend. Bei komplexer, mehrstufiger Leistungs-

²⁹⁸ Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 182.

²⁹⁹ Bei der Strategie „Produktion und Transport in dezentrale Lager“ werden die Endprodukte nicht in einem zentralen Lager, sondern in verschiedenen dezentralen Lagern vorgehalten. Im Planungsprozess wird also bereits über die räumliche Verteilung der Bestände entschieden. Vgl. Delfmann (1995), S. 181, und Lin/Chen/Huang (2004), S. 62.

³⁰⁰ Dabei werden feste Wiederbeschaffungszeiten (lead times) unterstellt. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 184.

³⁰¹ Vgl. i2 (2005), S. 12.

³⁰² Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 184.

³⁰³ Vgl. Chen/Zhao/Ball (2001), S. 480, und Schwendinger (1978), S. 325.

³⁰⁴ Vgl. Dickersbach (2004), S. 282 f. „Multi-Level-ATP“ am Beispiel eines Computerherstellers kann beispielsweise auf der Ebene von Prozessoren, Netzgeräten und Speicherchips gebildet werden.

³⁰⁵ Maschinenstunden werden beispielsweise in Stück an Endprodukten umgerechnet, die pro Zeiteinheit hergestellt werden können.

erstellung führt dieses Konzept bei der anschließenden Verfügbarkeitsprüfung nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen.³⁰⁶

Bei **Auftragsfertigung** ist in der Regel nur der Beschaffungsvorgang prognosegetrieben, alle anderen Prozesse wie Produktion, Endmontage und Distribution werden als Reaktion auf einen Kundenauftrag angestoßen.³⁰⁷ Die Materialverfügbarkeit wird bei der Auftragsfertigung analog zur Fertigungsstrategie der Konfiguration behandelt, d. h. sie wird über Multi-Level-ATP abgedeckt. Wenn im Rahmen der Auftragsfertigung die Materialverfügbarkeit nicht als kritisch angesehen wird, reicht es unter Umständen aus, bei der ATP-Berechnung nur Kapazitäten zu betrachten. Kapazität kann je nach Komplexität des Produktionsprozesses entweder auf Ressourcengruppen gebildet werden, gegen die dann im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung geprüft wird, oder die Verfügbarkeitsprüfung findet direkt im Rahmen der Losgrößen- und Reihenfolgeplanung statt.³⁰⁸

3.2.3 ATP-Berechnung in Abhängigkeit von der Fertigungsstrategie

Im Folgenden wird beispielhaft aufgezeigt, wie sich die ATP-Mengen für verschiedene Fertigungsstrategien berechnen lassen. Aufgrund der Ähnlichkeit der Berechnung für auftragsspezifische Konfiguration und Auftragsfertigung werden diese zusammengefasst. Dabei wird bei beiden Fertigungsstrategien davon ausgegangen, dass sich die Kapazitätsverfügbarkeit hinreichend durch Endproduktäquivalente abbilden lässt.

Zur Berechnung der ATP-Menge für die Fertigungsstrategie der **Lagerfertigung** werden folgende Symbole verwendet:

- a Auftrag, mit $a = 1, \dots, A$ und $A = \text{Anzahl der Aufträge}$
- e Produkt, mit $e = 1, \dots, E$ und $E = \text{Anzahl der Produkte}$
- t Periode, mit $t = 0, \dots, T$ und $T = \text{Anzahl der Perioden}$

³⁰⁶ Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 185.

³⁰⁷ Vgl. Hopp/Spearman (2008), S. 357 f.

³⁰⁸ Im Rahmen von Capable-to-Promise (CTP) wird ein Auftrag an das Produktions- und Reihenfolgeplanungsmodul des APS-Systems übergeben, in dem ein Fertigungsauftrag in die bereits vorhandene Fertigungsauftragslandschaft eingepasst wird, um den Kundenauftrag zu befriedigen. Vgl. Roundy et al. (2005), S. 1098 f. Dabei wird die Machbarkeit eines Auftrags auch im Hinblick auf alle untergeordneten Produktionsvorgänge überprüft. Vgl. Dickersbach (2004), S. 277. Die Vor- und Nachteile dieser Methode werden in Abschnitt II.3.3.2.2 im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung diskutiert.

$ATP_{e,t}$	Menge des Produktes e , die in Periode t zur Auftragsbestätigung zur Verfügung steht
$cm_{e,a,t}$	in Periode t für Auftrag a bestätigte Menge des Produktes e
$LB_{e,0}$	Anfangslagerbestand des Produktes e
$LB_{e,t}$	Lagerbestand des Produktes e am Ende der Periode t
$zu_{e,t}$	erwarteter Zugang des Produktes e in Periode t

Die Lagerendbestände $LB_{e,t}$ sowie die ATP-Mengen $ATP_{e,t}$ lassen sich folgendermaßen bestimmen:³⁰⁹

$$LB_{e,t} = LB_{e,t-1} + zu_{e,t} - \sum_{a=1}^A cm_{e,a,t} \quad \text{für alle } t = 1, \dots, T; e = 1, \dots, E \quad (1)$$

$$ATP_{e,T} = LB_{e,T} \quad \text{für alle } e = 1, \dots, E \quad (2)$$

$$ATP_{e,t-1} = \min \{LB_{e,t-1}; ATP_{e,t}\} \quad \text{für alle } t = T, \dots, 1; e = 1, \dots, E \quad (3)$$

Bei **auftragsspezifischer Konfiguration** und **Auftragsfertigung** werden zur Berechnung der ATP-Mengen für Kapazitätsressourcen und Materialien zusätzlich folgende Symbole verwendet:

j	Material, mit $j = 1, \dots, J$ und $J = \text{Anzahl der Materialien}$
k	Kapazitätsgruppe, mit $k = 1, \dots, K$ und $K = \text{Anzahl der Kapazitätsgruppen}$ ³¹⁰
$ATP_{j,t}$	in Periode t zur Auftragsbestätigung zur Verfügung stehende Menge des Materials j
$ATP_{k,t}$	in der Periode t zur Verfügung stehende Kapazität der Kapazitätsgruppe k
$bom_{j,e}$	Menge des Materials j , die für ein Stück des Produktes e benötigt wird
$kb_{k,e}$	Kapazitätsbedarf der Kapazitätsgruppe k pro Stück des Produktes e
$LB_{j,t}$	Lagerbestand des Materials j am Ende der Periode t

³⁰⁹ Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 297.

³¹⁰ Unter einer Kapazitätsgruppe werden gleiche Maschinen zusammengefasst.

$LB_{j,0}$	Anfangslagerbestand des Materials j
$mz_{j,t}$	erwarteter Zugang des Materials j in Periode t
$vk_{k,t}$	verfügbare Kapazität der Kapazitätsgruppe k in Periode t

Die Lagerendbestände des Materials j , $LB_{j,t}$, sowie die ATP-Mengen $ATP_{j,t}$ können nach Gleichung (4) bis (6) bestimmt werden:

$$LB_{j,t} = LB_{j,t-1} + mz_{j,t} - \sum_{e=1}^E \sum_{a=1}^A bom_{j,e} * cm_{e,a,t} \quad \text{für alle } t = 1, \dots, T; j = 1, \dots, J \quad (4)$$

$$ATP_{j,T} = LB_{j,T} \quad \text{für alle } j = 1, \dots, J \quad (5)$$

$$ATP_{j,t-1} = \min \{LB_{e,t-1}; ATP_{e,t}\} \quad \text{für alle } t = T, \dots, 1; e = 1, \dots, E \quad (6)$$

Die in der Periode t zur Auftragsbestätigung zur Verfügung stehende Kapazität der Kapazitätsgruppe k lässt sich folgendermaßen berechnen:

$$ATP_{k,t} = vk_{k,t} - \sum_{e=1}^E \sum_{a=1}^A kb_{k,e} * cm_{e,a,t} \quad \text{für alle } t = 1, \dots, T; k = 1, \dots, K \quad (7)$$

3.3 Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung

In diesem Abschnitt wird zuerst die betriebswirtschaftliche Aufgabe der Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung dargestellt, bevor anschließend die Dimensionen, nach denen die Verfügbarkeitsprüfung differenziert werden kann, diskutiert werden. Abschließend werden die in Theorie und Praxis eingesetzten Ansätze der Verfügbarkeitsprüfung vorgestellt und klassifiziert.

3.3.1 Betriebswirtschaftliche Aufgabe

Die Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung ist die wohl bekannteste Aufgabe des Demand Fulfillments.³¹¹ Die Aufgabe der Verfügbarkeitsprüfung ist die Überprüfung, ob ein Kundenauftrag vor dem Hintergrund des zur Verfügung stehenden Material- und Kapazitäts-

³¹¹ Vgl. Fischer (2001), S. 34. Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung werden auch als „Order Promising“ bezeichnet, da als Ergebnis ein Liefertermin vergeben wird. Vgl. Günther (2005), S. 32, und Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 191.

angebots nach Art und Menge zum gewünschten Termin bestätigt werden kann.³¹² Die Basis für die Verfügbarkeitsprüfung bilden die in Abschnitt II.3.2.3 berechneten ATP- bzw. Multi-Level-ATP-Mengen. Dabei enthält die Verfügbarkeitsprüfung Elemente der Produktionsplanung.³¹³ Auf der einen Seite wird gegen die im Rahmen der vorgelagerten Hauptproduktionsprogrammplanung ermittelte Ressourcenverfügbarkeit geprüft, auf der anderen Seite kann ein Auftrag zur Produktionsterminbestimmung direkt an das Reihenfolgeplanungsmodul übergeben werden.³¹⁴ Falls bei der Verfügbarkeitsprüfung verschiedene Lösungsalternativen ermittelt werden, sind diese zu bewerten und es ist eine Lösungsalternative auszuwählen.³¹⁵ Aufgabe der Auftragsbestätigung ist die Festlegung eines Liefertermins auf Basis der Ergebnisse der Verfügbarkeitsprüfung.³¹⁶ Kann ein Auftrag nach erfolgter Verfügbarkeitsprüfung nicht zum Kundenwunschtermin bestätigt werden, ist es die Aufgabe der Fehlmengenverteilung (Abschnitt III.3.4) festzulegen, welche Auftragspositionen aus welchen Kundenaufträgen zu bestätigen, zu verschieben oder abzulehnen sind.

3.3.2 Dimensionen der Verfügbarkeitsprüfung

Die Verfügbarkeitsprüfung lässt sich entlang unterschiedlicher Dimensionen differenzieren, auf die im Folgenden näher eingegangen wird. Zur den Differenzierungsmerkmalen zählen:

- Entscheidungsunterstützung,

³¹² Im Rahmen von APS-Systemen wird auch von globaler Verfügbarkeitsprüfung gesprochen, da die Verfügbarkeit in der Regel über die gesamte Supply Chain abgeprüft wird. Man kann in diesem Zusammenhang auch von Supply Chain-übergreifender Verfügbarkeitsprüfung sprechen. Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 456.

³¹³ Kommt ein zweistufiger Auftragsbestätigungsprozess zum Einsatz, so wird im ersten Schritt ein Liefertermin als Reaktion auf eine Kundenanfrage abgeschätzt, ohne dabei eine detaillierte Produktionsplanung durchzuführen. Erst wenn sich der Kunde mit dem Termin einverstanden erklärt, wird in einem zweiten Schritt ein detaillierter Produktions- und damit Liefertermin ermittelt. Für ein Anwendungsbeispiel aus der Computerindustrie vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 452.

³¹⁴ Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 336, Günther (2005), S. 35, und Pibernik (2005), S. 242.

³¹⁵ In der Regel werden zur Bewertung der verschiedenen Lösungsalternativen Kostenkriterien herangezogen. Normalerweise wird die Alternative mit den geringsten Gesamtkosten gewählt. Vgl. Fischer (2001), S. 32.

³¹⁶ Der Prozess des „Order Promising“ lässt sich dabei in die beiden Teilaufgaben Annahmementscheidung und Lieferterminbestimmung zerlegen. Die Entscheidung über Annahme bzw. Ablehnung eines Auftrags wird auch als „Order Acceptance“ bezeichnet, während die Aufgabe der Lieferterminbestimmung im englischsprachigen Raum als „Due Date Assignment“ Verbreitung gefunden hat. Vgl. Zhao/Ball/Kotake (2005), S. 67. Alternativ wird der Prozess der Lieferterminbestimmung auch als „Due Date Determination“ oder „Due Date Quotation“ bezeichnet. Vgl. Framiñán/Leisten (2006), S. 6.

- Prüfungsumfang,
- Betrachtungsumfang sowie
- Berücksichtigung bereits bestätigter Aufträge.

3.3.2.1 Entscheidungsunterstützung als Differenzierungsmerkmal

Die Entscheidungsunterstützung der Verfügbarkeitsprüfung lässt sich im Hinblick auf die dem Planer zur Verfügung gestellten Informationen differenzieren. Im einfachsten Fall handelt es sich bei der Verfügbarkeitsprüfung um eine ATP-Datenbankabfrage. Dabei bleibt es dem Planer überlassen, einen Bestätigungstermin für einen spezifischen Kundenauftrag zu ermitteln.³¹⁷ Das größte Maß an Entscheidungsunterstützung bietet die Verfügbarkeitsprüfung, wenn sie in der Lage ist, verschiedene Lösungsalternativen nach vorgegebenen Kriterien selbständig zu bewerten und automatisch eine spezifische Antwort auf einen Kundenauftrag zu formulieren.³¹⁸

3.3.2.2 Prüfungsumfang als Differenzierungsmerkmal

Hinsichtlich des Ressourcenlevels kann die Verfügbarkeitsprüfung entweder auf Endprodukten oder Supply Chain-Ressourcen durchgeführt werden.³¹⁹ Da das Ressourcenlevel in der Regel von der Fertigungsstrategie abhängt, werden die verschiedenen Prüfungsmöglichkeiten im Folgenden für Lagerfertigung, auftragsspezifische Konfiguration und Auftragsfertigung untersucht.

Die Verfügbarkeitsprüfung bei **Lagerfertigung** prüft, ob ein neuer Kundenauftrag aus dem vorhandenen und frei verfügbaren Lagerbestand und dem geplanten Lagerzugang termingerecht bedient werden kann. Wird die Klassifizierung einer Supply Chain in Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsnetzwerk vorgenommen, so kann die Verfügbarkeitsprüfung bei

³¹⁷ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 456.

³¹⁸ Automatische Ermittlungen von Lieferterminen finden beispielsweise bei vielen internetbasierten Auftragsbestätigungssystemen Anwendung. Die Bestätigung kann dann automatisch über ein Internetportal oder über das ERP-System mittels EDI an die Kunden kommuniziert werden. Vgl. Dickersbach (2004), S 252.

³¹⁹ Während die klassische Verfügbarkeitsprüfung in ERP-Systemen nur die Prüfung gegen Endprodukte zulässt, erweitern „advanced“ Ansätze die Prüfung u. a. auf Rohmaterial, Halbfertigerzeugnisse, Produktionskapazitäten und Distributionskapazitäten. Vgl. Pibernik (2005), S. 241.

Lagerfertigung auch als Distributions-Verfügbarkeitsprüfung bezeichnet werden.³²⁰ Kommt eine Belieferung aus alternativen Lagerorten in Betracht, dann sind die unterschiedlichen Lösungsalternativen zu bewerten. In der Regel orientieren sich Unternehmen dabei an Kostenkriterien. In Rahmen der Lagerfertigung wird der Standort mit der geringsten Summe aus Produktions- und Transportkosten gewählt.³²¹

Bei **auftragsspezifischer Konfiguration** wird die Stückliste des eintreffenden Auftrags aufgelöst und dann das Multi-Level-ATP für alle identifizierten Komponenten geprüft. Konfigurationskapazität kann analog zu Material behandelt und in Form von Endprodukt-äquivalenten betrachtet werden.³²² Der letzte verfügbare Termin des Multi-Level-ATP bestimmt den frühest möglichen Produktionstermin des Auftrags.³²³ Nach der Auftragsbestätigung müssen die Termine des ATP-Verbrauchs synchronisiert werden, damit ATP-Mengen erst dann konsumiert werden, wenn sie tatsächlich benötigt werden. Falls verschiedene Lösungsalternativen möglich sind, werden in der Regel Kostenkriterien zur Alternativenauswahl eingesetzt. Nach Hinzurechnung der Produktionsdurchlauf- und Transportzeit kann dann ein Lieferversprechen abgegeben werden.³²⁴

Bei **Auftragsfertigung** wird die Stückliste des eintreffenden Auftrags analog zum Vorgehen bei der Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration aufgelöst und die Materialverfügbarkeit des Multi-Level-ATP für die kritischen Komponenten überprüft. Als kritische Komponenten werden solche bezeichnet, für die ein Verfügbarkeitsproblem im Hinblick auf die Erfüllung der Kundenwunschtermine erwartet wird. Der Kapazitätscheck kann analog zum Materialcheck gegen Multi-Level-ATP durchgeführt werden, wenn sich die Kapazität in Endproduktäquivalenten abbilden lässt. Dadurch, dass die Verfügbarkeitsprüfung dabei nicht in die Produktionsplanung eingreift, sondern nur deren Verfügbarkeitsinformationen nutzt, lässt sich dieses Vorgehen auch als passive Produktionsplanungsinteraktion bezeichnen.³²⁵ Alternativ

³²⁰ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 456. Während bei der statischen Betrachtung nur physisch vorhandene Bestände überprüft werden, erfolgt bei der dynamischen Betrachtungsweise auch die Berücksichtigung geplanter Zu- und Abgänge. Vgl. Knölmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 132.

³²¹ Vgl. Fischer (2001), S. 32.

³²² Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 185.

³²³ Vgl. Dickersbach (2004), S. 284.

³²⁴ Vgl. Dickersbach (2004), S. 285 f.

³²⁵ Vgl. Pibernik (2005), S. 242.

wird der Auftrag an das Produktionsplanungsmodul übergeben.³²⁶ Im Rahmen dieses als Capable-to-Promise (CTP) bezeichneten Konzeptes erfolgt die Lieferterminbestimmung durch das Einfügen eines neuen Fertigungsauftrags in die vorliegende Produktionsplanung.³²⁷ Aufgrund der Möglichkeit der Beeinflussung des Produktionsplans kann CTP auch als aktive Produktionsplanungsinteraktion bezeichnet werden.³²⁸ Dadurch, dass sowohl Material- als auch Kapazitätsverfügbarkeit geprüft werden, hat der zugesagte Liefertermin in der Regel eine hohe Qualität. Capable-to-Promise birgt aber die Gefahr, kein optimales Produktionsprogramm zu liefern, da in der Regel nur jeweils ein einzelner Auftrag geplant und dieser nicht im Kontext mit allen anderen Aufträgen gemeinsam betrachtet wird.³²⁹

Die Verfügbarkeitsprüfung bei auftragsspezifischer Konfiguration und Auftragsfertigung kann je nach Ausprägung Aspekte der Produktions- und der Beschaffungsplanung umfassen. Die Produktionsverfügbarkeitsprüfung umfasst die Prüfung von Produktion und Distribution. Bei der Beschaffungsverfügbarkeitsprüfung werden zusätzlich noch Lieferanten eingebunden.³³⁰ Dabei ist festzuhalten, dass der zunehmende Prüfungsumfang zu genaueren Ergebnissen führt, dies aber auch mit einer höheren Komplexität verbunden ist.³³¹ Ein zusätzlicher Aspekt ist die Unterscheidung zwischen standortbezogener und standortübergreifender Prüfung. Eine nur für einen Standort durchgeführte Verfügbarkeitsprüfung wird auch als lokale Verfügbarkeitsprüfung bezeichnet.³³² Die Suche über alle Werke hinweg entspricht einer globalen Verfügbarkeitsprüfung.³³³

Die Verfügbarkeitsprüfung über mehrere Standorte hinweg nach Endprodukten oder Supply Chain-Ressourcen kann auch als interne Flexibilität bezeichnet werden, da dabei keine

³²⁶ Dies wird in der Regel bei mehrstufigen, komplexen Produktionsprozessen notwendig. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 185.

³²⁷ Bei mehrstufiger Fertigung werden alle untergeordneten Prozesse mitbetrachtet. Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 336, und Günther (2005), S. 35.

³²⁸ Vgl. Pibernik (2005), S. 242.

³²⁹ Die CTP-Strategie hat dabei Ähnlichkeit mit einem Greedy-Algorithmus und kann aus Gesamtsicht suboptimale Ergebnisse liefern. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 185.

³³⁰ In diesem Zusammenhang kann zwischen „Make-ATP“, „Distribution-ATP“ und „Supply Chain-ATP“ unterschieden werden. Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 456.

³³¹ Vgl. Pibernik (2005), S. 243.

³³² ERP-Systeme decken in der Regel die lokale Verfügbarkeitsprüfung ab. Vgl. Dickersbach (2003), S. 251, und Pibernik (2005), S. 241.

³³³ Vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 135. Insgesamt bleibt festzuhalten, dass der Prüfungsumfang starke Interdependenzen mit der Fertigungsstrategie und den entsprechenden Auftragsentkopplungspunkten aufweist. Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 456.

Interaktion mit den Kunden notwendig ist. Aus Kundensicht sind die unternehmensinternen Abläufe irrelevant, da lediglich der zugesagte Liefertermin von Interesse ist. Demgegenüber lassen sich Alternativen der externen Flexibilität abgrenzen, bei denen eine Abstimmung mit den Kunden notwendig wird, da deren ursprüngliche Leistungsanfrage nicht in allen Dimensionen (Art, Menge, Termin) erfüllt werden kann. Zur externen Flexibilität zählt die Produkt-, Volumen-, Lieferungs- und Preisflexibilität.³³⁴

3.3.2.3 Betrachtungsumfang als Differenzierungsmerkmal

Im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung lassen sich hinsichtlich des Betrachtungszeitraums der Aufträge zwei Ansätze unterscheiden:³³⁵

- Echtzeitverfügbarkeitsprüfung und
- Verfügbarkeitsprüfung im Batch-Modus.

Bei der Verfügbarkeitsprüfung in Echtzeit wird die Verfügbarkeitsprüfung durch jeden neu eintreffenden Kundenauftrag ausgelöst.³³⁶ Dabei lassen sich zwei Anwendungsfälle unterscheiden. Im ersten Fall erwartet der Kunde eine sofortige Antwort auf seine Anfrage und das Unternehmen im Gegenzug eine sofortige Bestätigung des dem Kunden angebotenen Liefertermins. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Kundenauftrag verloren geht, wenn kein unmittelbares Lieferterminangebot des Unternehmens erfolgt. Im Gegenzug verliert der vorgeschlagene Liefertermin seine Gültigkeit, wenn der Kunde nicht auf das Angebot reagiert. In diesem Anwendungsfall ist im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung auch eine detaillierte Produktionsterminermittlung sinnvoll, da ein möglichst genauer Liefertermin zu ermitteln ist. Wird dagegen im zweiten Fall vom Kunden eine unmittelbare Rückmeldung auf seine Anfrage erwartet, während das Unternehmen keine direkte Annahme bzw. Ablehnung seines Angebotes durch den Kunden erwartet, verliert die im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung durchgeführte detaillierte Produktionsterminermittlung schnell ihre Gültigkeit, da sich die Systemzustände in

³³⁴ Da Produkt-, Volumen- und Lieferungsflexibilität Elemente der Fehlmengenverteilung beinhalten, werden sie in Abschnitt II.3.4.3.3 wieder aufgegriffen.

³³⁵ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 456, und Pibernik (2005), S. 242.

³³⁶ Vgl. Chen/Zhao/Ball (2002), S. 425, und Meyr (2005a), S. 2.

der Produktion mit fortschreitender Zeit verändern.³³⁷ In diesem Fall scheint eine genaue Produktionsterminermittlung erst sinnvoll, wenn eine verbindliche Kundenbestätigung vorliegt.³³⁸ Im weiteren Verlauf der Arbeit wird unter Echtzeitverfügbarkeitsprüfung der erste Anwendungsfall verstanden. Somit steht zum Prüfungs- bzw. Entscheidungszeitpunkt nur ein einzelner Auftrag zu Verfügung, da direkt nach dem Eintreffen eines Auftrags der Prozess der Verfügbarkeitsprüfung ausgelöst wird.³³⁹ Dem Vorteil einer kurzen Bestätigungszeit steht allerdings der Nachteil entgegen, dass im Fehlmengenfall mehrere Aufträge nicht hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit miteinander verglichen werden können. Das erzielte Ergebnis hängt somit direkt von der Ankunfts- bzw. Eintreffreihenfolge der Aufträge ab. Um eine Verfügbarkeitsprüfung in Echtzeit bei gleichzeitiger Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zu ermöglichen, werden Verfahren zur Fehlmengenverteilung mit Antizipation eingesetzt.³⁴⁰

Im Rahmen der Batch-Verfügbarkeitsprüfung werden Aufträge über einen bestimmten Zeitraum hinweg gesammelt.³⁴¹ Die Verfügbarkeitsprüfung wird am Ende dieses Zeitraums für alle innerhalb des Intervalls gesammelten Aufträge gleichzeitig durchgeführt. Die Länge des Batching-Intervalls hängt dabei von der jeweiligen Anwendungssituation ab und wird meistens durch die am Markt durchsetzbaren Bestätigungszeiten bestimmt. Der Vorteil besteht darin, dass zum Entscheidungszeitpunkt mehrere Aufträge simultan betrachtet werden können, die in der Regel um die gleichen Ressourcen konkurrieren.³⁴² So können im Gegensatz zur First-Come-First-Served-Bestätigungslogik im Fehlmengenfall bessere Ergebnisse erzielt werden, da durch die simultane Betrachtung mehrerer Aufträge die Unsicherheit im Entscheidungszeitpunkt reduziert wird. Diesem Vorteil steht der Nachteil der längeren Bestätigungszeiten gegenüber.

3.3.2.4 Berücksichtigung bestätigter Aufträge als Differenzierungsmerkmal

Da die Verfügbarkeitsprüfung auf die Ergebnisse der ATP-Mengenberechnung zugreift, stehen ihr die gegen die bereits bestätigten Aufträge konsolidierten Ressourcenmengen zur Verfügung. Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass die Liefertermine bereits bestätigter Aufträge nicht

³³⁷ Während der erste Anwendungsfall auch als „Real-Time Process“ bezeichnet wird, kann der zweite als „Real-Time Quotation“ verstanden werden. Vgl. Framiñán/Leisten (2006), S. 8.

³³⁸ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 452 ff.

³³⁹ Diese Art der Verfügbarkeitsprüfung wird auch als „First-Come-First-Served“ bezeichnet. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 187.

³⁴⁰ Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 186 f., und Abschnitt II.3.4.4.3.

³⁴¹ Dieser Zeitraum wird als „Batching-Intervall“ bezeichnet. Vgl. Chen/Zhao/Ball (2001), S. 484.

³⁴² Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 456.

aufgrund neu eintreffender Kundenaufträge verschoben werden dürfen. Als Folge der konsolidierten Verfügbarkeitsinformationen werden auch die Produktionstermine als nicht veränderbar betrachtet. Diese Annahme kann in verschiedenen Abstufungen relaxiert werden. Auf der einen Seite kann unter der Bedingung der Einhaltung bestätigter Liefertermine die Veränderung der Reihenfolgeplanung zugelassen werden, wodurch sich die Flexibilität im Bereich der Produktionsplanung erhöht. Darüber hinaus können obere und untere Schranken für die Liefertermine der bereits bestätigten Aufträge berücksichtigt werden, innerhalb derer die Termine variiert werden können.³⁴³ Die stärkste Relaxation der Annahme besteht darin, dass sowohl Liefertermine als auch Produktionstermine variiert werden können.³⁴⁴

In der Praxis ist davon auszugehen, dass aus Unternehmenssicht nicht allen bereits bestätigten Aufträgen die gleiche Bedeutung beigemessen wird.³⁴⁵ Darüber hinaus können Aufträge, mit deren Bearbeitung bereits gestartet wurde, nicht ohne weiteres verschoben werden.

3.3.3 Ansätze der Verfügbarkeitsprüfung

Während die Erweiterung der klassischen Auftragsbestätigungs- bzw. Verfügbarkeitsprüfungsansätze im Hinblick auf Funktionsumfang und Anspruch in zahlreichen Publikationen gefordert wird,³⁴⁶ finden sich in der Literatur nur wenige Veröffentlichungen, die sich mit neuen bzw. erweiterten Ansätzen zur Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung beschäftigen.³⁴⁷ Die in Theorie und Praxis bekannten Verfahren lassen sich in drei Gruppen einteilen, die im Folgenden näher erläutert werden:

- Konventionelle Verfügbarkeitsprüfung,
- regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung und
- optimierende Verfügbarkeitsprüfung.

³⁴³ Dabei können als „Upper Bounds“ und „Lower Bounds“ bezeichnete Grenzen sowohl für Termine als auch für Mengen festgelegt werden. Vgl. Chen/Zhao/Ball (2001), S. 482. Durch die obere Termingrenze wird sichergestellt, dass Aufträge nur innerhalb der für Kunden akzeptablen Zeitperioden verschoben werden. Vgl. Framiñán/Leisten (2006), S. 12.

³⁴⁴ Die Verschiebung von bestätigten Aufträgen wird dabei in der Regel mit höheren Strafkosten bewertet als die Verschiebung neu eintreffender Aufträge. Vgl. Zhao/Ball/Kotake (2005), S. 75.

³⁴⁵ Für einen Ansatz zur Berechnung auftragspezifischer Verspätungskosten vgl. Abschnitt III.3.3.3.

³⁴⁶ Vgl. Lee/Billington (1995), S. 43 ff., Zweben (1996), S. 1 f., Fordyce/Sullivan (1999), S. 18 f., und Robinson/Dilts (1999), S. 30 f.

³⁴⁷ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 447 ff., Pibernik (2005), S. 239 ff., und Chen/Zhao/Ball (2002), S. 424 ff.

3.3.3.1 Konventionelle Verfügbarkeitsprüfung

Bei der konventionellen Verfügbarkeitsprüfung handelt es sich um eine einfache Datenbankabfrage, die auf der klassischen ATP-Berechnungslogik beruht.³⁴⁸ Drei Ansätze der konventionellen Verfügbarkeitsprüfung, die sich hinsichtlich der Berechnungslogik der ATP-Mengen unterscheiden, werden im Folgenden näher erläutert:³⁴⁹

- Diskrete ATP-Berechnung,
- kumulative ATP-Berechnung ohne Vorschau und
- kumulative ATP-Berechnung mit Vorschau.

Bei der diskreten ATP-Berechnung wird die verfügbare Menge der ersten Periode als Summe aus dem Anfangslagerbestand und den für die erste Periode geplanten Zugängen abzüglich der im ersten Intervall geplanten Abgänge berechnet.³⁵⁰ Bei der Berechnung der restlichen Perioden wird zwischen zwei Fällen unterschieden. Ist für eine Periode kein Zugang geplant, so wird die diskrete ATP-Menge in diesem Zeitraum auf 0 gesetzt. Ist dagegen ein Zugang geplant, dann errechnet sich die ATP-Menge einer Periode als Differenz der Zugänge der Periode und Abgänge des Intervalls.

Bei der kumulativen Berechnung ohne Vorschau werden im Gegensatz zur diskreten ATP-Berechnung Mengen aus Vorperioden berücksichtigt, allerdings findet keine Berücksichtigung von Folgeperioden statt. Deshalb ist diese Methode für den Praxiseinsatz ungeeignet, da Mengen als verfügbar angegeben werden, obwohl sie für Folgeperioden bereits verplant sind.³⁵¹

Als Verbesserung der kumulativen ATP-Berechnung ohne Vorschau werden bei der Berechnung mit Vorschau bereits verplante Mengen in früheren Perioden nicht mehr ausgewiesen. Negative ATP-Mengen sind nicht erlaubt, sondern reduzieren frühere ATP-Mengen, um Fehlmengen zu kompensieren.³⁵² Während die kumulierte ATP-Menge mit

³⁴⁸ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 450.

³⁴⁹ Vgl. Fogarty/Blackstone/Hoffmann (1991), S. 139 ff., Fogarty/Barringer (1984), S. 153 ff., und Ball/Chen/Zhao (2004), S. 450. Fischer stellt einen alternativen Berechnungsalgorithmus für die kumulative ATP-Berechnung mit Vorschau vor. Vgl. Fischer (2001), S. 78.

³⁵⁰ Ein Intervall wird dabei als die Zeitperiode bis zum nächsten Zugang aus dem Master Production Schedule (MPS) interpretiert. Vgl. Fischer (2001), S. 74.

³⁵¹ Vgl. Fogarty/Blackstone/Hoffmann (1991), S. 141.

³⁵² Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 450.

Vorschau nach jeder Liefertermin-vergabe neu berechnet werden muss, ist dies für die diskrete ATP-Menge nicht der Fall.³⁵³ Tabelle 5 zeigt beispielhaft die Ergebnisse für die Berechnung der ATP-Mengen nach dem diskreten Verfahren und nach dem kumulierten Verfahren mit Vorschau.³⁵⁴ Während die ATP-Information mit Vorschau für jede Periode direkt zu interpretieren ist, bedarf die diskrete ATP-Menge der Erläuterung der zugrundeliegenden Berechnungslogik.

Periode	0	1	2	3	4	5	6
Anfangslagerbestand	100						
Geplante Zugänge		0	0	0	200	100	50
Geplante Abgänge		0	20	35	50	80	30
Diskrete ATP-Menge		45	0	0	150	20	20
ATP-Menge mit Vorschau		45	45	45	195	215	235

Tabelle 5: Vergleich zwischen diskreter und kumulativer ATP-Berechnung mit Vorschau

3.3.3.2 Regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung

Die regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung kommt in den Demand Fulfillment-Modulen der gängigen APS-Systeme zum Einsatz.³⁵⁵ Dabei werden die im Rahmen der Teilaufgabe der ATP-Berechnung gebildeten ATP-Mengen nach bestimmten Regeln überprüft, um eine Aussage über die Erfüllbarkeit eines Kundenauftrags treffen zu können.³⁵⁶ In Abhängigkeit von der zum Einsatz kommenden Fertigungsstrategie werden dabei entweder Endprodukte, Halbfertigprodukte oder Rohmaterialien in Verbindung mit den zur Produktion notwendigen Kapazitäten

³⁵³ Vgl. Fischer (2001), S. 74.

³⁵⁴ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 450. Für weiterführende Beispiele zu den drei Methoden vgl. Fischer (2001), S. 72 ff.

³⁵⁵ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 454. Zur regelbasierten Verfügbarkeitsprüfung bei i2 Technologies vgl. Kilger/Schneeweiss (2005), S. 194 f., und i2 (2005), S. 15 ff. Für die regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung bei SAP APO vgl. Dickersbach (2004), S. 268 ff.

³⁵⁶ Neben der Implementierung in gängigen Softwarepaketen existieren auch einzelne Veröffentlichungen zu regelbasierten Ansätzen. So entwickeln TAYLOR und PLENERT beispielsweise einen regelbasierten Ansatz zur Bestimmung freier Mengen, den sie als „Finite Capacity Promising“ bezeichnen. Vgl. Taylor/Plenert (1999), S. 50 ff. JEONG, SIM und KIM entwickeln einen regelbasierten Ansatz zur Annahme von Aufträgen am Beispiel von TFT-Displays. Dabei werden mehrere Produktionsstandorte und Distributionszentren berücksichtigt, weshalb die Transportzeiten zwischen den Standorten bei der Lieferterminermittlung zu beachten sind. Vgl. Jeong/Sim/Kim (2002), S. 195 ff.

abgeprüft. Im Hinblick auf die Materialverfügbarkeit bestimmt der späteste Verfügbarkeitstermin einer Komponente die Verfügbarkeit des Gesamtproduktes.

Da die regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung bereits Elemente der Fehlmengenverteilung enthält, die in Abschnitt II.3.4 näher erläutert werden, wird im Folgenden ein einfaches Beispiel für die regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung bei Lagerfertigung gegeben. Tabelle 6 zeigt die Ausgangslage der pro Standort und Periode verfügbaren ATP-Menge. Als Prüfredel wird zuerst nach ATP in Standort A, dann in Standort B und abschließend in Standort C gesucht. Innerhalb eines Standortes wird zuerst in der gewünschten Periode und dann in zeitlich vorgelagerten Perioden gesucht. Ein Auftrag darf dabei nur aus einem Standort beliefert werden. Diese Prüfredeln führen für einen eintreffenden Auftrag mit Wunschmenge 100 Stück und Wunschtermin in Periode 5 zur Bestätigung aus Standort C (80 Stück in Periode 5 und 20 Stück in Periode 3). Kostengesichtspunkte werden bei diesem Verfahren nur implizit über die hinterlegten Regeln berücksichtigt.

Periode	1	2	3	4	5	6	7
Auftragswunschmenge					100		
ATP Standort A	10	0	0	0	30	0	10
ATP Standort B	0	10	10	20	50	20	20
ATP Standort C	20	20	20	30	80	30	10

Tabelle 6: Beispielhafte diskrete ATP-Mengen für verschiedene Standorte und Perioden

3.3.3.3 Optimierende Verfahren

Die optimierenden Verfahren der Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung ordnen mithilfe gemischt-ganzzahliger Modellformulierungen den eintreffenden Kundenaufträgen die verfügbaren Ressourcenmengen kostenminimal zu.³⁵⁷ In der Zielfunktion werden dabei tatsächliche Kosten in Form von Bestands-, Transport- und Lagerkosten und fiktive Kosten in Form von Strafkosten für verspätete Liefertermine und Kapazitätsunterauslastung im Rahmen

³⁵⁷ Im Rahmen der Lagerfertigung handelt es sich um Zuordnungsprobleme der Aufträge zu den erwarteten Zugängen auf Endproduktebene, während bei Konfiguration und Auftragsfertigung die Ressourcen in Form von Material- und Kapazitätsverfügbarkeit zu den Aufträgen zugeordnet werden. Für Beispiele zur Lagerfertigung vgl. Fischer (2001), S. 155 ff., Fleischmann/Meyer (2003a), S. 311 ff., und Pibernik (2005), S. 244 ff. Für Konfigurationsansätze vgl. Chen/Zhao/Ball (2001), S. 480 ff., Ball/Chen/Zhao (2004), S. 473 ff., und Zhao/Ball/Kotake (2005), S. 65 ff.

eines mehrperiodigen Zuordnungsproblems entweder minimiert oder die entsprechenden Periodenerlöse maximiert.³⁵⁸ Bei den Zuordnungsproblemen der Lagerfertigung finden sogenannte Eignungskoeffizienten Anwendung, über die die Eignung zur Erfüllung eines Kundenauftrags aus vorhandenem Lagerbestand in Abhängigkeit von der Erfüllungsperiode ausgedrückt wird. Bei den optimierenden Ansätzen für die Fertigungsstrategie der Konfiguration werden die Kosten explizit in der Zielfunktion erfasst.³⁵⁹

Die Ansätze zur Lagerfertigung legen auf Basis der erwarteten Produktionsmengen einen Lieferplan für die betrachteten Aufträge fest. Darüber hinaus ermitteln die Ansätze der auftragspezifischen Konfiguration neben einem Lieferplan auch den diesem zugrundeliegenden Produktionsplan.³⁶⁰ Zieht man die Unterscheidung zwischen exogenen und endogenen Ansätzen nach Cheng und Gupta heran,³⁶¹ so lassen sich die analysierten gemischt-ganzzahligen Ansätze den endogenen zurechnen, die Produktionstermine unter Berücksichtigung des Systemzustands festlegen.³⁶² Die optimierenden Verfahren zur Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung basieren oftmals auf der zentralen Annahme, dass Kundenaufträge über einen bestimmten Zeitraum hinweg gesammelt werden können und somit zum Entscheidungszeitpunkt mehrere Aufträge vorliegen.³⁶³ Numerische Untersuchungen zeigen gute Ergebnisse für ausreichend große Batching-Intervalle.³⁶⁴ Kleinere Batching-Intervalle bzw. die Ansätze der Echtzeitbestätigung können aufgrund ihrer Greedy-Charakteristik allerdings aus Gesamtunternehmenssicht zu suboptimalen Ergebnissen führen.³⁶⁵ Somit hängt

³⁵⁸ Für Formulierungen mit Erlösmaximierung vgl. Chen/Zhao/Ball (2001), S. 481, und Pibernik (2005), S. 245, für entsprechende Beispiele mit Kostenminimierung vgl. Zhao/Ball (2005), S. 16, und Xiong et al. (2002), S. 2.

³⁵⁹ Für die beispielhafte Berechnung von Eignungskoeffizienten vgl. Fischer (2001), S. 159 ff. Für die Struktur der Zielfunktion bei Konfiguration vgl. beispielsweise Zhao/Ball (2005), S. 16 ff.

³⁶⁰ Vgl. Chen/Zhao/Ball (2002), S. 427. Somit beinhalten die Modelle Elemente der Reihenfolgeplanung in der Produktion. Für die Produktionsterminermittlung können verschiedene Ansätze von Zuordnungsregeln oder Kontrollmethoden zum Einsatz kommen. Vgl. McFeely et al. (1997), S. 72 ff., Hopp/Sturgis (2000), S. S 771 ff., Duenyas/Hopp (1995), S. 43 ff., und die darin angegebene Literatur.

³⁶¹ Während exogene Termine von außen vorgegeben werden, werden die Termine bei endogenen Methoden im Rahmen der Terminsetzung ermittelt. Vgl. Cheng/Gupta (1989), S. 157 ff.

³⁶² Vgl. beispielsweise Chen/Zhao/Ball (2001), S. 477 ff., und Chen/Zhao/Ball (2002), S. 427.

³⁶³ Dieser Zeitraum wird als „Batching-Intervall“ bezeichnet. Vgl. Chen/Zhao/Ball (2002), S. 425, und Pibernik (2005), S. 241. Der gleiche Effekt stellt sich ein, wenn bereits bestätigte Aufträge zur Neubestätigung freigegeben werden, sich also die Anzahl der gleichzeitig zu betrachtenden Aufträge erhöht. Vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 132.

³⁶⁴ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 478, und Chen/Zhao/Ball (2002), S. 436 f.

³⁶⁵ Vgl. Chen/Zhao/Ball (2001), S. 484.

der Erfolg der optimierenden Verfahren auch von den Rahmenbedingungen hinsichtlich der von den Kunden erwarteten Auftragsbestätigungszeiten ab. Tabelle 7 fasst die identifizierten optimierenden Verfügbarkeitsprüfungsansätze zusammen.

Autor	Jahr	Strategie	Zusammenfassung
Chen/Zhao/Ball	2001	Konfiguration	Gemischt-ganzzahliger Ansatz zur Ermittlung von Lieferterminen und Liefermengen, numerische Untersuchungen an einem Beispiel der PC-Konfiguration
Fischer	2001	Lagerfertigung	Gemischt-ganzzahliger Zuordnungsansatz mithilfe von Eignungskoeffizienten, numerische Untersuchungen am Beispiel eines Praxisfalls aus der elektrotechnischen Industrie
Chen/Zhao/Ball	2002	Konfiguration	Gemischt-ganzzahliger Ansatz zur Ermittlung von Lieferterminen, Berücksichtigung von alternativen Stücklisten, numerische Untersuchungen an einem Beispiel eines Praxisfalls der Festplattenproduktion
Fleischmann/Meyr	2003	Lagerfertigung/ Konfiguration/ Auftragsfertigung	Gemischt-ganzzahlige Zuordnungsansätze und diverse Modellerweiterungen für Lagerfertigung, Konfiguration und Auftragsfertigung, keine numerischen Untersuchungen
Ball/Chen/Zhao	2004	Konfiguration	Gemischt-ganzzahliger Ansatz zur Bestimmung von Liefer- und Produktionsterminen, numerische Untersuchungen am Beispiel von Simulationsdaten
Pibernik	2005	Lagerfertigung	Gemischt-ganzzahliger Ansatz zur Bestimmung von Liefer- und Produktionsterminen, Zulassung zweier Teillieferungen, keine numerischen Untersuchungen
Zhao/Ball	2005	Konfiguration	Gemischt-ganzzahliger Ansatz zur Ermittlung von Liefer- und Produktionsterminen, numerische Untersuchungen an einem Beispiel aus der Computerindustrie
Zhao/Ball/Kotake	2005	Konfiguration	Gemischt-ganzzahliger Ansatz zur Ermittlung von Liefer- und Produktionsterminen, numerische Untersuchungen an einem Beispiel aus der Elektronikindustrie
Xiong et al.	2006	Konfiguration	Gemischt-ganzzahliger Ansatz zur Ermittlung von Lieferterminen für kurzfristig eintreffende Aufträge, keine numerischen Untersuchungen

Tabelle 7: Übersicht über optimierende Verfügbarkeitsprüfungsansätze

3.4 Fehlmengenverteilung

Maßnahmen zur Fehlmengenverteilung³⁶⁶ werden dann notwendig, wenn der Zustand der temporären Lieferunfähigkeit eintritt, d. h. wenn die verfügbaren Ressourcen nicht ausreichen, Aufträge wie zugesagt (für bereits bestätigte) oder wie gewünscht (für neue eintreffende Aufträge) zu erfüllen.³⁶⁷ Dabei können drei Situationen der Fehlmengenverteilung unterschieden werden:³⁶⁸

- Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung (Abschnitt II.3.4.2),
- Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme ohne Antizipation (Abschnitt II.3.4.3) sowie
- Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation (Abschnitt II.3.4.4).

Ziel dieses Abschnittes ist die Analyse der zur Fehlmengenverteilung im Rahmen des Demand Fulfillments existierenden Verfahren im Hinblick auf ihre Eignung zur Aufgabenerfüllung. Hierzu werden zuerst die Auswirkungen auf Kunden, die durch das Auftreten von Fehlmengen entstehen können, anhand eines Fehlmengenmodells analysiert. Anschließend werden die drei Fehlmengensituationen im Hinblick auf ihre betriebswirtschaftlichen Planungsaufgaben und die in Theorie und Praxis bekannten Lösungsverfahren untersucht. Abschließend folgen die kritische Bewertung der Verfahren und die Herausarbeitung von Defiziten.

3.4.1 Auswirkungen von Fehlmengen

Ziel des Demand Fulfillments ist es sicherzustellen, dass ein gegebener Bedarf an Gütern in seiner mengenmäßigen, qualitativen, zeitlichen und räumlichen Dimension entsprechend dem Anforderungsprofil des Bedarfsträgers befriedigt wird.³⁶⁹ Eine „falsche“ Aufgabenerfüllung kann dabei zwei unterschiedliche Ursachen haben. Auf der einen Seite kann der Bedarf durch eine unnötige Überschreitung des Anforderungsprofils übererfüllt werden, auf der anderen Seite führt eine Unterschreitung des Anforderungsprofils in einer beliebigen Dimension dazu, dass die

³⁶⁶ Die Fehlmengenverteilung wird im englischsprachigen Raum als „Shortage Planning“ bezeichnet. Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 309.

³⁶⁷ Ist ein bestimmtes Produkt zum gewünschten Zeitpunkt in der gewünschten Menge nicht verfügbar, kann dem Kunden beispielsweise ein Ersatzprodukt angeboten werden. Alternativ können die Menge und der Termin variiert werden. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 193.

³⁶⁸ Diese drei Varianten der Fehlmengerverteilungen wurden bereits in Abschnitt II.3 in den Kontext des Demand Fulfillments eingeordnet und werden im Folgenden detailliert beschrieben.

³⁶⁹ Neben Sachgütern kann es sich auch um einen Bedarf an Dienstleistungen handeln. Vgl. Reutersberg (1985), S. 159 ff., und Pfohl (2003), S. 35.

Nachfrage nicht in all ihren Merkmalen vollständig gedeckt werden kann.³⁷⁰ Eine solche Situation der Untererfüllung des Anforderungsprofils wird in der Literatur als Vorliegen einer Fehlmenge verstanden.³⁷¹ Trotz des Begriffes Fehlmenge und der damit verbundenen begrifflichen Hervorhebung der Mengenkomponekte bezieht sich der Begriff auch auf die qualitative, zeitliche und räumliche Dimension der Leistungserfüllung.³⁷² Dabei ist zwischen zwei Arten von Fehlmengen zu differenzieren. Zum einen wird von Verzugsmenge bzw. nachlieferbarer Fehlmenge gesprochen, falls die gewünschte Menge zu einem späteren Zeitpunkt nachgeliefert werden kann.³⁷³ Auf der anderen Seite wird von Verlustmenge³⁷⁴ gesprochen, wenn ein Auftrag und damit auch der entsprechende Umsatz im Fehlmengenfall verloren geht.³⁷⁵

Fehlmengenkosten³⁷⁶ lassen sich somit als Sammelbegriff für erfolgswirtschaftliche Konsequenzen unzureichender logistischer Aufgabenerfüllung definieren, die aufgrund von Unterschreitungen einzelner oder mehrerer Elemente des vom jeweiligen Kunden geforderten Anforderungsprofils entstehen.³⁷⁷ Auf der einen Seite kann der Fehlmengensituation dadurch begegnet werden, dass der Mangel komplett beseitigt wird.³⁷⁸ Aufgrund der Abweichung vom

³⁷⁰ Eine Überschreitung des Anforderungsprofils, beispielsweise durch Übererfüllung der Qualitätsanforderungen, führt ggf. zu einer unwirtschaftlichen Ressourcennutzung. Vgl. Weber (1987), S. 13.

³⁷¹ Vgl. Alscher/Schneider (1982), S. 257, Walters (1974), S. 36 f., und Schmid (1977), S. 16. In der englischsprachigen Literatur wird auch von „Stock Out“ und „Stock Depletion“ gesprochen. Vgl. Chang/Niland (1965), S. 427, und Miklas (1979), S. 213. Fehlmengen können analog zur finanziellen Illiquidität eines Unternehmens als materielle Illiquidität bezeichnet werden. Vgl. Schmid (1977), S. 17.

³⁷² Schließlich besteht die Zielsetzung nicht nur darin, den Kunden mit der richtigen Menge eines Produktes zu versorgen, sondern diese auch im richtigen Zustand zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereitzustellen. Vgl. Dietel (1997), S. 122.

³⁷³ In der englischsprachigen Literatur wird im Zusammenhang mit Verzugs Mengen von „Back Ordering“ bzw. „Backlog“ gesprochen. Vgl. Chang/Niland (1965), S. 430.

³⁷⁴ Verlustmengen werden auch als „Lost Sales“ bezeichnet. Vgl. Silver/Peterson (1985), S. 253 f., und Miklas (1979), S. 216.

³⁷⁵ Vgl. Domschke/Scholl/Voß (1997), S. 67, und Silver/Peterson (1985), S. 253 f.

³⁷⁶ Im deutschsprachigen Raum werden auch die Begriffe Mangelkosten, Kosten der Lieferunfähigkeit und Kosten der materiellen Illiquidität gebraucht, während Fehlmengenkosten im englischsprachigen Raum unter den Begriffen „Shortage Costs“, „Stock Out Costs“ und „Stock Depletion Costs“ bekannt sind. Vgl. Klemm/Mikut (1972), S. 22, und Schmid (1977), S. 19.

³⁷⁷ Vgl. Weber (1987), S. 13, und Schmid (1977), S. 16 f.

³⁷⁸ Wird ein Produkt beispielsweise zu spät fertig gestellt, um es termingerecht per Seefracht zu einem Kunden zu transportieren, kann ggf. der ursprüngliche Termin durch den Einsatz von mit höheren Kosten verbundener Luftfracht eingehalten werden. Solche vollständigen Korrekturen sind immer dann möglich, wenn die drohenden Fehlmengen frühzeitig bekannt werden. Vgl. Weber (1987), S. 13 f.

normalen Geschäftsbetrieb entstehen in diesem Zusammenhang zusätzliche Kosten, zu denen beispielsweise Sondertransport- oder Expresslieferungskosten zählen. Auf der anderen Seite entstehen Kosten durch den bewussten oder zwangsläufigen Verzicht auf einen vollständigen Ausgleich der Untererfüllung eines Auftrags. Dazu gehören neben dem Verlust von Deckungsbeiträgen entgangener Aufträge die Kosten des Goodwill-Verlustes und ggf. Strafkosten, die beispielsweise aufgrund von Schadenersatzforderungen oder vertraglich vereinbarter Konventionalstrafen zu zahlen sind.³⁷⁹

Ein in der betriebswirtschaftlichen Literatur häufig verwendeter Ansatz zur Bestimmung mengen- bzw. wertmäßiger Auswirkungen von Fehlmengen auf die Nachfrage bzw. auf das Kundenverhalten ist das sogenannte Fehlmengenmodell.³⁸⁰ Bei diesem Ansatz wird versucht, Auswirkungen von Fehlmengen zu klassifizieren und die daraus entstehenden Folgen kostenmäßig zu bewerten. Die Bewertung gestaltet sich dabei schwierig, da die Kundenreaktionen auf der einen Seite von einer ganzen Reihe von Faktoren abhängen können und der zukünftige Rückgang bzw. Ausfall der Nachfrage und deren kostenmäßige Bewertung auf der anderen Seite nur schwer geschätzt werden können.³⁸¹ Abbildung 13 zeigt mögliche Konsequenzen für den Fall, dass eine Kundennachfrage beim Lieferanten auf eine Fehlmenge trifft. Allerdings ist dabei festzuhalten, dass die Darstellung vereinfacht ist und mögliche Reaktionen je nach Unternehmen, Produktportfolio und Industrie spezifiziert werden müssen.³⁸² Den möglichen Konsequenzen sind dabei Eintrittswahrscheinlichkeiten zuzuordnen. Im Anschluss daran wird versucht, die denkbaren Nachfrageverluste zu bewerten.³⁸³ Die Fehlmengenkosten entstehen dabei als Produkt aus der Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Fehlmengen und der Kosten bei Eintritt. Dabei lassen sich Fehlmengenkosten auf der einen

³⁷⁹ Vgl. Schmid (1977), S. 32, Alscher/Schneider (1982), S. 261, Walters (1974), S. 37, und Miklas (1979), S. 216 ff.

³⁸⁰ Für das ursprüngliche Fehlmengenmodell vgl. Chang/Niland (1967), S. 427 ff. Für auf diesem Grundmodell aufbauende Ansätze vgl. Dietel (1997), S. 124, Weber (1987), S. 13 ff., und Alscher/Schneider (1982), S. 269.

³⁸¹ Vgl. Reichheld/Sasser (1990), S. 107 f., und Dietel (1997), S. 122 f. Die kostenmäßige Erfassung des Goodwill-Verlustes, also der Konsequenzen, die sich aus der Änderung des zukünftigen Nachfrageverhaltens der Kunden ergeben, gestaltet sich dabei besonders schwierig. Vgl. Alscher/Schneider (1982), S. 268.

³⁸² Bei Spezialgütern und monopolartiger Stellung der Anbieter, wie dies beispielsweise in der Rüstungsindustrie der Fall ist, werden die Kunden in der Regel eine Verspätung akzeptieren. Bei Märkten mit zahlreichen Anbietern und geringen Wechselkosten, wie dies beispielsweise in der Lebensmittelindustrie der Fall ist, ist davon auszugehen, dass sich die Kunden im Fehlmengenfall bei anderen Anbietern versorgen. Vgl. Fischer (2001), S. 39 f.

³⁸³ Die Schätzung wird in der Regel anhand von Durchschnittswerten wie beispielsweise der durchschnittlichen Auftragsgröße durchgeführt. Vgl. Dietel (1997), S. 123.

Seite in tatsächlich auftretende Kosten und auf der anderen in zukünftig erwartete Kosten aufteilen.³⁸⁴

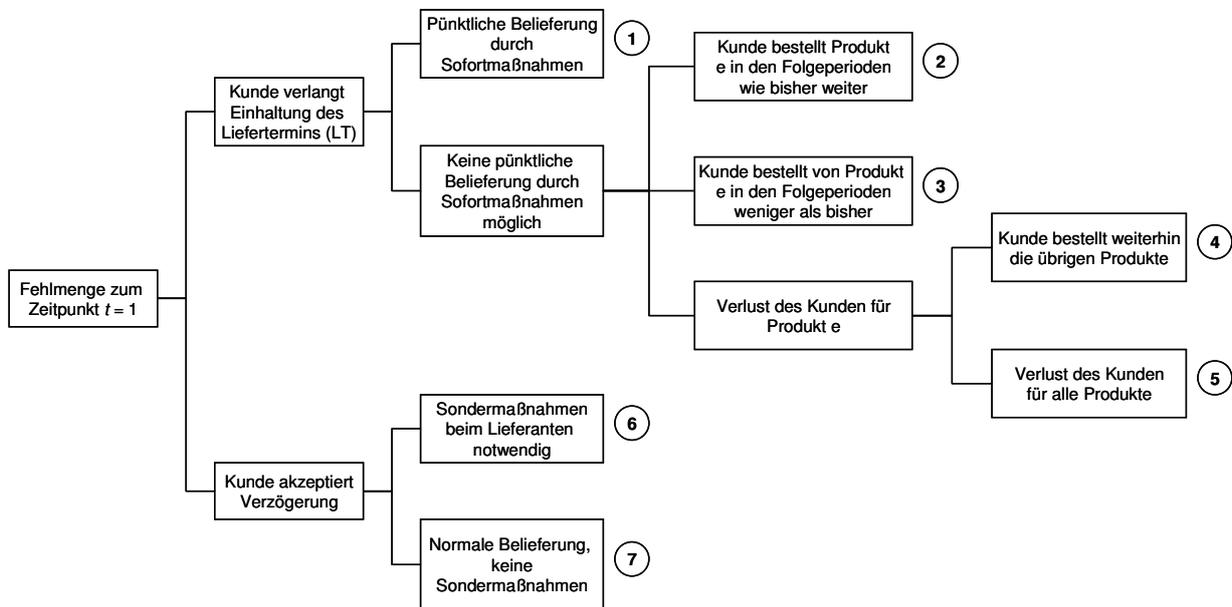


Abbildung 13: Mögliche Folgen des Auftretens von Fehlmenge³⁸⁵

In Abbildung 13 werden mögliche Kundenreaktionen auf eine zum Zeitpunkt $t = 1$ für Produkt e auftretende Fehlmenge dargestellt. Besteht der Kunde auf der Einhaltung des zugesagten Liefertermins, ist zu prüfen, ob dieser durch Sondermaßnahmen wie Eiltransporte oder das Ansetzen zusätzlicher Produktionsschichten gehalten werden kann. Ist dies der Fall, dann entstehen Fehlmengenkosten in Höhe des dadurch zusätzlich verursachten Aufwandes (Fall 1). Wenn keine pünktliche Belieferung trotz Sondermaßnahmen möglich ist und der Kunde den Auftrag storniert, hängt die Höhe der Fehlmengenkosten stark von der Abschätzung des zukünftigen Kundenverhaltens ab. Falls der Kunde in den nächsten Perioden das Produkt wie ursprünglich geplant bestellt, dann entstehen Fehlmengenkosten in Höhe des entgangenen Erlöses für Produkt e in Periode 1 (Fall 2). Falls der Kunde in Zukunft von Produkt e weniger

³⁸⁴ Zu den tatsächlich auftretenden Kosten zählen beispielsweise Mehrkosten aufgrund von Eilfrachten oder Konventionalstrafen. Vgl. Weber (1987), S. 15. Zu den zukünftigen Fehlmengenkosten zählen entgangene Deckungsbeiträge aus zukünftigen Geschäften, die Kunden als Ergebnis der Fehlmengensituation mit dem betroffenen Unternehmen nicht mehr tätigen werden. Vgl. Alscher/Schneider (1982), S. 268.

³⁸⁵ In Anlehnung an Chang/Niland (1967), S. 427 ff. Analog hierzu sehen die Auswirkungen bei Verletzung der anderen Dimensionen aus.

bestellt, entstehen Fehlmengenkosten in Höhe der zukünftig entgehenden Deckungsbeiträge für Produkt *e* (Fall 3). Wird erwartet, dass der Kunden Produkt *e* in Zukunft nicht mehr bestellt, dann hängt die Höhe der Fehlmengenkosten davon ab, ob der Kunde die anderen Produkte wie gewohnt weiter bezieht oder auch seine Nachfrage für diese reduziert. Bestellt der Kunde weiterhin die übrigen vom Unternehmen angebotenen Produkte, dann lassen sich die Fehlmengenkosten als Summe aller entgehenden Deckungsbeiträge für Produkt *e* quantifizieren (Fall 4). Bestellt der Kunde auch die anderen Produkte nicht mehr, dann setzen sich die Fehlmengenkosten aus den Deckungsbeiträgen aller in Zukunft nicht mehr an den Kunden absetzbaren Produkte zusammen (Fall 5). Falls der Kunde die Lieferverzögerung akzeptiert, ist zu prüfen, ob Sondermaßnahmen zur Behebung der Fehlmengensituation notwendig sind.³⁸⁶ Ist dies der Fall, entsprechen die Fehlmengenkosten dem durch diese Sondermaßnahmen zusätzlich entstandenen Aufwand (Fall 6). Sind keine Sondermaßnahmen notwendig, sondern kann der Kunde im Rahmen der nächsten planmäßigen Lieferung beliefert werden, entstehen somit auch keine Fehlmengenkosten (Fall 7). Dabei wird angenommen, dass sich der Kunde durch die temporären Fehlmengen in seinem zukünftigen Bestellverhalten nicht beeinflussen lässt.³⁸⁷

Abschließend lässt sich festhalten, dass Fehlmengenkosten in der Lagerhaltungstheorie meistens als gegeben vorausgesetzt werden und als Inputgröße in viele Entscheidungsmodelle eingehen, die Problematik der Abschätzung ihrer Höhe aber meistens übergangen wird.³⁸⁸ Die explizite Bestimmung der Kosten wird nur von wenigen Autoren diskutiert.³⁸⁹ Da für den Unternehmenserfolg in der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Fallstudie der mittel- und langfristige Goodwill-Verlust von größerer Bedeutung ist als die kurzfristig anfallenden Fehlmengenkosten, dieser auf der anderen Seite aber auch wesentlich schwieriger kostenmäßig zu erfassen und mit Eintrittswahrscheinlichkeiten zu bewerten ist, werden im Abschnitt III.3.3 Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten auf Basis der Kombination qualitativer und

³⁸⁶ Dieser Fall wird auch als „Back Order“ bezeichnet. Vgl. Chang/Niland (1967), S. 432.

³⁸⁷ Dies gilt unter der Annahme, dass kein Goodwill-Verlust für das Unternehmen entsteht. Vgl. Alscher/Schneider (1981), S. 181.

³⁸⁸ Vgl. Hopp/Spearman (2008), S. 67 ff., oder Klemm/Mikut (1972), S. 253 ff.

³⁸⁹ Für Ansätze zur expliziten Quantifizierung von Fehlmengenkosten vgl. Chang/Niland (1967), S. 432 ff., Schmid (1976), S. 42 ff., Walters (1974), S. 43 ff., Walter/La Londe (1975), S. 122 ff., und Miklas (1979), S. 212 ff.

quantitativer Parameter berechnet. Dabei wird auf eine explizite Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten verzichtet.³⁹⁰

3.4.2 Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung

3.4.2.1 Auftreten von Fehlmengen

Temporäre Lieferunfähigkeit im Rahmen der Auftragsüberwachung liegt vor, wenn einer oder mehrere initiale Liefertermine aufgrund einer ungeplanten Reduktion des verfügbaren Material- oder Kapazitätsangebots nicht mehr eingehalten werden können.³⁹¹ Da der zur Überwachung notwendige Abgleich zwischen Ressourcen und Aufträgen normalerweise in Abhängigkeit von der Fertigungsstrategie auf unterschiedlichen Ressourcenebenen stattfindet, wird das Auftreten von Fehlmengen im Folgenden formal für Lagerfertigung einerseits und auftragspezifischer Konfiguration und Auftragsfertigung andererseits beschrieben.³⁹²

Fehlmengen bei der **Lagerfertigung** treten auf, wenn die auf Basis des Produktionsplans erwarteten Zugänge eines Endproduktes nicht ausreichen, alle bereits versprochenen Aufträge termin- und mengengerecht zu beliefern. Die Gründe können in einem durch unvorhergesehene Ereignisse verursachten Rückgang der Produktionsmenge oder einem unzulänglichen vorgelagerten Terminvergabeprozess liegen. Formal wurde die Berechnung der zur Auftragsbestätigung verfügbaren Ressourcenmengen bereits in Abschnitt II.3.2.3 beschrieben. Temporäre Lieferunfähigkeit und die damit verbundene Notwendigkeit der Fehlmengenverteilung tritt auf, wenn der prognostizierte Lagerbestand $LB_{e,t}$ nach Gleichung 8 für Produkt e in einer beliebigen Periode t negativ wird ($LB_{e,t} < 0$).

$$LB_{e,t} = LB_{e,t-1} + zu_{e,t} - \sum_{a=1}^A cm_{e,a,t} \quad \text{für alle } t = 1, \dots, T; e = 1, \dots, E \quad (8)$$

³⁹⁰ Vgl. Alscher/Schneider (1982), S. 268. Zu den gewählten Lenkparametern zählen Marge, Kundenpriorität, Umsatz, Auftragsgröße und Servicelevel.

³⁹¹ In diesem Zusammenhang ist aus Unternehmenssicht die Frage zu beantworten, welche Kundenaufträge zu verschieben, welche zu stornieren und welche zum zugesagten Liefertermin auszuliefern sind. Darüber hinaus ist über die Bildung von Teillieferungen und somit über Rationierung der verfügbaren Ressourcen zu entscheiden. Vgl. Dickersbach (2004), S. 287.

³⁹² Aufgrund der Ähnlichkeit bei der formalen Beschreibung werden Auftragsfertigung und Konfiguration zusammengefasst.

Fehlmengen bei **auftragsspezifischer Konfiguration und Auftragsfertigung** treten auf, wenn das Material- und/oder Kapazitätsangebot nicht ausreicht, alle bereits bestätigten Aufträge termin- und mengengerecht zu beliefern. Verursacht werden die Fehlmengen in der Regel entweder durch eine ungenügende Verfügbarkeitsprüfung zum Zeitpunkt der initialen Terminvergabe oder durch einen unerwarteten Rückgang des Material- oder Kapazitätsangebots. Wird der prognostizierte Lagerbestand $LB_{j,t}$ für ein beliebiges Material j oder $ATP_{k,t}$ als verfügbare Kapazität für eine beliebige Kapazitätsgruppe k im Rahmen der ATP-Berechnung (Gleichungen 9 und 10) in einer beliebigen Periode t negativ ($LB_{j,t} < 0$ oder $ATP_{k,t} < 0$), dann werden Maßnahmen zur Fehlmengenverteilung notwendig.

$$LB_{j,t} = LB_{j,t-1} + mz_{j,t} - \sum_{e=1}^E \sum_{a=1}^A bom_{j,e} * cm_{e,a,t} \quad \text{für alle } t = 1, \dots, T; j = 1, \dots, J \quad (9)$$

$$ATP_{k,t} = vk_{k,t} - \sum_{e=1}^E \sum_{a=1}^A kb_{k,e} * cm_{e,a,t} \quad \text{für alle } t = 1, \dots, T; k = 1, \dots, K \quad (10)$$

3.4.2.2 Aufgabe der Fehlmengenverteilung

Im Falle des Auftretens von Fehlmengen sind Maßnahmen zur Auflösung der entstandenen Konflikte zu ergreifen. Dabei sind im Rahmen einer Neubestätigung einzelne Aufträge umzuplanen mit dem Ziel, die durch verspätete Erfüllung von Aufträgen entstehenden Konsequenzen zu minimieren.³⁹³

Bei **Lagerfertigung** ist es im Engpassfall die Aufgabe der Neubestätigung, den vorhandenen freien Bestand und dem geplanten Bestandszugang an Endprodukten so auf die bereits bestätigten Aufträge zu verteilen, dass die vom Unternehmen bzw. Unternehmensverbund festgelegten Ziele möglichst wenig von den negativen Auswirkungen der verspäteten Lieferungen beeinflusst werden. Bei **auftragsspezifischer Konfiguration** können sich dieselben Material- und Kapazitätsengpässe auf mehrere Produkte bzw. Aufträge auswirken. Für den Fall, dass nicht alle bereits bestätigten Kundenaufträge zum initialen Termin erneut bestätigt werden können, ist darüber zu entscheiden, für welche Aufträge der vorhandene

³⁹³ Der Prozess der Neubestätigung wird auch als „Repromising“ bezeichnet. Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 304. Zur Quantifizierung der Konsequenzen sind Annahmen über das Kundenverhalten zu treffen, da durch die Fehlmengenverteilung nicht nur direkte Kosten entstehen, sondern sich auch mittel- und langfristige Kosten durch den bereits im Rahmen des Fehlmengenmodells erläuterten Goodwill-Verlust ergeben. Vgl. Alscher/Schneider (1982), S. 268.

Materialbestand, die geplanten Materialzugänge und die Konfigurationskapazitäten zu verwenden sind.³⁹⁴ Bei **Auftragsfertigung** werden die den Lieferterminen zugrunde liegenden Produktionstermine der Aufträge in der Regel in den standortspezifischen Produktionsplanungsmodulen ermittelt. Im Engpassfall ist die Aufgabe der Fehlmengenverteilung die werksübergreifende Überprüfung, welche Maßnahmen zur Auflösung der entstandenen Konflikte ergriffen werden können. Dabei wird ebenfalls darauf abgezielt, die Auswirkungen der Fehlmengen auf das Unternehmen bzw. den Unternehmensverbund zu minimieren.

3.4.2.3 Verfahren der Fehlmengenverteilung

Während die Problemstellung der Fehlmengenverteilung im Umfeld bereits bestätigter, noch nicht gelieferter Aufträge in der betriebswirtschaftlichen Literatur weitgehend vernachlässigt wird, sind in der unternehmerischen Praxis überwiegend einfache iterative Ansätze zu beobachten, die keine ganzheitliche Problembetrachtung durch die Berücksichtigung aller Fehlmengenkonsequenzen zulassen.³⁹⁵ Bei den Praxisansätzen werden die Liefertermine einzelner Aufträge im Engpassfall zurückgenommen und die dadurch freigewordenen ATP-Mengen unter den übrigen Aufträgen neu verteilt.³⁹⁶ Dieses iterative Vorgehen wird so lange wiederholt, bis alle Aufträge mit einem vom Planer freigegebenen Liefertermin bestätigt sind. Die Auswahl der neu zu bestätigenden Aufträge sowie die Freigabe der neuen Bestätigungstermine wird dabei dem Planer überlassen, der die Auswahl in der Regel anhand subjektiver Kriterien trifft.³⁹⁷ Im Folgenden wird der Prozess der Fehlmengeverteilung für bereits bestätigte Aufträge am Beispiel des Demand Fulfillments von SAP APO beschrieben. Die dabei zum Einsatz kommenden Ansätze unterscheiden sich konzeptionell nicht von denen anderer Anbieter.³⁹⁸

Bei SAP APO wird der Prozess der Fehlmengenverteilung als „Backorder Processing“ bezeichnet.³⁹⁹ Die grundsätzliche Idee dahinter ist die Durchführung einer erneuten Verfügbar-

³⁹⁴ Im Rahmen des Problems der Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung entstehen für die Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration mehr Freiheitsgrade als für die Fertigungsstrategie der Lagerfertigung. Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 326.

³⁹⁵ Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 310.

³⁹⁶ Die Freigabe der ATP-Menge einzelner Aufträge wird als „Unfreezing“ bezeichnet. Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 304.

³⁹⁷ Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005b), S. 402.

³⁹⁸ Für eine Beschreibung der Fehlmengenverteilung im Rahmen der Auftragsüberwachung bei i2 vgl. Kilger/Schneeweiss (2005b), S. 402 ff., und i2 (2005), S. 23 ff.

³⁹⁹ Vgl. Dickersbach (2004), S. 287.

keitsprüfung und Auftragsbestätigung für eine ausgewählte Gruppe von Aufträgen. Der jeweilige Planer kann im Engpassfall durch Löschung einer Reservierung die ATP- bzw. Multi-Level-ATP-Mengen bestimmter Aufträge wieder freigeben. Diese Ressourcenmengen stehen dann anderen Aufträgen zur Verfügung. Der Prozess der Fehlmengenverteilung wird dabei durch drei Parameter beeinflusst.⁴⁰⁰

- Auswahl der neu zu bestätigenden Aufträge,
- Prüfungsreihenfolge dieser Aufträge und
- Prüfungsparameter.

Parameter	aktiviert	deaktiviert
Neue Verteilung (New Distribution)	Freigabe der Ressourcenreservierungen aller Aufträge der Worklist	Freigabe der Reservierungen des sich aktuell in Bearbeitung befindlichen Auftrags
Prüfung gegen Wunschtermin (Check of Request)	Durchführung der Prüfung auf Basis der initialen Wunschtermine und -mengen	Prüfungsdurchführung auf Basis der zuletzt bestätigten Termine und Mengen
Berücksichtigung von Allokationen (Read Check Mode from Product Master)	Prüfung der Verfügbarkeit gegen im Vorfeld gebildete Kontingente	Keine Berücksichtigung von im Vorfeld gebildeten Kontingenten
Prüfregel (Rule Evaluation)	Erneute Berücksichtigung der für das jeweilige Produkt gültigen Prüfregeln	Keine Berücksichtigung der zur initialen Terminfindung verwendeten Regeln der Verfügbarkeitsprüfung
Löschen der Bestätigung (Cancel Confirmation)	Freigabe der reservierten Ressourcen der ausgewählten Aufträge	Keine Freigabe der reservierten Ressourcen der ausgewählten Aufträge

Tabelle 8: Auswirkungen des Backorder Processings bei SAP APO⁴⁰¹

Die neu zu bestätigenden Aufträge werden dabei in einer Liste festgehalten.⁴⁰² Deren Reihenfolge bestimmt dabei auch die Prüfungsreihenfolge der Aufträge und hat maßgeblichen Einfluss auf das Ergebnis der Fehlmengenverteilung. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die

⁴⁰⁰ Vgl. Dickersbach (2004), S. 288 ff.

⁴⁰¹ Eigene Darstellung.

⁴⁰² Die Liste der neu zu bestätigenden Aufträge wird auch als „Worklist“ bezeichnet. Vgl. SAP (2005), S. 17.

auswählbaren Parameter und deren Konsequenzen bei SAP APO. Bei Aktivierung des Parameters „Neue Verteilung“ werden alle ATP-Mengen der sich in der Auftragsliste befindlichen Aufträge freigegeben und sind somit für die anschließende Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung verfügbar. Bei Deaktivierung dieses Parameters werden nur die Reservierungen des aktuell betrachteten Auftrags gelöscht und anderen Aufträgen im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung zugänglich gemacht.

Über den Parameter „Prüfung gegen Wunschtermin“ wird ausgewählt, ob sich die Prüfung am ursprünglich vom Kunden kommunizierten Wunschtermin und der Wunschmenge oder am Bestätigungstermin und der bestätigten Menge orientiert. Die Wahl der Variante hängt dabei stark vom Geschäftsumfeld des Unternehmens und der konkreten Situation ab.⁴⁰³ Während bei einer Prüfung gegen den letzten bestätigten Termin mit positivem Ausgang in der Regel keine zusätzliche Kommunikation mit dem jeweiligen Kunden stattfindet, wird bei einer Prüfung gegen einen vom letzten bestätigten Termin abweichenden ursprünglichen Wunschtermin eine zusätzliche Abstimmung notwendig, da Kunden normalerweise ihre Prozesse auf den letzten bestätigten Termin ausrichten.

Über die Auswahl „Berücksichtigung von Allokationen“ wird festgelegt, ob sich die Verfügbarkeitsprüfung weiterhin an den im Rahmen einer vorgelagerten Allokationsplanung gebildeten Kontingenten orientiert oder aufgrund der Fehlmengensituation Zugang zur gesamten verfügbaren Ressourcenmenge erhält.

Mithilfe des Parameters „Prüfregeln“ wird ausgewählt, ob die im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung angewendeten Regeln erneut zu berücksichtigen sind. Dieser Aspekt ist besonders dann relevant, wenn auf einen Auftrag bereits Maßnahmen einer zeitlich vorgelagerten Fehlmengenverteilung angewendet wurden. So kann über diesen Parameter beispielsweise die Zulassung von Substitutionsprodukten gesteuert werden.⁴⁰⁴

Über die Auswahl „Löschung der Bestätigung“ wird festgelegt, welche Aufträge ihre Material- bzw. Kapazitätsreservierungen für andere Aufträge zur Verfügung stellen und nicht neu zu

⁴⁰³ Die Wahl der Alternative hängt dabei davon ab, was aus Kundensicht als vorteilhaft angesehen wird. Vgl. Dickersbach (2004), S. 289 f.

⁴⁰⁴ Wurde einem Kunden beispielsweise im Rahmen der initialen Bestätigung im Rahmen der Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme ein anderes als das ursprünglich gewünschte Produkt bestätigt, so sollte eine erneute Produktänderung aufgrund einer Fehlmengensituation bei Auftragsüberwachung ohne Rücksprache vermieden werden. Vgl. SAP (2005), S. 38.

bestätigen sind. Dabei kann es sich um eine Untermenge der auf der so genannten Worklist aufgeführten Aufträge handeln. Die Auswahl der Aufträge kann dabei entweder manuell oder über im Vorfeld festgelegte Filter stattfinden. Die mit diesem Flag gekennzeichneten Aufträge finden im Rahmen der neuen Verfügbarkeitsprüfung keine Berücksichtigung mehr.⁴⁰⁵

Im Folgenden werden die Auswirkungen der Auswahl verschiedener Parameter anhand eines Beispiels verdeutlicht. Abbildung 14 zeigt eine beispielhafte Ausgangssituation mit vier bestätigten Kundenaufträgen und stellt diesen die entsprechende Ressourcenverfügbarkeit über den Zeitverlauf gegenüber. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird nur eine Ressource betrachtet, wie dies beispielsweise bei der Fertigungsstrategie der Lagerfertigung in Form des erwarteten Lagerzugangs eines Endproduktes der Fall ist.

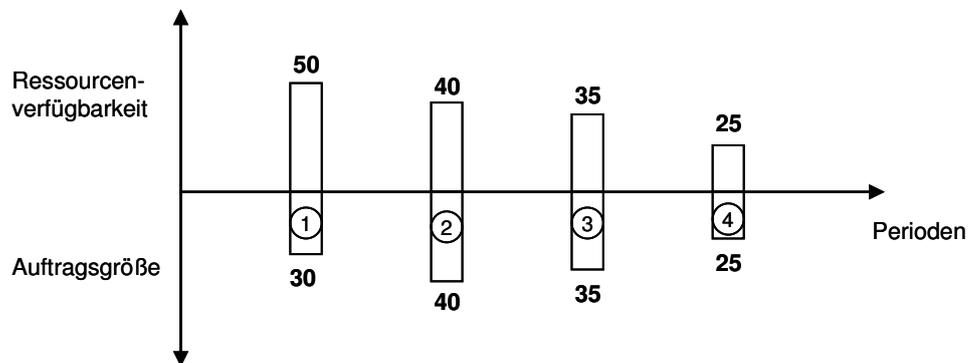


Abbildung 14: Beispielhafte Ausgangssituation der Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung mit vier bestätigten Aufträgen⁴⁰⁶

Unter der Annahme, dass sich die erste Anlieferung von 50 Mengeneinheiten (ME) so verspätet, dass sie außerhalb des Betrachtungszeitraums fällt und auch keine Ersatzlieferung zu erwarten ist, werden in den Abbildungen 15 und 16 die Konsequenzen für verschiedene Parametereinstellungen dargestellt. In Abbildung 15 wird davon ausgegangen, dass die Reservierung der ATP-Menge von Auftrag 1 gelöscht wird, da für diesen Auftrag der Parameter „Löschung der Bestätigung“ ausgewählt wurde. Die ATP-Menge von Auftrag 1 wird somit den

⁴⁰⁵ Vgl. Dickersbach (2004), S. 290.

⁴⁰⁶ Eigene Darstellung.

anderen Aufträgen zur Verfügung gestellt und Auftrag 1 findet im Rahmen der Fehlmengenverteilung keine Berücksichtigung mehr.⁴⁰⁷

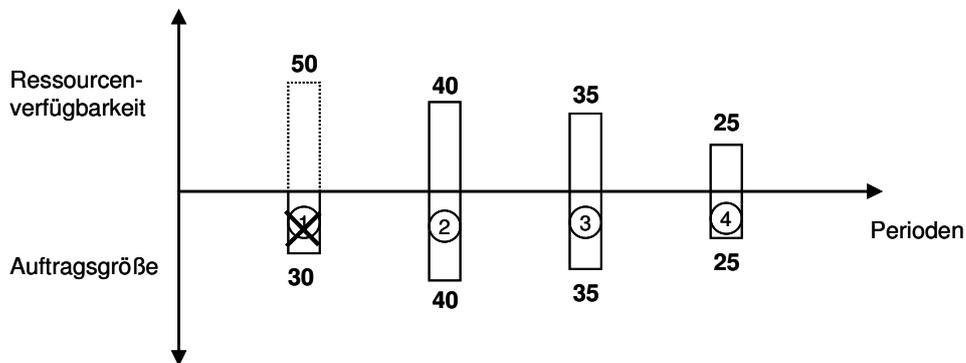


Abbildung 15: Fehlmengenverteilung bei Freigabe der ATP-Menge von Auftrag 1⁴⁰⁸

Die Auftragsliste bzw. Worklist enthält die Aufträge 2, 3 und 4, wobei dadurch auch die Reihenfolge festgelegt wird, in der die Aufträge der Reihe nach neu geprüft werden. Abbildung 15 stellt die Konsequenzen dar, wenn die ATP-Menge von Auftrag 1 freigegeben und die erneute Verfügbarkeitsprüfung in der Reihenfolge der Worklist durchgeführt wird. Im Ergebnis ergeben sich keine Verschiebungen für die Aufträge 2 bis 4, lediglich Auftrag 1 wird storniert.

In Abbildung 16 werden die Konsequenzen dargestellt, wenn im gleichen Engpassfall wie in Abbildung 15 die ursprüngliche Prüfungsreihenfolge der Aufträge erhalten bleibt und für Auftrag 1 der Parameter „Löschung der Bestätigung“ deaktiviert wird. Darüber hinaus werden die ATP-Reservierungen aller Aufträge durch die Auswahl des Parameters „Neue Verteilung“ freigegeben. Als Konsequenz ergibt sich eine verspätete Belieferung der Aufträge 1 und 2 und keine Bestätigung der Aufträge 3 und 4 im betrachteten Zeithorizont, da annahmegemäß Teillieferungen nicht zugelassen sind.

⁴⁰⁷ Auftrag 1 wird dem Kunden gegenüber storniert. Vgl. SAP (2005), S. 40.

⁴⁰⁸ Eigene Darstellung.

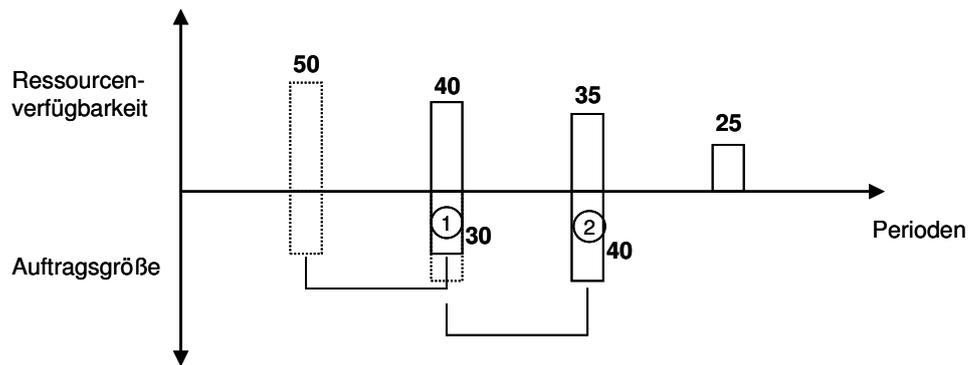


Abbildung 16: Fehlmengenverteilung bei Freigabe aller ATP-Reservierungen⁴⁰⁹

Aus dem betrachteten Beispiel wird deutlich, dass der Auswahl und der Reihenfolge der im Rahmen des Backorder Processing betrachteten Aufträge und der Auswahl der Parameter eine große Bedeutung zukommt, da diese stark die Ergebnisse der Fehlmengenverteilung beeinflussen. In der Praxis liegen die entsprechenden Entscheidungen und das Festlegen der Filterkriterien in der Regel in der Hand des verantwortlichen Planers.⁴¹⁰ Hierbei werden keine Informationen über Fehlmengenkosten berücksichtigt. Einziges Lösungsverfahren besteht im „scharfen Hinsehen“, was dem Anspruch von Advanced Planning nicht gerecht wird.

3.4.2.4 Kritische Bewertung der existierenden Verfahren

Die Demand Fulfillment-Module der gängigen APS-Systeme unterstützen den Planer durch das Aufzeigen von Engpässen, die im Rahmen der Teilaufgabe der Auftragsüberwachung sichtbar werden. Die Entscheidungsunterstützung reicht aber nur so weit, dass auf der Basis von durch den Planer ausgewählten Parametern und Filtern eine Neubestätigung einzelner Aufträge stattfindet.⁴¹¹

Am Beispiel der Auswahlmöglichkeiten hinsichtlich neu zu bestätigender Aufträge, deren Reihenfolge und der für die Prüfung festzulegenden Parameter im Rahmen des Backorder Processing bei SAP APO wird deutlich, dass ein hoher Grad an manueller Interaktion zwischen Planer und System notwendig ist und die Ergebnisse stark von den gewählten Parametern

⁴⁰⁹ Dabei wird die ursprüngliche Reihenfolge der Worklist beibehalten (Auftrag 1, 2, 3 und 4).

⁴¹⁰ Vgl. Dickersbach (2004), S. 287 ff., und Kilger/Schneeweiss (2005b), S. 402 f.

⁴¹¹ Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 304.

abhängig sind.⁴¹² Durch das Fehlen quantitativer Kriterien, wie beispielsweise der Quantifizierung der Verspätungskosten im Sinne eines Fehlmengenmodells, und aufgrund der selektiven Betrachtung einzelner Aufträge und nicht der Gesamtheit aller Aufträge zum Entscheidungszeitpunkt kann die Unterstützung durch APS-Systeme für die Aufgabe der Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung als mangelhaft bezeichnet werden. Durch den heuristischen Charakter und die manuelle Auswahl der zu verschiebenden Aufträge kann in keinem Fall von einer optimalen Fehlmengenverteilung gesprochen werden, da die Ansätze dem Anspruch einer simultanen Betrachtung aller Aufträge unter Berücksichtigung einheitlicher Zielkriterien nicht gerecht werden.⁴¹³

Um die identifizierten Schwächen der gängigen APS-Systeme im Hinblick auf die Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung zu kompensieren, wird in Kapitel III ein Ansatz für die Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration entwickelt, der das Fehlmengenproblem als gemischt-ganzzahliges Modell formuliert und anhand von realen Daten testet. Im Gegensatz zu den gängigen Verfahren werden dabei alle Aufträge simultan betrachtet und Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten in Anlehnung an das Fehlmengenmodell quantifiziert. Dadurch wird sichergestellt, dass das Problem der Fehlmengenverteilung vor dem Hintergrund der vorgegebenen Zielfunktion und unter Einhaltung der entsprechenden Restriktionen optimal gelöst werden kann.

3.4.3 Fehlmengenverteilung bei Auftragsbestätigung ohne Antizipation

3.4.3.1 Auftreten von Fehlmengen

Temporäre Lieferunfähigkeit im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung tritt auf, wenn nicht alle neu eintreffenden Kundenaufträge zum gewünschten Termin vollständig bestätigt werden können.⁴¹⁴ Werden zum Entscheidungszeitpunkt nur die vorliegenden Aufträge berücksichtigt und keine Annahmen über zukünftig eintreffende Aufträge gemacht, dann kann von Fehlmengenverteilung ohne Antizipation gesprochen werden.

⁴¹² Vgl. Dickersbach (2004), S. 287 ff.

⁴¹³ Bei i2 Technologies unterscheidet sich das Vorgehen zur Fehlmengenverteilung konzeptionell nicht vom „Backorder Processing“ bei SAP APO. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005b), S. 402 ff., und i2 (2005), S. 23 ff.

⁴¹⁴ Voraussetzung für das Auftreten von Fehlmengen in diesem Zusammenhang ist das Vorliegen eines Kundenwunschtermins.

Für die Fertigungsstrategie der **Lagerfertigung** lässt sich das Problem auftretender Fehlmengen in Anlehnung an die Berechnung der verfügbaren ATP-Menge in Abschnitt II.3.2.3 unter Zuhilfenahme folgender Symbole formulieren:

$ATP_{e,t}$ gesamte zur Auftragsbestätigung des Produktes e in der Periode t verfügbare Menge

wm_e Wunschmenge des Produktes e

wp_e Wunschperiode für Produkt e

Das Problem der Fehlmengenverteilung tritt dann auf, wenn ein Kundenauftrag nicht zu seinem Wunschtermin bestätigt werden kann:

$$ATP_{e,t} < wm_e \quad \text{für } t = wp_e \text{ und ein bel. } e \in \{1, \dots, E\} \quad (11)$$

Für die Fertigungsstrategien der **auftragsspezifischen Konfiguration** und **Auftragsfertigung** lässt sich das Problem unter Zuhilfenahme folgender Symbole formulieren:

$ATP_{j,t}$ in Periode t zur Auftragsbestätigung verfügbare Menge des Materials j

$ATP_{k,t}$ in Periode t zur Auftragsbestätigung zur Verfügung stehende Kapazität der Kapazitätsgruppe k

$bom_{j,e}$ Menge des Materials j , die für ein Stück des Produktes e benötigt wird

$kb_{k,e}$ Kapazitätsbedarf der Kapazitätsgruppe k pro Stück des Produktes e

wm_e Wunschmenge des Produktes e

wp_e Wunschperiode für Produkt e

Maßnahmen der Fehlmengenverteilung werden notwendig, wenn das verfügbare Material- (12) und/oder Kapazitätsangebot (13) nicht ausreicht, die Wunschmenge zum gewünschten Termin zu bestätigen.⁴¹⁵

$$ATP_{j,t} < bom_{j,e} * wm_e \quad \text{für } t = wp_e \text{ und für ein bel. } j \in \{1, \dots, J\} \quad (12)$$

$$ATP_{k,t} < kb_{k,e} * wm_e \quad \text{für } t = wp_e \text{ und für ein bel. } k \in \{1, \dots, K\} \quad (13)$$

3.4.3.2 Aufgabe der Fehlmengenverteilung

Die Aufgabe der Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme ohne Antizipation ist die optimale Verteilung der Fehlmengen vor dem Hintergrund der zum Entscheidungszeitpunkt vorliegenden Informationen. Mögliche kurz-, mittel- und langfristige Auswirkungen auf das Kundenverhalten wurden bereits im Rahmen des Fehlmengenmodells in Abschnitt II.3.4.1 vorgestellt. Werden sämtliche Auswirkungen von Fehlmengen durch ein beliebiges Modell, beispielsweise in Form von Fehlmengenkosten, quantifiziert, so ist es die Aufgabe der Fehlmengenverteilung, die Fehlmengenkosten zu minimieren. In Abhängigkeit von der zum Entscheidungszeitpunkt vorliegenden Information können drei Formen der Auftragsbestätigung unterschieden werden, die unterschiedliche Reaktionsgeschwindigkeiten auf Kundenanfragen aufweisen.⁴¹⁶

- Einzelauftragsbestätigung,
- Batch-Auftragsbestätigung und
- Globale Auftragsbestätigung.

Bei der Einzelauftragsbestätigung wird jeder Auftrag direkt nach seinem Eintreffen bestätigt.⁴¹⁷ Aufgabe der Fehlmengenverteilung ist es, die Fehlmengenkosten dieses einen Auftrages zu

⁴¹⁵ Die Formulierung beschränkt sich dabei auf einen Kundenauftrag für ein Produkt.

⁴¹⁶ Vgl. Meyr (2005a), S. 8. Darüber hinaus ist im Vorfeld die Entscheidung zu treffen, ob bereits bestätigte Aufträge auf Kosten von neu eintreffenden Aufträgen verschoben werden dürfen. Vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 132.

⁴¹⁷ Die Einzelauftragsbestätigung wird auch als „First-Come-First-Served“ bzw. sequentielle Bestätigung bezeichnet. Vgl. Kuhn/Defregger (2004), S. 310.

minimieren.⁴¹⁸ Bei der Batch-Auftragsbestätigung werden Aufträge über ein bestimmtes Zeitintervall gesammelt und dann am Ende des Zeitintervalls gleichzeitig bestätigt.⁴¹⁹ Die Aufgabe der Fehlmengenverteilung ist es, alle Aufträge simultan zu betrachten und die Fehlmengen so zu verteilen, dass die Summe der Fehlmengenkosten aller betrachteten Aufträge minimal wird. Tabelle 9 fasst Kriterien zusammen, die im Rahmen der Fehlmengenverteilung Berücksichtigung finden können.

Verteilung nach	Beschreibung
Prioritäten	Verteilung der verfügbaren Menge nach einem definierten Verteilungsschlüssel auf die verschiedenen Kunden
Umsatz	Prozentuale Verteilung der verfügbaren Menge nach dem mit einem Kunden erzielten Umsatz
Liefertreue	Verteilung der verfügbaren Menge derart, dass die Zielliefertreue der einzelnen Kunden möglichst erreicht wird
Prognosen	Verteilung der verfügbaren Menge entsprechend den von den Kunden abgegebenen Prognosen/geplanten Abnahmemengen
Auftragsmenge	Prozentuale Verteilung der verfügbaren Menge entsprechend der historischen Auftragsmenge der Kunden
Absprache	Individuelle (Management-)Entscheidung pro Engpassfall

Tabelle 9: Beispielhafte Kriterien zur Verteilung von Fehlmengen

Entspricht das Batching-Intervall dem Betrachtungszeitraum, kann dies auch als globale Auftragbestätigung bezeichnet werden, da zum Entscheidungszeitpunkt die komplette Information über alle Aufträge vorliegt.⁴²⁰ Dieser in der Praxis selten auftretende Fall erlaubt es, durch die simultane Betrachtung aller Aufträge das globale Optimum zu bestimmen.

Dabei bleibt festzuhalten, dass nicht alle im Rahmen der Fehlmengenverteilung verwendeten Kriterien offen an die Kunden kommuniziert werden sollten. So kann beispielsweise die Berücksichtigung der von den Kunden prognostizierten Menge bei der Ermittlung eines

⁴¹⁸ Ein Auftrag kann beispielsweise teilweise, verspätet oder zu früh bestätigt werden oder dem Kunden kann ein alternatives Produkt angeboten werden. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 193.

⁴¹⁹ Vgl. Chen/Zhao/Ball (2002), S. 425.

⁴²⁰ Vgl. Meyr (2005a), S. 8.

Verteilungsschlüssels dazu führen, dass Kunden ihre Prognosen künstlich erhöhen, wodurch die Planungsgenauigkeit der gesamten Supply Chain verschlechtert wird.⁴²¹

3.4.3.3 Verfahren der Fehlmengenverteilung

Im Folgenden werden die in Abschnitt II.3.3.3 identifizierten Verfahren der Verfügbarkeitsprüfung auf die Elemente der Fehlmengenverteilung hin untersucht. Hierzu zählen:

- Konventionelle Verfügbarkeitsprüfung,
- regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung sowie
- optimierende Verfügbarkeitsprüfung.

Die **konventionelle Verfügbarkeitsprüfung** bietet keine Entscheidungsunterstützung bei der Fehlmengenverteilung an.⁴²² Dem Planer wird aufgezeigt, dass die verfügbare ATP-Menge nicht ausreicht, einen Auftrag entsprechend dem Kundenwunschtermin zu erfüllen. Darüber hinaus wird dem Planer aber keine Entscheidungsunterstützung angeboten, wie er die Fehlmenge verteilen kann. Ihm obliegt dabei sowohl die Suche nach entsprechenden ATP-Mengen als auch die Fehlmengenverteilentscheidung selbst.⁴²³ Für einen einzelnen Auftrag kann das Problem ggf. noch nachvollzogen werden, bei einer größeren Anzahl von simultan zu betrachtenden Aufträgen sind die Konflikte allerdings nicht mehr zielorientiert aufzulösen.

Die **regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung** sucht nach vorher definierten Regeln den ATP-Lösungsraum ab und liefert in der Regel die erste gefundene bzw. zulässige Lösung zurück.⁴²⁴ Die regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung findet in den meisten APS-Modulen des Demand

⁴²¹ Dieses Verhalten wird in der englischsprachigen Literatur auch als "Rationing and Shortage Gaming" bezeichnet und als eine Ursache des Bullwhip-Effektes angeführt. Vgl. Lee/Padmanabhan/Whang (1997), S. 556.

⁴²² Darüber hinaus ist das konventionelle Verfahren lediglich für die Fertigungsstrategie der Lagerfertigung geeignet. Multi-Level-ATP, wie es bei Konfiguration und Auftragsfertigung zum Einsatz kommt, lässt sich nicht abbilden. Vgl. Fogarty/Blackstone/Hoffmann (1991), S. 139 ff., und Fogarty/Barringer (1984), S. 153 ff.

⁴²³ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 450.

⁴²⁴ Über die Reihenfolge, in der die Regeln anzuwenden sind, wird dabei bereits die Qualität der ersten gefundenen Lösung beeinflusst. Vgl. Fischer (2001), S. 87.

Fulfillments Anwendung.⁴²⁵ Zusätzlich können für die betrachteten Aufträge Ober- und Untergrenze für Termine und Mengen berücksichtigt werden, die als Mengen- und Terminflexibilität bezeichnet werden.⁴²⁶ Mögliche Dimensionen, die in beliebiger Kombination durchsucht werden können, sind:⁴²⁷

- Zeit,
- Produkt und
- Produktionsstandort.

Die Funktionsweise der regelbasierten Verfügbarkeitsprüfung wird im Folgenden an einem Beispiel des Demand Fulfillment-Moduls von i2 Technologies erläutert.⁴²⁸

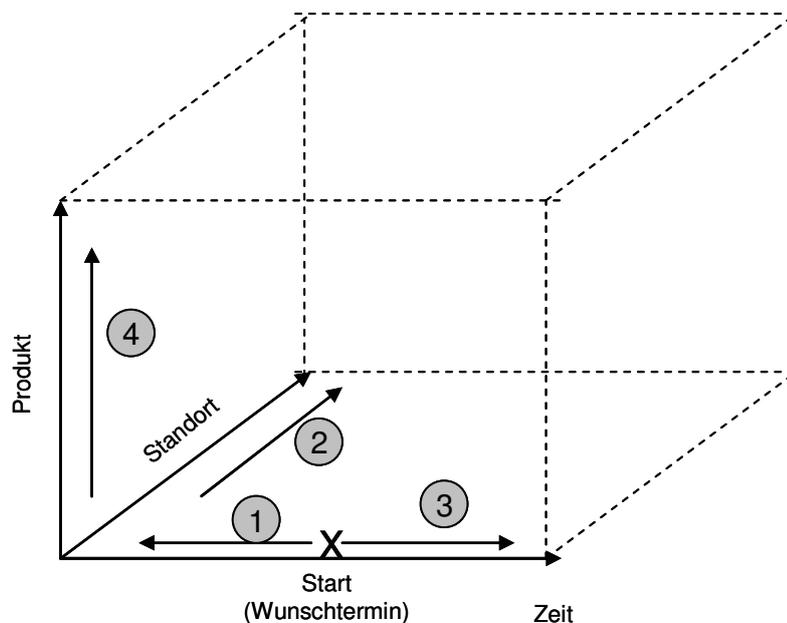


Abbildung 17: Beispielhafte ATP-Suchregeln bei i2 Technologies⁴²⁹

⁴²⁵ Vgl. Meyr (2005a), S. 4, und Meyr et al. (2005), S. 341 ff.

⁴²⁶ Vgl. Chen/Zhao/Ball (2001), S. 482.

⁴²⁷ Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 193. Darüber hinaus kann beispielsweise die Fremdbeschaffung des Produktes in Betracht gezogen werden.

⁴²⁸ Vgl. i2 (2005), S. 48 ff., und Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 194. Die regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung von SAP APO ähnelt der von i2 Technologies. Vgl. Fischer (2001), S. 86 ff. Für Details zur regelbasierten Verfügbarkeitsprüfung bei SAP APO vgl. Dickersbach (2004), S. 268 ff.

⁴²⁹ In Anlehnung an Kilger/Schneeweiss (2005), S. 194 f.

Abbildung 17 zeigt die drei Dimensionen Zeit, Standort und Produkt und die Reihenfolge, in der die Prüfregeln angewendet werden. Im ersten Schritt wird für das gewünschte Produkt am aktuellen Standort in der gewünschten und in zeitlich vorgelagerten Perioden nach ATP-Menge gesucht (1). Bei einem negativen Verfügbarkeitsergebnis wird die Suche auf andere Standorte ausgeweitet (2). Ist dort nicht genug ATP-Menge zur Deckung des Auftrags vorhanden, wird am aktuellen Standort in zeitlich nachgelagerten Perioden nach ATP-Mengen gesucht (3).⁴³⁰ Ist auch in zukünftigen Perioden keine ATP-Menge vorhanden, dann tritt die Prüfregel Nummer 4 in Kraft, bei der nach alternativen Produkten gesucht wird.⁴³¹

Darüber hinaus können Aufträge je nach vorgenommenen Einstellungen teilweise bestätigt oder Teilmengen der einzelnen Suchvorgänge addiert werden. Wird mit Multi-Level-ATP gearbeitet, so bildet der späteste Liefertermin einer beliebigen Komponente bzw. der späteste Kapazitätsverfügbarkeitstermin einer Kapazitätsressource die Restriktion für die Bestätigung des Gesamtauftrags. Der ATP-Verbrauch wird nach der Festlegung eines Liefertermins über alle betroffenen Komponenten synchronisiert, um den spätest möglichen Ressourcenverbrauch sicherzustellen.⁴³²

Die **optimierenden Verfahren** formulieren gemischt-ganzzahlige Ansätze, die den über den betrachteten Zeitraum eintreffenden Aufträgen verfügbare Ressourcen zuordnen und als Ergebnis einen kostenoptimalen Liefertermin und je nach Fertigungsstrategie ggf. einen zugehörigen Produktionstermin ermitteln.⁴³³

Die Ansätze von *FISCHER* und *FLEISCHMANN/MEYR* im Umfeld der Lagerfertigung formulieren das Problem als Zuordnungsproblem und arbeiten mit Eignungskoeffizienten, über die die Bedarfserfüllung aus Zugängen zu verschiedenen Zeitpunkten bewertet wird. Allerdings wird die explizite Berechnung der Eignungskoeffizienten als Steuerparameter nur bei Fischer

⁴³⁰ In diesem Fall steht bereits fest, dass der Auftrag nicht mehr rechtzeitig komplett beliefert werden kann. In der Regel wird eine zeitliche Grenze angegeben (in Abhängigkeit von der Branche zwischen einer Woche und drei Monaten), ab wann diese Prüfregel abbricht. Vgl. i2 (2005), S. 50.

⁴³¹ In der Computerindustrie können beispielsweise abweichende Komponenten verwendet werden (beispielsweise eine 80 GB statt einer 60 GB Festplatte), um Lieferunfähigkeit zu vermeiden. Vgl. Kraemer/Dedrick/Yamashiro (2000), S. 10.

⁴³² Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 184.

⁴³³ Für Beispiele zur Fertigungsstrategie der Lagerfertigung vgl. Fischer (2001), S. 155 ff., Fleischmann/Meyer (2003a), S. 311 ff., und Pibernik (2005), S. 244 ff. Für Konfigurationsansätze vgl. Chen/Zhao/Ball (2001), S. 480 ff., und Ball/Chen/Zhao (2004), S. 473 ff.

diskutiert.⁴³⁴ Im Rahmen der Ansätze der Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration werden Strafkosten für Nichtbelieferung direkt in der Zielfunktion erfasst.⁴³⁵ Verspätungskosten werden nicht betrachtet, d. h. ein Auftrag wird entweder im vom Kunden gewünschten Zeitraum bestätigt oder abgelehnt, falls eine vollständige Belieferung nicht möglich ist, wobei in diesem Fall Strafkosten für Nichtbelieferung anfallen. Darüber hinaus wird die Ermittlung der Nichtbelieferungskosten für die Praxisbeispiele nicht diskutiert, sondern im Rahmen der numerischen Untersuchungen als gegeben vorausgesetzt.

3.4.3.4 Kritische Bewertung der existierenden Verfahren

Die konventionellen Ansätze der Verfügbarkeitsprüfung sind hinsichtlich ihrer Eignung zur optimalen Fehlmengenverteilung im Engpassfall als ungenügend zu bezeichnen, da sie keinerlei Entscheidungsunterstützung anbieten. Die Fehlmengenverteilung obliegt der Einschätzung des Planers, wobei das resultierende Entscheidungsproblem mit steigender Anzahl von Aufträgen und Engpässen ohne systemgestützte Entscheidungsunterstützung als nicht mehr beherrschbar charakterisiert werden kann.⁴³⁶

Die regelbasierten Verfahren bieten Entscheidungsunterstützung für das Fehlmengenproblem an, wobei die Ergebnisse aber in der Regel nicht nach einem Optimum streben, da Fehlmengenkosten nicht systematisch und in quantitativer Form in einer Zielfunktion berücksichtigt, sondern nur indirekt über Regeln und deren Anwendungsreihenfolge beeinflusst werden. Besonders im Zusammenhang mit Batch-Ansätzen offenbart die regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung Schwächen, da mehrere Aufträge nicht simultan geprüft werden können, sondern über die vorher festzulegende Prüfungsreihenfolge bereits eine Vorauswahl getroffen wird, die das Ergebnis im Engpassfall maßgeblich beeinflusst. Dagegen liegen die Vorteile der regelbasierten Verfahren in der leichten Implementierbarkeit und in der schnellen Anpassbarkeit im Falle sich ändernder Rahmenbedingungen.

Die optimierenden Verfahren der Fehlmengenverteilung werden dem Anspruch einer optimalen Lösung des Fehlmengenproblems insofern gerecht, dass sie die Entscheidungssituation in

⁴³⁴ Die Eignungskoeffizienten berechnen sich dabei aus den Faktoren Kundenpriorität, Umsatz, Zeit und Gewinn. Vgl. Fischer (2001), S. 159.

⁴³⁵ Die Strafkosten für Nichtbelieferung setzen sich aus einer Konstanten, mit der die langfristigen Folgen bzw. der Goodwill-Verlust bewertet werden, und dem kurzfristig entgangenen Umsatz des nicht belieferten Auftrags zusammen. Vgl. Chen/Zhao/Ball (2001), S. 481, und Chen/Zhao/Ball (2002), S. 430.

⁴³⁶ Vgl. Fischer (2001), S. 93.

einem gemischt-ganzzahligen Programm abbilden und Fehlmengenkosten quantifizieren, die dann unter Beachtung verschiedener Material- und Kapazitätsrestriktionen minimiert werden. Sie bieten vor allem bei der gleichzeitigen Betrachtung mehrerer Aufträge Vorteile, weil sie im Gegensatz zur regelbasierten Verfügbarkeitsprüfung eine simultane Betrachtung mehrerer Aufträge erlauben. Im so genannten Batch-Einsatz zeigen sie in der Praxis gute Ergebnisse.⁴³⁷ Lediglich in einem Fall werden die Fehlmengenkosten aus einem Fehlmengenmodell abgeleitet und systematisch erfasst, bei allen anderen Ansätzen werden Verspätungs- bzw. Nichtbelieferungskosten zwar in der Zielfunktion berücksichtigt, es wird aber nicht auf ihre Berechnung eingegangen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die optimierenden Verfahren den Aufgaben der Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme ohne Antizipation grundsätzlich gerecht werden, aber ein stärkeres Augenmerk auf die Quantifizierung der Fehlmengenkosten gelegt werden sollte. Da aber fehlende Antizipation im Rahmen der Auftragsannahmeentscheidung bei unsicherer Nachfrage unterschiedlicher Wertigkeiten unter Umständen zu suboptimalen Erlösen bzw. Erträgen führen kann, wird im Folgenden die Fehlmengenverteilung mit Antizipation erläutert.

3.4.4 Fehlmengenverteilung bei Auftragsbestätigung mit Antizipation

3.4.4.1 Auftreten von Fehlmengen

Temporäre Lieferunfähigkeit im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung mit Antizipation tritt dann auf, wenn die verfügbare Ressourcenmenge nicht ausreicht, alle für den betrachteten Zeitraum erwarteten Kundenaufträge zum gewünschten Termin zu bestätigen. Aus Unternehmenssicht ist die Verteilung von Fehlmengen besonders dann relevant, wenn unterschiedliche Kundenaufträge unterschiedliche Wertigkeiten aufweisen.⁴³⁸ Dabei handelt es sich um ein Problem der Auftragsannahme bei Unsicherheit, da die gesamte Nachfrage zum Entscheidungszeitpunkt nicht bekannt ist, sondern sich aus sicheren Aufträgen und mit Unsicherheit behafteten Prognosen für zukünftige Bedarfe zusammensetzt.⁴³⁹

⁴³⁷ Vgl. Ball/Chen/Zaho (2004), S. 478, und Chen/Zhao/Ball (2002), S. 436 f.

⁴³⁸ Entweder lassen sich für das gleiche Produkt unterschiedliche Preise erzielen oder Produkte mit dem gleichen Verkaufspreis verursachen unterschiedliche Kosten.

⁴³⁹ Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass die Ressourcen des Unternehmens kurzfristig begrenzt sind und deshalb nicht davon ausgegangen werden kann, dass alle vorliegenden und erwarteten Aufträge mit positivem Deckungsbeitrag termingerecht abgewickelt werden können. Vgl. Laux (1971), S. 164.

Bei **Lagerfertigung** lässt sich das Problem auftretender Fehlmengen in Anlehnung an die ATP-Berechnung unter Zuhilfenahme folgender Symbole formulieren:⁴⁴⁰

$am_{e,t}$	Unbestätigte Auftragsmenge von Produkt e für Periode t
$ATP_{e,t}$	Gesamte zur Auftragsbestätigung des Produktes e in der Periode t verfügbare Menge
$em_{e,t}$	Erwartete zusätzliche Nachfragemenge des Produktes e für Periode t

Das Problem der Fehlmengenverteilung tritt dann auf, wenn die verfügbaren Ressourcen in einer beliebigen Periode und für ein beliebiges Produkt nicht ausreichen, die Summe aus vorliegenden Kundenaufträgen und zusätzlich erwarteter Nachfragemenge zu decken:

$$ATP_{e,t} < (am_{e,t} + em_{e,t}) \quad \text{für ein bel. } t \in [1, \dots, T] \text{ und ein bel. } e \in [1, \dots, E] \quad (14)$$

Für die Fertigungsstrategien der **auftragsspezifischen Konfiguration** und **Auftragsfertigung** lässt sich das Problem unter Zuhilfenahme folgender Symbole formulieren:

$am_{e,t}$	Unbestätigte Auftragsmenge von Produkt e für Periode t
$ATP_{j,t}$	In Periode t zur Auftragsbestätigung verfügbare Menge des Materials j
$ATP_{k,t}$	In Periode t zur Auftragsbestätigung zur Verfügung stehende Kapazität der Kapazitätsgruppe k
$bom_{j,e}$	Menge des Materials j , die für ein Stück des Produktes e benötigt wird
$em_{e,t}$	Erwartete zusätzliche Nachfragemenge des Produktes e für Periode t
$kb_{k,e}$	Kapazitätsbedarf der Kapazitätsgruppe k pro Stück des Produktes e

Maßnahmen der Fehlmengenverteilung werden notwendig, wenn für eine oder mehrere Perioden t das Materialangebot in Gleichung (15) für ein oder mehrere Materialien j und/oder das Kapazitätsangebot in Gleichung (16) für eine oder mehrere Kapazitätsgruppen k nicht ausreichen, die Nachfrage zu decken.

⁴⁴⁰ Vgl. Abschnitt II.3.2.3.

$$ATP_{j,t} < bom_{j,e} * (am_{e,t} + em_{e,t}) \quad \text{für ein bel. } j \in [1, \dots, J], \text{ ein bel. } t \in [1, \dots, T] \quad (15)$$

$$ATP_{k,t} < kb_{k,e} * (am_{e,t} + em_{e,t}) \quad \text{für ein bel. } k \in [1, \dots, K], \text{ ein bel. } t \in [1, \dots, T] \quad (16)$$

3.4.4.2 Aufgabe der Fehlmengenverteilung

Der antizipierten Fehlmengenverteilung liegt die sich oftmals auf Bedarfsprognosen und empirische Daten stützende Annahme zugrunde, dass die für den Betrachtungszeitraum eintreffende Auftragsmenge das zur Verfügung stehende Material- und Kapazitätsangebot übersteigt. Bei Auftragseingang ist darüber zu entscheiden, ob ein Auftrag auf Kosten eines möglicherweise noch eintreffenden und mit einem höheren Deckungsbeitrag verbundenen Auftrags anzunehmen oder abzulehnen ist. Die Ablehnung eines Auftrags kann zu ungenutzter Kapazität und damit Umsatzverlust führen, falls der erwartete lukrativere Auftrag nicht mehr eintrifft. Dabei kann in der Regel nicht gewartet werden, bis alle um die Kapazitäten und Materialien konkurrierenden Kundenaufträge vorliegen, da eine schnelle Bestätigung aus Marktgesichtspunkten heraus notwendig ist.⁴⁴¹

Die Aufgabe der Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation ist die optimale Verteilung der Fehlmengen vor dem Hintergrund der zum Entscheidungszeitpunkt vorliegenden Informationen unter gleichzeitiger Berücksichtigung der für den Betrachtungszeitpunkt zusätzlichen erwarteten, unsicheren Nachfrage.⁴⁴² Alternativ kann die Aufgabe der Fehlmengenverteilung mit Antizipation auch als erlösmaximale Ressourcenauslastung unter Unsicherheit formuliert werden. Damit wird die Parallele zu den Verfahren des Revenue Managements deutlich, bei denen eine ähnliche Fragestellung zu beantworten ist.⁴⁴³

⁴⁴¹ Liegen alle Aufträge mit Sicherheit vor, kann eine hinsichtlich der aufgestellten Kriterien optimale Entscheidung getroffen werden. Vgl. Laux (1971), S. 164.

⁴⁴² Vgl. Meyr (2005a), S. 4.

⁴⁴³ Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 320, Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 187, und Kimms/Klein (2005), S. 1 f.

3.4.4.3 Verfahren der Fehlmengenverteilung

Die grundlegende Idee der Verfahren der Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation ist es, das knappe Material- und Kapazitätsangebot in Kontingente einzuteilen, gegen die die eintreffenden Aufträge geprüft werden.⁴⁴⁴ Die reine „Machbarkeitsprüfung“ in Form der Verfügbarkeitsprüfung wird dabei durch eine „Wirtschaftlichkeitsprüfung“ ergänzt, bei der überprüft wird, ob die Annahme eines Kundenauftrags mit dem Ziel der Erlösmaximierung kongruent ist. Abbildung 18 verdeutlicht dieses Grundkonzept. Während bei der Einzelauftragsbestätigung ohne Kontingentierung den eintreffenden Kundenaufträgen die gesamte ATP-Menge zur Verfügung steht, hat ein Auftrag bei der Einzelauftragsbestätigung mit Kontingentierung nur Zugriff auf die vorher kontingentierte ATP-Menge seiner Klasse. Aufträge können dadurch abgelehnt werden, auch wenn insgesamt noch ATP-Menge vorhanden ist. Da jedoch davon ausgegangen wird, dass für einen späteren Zeitpunkt noch vorgehaltene ATP-Mengen zu höheren Erlösen führen, wird durch die Kontingentierung ein höherer Gesamtgewinn erzielt.⁴⁴⁵ Darüber hinaus wird dieselbe Reaktionsgeschwindigkeit erreicht wie bei der Einzelauftragsbestätigung.

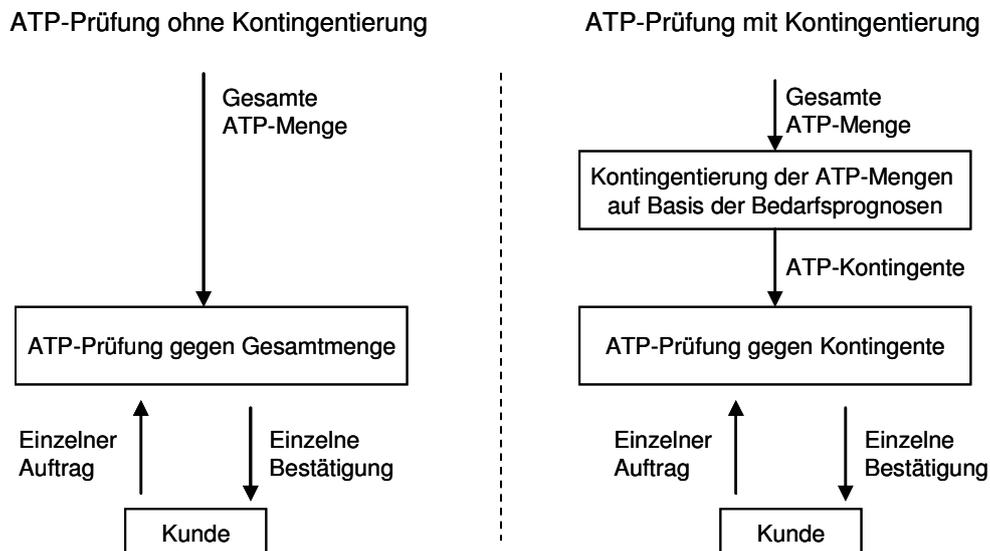


Abbildung 18: Einzelauftragsbestätigung mit und ohne Kontingentierung⁴⁴⁶

⁴⁴⁴ Die Kontingente orientieren sich dabei an der Wertigkeit der Aufträge. Vgl. Fischer (2001), S. 138.

⁴⁴⁵ Dieser Ansatz wird auch mit dem Begriff „Profitable-to-Promise“ bezeichnet. Vgl. SAP (2003), S. 2.

⁴⁴⁶ In Anlehnung an Meyr (2005a), S. 3.

Die Bildung von Kontingenten weist dabei einen Push-Charakter auf, während die daran anschließende Verfügbarkeitsprüfung als Pull-System identifiziert werden kann.⁴⁴⁷ Im Folgenden werden zuerst Verfahren zur Bildung von Kontingenten vorgestellt, bevor im Anschluss die Besonderheiten der Verfügbarkeitsprüfung gegen diese Kontingente dargestellt werden.

Der Prozess der Kontingentierung von ATP-Mengen wird als „Allocation Planning“ bezeichnet.⁴⁴⁸ Seine Aufgabe ist die Kontingentierung der verfügbaren Ressourcen in Bedarfsklassen, auf die eintreffende Kundenaufträge nur in Abhängigkeit von ihrer Klassenzugehörigkeit Zugriff haben. Während sich die Kontingentierung im Rahmen der Lagerfertigung aufgrund der ATP-Granularität auf Endprodukte anbietet, werden in der Regel die ATP-Bedarfskontingente für die Konfiguration und Auftragsfertigung bei den gängigen APS-Systemen ebenfalls auf Endprodukte gebildet.⁴⁴⁹

In der Literatur existieren nur wenige quantitative Modelle zur Kontingentierung von ATP.⁴⁵⁰ Ihnen ist gemein, dass keine Informationen über Nachfragefunktionen berücksichtigt werden, sondern von deterministischer Nachfrage ausgegangen wird. *BALL, CHEN* und *ZHAO* entwickeln ein lineares Optimierungsmodell zur Allokation von Ressourcen in verschiedene Bedarfsklassen mit dem Ziel der Gewinnmaximierung unter Annahme deterministischer Nachfrage.⁴⁵¹ Als Ergänzung definieren *BALL, CHEN* und *ZHAO* minimale prozentuale Zuordnungsmengen pro Klasse.

Sowohl bei i2 Technologies als auch bei SAP APO kommen regelbasierte Kontingentierungsverfahren zum Einsatz.⁴⁵² Dieser Prozess ist der Hauptproduktionsprogrammplanung nachgelagert und verteilt die ATP-Mengen nach festgelegten Regeln auf die Kundengruppierungen. Diese Mengen bilden dann die Grundlage für die anschließende Verfügbarkeitsprüfung. Dabei können verschiedene Verteilungsregeln zum Einsatz kommen.⁴⁵³

⁴⁴⁷ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 460.

⁴⁴⁸ Der Begriff „Allocation Planning“ wurde von i2 Technologies eingeführt. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005), S. 186 f.

⁴⁴⁹ Vgl. Dickersbach (2004), S. 261 ff., und i2 (2005), S. 124 f.

⁴⁵⁰ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 464 f., und Meyr (2005a), S. 9 ff.

⁴⁵¹ Vgl. Ball/Chen/Zhao (2004), S. 464 f.

⁴⁵² Kontingentiertes ATP wird bei i2 mit „Allocated ATP“ und bei SAP APO mit „Global ATP“ bezeichnet. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 187 f., und Dickersbach (2004), S. 261.

⁴⁵³ Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 190.

- prioritätsgesteuert,
- fester Prozentsatz sowie
- nach Bedarfsprognose.

Abbildung 19 zeigt beispielhaft die Anwendung dieser drei Verteilungsregeln. Im ersten Schritt werden die Prognosemengen der einzelnen Ebenen auf der höchsten Ebene verdichtet. Während eine Gesamtnachfrage von 2000 Einheiten prognostiziert wird, reicht die Kapazität aber im vorliegenden Beispiel nur für die Produktion von 1800 Einheiten aus. Eine kurzfristige Kapazitätserhöhung ist nicht möglich.

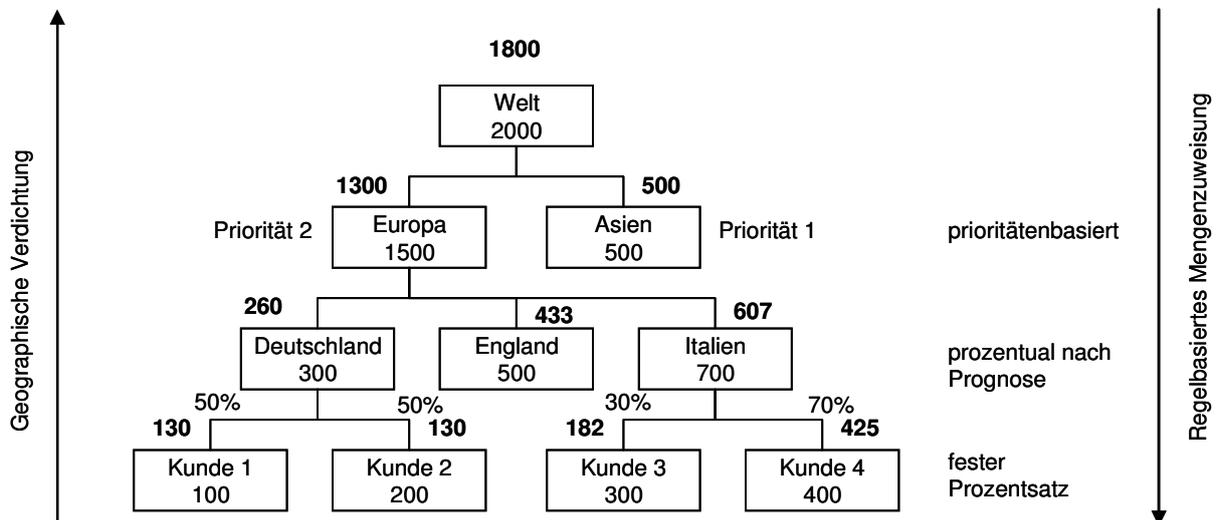


Abbildung 19: Beispiele für regelbasierte Kontingentierung⁴⁵⁴

Im ersten Schritt wird die Verteilung zwischen den Kontingenten prioritätsgesteuert vorgenommen. Da Asien eine höhere Priorität als Europa hat, wird der Bedarf aus Asien zuerst erfüllt, was für Europa zu einer Unterdeckung von 200 Einheiten führt. Die 1300 Einheiten für Europa werden dann im Verhältnis der prozentualen Prognosen auf die einzelnen Länder verteilt.⁴⁵⁵ Das Land mit der größten Prognose bekommt auch die größte absolute Menge. Im letzten Schritt werden

⁴⁵⁴ In Anlehnung an Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 189.

⁴⁵⁵ Wird dieses Allokationsverfahren Kunden bekannt, kann dies zu so genanntem „Shortage Gaming“ führen, d. h. Kunden kommunizieren mit der Absicht der Absicherung höherer Mengenanteile künstlich erhöhte Bedarfe. Vgl. Lee/Padmanabhan/Whang (1997), S. 546 f.

die Ländermengen nach einem festen Prozentsatz auf die Kunden verteilt. Dabei kann es vorkommen, dass Kunden eine größere Menge zugewiesen bekommen, als sie geplant haben, was insgesamt zu einer ineffizienten Verteilung führt. Die Mehrmengen werden von den Kunden nicht benötigt, aber aufgrund der vorgenommenen Allokation stehen sie anderen Kunden nicht mehr zur Verfügung.⁴⁵⁶ Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkte werden im Rahmen der regelbasierten Kontingentierung nicht explizit, sondern lediglich implizit über die Prioritäten bzw. die Anwendungsreihenfolge der Regeln berücksichtigt. Die regelbasierte Kontingentierung wird deshalb dem Optimalitätsanspruch nicht gerecht, da Kosten bzw. Erlöse nicht systematisch erfasst und im Rahmen einer Zielfunktion optimiert werden.

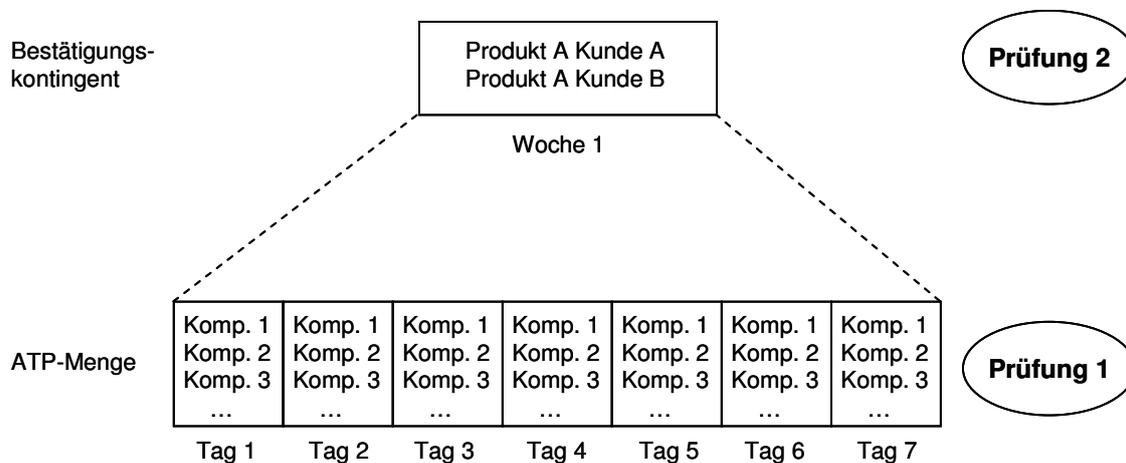


Abbildung 20: Beispiel für eine zweistufige ATP-Verfügbarkeitsprüfung⁴⁵⁷

Zur Verfügbarkeitsprüfung gegen die gebildeten Kontingente können die bereits vorgestellten Methoden angewendet werden.⁴⁵⁸ Die Prüfung der Produktverfügbarkeit wird in der Praxis als zweistufiger Prozess durchgeführt, in dessen Rahmen zuerst die „normale“ Verfügbarkeitsprüfung auf Basis der auf die Fertigungsstrategie ausgelegten ATP-Granularität erfolgt. Im zweiten Schritt erfolgt dann die Prüfung gegen die in der Regel höher verdichteten

⁴⁵⁶ In Abbildung 19 bekommen sowohl Kunde 1 als auch Kunde 4 eine größere Menge als ursprünglich geplant zugewiesen.

⁴⁵⁷ In Anlehnung an Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 188.

⁴⁵⁸ Vgl. Abschnitt III.3.4.3.3.

Kundenkontingente.⁴⁵⁹ Die zweistufige ATP-Struktur ist in Abbildung 20 beispielhaft dargestellt. Im Rahmen der Verfügbarkeitsprüfung wird zuerst geprüft, ob genug ATP-Menge für die sich aus der Stückliste des zu untersuchenden Auftrags ergebenden Komponenten für den gewünschten Zeitraum vorhanden ist und ob der Auftrag aus Kapazitätssicht in der gewünschten Periode bestätigt werden kann. Ist dies der Fall, dann wird im zweiten Schritt untersucht, ob für den Auftrag im Rahmen der Kontingentierung bereits Mengen für den entsprechenden Kunden reserviert worden sind. In der Regel wird bei der zweiten Prüfung eine höhere Zeitspanne als bei der ersten gewählt. Während die ATP-Mengen als Ergebnis der Losgrößen- und Ablaufplanung in der Regel auf Tagesbasis vorliegen, können die Mengen für die Kundenkontingentierungsprüfung auf Wochen bzw. Monate zusammengefasst werden.⁴⁶⁰

3.4.4.4 Kritische Bewertung der existierenden Verfahren

Die quantitativen Modelle zur Ressourcenkontingentierung konzentrieren sich auf die Fertigungsstrategie der Lagerfertigung und basieren auf deterministischer mathematischer Optimierung, die lediglich den Erwartungswert als erwarteten Mittelwert der Nachfrage einbezieht.⁴⁶¹ Es werden keine umfangreicheren Prognoseinformationen, wie beispielsweise Annahmen über die Nachfrageverteilungen und deren Parameter, in die Überlegungen mit einbezogen. Die in der Praxis weit verbreiteten regelbasierten Ansätze sind stark von den verwendeten Regeln abhängig und weisen aufgrund ihrer prioritätsgesteuerten Struktur nicht die Charakteristika eines Optimierungsansatzes auf. In der Praxis werden in der Regel subjektive Prioritäten ermittelt, anstatt die Auswirkungen von Fehlmengen systematisch zu quantifizieren und als Entscheidungsgrundlage für die Kontingentierung heranzuziehen. Darüber hinaus setzen die regelbasierten Verfahren auf den Ergebnissen des Planungsprozesses auf, d. h. die Allokation erfolgt nicht innerhalb der Planung, sondern wird als nachgelagerter Prozess durchgeführt. Somit hängen die Ergebnisse der Kontingentierung und der sich anschließenden Verfügbarkeitsprüfung stark von der Güte des vorgelagerten Planungsprozesses ab. Insgesamt kann die Entscheidungsunterstützung der existierenden optimierenden und regelbasierten

⁴⁵⁹ Im Gegensatz zur ersten Prüfung, die auch als „Machbarkeitsprüfung“ bezeichnet werden kann, zielt die zweite Prüfung auf die Wirtschaftlichkeit der Auftragsannahmeentscheidung ab. Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 188.

⁴⁶⁰ Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 188.

⁴⁶¹ Für Optimierungsansätze im Umfeld der Lagerfertigung vgl. beispielsweise Meyr (2005a), S. 9 ff., und Ball/Chen/Zhao (2004), S. 464 f.

Verfahren für die Aufgabenstellung der Fehlmengenverteilung mit Antizipation als mangelhaft bezeichnet werden.

Da in der Literatur auf die Ähnlichkeit der Problemstellung der Fehlmengenverteilung mit Antizipation und der Fragestellungen des Revenue Managements hingewiesen wird, erfolgt im Rahmen von Kapitel IV eine Untersuchung der Möglichkeit der Entscheidungsunterstützung bei Auftragsannahme durch Verfahren des Revenue Managements. Dazu wird eine auf optimalen und heuristischen Kontingentierungsansätzen basierende Revenue Management-Systematik entwickelt und deren Leistungsfähigkeit anhand realer Praxisdaten einer Fallstudie getestet.

Zunächst aber wird in Teil III dieser Arbeit ein quantitativer Ansatz zur Fehlmengenverteilung im Rahmen der Auftragsüberwachung entwickelt, um die in Abschnitt II.3.4.2.4 identifizierten Schwächen der gängigen APS-Systeme im Hinblick auf die Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung zu kompensieren.

III Entwicklung eines quantitativen Ansatzes zur Fehlmengenverteilung im Rahmen der Auftragsüberwachung

Ziel dieses Kapitels ist die Entwicklung eines Optimierungsmodells zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung und dessen Validierung im Rahmen einer Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie. Zuerst wird dazu ein den Anforderungen der Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration gerecht werdendes, gemischt-ganzzahliges Modell entwickelt.⁴⁶² Nach der Vorstellung der konkreten Problemstellung der Fallstudie werden die Ergebnisse der numerischen Untersuchungen zusammengefasst. Abschließend erfolgt die Formulierung von Handlungsempfehlungen.

1 Modellbildung

In diesem Abschnitt wird zuerst die Eingrenzung des Problems der Fehlmengenverteilung im Rahmen der Auftragsüberwachung auf die Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration vorgenommen. Anschließend folgt die Vorstellung eines gemischt-ganzzahligen Grundmodells, in dem auftragspezifische Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten explizit berücksichtigt werden. Abschließend werden verschiedene Modellerweiterungen dargestellt, die sich beliebig mit dem Grundmodell kombinieren lassen.

1.1 Problembeschreibung

Aufgabe der Überwachung bestätigter Aufträge ist die Sicherstellung der Einhaltung bereits eingegangener Lieferverpflichtungen. Dabei ist auf Grundlage der zum Entscheidungszeitpunkt zur Verfügung stehenden Informationen darüber zu entscheiden, ob die den Kunden bereits zugesagten Aufträge nach Art, Menge und Termin weiterhin erfüllt werden können.⁴⁶³ Ziel der Auftragsüberwachung ist die Einhaltung der bereits bestätigten Termine bei gleichzeitiger kostenminimaler Durchführung der Prozesse.⁴⁶⁴ Das Problem der Fehlmengenverteilung für bereits bestätigte Aufträge tritt dann auf, wenn es aufgrund unvorhergesehener Ereignisse zu kurzfristigen Ressourcenengpässen kommt und als Folge dieser nicht alle bestätigten Aufträge

⁴⁶² Um den Anforderungen der Lagerfertigung gerecht zu werden, kann der Zuordnungsansatz von *FISCHER* für das Problem der Fehlmengenverteilung bei neu zu bestätigenden Aufträgen auf die Problemstellung der Auftragsüberwachung angepasst werden. Vgl. Fischer (2001), S. 155 ff.

⁴⁶³ Vgl. Knolmayer/Mertens/Zeier (2000), S. 132.

⁴⁶⁴ Unter der Durchführung der Prozesse wird dabei der gesamte Leistungserstellungsprozess verstanden, zu dem neben der Beschaffung, der Lagerhaltung und der Produktion auch der Transport der Endprodukte zählt. Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 310.

zu den an die Kunden kommunizierten Terminen vollständig fertiggestellt bzw. geliefert werden können. Die zentrale Frage dabei ist die optimale Verteilung des knappen Material- und Kapazitätsangebots auf die um dieses konkurrierenden Aufträge. Dabei wird das Ziel verfolgt, die negativen Auswirkungen auf die Unternehmensziele zu minimieren. Im Gegensatz zur Lagerfertigung, bei der die Auftragsüberwachung ein Zuordnungsproblem auf Endproduktebene darstellt, sind bei der auftragspezifischen Konfiguration sowohl Material- als auch Kapazitätsressourcen zu berücksichtigen.⁴⁶⁵ In der Regel handelt es sich beim Prozess der auftragspezifischen Konfiguration um einen eine oder wenige Stufen umfassenden Leistungserstellungsprozess.⁴⁶⁶

Ausgangspunkt beim Problem der Fehlmengenverteilung im Rahmen der Auftragsüberwachung für die Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration sind dabei die Material- und Kapazitätsverfügbarkeitsinformationen als Ergebnis der kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung.⁴⁶⁷ Darüber hinaus liegt die Gesamtheit der bereits bestätigten Kundenaufträge und der zugehörigen Produktionsaufträge vor. Tritt in einem Produktionsstandort eine kurzfristige Störung auf, durch die das verfügbare Material- und/oder Kapazitätsangebot reduziert wird, dann ist es die Aufgabe der Auftragsüberwachung zu überprüfen, ob die bereits bestätigten und noch nicht gelieferten Aufträge mit den aktualisierten Verfügbarkeitsinformationen nach Art, Termin und Menge erfüllt werden können. Ist dies nicht der Fall, dann ist das Produktionsprogramm so umzustellen, dass die Auswirkungen der Störungen auf die Liefertreue und die Leistungserstellungskosten möglichst gering gehalten werden.

Die Kundenperspektive findet dabei über die Kennzahl der Liefertreue Berücksichtigung, unter der die Auswirkungen verschobener und nicht belieferteter Aufträge zusammengefasst werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird zwischen der Liefertreue auf Basis der Auftragsmenge (*LTAM*) und

⁴⁶⁵ Im Rahmen der Lagerfertigung wird der erwartete Lagerzugang an Endprodukten auf die bestätigten Kundenaufträge verteilt. Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 311 f., und Fischer (2001), S. 155 ff. Bei der Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration kann ein Material für verschiedene Kundenaufträge verwendet werden, wodurch sich eine wesentlich komplexere Entscheidungssituation als bei der Lagerfertigung ergibt. Vgl. Günther/Tempelmeier (2005), S. 336 f., und Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 184.

⁴⁶⁶ Für Beispiele zur Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration aus der Computerindustrie vgl. Kilger/Schneeweiss (2005b), S. 389, Zhao/Ball (2005), S. 8 ff., Lee/Billington (1995), S. 51 ff., und Kraemer/Dedrick/Yamashiro (2000), S. 5 ff.

⁴⁶⁷ Während sich APS-Systeme auf für den Planungsprozess als kritisch angesehene Komponenten konzentrieren, liefern ERP-Systeme Materialzugangsinformationen für alle Komponenten, die für die verlässliche Auftragsüberwachung notwendig sind. Vgl. Stadler (2005d), S. 216.

der Liefertreue auf Basis der Auftragsanzahl (*LTAA*) unterschieden.⁴⁶⁸ Zur Beschreibung der beiden Kennzahlen der Liefertreue werden folgende Symbole verwendet:

bm_a zum Termin bt_a bestätigte Menge des Auftrags a

bt_a bestätigter Liefertermin des Auftrags a

$gm_{a,t}$ in Periode t gelieferte Menge des Auftrags a

lti_a Liefertreueindikator des Auftrags a (1, falls Auftrag a komplett pünktlich geliefert wurde, andernfalls 0)

Die Liefertreue auf Basis der Auftragsmenge lässt sich als Prozentwert bestimmen.⁴⁶⁹

$$LTAM = \frac{\sum_{a=1}^A gm_{a,bt_a}}{\sum_{a=1}^A bm_a} * 100 \quad (17)$$

Die Liefertreue auf Basis der Auftragsanzahl kann ebenfalls als Prozentwert bestimmt werden:

$$LTAA = \frac{\sum_{a=1}^A lti_a}{A} * 100 \quad (18)$$

$$\text{mit } lti_a = 1 - \min\{bm_a - gm_{a,bt_a}; 1\} \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A \quad (19)$$

Da aber innerhalb der Kennzahl der Liefertreue nicht nach der Wichtigkeit einzelner Kunden differenziert werden kann, werden im Rahmen der numerischen Untersuchungen als zusätzlicher Faktor Fehlmengenkosten herangezogen. Neben den direkt quantifizierbaren Kosten, zu denen beispielsweise entgangener Umsatz und zu zahlende Konventionalstrafen zählen, sind auch die indirekten Kosten durch Goodwill-Verlust zu berücksichtigen.⁴⁷⁰

⁴⁶⁸ Bei lagerbezogenen Leistungskriterien wird analog zwischen dem α -Servicegrad als ereignisbezogene Kennzahl und dem β -Servicegrad als mengenorientierte Kennziffer unterschieden. Zur Definition der Servicegrade vgl. Tempelmeier (2006), S. 27 ff.

⁴⁶⁹ Dabei wird davon ausgegangen, dass für keinen Auftrag mehr als die bestätigte Menge geliefert wird.

⁴⁷⁰ Unter Konventionalstrafe bzw. Vertragsstrafe wird eine dem Vertragspartner zugesicherte Geldsumme für den Fall verstanden, dass die vertraglich vereinbarten Verpflichtungen nicht erfüllt werden. Konventionalstrafen sind besonders in der Automobilzulieferindustrie verbreitet. Vgl. Walters (1974), S. 37, und Miklas (1979), S. 216.

Leistungserstellungskosten stehen dabei für alle direkt anfallenden Kosten, die mit der Leistungserstellung verbunden sind. Dazu zählen die Kosten für die Produktion, die Materialbeschaffung bzw. den Materialverbrauch und die Lagerhaltung von Rohmaterialien, Halbfertigerzeugnissen und Endprodukten sowie die Transportkosten der Endprodukte.

1.2 Formulierung des Grundmodells

Die dem in diesem Abschnitt entwickelten Modell zur Fehlmengenverteilung zugrunde liegende Struktur hat Ähnlichkeiten mit zahlreichen Ansätzen der Produktionsplanung.⁴⁷¹ Die Grundidee des entwickelten Ansatzes liegt in der Bewertung der Verschiebung und Nichterfüllung von Kundenaufträgen durch auftragsspezifische Strafkosten. Ziel ist die Minimierung der Summe aus diesen auftragsspezifischen Strafkosten und den tatsächlichen Leistungserstellungskosten. Im Gegensatz zu gängigen Praxisansätzen werden dabei alle Aufträge simultan betrachtet und die Planung standortübergreifend durchgeführt.⁴⁷² Dabei wird von deterministischen Produktionsdurchlaufzeiten ausgegangen.⁴⁷³ Darüber hinaus findet die Modellierung auf Basis eines einfachen Leistungserstellungsprozesses mit wenigen Stufen statt. Da das Modell den Anwendungsfall der auftragsspezifischen Konfiguration abdeckt, werden sowohl Informationen über die Material- als auch über die Kapazitätsverfügbarkeit berücksichtigt.⁴⁷⁴ Diese liegen als Ergebnis der kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung bzw. der Losgrößen- und Ablaufplanung vor. Ziel des vorliegenden Modells ist die kostenminimale Zuweisung der bereits bestätigten Aufträge zu den verfügbaren Ressourcen unter gleichzeitiger Einhaltung der

⁴⁷¹ THORE stellt beispielsweise ein allgemeines mathematisches Modell vor, das eine Art soziale Wohlfahrtszielfunktion über logistische Netzwerke optimiert. Er unterscheidet dabei zwischen räumlicher, vertikaler und zeitlicher Dimension. Während sich die räumliche Dimension auf den Transport zwischen unterschiedlichen geographischen Orten bezieht (z.B. Lieferungen von Rohmaterial oder Transport von Endprodukten), modelliert die vertikale Dimension den Stücklistenzusammenhang zwischen Rohmaterialien, Zwischenprodukten und Endprodukten. Die zeitliche Dimension berücksichtigt die Bestände im Zeitverlauf. Vgl. Thore (1991), S. 1 ff. Für weitere Formulierungen zur Produktionsplanung vgl. Johnson/Montgomery (1974), S. 122 ff., Balakrishnan/Geunes (2000), S. 169 ff., und Wolsey (1997), S. 154 ff.

⁴⁷² In der Praxis wird im Engpassfall in der Regel die Ressourcenzuteilung einzelner Aufträge selektiv aufgehoben, um die freigewordenen Ressourcen neu zu verteilen. Kriterium ist dabei oftmals die Wichtigkeit des Kunden. Dieser iterative Prozess wird solange wiederholt, bis sich für den Entscheider eine subjektiv befriedigende Situation ergibt. Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 305.

⁴⁷³ Für die Modellierung von Durchlaufzeiten in Abhängigkeit von der Auslastung des Produktionssystems vgl. Lawrence (1995), S. 657 ff., und Wein (1991), S. 834 ff. Für eine Vertiefung stochastischer Produktionssysteme vgl. Hopp/Spearman (2008), S. 264 ff.

⁴⁷⁴ Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 315 f., und Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 184.

bestätigten Liefertermine.⁴⁷⁵ Um bei rollierendem Einsatz des Modells die Volatilität des Produktionsplans zu reduzieren und eine Produktionsglättung zu erreichen, erlaubt das Modell den Ansatz von Strafkosten für Veränderungen des Produktionsprogramms. Dem Grundmodell liegen die folgenden Annahmen zugrunde:

- Auftragspezifische Konfiguration als Fertigungsstrategie,
- deterministische Bearbeitungszeiten,
- Belieferung eines Auftrags nur aus jeweils einem Standort erlaubt⁴⁷⁶,
- Zusammenfassung gleicher Maschinen zu Kapazitätsgruppen pro Standort und
- Einteilung des Produktionshorizonts in einen fixierten und einen flexiblen Abschnitt.

Die Lösung des Modells ergibt einen zulässigen Produktionsplan, der durch folgende Elemente charakterisiert wird:⁴⁷⁷

- Produktionsmengen, -termine und -standorte für jeden Kundenauftrag,
- daraus ableitbare Liefertermine und -mengen für alle Kundenaufträge,
- Bestandsinformationen für Roh-, Halb- und Endprodukte,
- direkte Kosten (Produktions-, Lager- und Transportkosten) und
- Strafkosten (Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten).

Mit F wird die Anzahl der Produktionsstandorte f ($f = 1, \dots, F$), mit A die Anzahl der Aufträge a ($a = 1, \dots, A$) und mit J die Anzahl der im Rahmen der Prüfung berücksichtigten Materialien j ($j = 1, \dots, J$) bezeichnet. Mit K wird die Anzahl der Kapazitätsgruppen k ($k = 1, \dots, K$) indiziert und T gibt die Anzahl der Perioden t im betrachteten Planungshorizont ($t = 0, \dots, T$) an.⁴⁷⁸ Die erste Periode

⁴⁷⁵ Die Einhaltung der bestätigten Liefertermine wird in der Zielfunktion dabei über auftragspezifische Strafkosten für Verspätungen bzw. Nichtbelieferungen berücksichtigt.

⁴⁷⁶ Die Motivation für diese Annahme resultiert aus dem im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Praxisbeispiel. Aufgrund von steuer- und importrechtlichen Rahmenbedingungen war es von den Kunden des Projektpartners gewünscht, Lieferungen jeweils nur aus einem Standort zu erhalten.

⁴⁷⁷ Unzulässigkeit kann formal nicht auftreten, da das Modell bei fehlender Ressourcenverfügbarkeit unbegrenztes Backlogging und unbegrenzte Nichtbelieferung erlaubt.

⁴⁷⁸ Unter einer Kapazitätsgruppe werden gleichen Maschinen an einem Produktionsstandort zusammengefasst.

des Planungshorizonts wird mit $t = 1$ bezeichnet, der Zeitpunkt $t = 0$ gibt das Ende der Vorperiode an. tf bezeichnet die Anzahl der Perioden im fixierten Planungshorizont. Der Planungshorizont wird in einen fixierten ($1 \leq t \leq tf$) und einen flexiblen Horizont ($tf < t \leq T$) unterteilt. Im fixierten Horizont liegen neben den Produktionskapazitäten bereits feste Materialbestellungen vor, die durch die vorliegenden Produktionsaufträge ausgelöst worden sind. Im flexiblen Produktionshorizont werden Materialverfügbarkeitsinformationen in aggregierter Form, d. h. mehrere Perioden umfassend, berücksichtigt.⁴⁷⁹

Ein Kundenauftrag a ($a = 1, \dots, A$) besteht aus einer in Periode bt_a ($1 \leq bt_a \leq T$) zugesagten Menge bm_a .⁴⁸⁰ Mit $tz_{f,a}$ wird die Transportzeit angegeben, die zur Lieferung eines Stückes des Auftrags a vom Produktionsstandort f zum Standort des Kunden a benötigt wird. Ein Stück des Auftrags a hat eine Durchlaufzeit von dz_a durch den Produktionsprozess. Mit $bk_{f,a,k,t}$ wird der Kapazitätsbedarf eines Stückes des Auftrags a am Produktionsstandort f auf Kapazitätsgruppe k in Periode t der Durchlaufzeit ($1 \leq t \leq dz_a$) angegeben. $bom_{a,j}$ gibt an, wieviel Stück des Materials j für ein Stück des Auftrags a benötigt werden. $lp_{f,a}^0$ steht für den Bestand, der am Produktionsstandort f vor der Ausführung eines Planungslaufs (zum Zeitpunkt $t = 0$) für ein Endprodukt des Auftrags a auf Lager liegt. $wip_{f,a,t}$ bezeichnet die Menge an Endprodukten des Auftrags a , die am Produktionsstandort f in Periode t verfügbar wird und deren Produktionsstart in der Vergangenheit lag. Um in der Zielfunktion die Abweichung der neuen von der alten Planung im fixierten Planungshorizont bewerten zu können, wird mit $p_{f,a,t}^0$ der alte Stand der geplanten Produktionsmenge an Endprodukten angegeben, die am Produktionsstandort f in Periode t des fixierten Planungshorizonts ($1 \leq t \leq tf$) fertiggestellt werden sollte (vor dem Start eines neuen Planungslaufs). Die Abweichung des neuen vom alten Produktionsplan wird dabei durch die Abweichungskosten kap_a für den Auftrag a bewertet.

Wird ein Stück des Auftrags a zu einem späteren Termin als dem ursprünglich bestätigten zugesagt, dann werden Strafkosten in Höhe von kv_a pro Periode angesetzt. Kann ein Stück des Auftrags a nicht innerhalb des gesamten Planungshorizonts ($1 < t \leq T$) bestätigt werden, fallen Nichterfüllungskosten kn_a an. Am Produktionsstandort f sind für ein Endprodukt des Auftrags a Lagerkosten in Höhe von $klp_{f,a}$ pro Periode und Stück und Produktionskosten in Höhe von $kp_{f,a}$ pro Stück anzusetzen. Die Transportkosten vom Produktionsstandort f zum Kunden des

⁴⁷⁹ In der betrachteten Fallstudie liegen Materialverfügbarkeitsinformationen im fixierten Produktionshorizont auf Tagesbasis und im flexiblen Produktionshorizont auf Wochenbasis vor.

⁴⁸⁰ Da sich die vorliegende Betrachtung auf Stückgut bezieht, werden die Mengen im weiteren Verlauf dieser Arbeit in Stück angegeben.

Auftrags a werden mit $kt_{f,a}$ bezeichnet. Zur Lagerung der Halbfertigerzeugnisse des Auftrags a werden am Produktionsstandort f die Kosten $klw_{f,a,t}$ fällig, wobei t die Perioden angibt, die die Halbfertigerzeugnisse noch von der Fertigstellung entfernt sind. Mit $klwa_{f,a,t}$ werden die gesamten Lagerkosten der Halbfertigerzeugnisse am Produktionsstandort f für Auftrag a pro Stück angegeben, das in Periode t als Endprodukt fertiggestellt wird. $ps_{f,a}^0$ wird aus dem letzten Planungslauf berechnet und gibt an, an welchem Produktionsstandort f ein Auftrag a geplant war. $p_{f,a}^0$ gibt analog dazu an, ob für den Auftrag a am Produktionsstandort f bereits Lagerbestand an Endprodukten oder Halbfertigerzeugnissen vorliegt oder im fixierten Produktionsbereich bereits Produktion geplant worden ist.⁴⁸¹ Die administrativen Verlagerungskosten eines Auftrags a zwischen zwei Standorten werden mit kav_a bewertet. Der Lagerbestand des Materials j am Produktionsstandort f zum Zeitpunkt $t = 0$ wird mit $lbm_{f,j}^0$ bezeichnet. $sb_{f,j}$ gibt den Sicherheitsbestand des Materials j am Produktionsstandort f an, der nicht zu unterschreiten ist. Der geplante Zufluss des Materials j in Periode t am Produktionsstandort f wird mit $zm_{f,j,t}$ angegeben. Die Materialkosten für ein Stück des Materials j am Produktionsstandort f werden mit $km_{f,j}$ bewertet und $klm_{f,j}$ bezeichnet die Lagerkosten pro Periode für ein Stück des Materials j am Produktionsstandort f . Die maximale Personal- und Maschinenkapazität zur Fertigstellung von Endprodukten pro Produktionsstandort f , Kapazitätsgruppe k und Periode t wird mit $pk_{f,k,t}$ bezeichnet. Über den Gewichtungsfaktor g' kann der erste Term (Strafkosten für Verspätung und Nichtbelieferung), über den Gewichtungsfaktor g'' der zweite Term (Leistungserstellungskosten) und über den Faktor g''' der dritte Term (Stabilität des Produktionsprogramms) der Zielfunktion (20) gewichtet werden.

$P_{f,a,t}$ gibt die Menge der Endprodukte des Auftrags a an, die am Produktionsstandort f in Periode t fertiggestellt wird. (Die Produktion startet zum Zeitpunkt $t - dz_a$.) Die Menge des Auftrags a , die nicht innerhalb des Planungshorizonts ($1 < t \leq T$) beliefert werden kann, wird mit NB_a bezeichnet. $MV_{f,j,t}$ gibt die Menge des Materials j an, die am Produktionsstandort f in Periode t verbraucht wird. $LBP_{f,a,t}$ bezeichnet den Bestand an Endprodukten des Auftrags a am Produktionsstandort f in Periode t . Analog dazu steht $LBM_{f,j,t}$ für den Lagerbestand des Materials j am Produktionsstandort f in Periode t . Die Binärvariable $X_{f,a}$ gibt als Ergebnis der Optimierung an, ob der Auftrag a am Produktionsstandort f produziert wird.

⁴⁸¹ $p_{f,a}^0$ bekommt den Wert 1 zugewiesen, wenn für den Auftrag a am Produktionsstandort f bereits Lagerbestand an Endprodukten oder Halbfertigerzeugnissen vorliegt oder Produktion im fixierten Horizont geplant ist, andernfalls erhält $p_{f,a}^0$ den Wert 0.

Zusammenfassend werden folgende Indizes, Parameter und Entscheidungsvariablen verwendet.⁴⁸²

Indizes

- a Auftrag, mit $a = 1, \dots, A$ und $A =$ Anzahl der Aufträge
- f Produktionsstandort, mit $f = 1, \dots, F$ und $F =$ Anzahl der Produktionsstandorte
- j Material, mit $j = 1, \dots, J$ und $J =$ Anzahl der Materialien
- k Kapazitätsgruppe, mit $k = 1, \dots, K$ und $K =$ Anzahl der Kapazitätsgruppen
- t Periode, mit $t = 0, \dots, T$ und $T =$ Anzahl der Perioden im gesamten Planungshorizont⁴⁸³

Parameter

- $bk_{f,a,k,t}$ Kapazitätsbedarf eines Stückes des Auftrags a am Produktionsstandort f auf Kapazitätsgruppe k in Periode t der Durchlaufzeit ($1 \leq t \leq dz_a$)
- $bom_{a,j}$ Menge des Materials j , die für ein Stück des Auftrags a benötigt wird
- bm_a für Periode bt_a bestätigte Menge des Auftrags a
- bt_a zugesagter Eintrefftermin des Auftrags a beim zugehörigen Kunden ($1 \leq bt_a \leq T$)
- dz_a Durchlaufzeit des Auftrags a durch den Produktionsprozess in Perioden
- g' Gewichtungsfaktor des ersten Terms der Zielfunktion (Strafkosten für Verspätung und Nichtbelieferung)
- g'' Gewichtungsfaktor des zweiten Terms der Zielfunktion (Leistungserstellungskosten)
- g''' Gewichtungsfaktor des dritten Terms der Zielfunktion (Stabilität des Produktionsprogramms)
- kap_a Strafkosten pro Stück, die der im Rahmen des Planungslaufs neu erzeugte Produktionsplan im fixierten Horizont vom Status Quo abweicht

⁴⁸² Die Erläuterung des gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblems erfolgt im Anschluss an die Problemformulierung.

⁴⁸³ Der planbare Bereich eines neuen Planungslaufs beginnt mit $t = 1$.

kav_a	administrative Verlagerungskosten, die durch die Verschiebung eines Auftrags a zwischen zwei Standorten entstehen
$klm_{f,j}$	Lagerkosten am Produktionsstandort f für ein Stück des Materials j pro Periode
$klp_{f,a}$	Lagerkosten am Produktionsstandort f für ein Endprodukt des Auftrags a pro Periode
$klw_{f,a,t}$	Lagerkosten, die für ein Stück eines Halbfertigerzeugnisses am Standort f für Auftrag a anfallen, wenn das Halbfertigerzeugnis noch t Periode von der Umwandlung in ein Endprodukt entfernt ist
$klwa_{f,a,t}$	gesamte Lagerkosten der Halbfertigerzeugnisse am Produktionsstandort f für Auftrag a pro Stück, das in Periode t als Endprodukt fertiggestellt wird.
$km_{f,j}$	Materialkosten am Produktionsstandort f für ein Stück des Materials j
kn_a	Nichterfüllungskosten pro Stück des Auftrags a
$kp_{f,a}$	Produktionskosten am Produktionsstandort f pro Stück des Auftrags a
$kpwt_{f,a,t}$	Summe aus den Faktoren für Produktions-, Transport- und WIP-Lagerhaltungskosten für Produktionsstandort f , Auftrag a und Periode t ($kpwt_{f,a,t} = kp_{f,a} + klwa_{f,a,t} + kt_{f,a}$)
$kt_{f,a}$	Transportkosten vom Produktionsstandort f zum Kunden des Auftrags a
kv_a	Verspätungskosten pro Periode und Stück des Auftrags a
$lbn^0_{f,j}$	Anfangslagerbestand des Materials j am Produktionsstandort f zum Zeitpunkt $t = 0$
$lbp^0_{f,a}$	Anfangslagerbestand an Endprodukten am Produktionsstandort f für den Auftrag a
G	große Zahl
$p^0_{f,a,t}$	aktuell geplante Produktionsmenge an Endprodukten, die am Produktionsstandort f in Periode t des fixierten Produktionshorizonts ($1 \leq t \leq tf$) fertiggestellt wird (Inputgröße für das Optimierungsmodell)
$pk_{f,k,t}$	maximale Produktionskapazität (Personal- und Maschinenkapazität) am Produktionsstandort f auf Kapazitätsgruppe k in Periode t
$p^0_{f,a}$	gibt an, ob am Produktionsstandort f für den Auftrag a bereits Lagerbestand an Endprodukten oder Halbprodukten vorhanden ist oder ob Produktion im fixierten Bereich im letzten Planungslauf ($t = 0$) eingeplant war (1, falls Lagerbestand an End- oder Halbprodukten vorliegt oder Produktion im fixierten Bereich geplant war, andernfalls 0)

$ps_{f,a}^0$	gibt an, an welchem Produktionsstandort f der Auftrag a zuletzt eingeplant war (1, falls Auftrag a am Produktionsstandort f geplant war, andernfalls 0). ⁴⁸⁴
$sb_{f,j}$	Sicherheitsbestand des Materials j , der am Produktionsstandort f vorzuhalten ist
tf	Anzahl der Perioden im fixierten Planungshorizont
$tz_{f,a}$	Transportzeit des Auftrags a vom Produktionsstandort f zum Standort des entsprechenden Kunden in Perioden
$wip_{f,a,t}$	Menge an Endprodukten, die am Produktionsstandort f in Periode t verfügbar wird und deren Produktionsstart vor dem aktuellen Planungsbeginn ($t = 1$) lag ⁴⁸⁵
$zm_{f,j,t}$	erwarteter Zugang des Materials j am Produktionsstandort f in Periode t

Entscheidungsvariablen

$KV_{f,k,t}$	Produktionskapazität, die am Produktionsstandort f auf Kapazitätsgruppe k in Periode t verbraucht wird
$LBM_{f,j,t}$	Bestand an Material j am Produktionsstandort f in Periode t
$LBP_{f,a,t}$	Bestand an Endprodukten am Produktionsstandort f für Auftrag a in Periode t
$MV_{f,j,t}$	Menge des Materials j , die am Produktionsstandort f in Periode t verbraucht wird
NB_a	Nichtbelieferungsmenge des Auftrags a
$\tilde{O}_{f,a,t}^+$	Hilfsvariable zur Linearisierung der Betragsfunktion $ P_{f,a,t} - p_{f,a,t}^0 $
$\tilde{O}_{f,a,t}^-$	Hilfsvariable zur Linearisierung der Betragsfunktion $ P_{f,a,t} - p_{f,a,t}^0 $
$P_{f,a,t}$	Produktionsmenge für Auftrag a am Produktionsstandort f , die in Periode t fertig gestellt wird (Produktion startet in $t - dz_a$)
$X_{f,a}$	Binärvariable zur Entscheidung, an welchem Produktionsstandort f der Auftrag a gefertigt wird (1, wenn der Auftrag a am Produktionsstandort f gefertigt wird, andernfalls 0)

⁴⁸⁴ $p_{f,a,t}^0$ und $p_{f,a}^0$ werden vor jedem Planungslauf aus dem jeweiligen Status Quo als Input für das Optimierungsmodell berechnet.

⁴⁸⁵ Die Halffertigerzeugnisse, die aus dem Produktionsstart vor dem betrachteten Planungshorizont resultieren ($-dz_a + 1 \leq t \leq 0$), werden im Zeitraum ($1 \leq t \leq dz_a - 1$) zu Fertigprodukten.

Zielfunktion

$$\begin{aligned}
\text{Min } g' * \sum_{a=1}^A & \left(kv_a * \sum_{f=1}^F \sum_{t=bt_a-tz_{f,a}+1}^{T-tz_{f,a}} (t - (bt_a - tz_{f,a})) * P_{f,a,t} + kn_a * NB_a \right) + \\
& \left. \begin{aligned}
& \left(\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T km_{f,j} * MV_{f,j,t} + \sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^T kp_{f,a} * P_{f,a,t} + \sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^T kt_{f,a} * P_{f,a,t} + \right. \\
& g'' * \sum_{f=1}^F \left(\sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^T klwa_{f,a,t} * P_{f,a,t} + \sum_{a=1}^A \sum_{t=0}^T klp_{f,a} * LBP_{f,a,t} + \right. \\
& \left. \left. \sum_{j=1}^J \sum_{t=0}^{tf} klm_{f,j} * LBM_{f,j,t} + \sum_{a=1}^A ((1 - ps_{f,a}^0) * X_{f,a} * kav_a) \right) \right. \\
& g''' * \sum_{f=1}^F \sum_{a=1}^A \sum_{t=1+dz_a}^{tf} (\tilde{O}_{f,a,t}^+ + \tilde{O}_{f,a,t}^-) * kap_a
\end{aligned} \right) + \quad (20)
\end{aligned}$$

Zielfunktion bei Zusammenfassung von Produktions-, Transport- und WIP-Lagerkosten⁴⁸⁶

$$\begin{aligned}
\text{Min } g' * \sum_{a=1}^A & \left(kv_a * \sum_{f=1}^F \sum_{t=bt_a-tz_{f,a}+1}^{T-tz_{f,a}} (t - (bt_a - tz_{f,a})) * P_{f,a,t} + kn_a * NB_a \right) + \\
& \left. \begin{aligned}
& \left(\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T km_{f,j} * MV_{f,j,t} + \sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^T kpwt_{f,a,t} * P_{f,a,t} + \sum_{a=1}^A \sum_{t=0}^T klp_{f,a} * LBP_{f,a,t} + \right) \\
& g'' * \sum_{f=1}^F \left(\sum_{j=1}^J \sum_{t=0}^{tf} klm_{f,j} * LBM_{f,j,t} + \sum_{a=1}^A ((1 - ps_{f,a}^0) * X_{f,a} * kav_a) \right) \\
& g''' * \sum_{f=1}^F \sum_{a=1}^A \sum_{t=1+dz_a}^{tf} (\tilde{O}_{f,a,t}^+ + \tilde{O}_{f,a,t}^-) * kap_a
\end{aligned} \right) + \quad (21)
\end{aligned}$$

Unter Beachtung der Restriktionen:1.) Auftragserfüllung

$$\sum_{f=1}^F \left(lbp_{f,a}^0 + \sum_{t=1}^{T-tz_{f,a}} P_{f,a,t} \right) = bm_a - NB_a \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A \quad (22)$$

2.) Lagerbestand Endprodukte

$$LBP_{f,a,0} = lbp_{f,a}^0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A \quad (23)$$

⁴⁸⁶ Gleichung (21) könnte im Hinblick auf $P_{f,a,t}$ noch weiter zusammengefasst werden, allerdings müsste die Zusammenfassung dann über die Gewichtungsfaktoren hinweg erfolgen.

$$LBP_{f,a,t} = LBP_{f,a,t-1} + P_{f,a,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, bt_a - tz_{f,a} - 1 \quad (24)$$

$$LBP_{f,a,t} = 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = bt_a - tz_{f,a}, \dots, T \quad (25)$$

3.) Material

$$LBM_{f,j,0} = lbm_{f,j}^0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; j = 1, \dots, J \quad (26)$$

$$LBM_{f,j,t} = LBM_{f,j,t-1} + zm_{f,j,t} - MV_{f,j,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (27)$$

$$\sum_{a=1}^A bom_{a,j} * P_{f,a,t+dz_a} = MV_{f,j,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T - dz_a \quad (28)$$

$$LBM_{f,j,t} \geq sb_{f,j} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (29)$$

4.) Produktion

$$P_{f,a,t} = wip_{f,a,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, dz_a - 1 \quad (30)$$

$$\sum_{t=1}^{T-tz_{f,a}} P_{f,a,t} \leq X_{f,a} * G \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A \quad (31)$$

$$\sum_{f=1}^F X_{f,a} = 1 \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A \quad (32)$$

$$X_{f,a} - pl_{f,a}^0 \geq 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A \quad (33)$$

$$KV_{f,k,t} = \sum_{a=1}^A \sum_{t'=t+1}^{t+dz_a} P_{f,a,t'} * bk_{f,a,k,dz_a+t-t'+1} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T - dz_a - 1 \quad (34)$$

$$KV_{f,k,t} = \sum_{a=1}^A \sum_{t'=t+1}^T P_{f,a,t'} * bk_{f,a,k,dz_a+t-t'+1} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; k = 1, \dots, K; t = T - dz_a, \dots, T - 1 \quad (35)$$

$$KV_{f,k,t} \leq pk_{f,k,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T - 1 \quad (36)$$

5.) Lagerkosten von Halbfertigerzeugnissen

$$klwa_{f,a,t} = \sum_{t'=1}^{t-1} klw_{f,a,t'} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, dz_a - 1 \quad (37)$$

$$klwa_{f,a,t} = \sum_{t'=1}^{dz_a-1} klw_{f,a,t'} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = dz_a, \dots, T \quad (38)$$

6.) Abbildung des Betrags ($|P_{f,a,t} - p_{f,a,t}^0|$) in der Zielfunktion⁴⁸⁷

$$P_{f,a,t} - p_{f,a,t}^0 = \tilde{O}_{f,a,t}^+ - \tilde{O}_{f,a,t}^- \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, T \quad (39)$$

7.) Ganzzahligkeit

$$X_{f,a} \in \{0,1\} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A \quad (40)$$

8.) Nichtnegativität

$$P_{f,a,t} \geq 0, LBP_{f,a,t} \geq 0, \tilde{O}_{f,a,t}^+ \geq 0, \tilde{O}_{f,a,t}^- \geq 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, T \quad (41)$$

$$MV_{f,j,t} \geq 0, LBM_{f,j,t} \geq 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (42)$$

$$KV_{f,k,t} \geq 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T \quad (43)$$

$$NB_a \geq 0 \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A \quad (44)$$

$$g' \geq 0, g'' \geq 0, g''' \geq 0 \quad (45)$$

Die zu minimierende Zielfunktion (20) setzt sich aus drei Kostenblöcken zusammen, die mit den Gewichtungsfaktoren g' bis g''' zueinander gewichtet werden können.⁴⁸⁸ Der erste Block summiert über alle Aufträge die Strafkosten, die durch das Nichteinhalten der bestätigten Liefertermine entstehen. Für jede Periode, um die ein Stück eines Auftrags später beliefert wird, werden auftragspezifische Verspätungskosten berechnet. Für jedes Stück eines Auftrags, das nicht im betrachteten Planungszeitraum bestätigt werden kann, werden entsprechende Nichtbelieferungskosten angesetzt.

Der zweite Block umfasst alle zur Leistungserstellung notwendigen Kosten. Zu diesen zählen die Kosten für das im Produktionsprozess verbrauchte Material, die Aufwendungen für die Produktion, die Kosten für die Lagerhaltung von Endprodukten, Material und Halbfertigerzeugnissen, die Ausgaben für den Transport der Endprodukte und administrative Verlagerungskosten. Verlagerungskosten fallen an, wenn Aufträge zwischen Produktionsstandorten verschoben werden. Die Faktoren $kp_{f,a}$, $klwa_{f,a,t}$ und $kt_{f,a}$ können zur Modellverein-

⁴⁸⁷ Um die Betragsfunktion $|P_{f,a,t} - p_{f,a,t}^0|$ in der Zielfunktion abzubilden, werden zwei neue Hilfsvariablen eingeführt und die Betragsfunktion in der Zielfunktion wird durch die Formulierung $(\tilde{O}_{f,a,t}^+ + \tilde{O}_{f,a,t}^-)$ ersetzt.

⁴⁸⁸ Durch die Gewichtung und die Zusammenfassung der einzelnen Blöcke zu einer Zielfunktion können Kompensationseffekte entstehen. Da multikriterielle Ansätze allerdings den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden, wird es weiteren Forschungsarbeiten überlassen, die Anwendung multikriterieller Ansätze auf die vorliegende Fragestellung zu untersuchen.

fachung zu dem Parameter $kpwt_{f,a,t}$ zusammengefasst werden, wie dies in der äquivalenten Zielfunktion (21) dargestellt ist. Da im Rahmen der numerischen Untersuchungen aber ein Vergleich der Kosten für Produktion, Lagerhaltung von Halbfertigerzeugnissen und Transport erfolgt, werden diese Kosten wie in Formulierung (20) dargestellt getrennt betrachtet.

Der dritte Block der Zielfunktion umfasst Strafkosten, die steigen, je stärker ein neu generierter Produktionsplan im fixierten Produktionshorizont vom Ausgangsplan abweicht. Die ursprüngliche Formulierung $|P_{f,a,t} - p_{f,a,t}^0|$, also die Abweichung des neuen vom alten Produktionsplan, wird dabei durch die Formulierung $\tilde{O}_{f,a,t}^+ + \tilde{O}_{f,a,t}^-$ in Verbindung mit der Nebenbedingung (39) im Rahmen des gemischt-ganzzahligen Optimierungsansatzes modelliert.

Die Zielfunktion ist dabei unter Einhaltung folgender Nebenbedingungen zu minimieren:

- *Auftragserfüllung:* Bedingung (22) stellt sicher, dass jeder Auftrag entweder vollständig beliefert oder der nicht belieferte Teil der Nichtbelieferungsmenge zugeordnet wird.⁴⁸⁹
- *Lagerbilanzgleichung der Endprodukte:* Die Restriktionen (23) bis (25) sorgen für die Lagerfortschreibung der Endprodukte. Lagerbestand wird nur bis zu der zur Liefertermineinhaltung notwendigen Versandperiode aufgebaut. Später produzierte Produkte werden direkt nach der Fertigstellung versendet, weshalb keine weiteren Lagerkosten anfallen.
- *Material:* Die Lagerbilanzgleichungen (26) und (27) stellen die Flusserhaltung des Materials sicher. Bedingung (28) errechnet in Abhängigkeit des Produktionsplans und der Stücklisten den Materialverbrauch. Dabei wird die Annahme getroffen, dass alle Materialien zum Zeitpunkt des Produktionsstarts vorhanden sein müssen. Bedingung (29) sorgt dafür, dass zu keinem Zeitpunkt ein festgelegter Sicherheitsbestand unterschritten wird.⁴⁹⁰
- *Produktion:* Bedingung (30) stellt sicher, dass innerhalb der Durchlaufzeit der Aufträge nur die Mengen fertig gestellt werden, deren Produktion bereits in Vorperioden angestoßen worden ist. Gleichungen (31) bis (32) sorgen dafür, dass ein Auftrag nur aus jeweils einem Produktionsstandort beliefert wird. Diese Restriktion wird durch den betrachteten Praxisfall motiviert, da die Kunden des Projektpartners zur Vereinfachung der Importabwicklung und

⁴⁸⁹ Im vorliegenden Grundmodell ist eine teilweise Lieferung von Aufträgen erlaubt.

⁴⁹⁰ Soll der Sicherheitsbestand nicht als harte Bedingung vorgegeben werden, kann alternativ auch eine Unterschreitung des Sicherheitsbestandes mit Strafkosten bewertet in die Zielfunktion integriert werden.

zur besseren Rückverfolgbarkeit einen Auftrag jeweils nur aus einem Produktionsstandort beziehen möchten. Um Lieferungen aus verschiedenen Standorten zuzulassen, ist die Modellformulierung entsprechend anzupassen. Bedingung (33) stellt sicher, dass ein Auftrag, für den an einem Standort bereits Halbfertigerzeugnisse oder Endprodukte vorliegen oder Produktion im fixierten Produktionsbereich geplant war, nicht mehr an einen anderen Standort verschoben wird. Bedingungen (34) bis (36) sorgen dafür, dass die vorhandene Kapazität der Kapazitätsgruppen an den einzelnen Standorten in keiner Periode überschritten wird. Der Kapazitätsbedarf errechnet sich aus dem kumulierten Kapazitätsbelastungsprofil der einzelnen Aufträge.

- *Lagerkosten von Halbfertigerzeugnissen:* Die Bedingungen (37) und (38) stellen sicher, dass die gesamten Lagerkosten der Halbfertigerzeugnisse pro Stück des Auftrags a , das am Produktionsstandort f in Periode t fertiggestellt wird, berechnet werden.
- *Abbildung der Betragsfunktion $|P_{f,a,t} - p_{f,a,t}^0|$ in der Zielfunktion:* Die Bedingung (39) in Verbindung mit der Formulierung $\tilde{O}_{f,a,t}^+ + \tilde{O}_{f,a,t}^-$ im dritten Term der Zielfunktion (20) sorgt dafür, dass entweder $\tilde{O}_{f,a,t}^+$ oder $\tilde{O}_{f,a,t}^-$ den Wert 0 annehmen.
- *Ganzzahligkeit und Nichtnegativität:* Die Bedingung (40) stellt die Ganzzahligkeit der Binärvariable sicher, während die Bedingungen (41) bis (44) dafür sorgen, dass die übrigen Entscheidungsvariablen keine negativen Werte annehmen können. Gleichung (45) stellt sicher, dass die Gewichtungsfaktoren der Terme nicht negativ werden.

Wird das Modell rollierend eingesetzt, dann ist nach jedem Lauf sicherzustellen, dass die Ergebnisse des vorherigen Laufs in Inputgrößen für den nachfolgenden Lauf transformiert werden.⁴⁹¹ Wenn die gesamte bestätigte Menge des Auftrags a innerhalb einer Periode t geliefert wird, dann ist der bestätigte Termin bt_a auf die jeweilige Vorgängerperiode der geplanten Lieferung zu setzen.⁴⁹² Die bestätigte Menge bm_a berechnet sich nach Gleichung (46):

$$bm_a = \sum_{f=1}^F \left(lbp_{f,a}^0 + \sum_{t=1}^{T-tz_{f,a}} P_{f,a,t} \right) \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A \quad (46)$$

⁴⁹¹ Für Details zum rollierenden Planungshorizont vgl. Kistner/Switalski (1989), S. 482.

⁴⁹² Erfolgt die Lieferung eines Auftrags dagegen in mehreren Perioden, so ist der ursprüngliche Gesamtauftrag in Einzelaufträge pro geplanter Lieferung zu zerlegen. Die einzelnen Mengen und Termine sind dann jeweils bm_a und bt_a zuzuweisen.

Die übrigen Eingangsgrößen für das Optimierungsmodell berechnen sich folgendermaßen:

$$l_{bm}_{f,j}^0 = LBM_{f,j,1} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; j = 1, \dots, J \quad (47)$$

$$l_{bp}_{f,a}^0 = LBP_{f,a,1} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A \quad (48)$$

$$p_{f,a,t}^o = P_{f,a,t+1} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, tf \quad (49)$$

$$ps_{f,a}^o = X_{f,a} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A \quad (50)$$

$$wip_{f,a,t} = P_{f,a,t+1} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, dz_a - 1 \quad (51)$$

$$pl_{f,a}^0 = \min \left\{ 1; \sum_{t=1}^{tf} P_{f,a,t} + LBP_{f,a,0} \right\} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A \quad (52)$$

Gleichung (47) setzt den Anfangslagerbestand für Material und Gleichung (48) den für Endprodukte für den nachfolgenden Planungslauf. Gleichung (49) leitet die geplante Produktionsmenge an Endprodukten im fixierten Produktionshorizont als Inputgröße für das Optimierungsmodell aus dem letzten Planungslauf ab. In Formulierung (50) werden Produktionsstandorte der Aufträge und in Gleichung (51) die Produktionsmengen, deren Produktionsstart vor dem aktuellen Planungsbeginn lag, berechnet. In Gleichung (52) wird festgelegt, ob für den neuen Planungslauf für einen Auftrag a am Produktionsstandort f bereits Lagerbestand an Endprodukten oder Halbfertigprodukten vorliegt oder Produktion im letzten Planungslauf im fixierten Bereich geplant war.

Die Gewichtungsfaktoren g' bis g''' erlauben es, die Zielfunktion den jeweiligen Unternehmenszielen anzupassen. Steht beispielsweise das Servicelevel für ein Unternehmen im Vordergrund und spielen die Leistungserstellungskosten im Vergleich dazu eine untergeordnete Rolle, dann kann $g' \gg g''$ gesetzt werden. Über das relative Gewicht von g''' zu g' und g'' lässt sich die Volatilität des neu erzeugten Produktionsplans gegenüber der Ausgangssituation steuern. Im Rahmen der numerischen Untersuchungen werden die Auswirkungen verschiedener Gewichtungsszenarien untersucht.

1.3 Modellerweiterungen

Im Folgenden werden verschiedene Erweiterungen des Grundmodells vorgeschlagen, die aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht direkt integriert wurden. Neben der Nichtzulassung von Teillieferungen,⁴⁹³ der Erzwingung von Mindestlosgrößen und der Verwendung alternativer Stücklisten wird die Berücksichtigung von Platzhalteraufträgen dargestellt. Alle Erweiterungen lassen sich beliebig mit dem Grundmodell kombinieren.

1.3.1 Keine Zulassung von Teillieferungen

Für den Fall, dass Kunden im Verspätungsfall nur komplette Lieferungen akzeptieren, werden folgende Symbole eingeführt:

kng_a	Nichtbelieferungskosten des Auftrags a
kvg_a	Verspätungskosten des Auftrags a pro Periode, die der gesamte Auftrag verspätet geliefert wird
kvp_a	Verwurfkosten pro Endprodukt des Auftrags a ⁴⁹⁴
kvw_a	Verwurfkosten pro Halbfertigprodukt des Auftrags a
$wvlb_a$	gibt an, ob Lagerbestand an Fertigprodukten für Auftrag a für andere Aufträge verwendet werden kann (Inputgröße für das Optimierungsmodell: 1, wenn Lagerbestand an Fertigprodukten für Auftrag a für andere Aufträge verwendet werden kann, andernfalls 0).
wvw_a	gibt an, ob Lagerbestand an Halbfertigprodukten für Auftrag a für andere Aufträge verwendet werden kann (Inputgröße für das Optimierungsmodell: 1, wenn Lagerbestand an Halbfertigprodukten für Auftrag a für andere Aufträge verwendet werden kann, andernfalls 0).
$LT_{f,a,t}$	Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn der Auftrag a aus dem Produktionsstandort f in Periode t beliefert wird, andernfalls 0

⁴⁹³ Aufträge dürfen nur zu einem Zeitpunkt in ihrer Gesamthöhe ausgeliefert werden. Wenn dies nicht möglich ist, dann wird der gesamte Auftrag abgelehnt. Somit sind Teillieferungen nicht zulässig.

⁴⁹⁴ Unter Verwurfkosten werden alle Kosten zusammengefasst, die durch die Entsorgung eines Produktes entstehen, das anderweitig nicht mehr verwertbar ist.

Anpassung der Zielfunktion des Grundmodells

Ersetzen des ersten Terms der Zielfunktion (20) durch:

$$g'^* \sum_{a=1}^A \sum_{f=1}^F \left(kvg_a * \sum_{t=bt_a+1}^T (t - bt_a) * LT_{f,a,t} + kng_a * LT_{f,a,T+1} \right) + \dots \quad (53)$$

Anpassung der Strafkosten für die Verlagerung im zweiten Term der Zielfunktion (20):

$$\dots + \sum_{f=1}^F \sum_{a=1}^A \left((1 - ps_{f,a}^0) * \sum_{t=bt_a}^T LT_{f,a,t} * kav_a \right) \quad (54)$$

Zusätzliche Bedingung zur Bestrafung von Verwurf als Erweiterung des zweiten Terms der Zielfunktion (20):

$$\dots + \sum_{a=1}^A \sum_{f=1}^F \left(\left(lb_{f,a}^0 * kvp_a * (1 - wvlb_a) + \sum_{t=1}^{dz_a-1} P_{f,a,t} * kvw_a * (1 - wvw_a) \right) * LT_{f,a,T+1} \right) \quad (55)$$

Anpassung der Nebenbedingungen des Grundmodells

Nebenbedingung (22) im Rahmen der Auftragserfüllung ist zu ersetzen durch Bedingung (56):

$$\sum_{t=1+dz_a}^T P_{f,a,t} = \left(bm_a - lbp_{f,a}^0 - \sum_{t=1}^{dz_a} P_{f,a,t} \right) * \sum_{t=zt_a}^T LT_{f,a,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A \quad (56)$$

Nebenbedingung (24) ist durch Bedingung (57) zu substituieren:

$$LBP_{f,a,t} = LBP_{f,a,t-1} + P_{f,a,t} - LT_{f,a,t} * bm_a \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, T \quad (57)$$

Die Nebenbedingungen (31) bis (33) sind durch (58) bis (61) zu ersetzen:

$$\sum_{t'=t-tz_{f,a}+1}^T P_{f,a,t'} \leq (1 - LT_{f,a,t}) * G \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = bt_a, \dots, T \quad (58)$$

$$\sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^{T+1} LT_{f,a,t} = 1 \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A \quad (59)$$

$$\sum_{t=1}^{bt_a-1} LT_{f,a,t} = 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A \quad (60)$$

$$\sum_{t=bt_a}^{T+1} LT_{a,f,t} - pl_{f,a}^0 \geq 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A \quad (61)$$

Zusätzlich ist die Ganzzahligkeitsbedingung für die Binärvariable $LT_{f,a,t}$ einzuführen:

$$LT_{f,a,t} \in \{0,1\} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, T + 1 \quad (62)$$

Die eingeführte Binärvariable $LT_{f,a,t}$ nimmt den Wert 1 an, wenn der Auftrag a aus dem Produktionsstandort f in Periode t beliefert wird, und den Wert 0, wenn dies nicht der Fall ist. Wenn die Binärvariable zum Zeitpunkt $T + 1$ den Wert 1 annimmt, dann bedeutet dies, dass der Auftrag a nicht beliefert wird. Der erste Term der Zielfunktion (20) ist dabei durch die Formulierung (53) zu ersetzen, in der ein verspäteter Auftrag mit dem Produkt aus verspäteten Perioden und Verspätungskosten kvg_a der gesamten Auftragsmenge und ein nicht beliefertes Auftrag mit den Nichtbelieferungskosten kng_a des Gesamtauftrages bewertet wird. Der Term für die Strafkosten der Auftragsverlagerung in der Zielfunktion ist durch den Ausdruck (54) zu ersetzen. Wenn für einen Auftrag a bereits Endprodukte und/oder Halbfertigprodukte vorliegen, dann sind hierfür die Verwurfskosten kvp_a bzw. kvw_a anzusetzen, falls der Auftrag komplett nicht beliefert wird und die Endprodukte und/oder Halbfertigprodukte nicht mehr für andere Aufträge verwendet werden können. Können die Endprodukte bzw. Halbfertigprodukte weiterverwendet werden (die Inputgrößen wvl_b_a bzw. wvw_a haben den Werte 1), dann werden nach Gleichung (55) keine entsprechenden Strafkosten für Verwurf fällig.

Bei den Nebenbedingungen ist die Bedingung (22) des Grundmodells durch die Bedingung (56) zu ersetzen. Dadurch wird sichergestellt, dass nur dann Produktion geplant wird, wenn die komplette Auftragsmenge geliefert werden kann. Die Bedingung (24) ist durch Gleichung (57) zu ersetzen, da Lagerbestand nur bis zum Auslieferungszeitpunkt der Gesamtmenge aufgebaut wird. Die Gleichungen (31) bis (33) sind durch die Bedingungen (58) bis (61) auszutauschen. Bedingung (58) sorgt dafür, dass für einen Auftrag a nach dem Auslieferungstermin keine Produktion mehr eingeplant wird.⁴⁹⁵ Die Bedingung (59) stellt sicher, dass ein Auftrag nur zu einem Zeitpunkt und nur von einem Produktionsstandort aus geliefert wird. Durch Bedingung (60) wird eine Belieferung vor dem gewünschten Termin verhindert. Aufträge, für die an einem

⁴⁹⁵ Der Auslieferungstermin errechnet sich dabei aus dem Liefertermin abzüglich der Transportzeit.

Produktionsstandort f bereits Endprodukte oder Halbfertigprodukte vorliegen, dürfen nicht an einen anderen Standort verschoben werden (61). Die Bedingung (62) sichert die Ganzzahligkeit der Binärvariable $LT_{f,a,t}$.

1.3.2 Mindestlosgrößen

Für den Fall, dass Mindestproduktionslosgrößen im Rahmen der Produktionsplanung Berücksichtigung finden sollen, kann die Formulierung des Grundmodells durch folgende Symbole ergänzt werden:

$mLot_{f,a}$ Mindestproduktionslosgröße des Auftrags a am Produktionsstandort f

$mLot_{f,a,t}$ Mindestproduktionslosgröße des Auftrags a am Produktionsstandort f in Periode t

$Y_{f,a,t}$ Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn der Auftrag a in Periode t am Produktionsstandort f produziert wird

Folgende Nebenbedingungen sind dabei dem Grundmodell hinzuzufügen:

$$P_{f,a,t} \geq mLot_{f,a} * Y_{f,a,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, T \quad (63)$$

$$P_{f,a,t} \leq Y_{f,a,t} * G \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, T \quad (64)$$

$$Y_{f,a,t} \in \{0,1\} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, T \quad (65)$$

Wenn für die einzelnen Produktionsstandorte und Aufträge Mindestlosgrößen für die Produktion vorgegeben sind ($mLot_{f,a}$), dann können diese über die Bedingungen (63) und (64) berücksichtigt werden. Die Binärvariable $Y_{f,a,t}$ nimmt den Wert 1 an, wenn der Auftrag a in Periode t am Produktionsstandort f produziert wird, andernfalls 0. Bedingungen (63) und (64) sorgen dafür, dass mindestens die Menge $mLot_{f,a,t}$ produziert wird, wenn Produktion in einer Periode t eingeplant wird.⁴⁹⁶ Nebenbedingung (65) stellt die Ganzzahligkeit der Binärvariable

⁴⁹⁶ Vgl. Tempelmeier (2001), S. 30.

$Y_{f,a,t}$ sicher. Falls die Mindestlosgröße auch von der Zeitperiode abhängt, dann kann dies durch die Erweiterung von $mLot_{f,a}$ zu $mLot_{f,a,t}$ berücksichtigt werden.⁴⁹⁷

1.3.3 Alternative Stücklisten

Falls zur Produktion des gleichen Produktes verschiedene Materialien verwendet werden können, dann kann dies im Modell zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung durch die Verwendung von alternativen Stücklisten berücksichtigt werden. Als Praxisbeispiel wird hier die Computerindustrie angeführt, da bei der Montage eines Computers verschiedene Komponenten durch andere substituiert werden können, ohne den Funktionsumfang des Computers merklich zu beeinträchtigen.⁴⁹⁸ Da im Rahmen der untersuchten Fallstudie jedem Auftrag aufgrund der späteren Rückverfolgbarkeit bei Reklamationen nur jeweils eine Stücklistenalternative zugeordnet werden soll, wird diese Restriktion entsprechend im Modell berücksichtigt.⁴⁹⁹ Zur Modellierung der Verwendung alternativer Stücklisten werden folgende Symbole eingeführt:

- $bom_{a,j,v}$ Menge des Materials j , die für ein Stück des Auftrags a benötigt wird, wenn Stücklistenalternative v verwendet wird
- $kslw_a$ Kosten, die durch einen Stücklistenwechsel für Auftrag a entstehen
- $sl_{a,v}^0$ gibt an, welche Stückliste aktuell für den Auftrag a verwendet wird. Hat den Wert 1, wenn Stücklistenalternative v für Auftrag a verwendet wird, andernfalls 0 (Inputgröße für das Optimierungsmodell, keine Variable).
- $SL_{a,v}$ Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn für einen Auftrag a die Stückliste v verwendet wird
- v Stücklistenalternative, mit $v = 1, \dots, V$ und $V =$ Anzahl der Stücklistenalternativen

⁴⁹⁷ Je nach Auftragslage und Auslastung kann die Höhe der Mindestproduktionslosgrößen dadurch über den Zeitverlauf angepasst werden.

⁴⁹⁸ Vgl. Balakrishnan/Geunes (2000), S. 166 f., Ervolina/Dietrich (2001), S. 1 ff., Zhao/Ball (2005), S. 8 ff., und Lee/Billington (1995), S. 51 ff.

⁴⁹⁹ Aufgrund praktischer Erfahrungen wird die Beschränkung auf eine Stücklistenalternative als vorteilhaft angesehen, da sowohl die Kostenermittlung der Produkte als auch die spätere Rückverfolgbarkeit von Materialien erleichtert wird. Falls trotzdem für einen Auftrag mehrere Stücklistenalternativen verwendet werden sollen, lässt sich die Modellformulierung entsprechend anpassen.

Der zweite Term der Zielfunktion (20) des Grundmodells ist dabei durch den Term (66) zu erweitern:

$$\dots + \sum_{a=1}^A \sum_{v=1}^V \left((1 - s_{a,v}^0) * SL_{a,v} * ks/w_a \right) \quad (66)$$

Die Nebenbedingung (28) des Grundmodells wird durch die Bedingung (67) substituiert:

$$\sum_{a=1}^A \sum_{v=1}^V bom_{a,j,v} * SL_{a,v} * P_{f,a,t+dz_a} = MV_{f,j,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T - dz_a \quad (67)$$

Zusätzlich sind die Nebenbedingungen (68) und (69) einzuführen:

$$\sum_{v=1}^V SL_{a,v} = 1 \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A \quad (68)$$

$$SL_{a,v} \in \{0,1\} \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A, v = 1, \dots, V \quad (69)$$

Die Binärvariable $SL_{a,v}$ nimmt den Wert 1 an, wenn für den Auftrag a die Stücklistenalternative v verwendet wird, andernfalls 0. Die Stückliste $bom_{a,j,v}$ gibt an, welche Menge des Materials j für ein Stück des Auftrags a benötigt wird, wenn die Stücklistenalternative v Anwendung findet. $s_{a,v}^0$ gibt an, welche Stückliste aktuell für den Auftrag a geplant ist.⁵⁰⁰ Die Zielfunktion (20) ist um den Term (66) zu ergänzen, der dafür sorgt, dass bei einem Stücklistenwechsel für den Auftrag a die Wechselkosten ks/w_a anfallen. Die Veränderungen der Materialkosten, die sich durch die Auswahl einer anderen Stückliste ergeben können, fließen über den Materialverbrauch direkt in den zweiten Term der Zielfunktion des Grundmodells (20) ein. Die Nebenbedingung (28) ist durch die Bedingung (67) zu ersetzen, die dafür sorgt, dass der Materialbedarf in Abhängigkeit von der verwendeten Stücklistenalternative v berechnet wird. Bedingung (68) stellt sicher, dass jeweils nur eine Stücklistenalternative pro Auftrag verwendet wird.⁵⁰¹ Nebenbedingung (69) sichert die Ganzzahligkeit der Binärvariablen $SL_{a,v}$.

⁵⁰⁰ $s_{a,v}^0$ hat den Wert 1, wenn die Stücklistenalternative v für den Auftrag a geplant war, andernfalls 0.

⁵⁰¹ Für eine Formulierung, die die Annahmen von jeweils nur einer Stücklistenalternative relaxiert, vgl. Chen/Zhao/Ball (2002), S. 430 ff.

1.3.4 Berücksichtigung von Platzhalteraufträgen

Im vorgestellten Grundmodell steht den Kundenaufträgen im Rahmen der Auftragsüberwachung das gesamte Kapazitäts- und Materialangebot zur Verfügung. Eine Reduzierung dieser Menge durch eine kurzfristige Störung in Verbindung mit der Neubestätigung der bereits bestätigten Aufträge reduziert somit die für neue Aufträge zur Verfügung stehende Ressourcenmenge. Möchte ein Unternehmen trotz temporärer Lieferunfähigkeit weiterhin ATP-Mengen für zukünftig erwartete Kundenaufträge reservieren, so kann dies über Platzhalteraufträge realisiert werden, die analog zu bereits bestätigten Aufträgen Kapazität und Material reservieren.⁵⁰² Platzhalteraufträge sind dabei als antizipierte Kundenaufträge zu verstehen, die zum Entscheidungszeitpunkt noch nicht vorliegen, mit deren Eintreffen aber gerechnet wird. Über die Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten der Platzhalteraufträge lässt sich deren Wichtigkeit gegenüber den tatsächlich vorliegenden Aufträgen gewichten.

Zur Modellierung werden folgende Symbole in Ergänzung des Grundmodells eingeführt:

\hat{a}	Platzhalterauftrag, mit $\hat{a} = 1, \dots, \hat{A}$ und \hat{A} = Anzahl der Platzhalteraufträge
$bk_{f,\hat{a},k,t}$	Kapazitätsbedarf eines Stückes des Platzhalterauftrags \hat{a} am Produktionsstandort f auf Kapazitätsgruppe k in Periode t der Durchlaufzeit ($1 \leq t \leq dz_{\hat{a}}$)
$bom_{\hat{a},j}$	Menge des Materials j , die für ein Stück des Platzhalterauftrags \hat{a} benötigt wird
$bm_{\hat{a}}$	in der Periode $bt_{\hat{a}}$ geplante Menge des Platzhalterauftrags \hat{a}
$bt_{\hat{a}}$	prognostizierter Bedarfstermin des Platzhalterauftrags \hat{a}
$dz_{\hat{a}}$	Durchlaufzeit des Platzhalterauftrags \hat{a} durch den Produktionsprozess
$klp_{f,\hat{a}}$	Lagerkosten am Produktionsstandort f für Endprodukte des Platzhalterauftrags \hat{a} pro Periode
$kn_{\hat{a}}$	auftragsspezifische Nichterfüllungskosten für ein Stück des Platzhalterauftrags \hat{a}
$kp_{f,\hat{a}}$	Produktionskosten am Produktionsstandort f pro Stück des Platzhalterauftrags \hat{a}
$kt_{f,\hat{a}}$	Transportkosten von Endprodukten vom Produktionsstandort f zum Kunden des Platzhalterauftrags \hat{a}

⁵⁰² Platzhalteraufträge werden auch als Dummy- oder Pseudoaufträge bezeichnet. Vgl. Chen (2006), S 26.

$kv_{\hat{a}}$	auftragsspezifische Verspätungskosten pro Periode und Stück des Platzhalterauftrags \hat{a}
$tz_{f,\hat{a}}$	Transportzeit des Platzhalterauftrags \hat{a} vom Produktionsstandort f zum entsprechenden Kunden
$KV\hat{A}_{f,k,t}$	Produktionskapazität, die am Produktionsstandort f auf Kapazitätsgruppe k in Periode t durch die Platzhalteraufträge $\hat{a} = 1, \dots, \hat{A}$ verbraucht wird
$LBP_{f,\hat{a},t}$	geplanter Bestand des Platzhalterauftrags \hat{a} am Produktionsstandort f in Periode t
$MV\hat{A}_{f,j,t}$	Menge des Materials j , die am Produktionsstandort f in Periode t durch die Platzhalteraufträge $\hat{a} = 1, \dots, \hat{A}$ verbraucht wird
$NB_{\hat{a}}$	Nichtbelieferungsmenge des Platzhalterauftrags \hat{a}
$P_{f,\hat{a},t}$	Produktionsmenge für Platzhalterauftrag \hat{a} am Produktionsstandort f , die in Periode t fertig gestellt wird (Produktion startet in $t - dz_{\hat{a}}$)
$X_{f,\hat{a}}$	Binärvariable zur Entscheidung, an welchem Produktionsstandort f der Platzhalterauftrag \hat{a} gefertigt wird (1, wenn der Auftrag a am Produktionsstandort f produziert wird, andernfalls 0)

Zur Berücksichtigung von Platzhalteraufträgen ist die Zielfunktion des Grundmodells (20) folgendermaßen zu erweitern:

$$\begin{aligned}
 & \dots + g^{**} \sum_{\hat{a}=1}^{\hat{A}} \left(kv_{\hat{a}} * \sum_{f=1}^F \sum_{t=bt_{\hat{a}}-tz_{f,\hat{a}}+1}^{T-tz_{f,\hat{a}}} (t - (bt_{\hat{a}} - tz_{f,\hat{a}})) * P_{f,\hat{a},t} + kn_{\hat{a}} * NB_{\hat{a}} \right) + \\
 & g^{***} \sum_{f=1}^F \left(\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T km_{f,j} * MV\hat{A}_{j,f,t} + \sum_{\hat{a}=1}^{\hat{A}} \sum_{t=1}^T kp_{f,\hat{a}} * P_{f,\hat{a},t} + \right. \\
 & \left. \sum_{\hat{a}=1}^{\hat{A}} \sum_{t=1}^T klp_{f,\hat{a}} * LBP_{f,\hat{a},t} + \sum_{\hat{a}=1}^{\hat{A}} \sum_{t=1}^T kt_{f,\hat{a}} * P_{f,\hat{a},t} \right) \quad (70)
 \end{aligned}$$

Die Nebenbedingung (27) des Grundmodells ist durch die Bedingung (71) zu substituieren:

$$LBM_{f,j,t} = LBM_{f,j,t-1} + zm_{f,j,t} - MV_{f,j,t} - MV\hat{A}_{j,f,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (71)$$

Zusätzlich ist die Nebenbedingung (72) einzuführen:

$$\sum_{\hat{a}=1}^{\hat{A}} bom_{\hat{a},j} * P_{f,\hat{a},t+dz_{\hat{a}}} = MV\hat{A}_{f,j,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T - dz_{\hat{a}} \quad (72)$$

Die Gleichungen (73) und (74) sind den Nebenbedingungen hinzuzufügen und Nebenbedingung (36) ist durch Gleichung (75) zu ersetzen:

$$KV\hat{A}_{f,k,t} = \sum_{\hat{a}=1}^{\hat{A}} \sum_{t'=t+1}^{t+dz_{\hat{a}}} P_{f,\hat{a},t'} * bk_{f,\hat{a},k,dz_{\hat{a}}+t-t'+1} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T - dz_{\hat{a}} - 1 \quad (73)$$

$$KV\hat{A}_{f,k,t} = \sum_{\hat{a}=1}^{\hat{A}} \sum_{t'=t+1}^T P_{f,\hat{a},t'} * bk_{f,\hat{a},k,dz_{\hat{a}}+t-t'+1} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; k = 1, \dots, K; t = T - dz_{\hat{a}}, \dots, T - 1 \quad (74)$$

$$KV_{f,k,t} + KV\hat{A}_{f,k,t} \leq pk_{f,k,t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T \quad (75)$$

Die Nebenbedingungen (76) bis (88) sind Ergänzung der Nebenbedingungen des Grundmodells:

$$\sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^{T-tz_{f,\hat{a}}} P_{f,\hat{a},t} = bm_{\hat{a}} - NB_{\hat{a}} \quad \text{für alle } \hat{a} = 1, \dots, \hat{A} \quad (76)$$

$$LBP_{f,\hat{a},0} = 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; \hat{a} = 1, \dots, \hat{A} \quad (77)$$

$$LBP_{f,\hat{a},t} = LBP_{f,\hat{a},t-1} + P_{f,\hat{a},t} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; \hat{a} = 1, \dots, \hat{A}; t = 1, \dots, bt_{\hat{a}} - tz_{f,\hat{a}} - 1 \quad (78)$$

$$LBP_{f,\hat{a},t} = 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; \hat{a} = 1, \dots, \hat{A}; t = bt_{\hat{a}} - tz_{f,\hat{a}}, \dots, T \quad (79)$$

$$P_{f,\hat{a},t} = 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; \hat{a} = 1, \dots, \hat{A}; t = 1, \dots, dz_{\hat{a}} - 1 \quad (80)$$

$$\sum_{t=T-tz_{f,\hat{a}}+1}^T P_{f,\hat{a},t} = 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; \hat{a} = 1, \dots, \hat{A} \quad (81)$$

$$\sum_{t=1}^{T-tz_{f,\hat{a}}} P_{f,\hat{a},t} \leq X_{f,\hat{a}} * G \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; \hat{a} = 1, \dots, \hat{A} \quad (82)$$

$$\sum_{f=1}^F X_{f,\hat{a}} = 1 \quad \text{für alle } \hat{a} = 1, \dots, \hat{A} \quad (83)$$

$$P_{f,\hat{a},t} \geq 0, LBP_{f,\hat{a},t} \geq 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; \hat{a} = 1, \dots, \hat{A}; t = 1, \dots, T \quad (84)$$

$$KVA_{f,k,t} \geq 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; k = 1, \dots, K; t = 1, \dots, T \quad (85)$$

$$MVA_{f,j,t} \geq 0 \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; j = 1, \dots, J; t = 1, \dots, T \quad (86)$$

$$NB_{\hat{a}} \geq 0 \quad \text{für alle } \hat{a} = 1, \dots, \hat{A} \quad (87)$$

$$X_{f,\hat{a}} \in \{0,1\} \quad \text{für alle } f = 1, \dots, F; \hat{a} = 1, \dots, \hat{A} \quad (88)$$

Die Zielfunktion (20) wird dabei durch den Term (70) um Verspätungs-, Nichtbelieferungs-, Produktions-, Lagerhaltungs-, Material- und Transportkosten der Platzhalteraufträge ergänzt. Während die Bestätigungstermine normaler Aufträge an die Kunden kommuniziert werden, sind die geplanten Termine $bt_{\hat{a}}$ nicht für die externe Kommunikation gedacht.

Die Materialbestandsgleichung (27) wird durch Nebenbedingung (71) ersetzt, da zusätzlich zu den Materialbedarfen der normalen Aufträge die der Platzhalteraufträge zu berücksichtigen sind. Diese werden in Gleichung (72) berechnet. Die Nebenbedingungen (73) und (74) berechnen den Kapazitätsbedarf der Platzhalteraufträge. Die Kapazitätsrestriktion (36) ist durch die Gleichung (75) zu ersetzen. Die Nebenbedingung (76) stellt sicher, dass jeder Platzhalterauftrag entweder vollständig beliefert oder der nicht belieferte Teil der Nichtbelieferungsmenge zugeordnet wird. Die Nichtbelieferungsmenge wird über die Nichtbelieferungskosten in der Zielfunktion bewertet. Die Gleichungen (77) bis (79) sorgen für die Platzhalteraufträge dafür, dass Lagerbestand bis zum Auslieferungstermin aufgebaut und nach erfolgter Auslieferung kein Lagerbestand mehr vorgehalten wird.

Die Produktionsgleichungen (80) bis (83) stellen über die Binärvariable $X_{f,\hat{a}}$ sicher, dass ein Platzhalterauftrag nur an einem Produktionsstandort gefertigt wird.⁵⁰³ Die Nicht-Negativitätsbedingungen (85) bis (87) sorgen dafür, dass die Entscheidungsvariablen keine negativen Werte annehmen. Die Ganzzahligkeit der Binärvariablen $X_{f,\hat{a}}$ wird durch die Nebenbedingung (88) sichergestellt.

Werden Platzhalteraufträge nicht innerhalb eines bestimmten Zeithorizonts in echte Aufträge umgewandelt, dann sind sie zu löschen, da Platzhalteraufträge ohne dahinter liegende Kundenaufträge nicht zu fertigen sind und auch keine kundenspezifischen Materialbestellvorgänge ausgelöst werden sollten.

⁵⁰³ Da es sich bei Platzhalteraufträgen auch um die Zusammenfassung einzelner Aufträge handeln kann, lässt sich diese Annahme ggf. relaxieren.

2 Modelleinsatz im Rahmen einer Fallstudie

In diesem Abschnitt wird die Problemstellung der Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung an einem Beispiel aus der Telekommunikationsindustrie aufgezeigt. Im Rahmen der Unternehmensvorstellung werden die wichtigsten Charakteristika hinsichtlich Markt, Produktportfolio, Kunden und Fertigungsstrategie erläutert. Im Anschluss daran erfolgen eine Charakterisierung des Produktionsprozesses und die Analyse der Supply Chain hinsichtlich struktureller und funktionaler Attribute. Abschließend wird die konkret vorliegende Problemstellung der Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung abgegrenzt.

2.1 Vorstellung des Projektpartners

Das betrachtete Unternehmen der Telekommunikationsindustrie zählte im Jahr 2005 zu den weltweit größten Herstellern von Mobiltelefonen.⁵⁰⁴ Von der in Deutschland angesiedelten Unternehmenszentrale aus werden die Entwicklung an Standorten in Asien, Dänemark und den USA und die Produktion in den vier Hauptfertigungsstandorten in Europa, Asien und Südamerika koordiniert.⁵⁰⁵ Das Unternehmen beliefert Kunden in über 60 Ländern und deckt damit alle Kontinente ab. Während die größten Absatzmärkte in Europa und Südamerika zu finden sind, wird für den asiatischen Raum mit dem größten Wachstum gerechnet. 5800 Mitarbeiter erwirtschafteten im Geschäftsjahr 2005 einen Umsatz von ca. 2,8 Milliarden Euro.

Der Markt für Mobiltelefone kann sowohl aufgrund der in den vergangenen Jahren beobachteten Absatzsteigerungen als auch wegen der für die Zukunft erwarteten Zuwächse als Wachstumsmarkt bezeichnet werden.⁵⁰⁶ Der Markteintritt zahlreicher asiatischer Hersteller, die zu günstigen Preisen entwickeln und produzieren, hat zu steigendem Kosten- und Wettbewerbsdruck geführt. Darüber hinaus sind wachsende Kundenanforderungen und zunehmende Produkt- und

⁵⁰⁴ Nach einer Studie der ARC-Group lag das Unternehmen mit einem weltweiten Marktanteil von 7,5% im Jahre 2005 auf Platz 5 hinter Nokia, Motorola, Sony Ericsson und Samsung. Vgl. Hartley/Maslin (2007), S. 13.

⁵⁰⁵ Neben den Hauptproduktionsstätten in Deutschland, Ungarn, Brasilien und China sind kleinere Konfigurationsstandorte in Mexiko, Taiwan, den USA und Dänemark angesiedelt.

⁵⁰⁶ Während im Jahr 2006 ca. 800 Millionen auf GSM-Technologie basierend Mobiltelefone verkauft wurden, wird für die Folgejahre ein jährliches Wachstum von ca. 18% prognostiziert. Vgl. Hartley/Maslin (2007), S. 2. GSM (Global System for Mobile Communication) ist die in Europa, Afrika und dem größten Teil Asiens dominierende Mobilfunktechnologie. Rund 65% aller weltweiten Mobilfunkkunden benutzen diesen Standard. Vgl. Hartley/Maslin (2007), S. 24.

Technologiekomplexität zu beobachten.⁵⁰⁷ Die Nachfrage hat stark saisonalen Charakter und ist durch eine hohe Volatilität gekennzeichnet. Die umsatzstärkste Zeit liegt in der Regel zwischen September und Dezember eines Jahres.⁵⁰⁸ Während im Jahr 2006 der durchschnittliche Lebenszyklus eines Mobiltelefons bei zehn Monaten lag und dies bereits eine Verkürzung gegenüber dem Jahr 2001 um 50% darstellt, wird davon ausgegangen, dass sich der Trend der Verkürzung der Lebenszyklen weiter fortsetzt.⁵⁰⁹

Zu den Kunden des Unternehmens zählen auf der einen Seite Betreiber von Mobilfunknetzwerken, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit als Netzbetreiber bezeichnet werden. Diese vertreiben die Geräte entweder mit oder ohne Vertragsbindung und subventionieren dabei den Preis des Telefons.⁵¹⁰ Auf der anderen Seite werden Händler und Distributoren beliefert, die die Geräte ohne Vertragsbindung und somit unsubventioniert weiterverkaufen. Während Netzbetreiber in der Regel kundenspezifische Varianten abnehmen, bei denen sie ihre Wünsche hinsichtlich Design, Farbgestaltung und Softwarespezifikationen einbringen, kaufen Händler und Distributoren normalerweise landesspezifische Standardvarianten.⁵¹¹ Der Markt in Nord- und Südamerika wird zu 95 % von Netzbetreibern dominiert, während in Asien die Händler und Distributoren mit einem Anteil von 80% der verkauften Geräte die wichtigste Rolle spielen. In Europa dominieren die Netzbetreiber mit 67%, auch wenn die Dominanz nicht so deutlich ausfällt wie in Südamerika.⁵¹² Abbildung 21 zeigt die prozentuale Absatzverteilung für den auf der GSM-Technologie basierenden Markt und das in den wichtigsten Märkten vorherrschende Verhältnis zwischen Netzbetreibern und Händlern.

⁵⁰⁷ UMTS (Universal Mobile Telecommunication Standard) als dritte Generation der Mobilfunktechnologie erlaubt wesentlich höhere Datenübertragungsgeschwindigkeiten als die GSM-Technologie.

⁵⁰⁸ Dieser Zeitraum wird im betrachteten Unternehmen auch als „Weihnachtsgeschäft“ bezeichnet.

⁵⁰⁹ Vgl. Hartley/Maslin (2007), S. 48.

⁵¹⁰ Ein Verkauf ohne Vertragsbindung wird als „Pre-paid“ bezeichnet. Dabei muss ein bestimmtes Guthaben vor dem Telefonieren auf das Telefon bzw. die Karte geladen werden. Das Telefon kann nur mit der ausgelieferten SIM-Karte des Netzbetreibers verwendet werden und ist für die SIM-Karten anderer Anbieter gesperrt.

⁵¹¹ Lieferungen direkt an die Endkunden (beispielsweise durch Direktverkauf im Internet) machen nur einen sehr geringen Anteil am Gesamtgeschäft aus und werden deshalb im Verlauf dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.

⁵¹² Vgl. Hartley/Maslin (2007), S. 37.

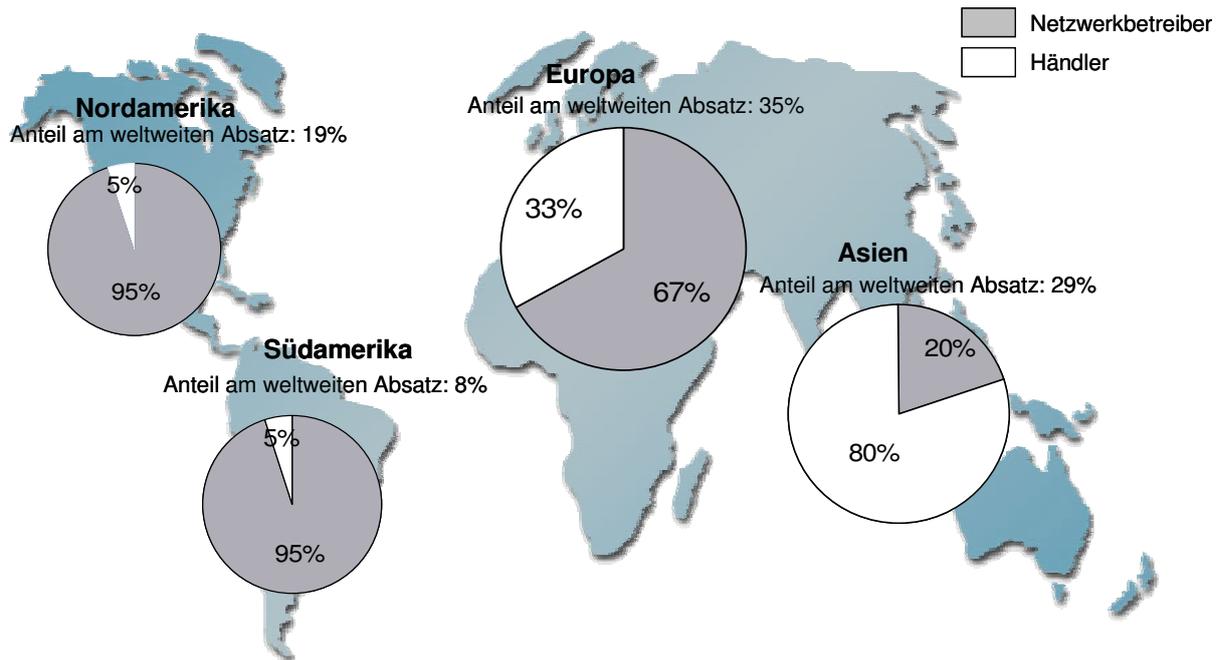


Abbildung 21: Geographische Aufteilung des GSM-Absatzmarktes für 2006⁵¹³

Das Produktportfolio des Projektpartners beinhaltet 38 verschiedene Produkttypen. Ein Produkttyp umfasst dabei alle Geräte, die auf der gleichen Leiterplatte und dem gleichen Schalenkonzept basieren. Die 38 Produkttypen resultieren in ca. 1600 unterschiedlichen Hardwarevarianten, wobei sich die Variantenanzahl noch vervielfacht, wenn auch die verschiedenen Softwarevarianten berücksichtigt werden. Die Mehrzahl der Produkttypen wird selbst entwickelt und produziert, die übrigen werden entweder komplett zugekauft oder bei Auftragsfertigern gefertigt.⁵¹⁴ Ein Mobiltelefon besteht im Durchschnitt aus ca. 250 Teilen, die von über 200 Hauptlieferanten global beschafft werden.⁵¹⁵ Dabei wird zwischen generischen, produktspezifischen und kundenspezifischen Materialien unterschieden. Zu den generischen Materialien, die in mehreren Produkttypen verwendet werden können, zählen beispielsweise Widerstände, Speicherchips und Prozessoren. Displays, Leiterplatten und Kameras werden den

⁵¹³ Industriereport (2006), S. 18.

⁵¹⁴ Während bei Original Equipment Manufacturern (OEM) das komplette Gerät zugekauft wird, wird bei Original Design Manufacturern (ODM) nach den Designvorgaben des beauftragenden Unternehmens gefertigt. Vgl. Hartley/Maslin (2007), S. 21. Auftragsfertiger werden auch als Electronic Manufacturing Services (EMS) bezeichnet. Dabei fertigt ein eigenständiges Unternehmen die Produkte nach den Vorgaben des Auftraggebers. Den Vorteilen der mit dem Einsatz von EMS verbundenen Flexibilitätssteigerung stehen zusätzliche Transaktionskosten gegenüber.

⁵¹⁵ Industriereport (2006), S. 8 f.

produktspezifischen Materialien zugerechnet, da sie in alle Varianten eines Produkttyps eingehen. Zu den kundenspezifischen Materialien gehören unter anderem die kundenspezifischen Verpackungen und die kundenspezifischen Gehäuse. Zahlreiche Netzbetreiber wünschen, dass ihr Logo auf der Vorderseite des Gerätes aufgedruckt wird.

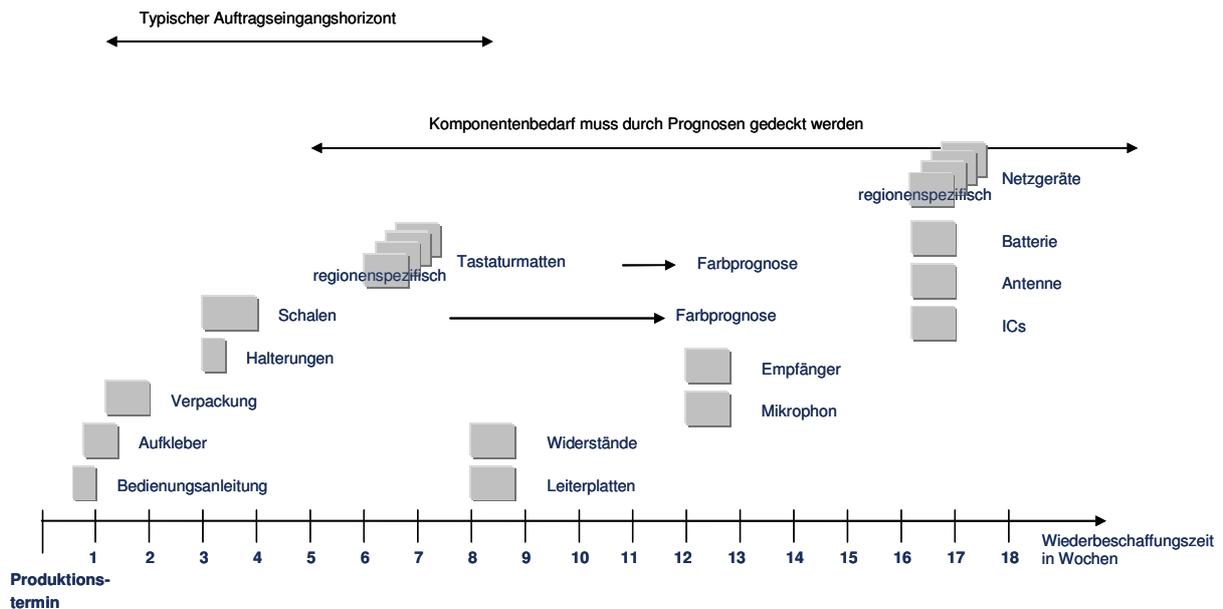


Abbildung 22: Wiederbeschaffungszeiten für ausgewählte Komponenten⁵¹⁶

Abbildung 22 gibt einen Überblick über die Wiederbeschaffungszeit für ausgewählte Komponenten. Da die Kunden des Unternehmens der Fallstudie in der Regel eine Lieferzeit von zwei bis drei Wochen erwarten, wird deutlich, dass ein Großteil der Komponenten auf Basis von Prognosen beschafft bzw. vertraglich abgesichert werden muss. Tastaturen und Ober- und Unterschalen der Gehäuse haben eine Wiederbeschaffungszeit von sechs bis zwölf Wochen, wenn vorher keine Abnahmeprogno­se an den jeweiligen Lieferanten kommuniziert wurde. Aufgrund der hohen Variantenvielfalt und der niedrigen Prognosegenauigkeit werden kundenspezifische Oberschalen nur auftragspezifisch bestellt. Um dafür eine kurze Wiederbeschaffungszeit von unter zwei Wochen zu garantieren, muss regelmäßig eine Kunststoffgranulatvorhersage an die Lieferanten kommuniziert werden. Auf Basis dieser Prognose beschaffen die Lieferanten die notwendigen Vormaterialien und starten gegebenenfalls die Produktion von Halbfertigprodukten.

⁵¹⁶ Eigene Darstellung.

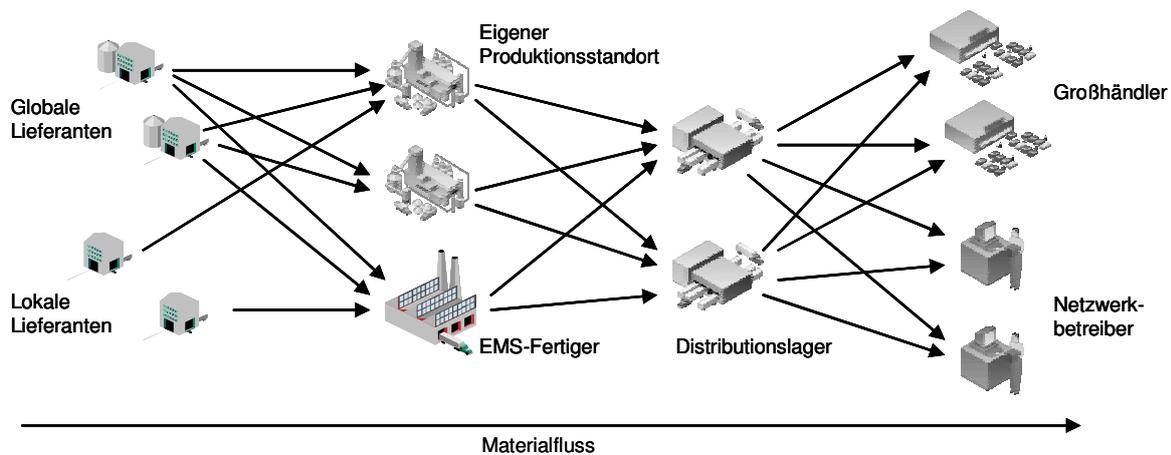


Abbildung 23: Schematischer Überblick über die Supply Chain der Fallstudie⁵¹⁷

Abbildung 23 gibt einen schematischen Überblick über die Struktur der Supply Chain. Als lokale Lieferanten werden Zulieferer bezeichnet, die nur einen Produktionsstandort versorgen.⁵¹⁸ Globale Lieferanten beliefern dagegen alle Standorte.⁵¹⁹ Im Anschluss an die Produktion, die entweder in zum Unternehmen gehörenden Produktionsstätten oder bei Auftragsfertigern stattfindet, werden die Produkte in dezentrale Distributionslager transportiert. Der Vertrieb wird durch regionale Vertriebsgesellschaften organisiert.

Die zum Einsatz kommende Fertigungsstrategie ist auf die jeweilige Kundengruppe ausgerichtet. Netzbetreiber werden dabei hauptsächlich durch die Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration bedient, während die Versorgung der Distributoren bzw. Händler über ein Lagerfertigungsmodell vorgenommen wird. Das Unternehmen hat die Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration, mit der mehr als 95% des Absatzvolumens gefertigt wird, aufgrund der hohen Variantenvielfalt und schwierigen Bedarfsprognose gewählt, um trotz der teilweise langen Materialwiederbeschaffungszeiten den Kunden akzeptable Lieferzeiten anbieten und gleichzeitig das Verwurfsrisiko in Grenzen halten

⁵¹⁷ Eigene Darstellung.

⁵¹⁸ Verpackungen werden beispielsweise ausschließlich von lokalen Lieferanten beschafft, da bei großer räumlicher Distanz die Transportkosten über den Herstellkosten liegen.

⁵¹⁹ Als Beispiele für globale Lieferanten können Chiphersteller und Batterieproduzenten angeführt werden.

zu können.⁵²⁰ Hochwertige kundenspezifische Teile werden erst auf Basis eines vorliegenden Kundenauftrags bei den Lieferanten abgerufen.

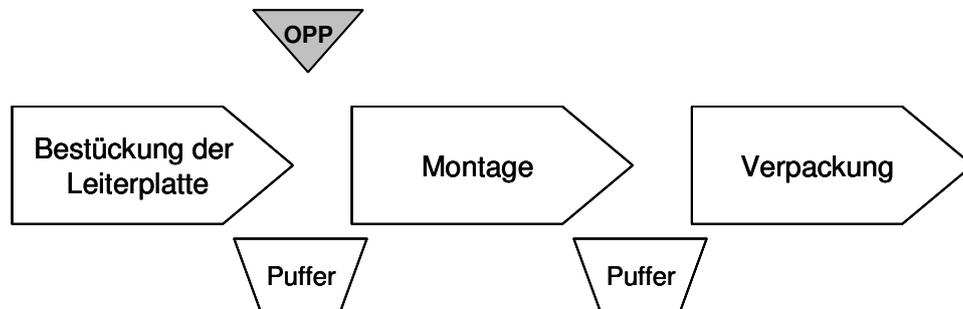


Abbildung 24: Schematische Darstellung des Produktionsprozesses von Mobiltelefonen⁵²¹

Abbildung 24 stellt den dreistufigen Produktionsprozess schematisch dar. Zuerst wird die Leiterplatte in einem Bestückautomaten mit den entsprechenden elektronischen Komponenten bestückt. Danach wird die Leiterplatte erhitzt, damit die vorher aufgetragene Lötpaste die Komponenten fest mit der Leiterplatte verbindet. Dieser Schritt ist für alle Varianten eines Produkttyps gleich, d. h. es werden keine variantenspezifischen Teile verbaut. Auf jedem Bestückautomaten kann jeder Produkttyp gefertigt werden. Im nächsten Schritt werden in der Montagelinie die Schalen und sonstigen variantenspezifischen Teile montiert. Auf einer Prüf- und Montagelinie kann in Abhängigkeit des montierten Testadapters jeweils nur ein Produkttyp gefertigt werden. Im letzten Schritt werden die fertig montierten Mobiltelefone verpackt, indem Bedienungsanleitungen, Netzgeräte und ggf. sonstiges Zubehör hinzugefügt werden.

Die Betriebsmittel in Form der Fertigungslinien sind so angeordnet und aufeinander abgestimmt, dass der Materialfluss kontinuierlich erfolgen kann. Zur Entkopplung einzelner Stationen sind Pufferlager eingerichtet. Hinsichtlich der Rüstkosten und -zeiten, die ein Kennzeichen für die Flexibilität der Fertigung sind, ist festzustellen, dass beim Variantenwechsel innerhalb eines Produkttyps nur geringe Rüstkosten und -zeiten entstehen, da Verpackung und Variantenteile

⁵²⁰ In der Vergangenheit hat das betrachtete Unternehmen Kundenvarianten teilweise auf Basis von Bedarfsprognosen produziert, was in einem zyklischen Marktumfeld zu hohen Beständen geführt hat. Ein Teil dieser Bestände musste dann unter hohen Kosten umgebaut bzw. verworfen werden.

⁵²¹ Eigene Darstellung.

fast übergangslos umgestellt werden können. Selbst beim Wechsel zwischen Produkttypen sind die Rüstzeiten relativ gering.⁵²²

Als Reaktion auf die zunehmende Komplexität der Wertschöpfungskette hat das Unternehmen vor einiger Zeit mit der Einführung ausgewählter Module eines APS-Systems begonnen.⁵²³ Neben der kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung und der Bedarfsplanung werden die Module zur Kunden- und zur Lieferantenkollaboration bereits operativ genutzt. Die Module der standortspezifischen Feinplanung und des Demand Fulfillments befinden sich als Prototypen in einer Testphase. Module zur Transportplanung werden nicht eingesetzt. In den verschiedenen Produktionswerken kommen ERP-Systeme unterschiedlicher Hersteller zum Einsatz, die über eine Schnittstelle mit der zentralen APS-Datenbank verbunden sind.

Mithilfe des Moduls zur Bedarfsplanung werden die weltweiten Bedarfsprognosen der mehr als 40 dezentralen Landesplaner konsolidiert und durch regionale Planungskoordinatoren plausibilisiert. Die kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung, die auch Aspekte der Distributionsplanung enthält, wird in der Regel einmal pro Woche standortübergreifend durchgeführt. Die notwendigen Inputparameter werden aus den dezentralen ERP-Systemen und über das Modul der Lieferantenkollaboration geliefert. Zur Planerzeugung kommt ein heuristisches Verfahren zum Einsatz, das durch hinterlegte Prioritäten gesteuert wird. Dabei werden den Planern in einem ersten Schritt Material- und Kapazitätsengpässe aufgezeigt, um deren zeitnahe Beseitigung zu ermöglichen.⁵²⁴ In einem zweiten Schritt wird anschließend ein machbarer Plan erzeugt, der dann über eine Schnittstelle an die ERP-Systeme der einzelnen Produktionsstandorte zur Umsetzung übergeben wird.

Im Rahmen der Auftragsannahme wird ein Kundenauftrag unter Berücksichtigung der aktuellen Auslastung einem Produktionsstandort zugewiesen. Der jeweils ausgewählte dezentrale Standort ermittelt dann einen bestätigten Produktionstermin, auf dessen Basis der Kundenauftrag bestätigt wird. Während der Rahmen durch die kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung vorgegeben wird, erfolgt die auftragsspezifische Feinplanung manuell.

⁵²² Die komplette Umrüstung zwischen zwei Produkttypen kann in weniger als zwei Stunden erfolgen. Vgl. Industriereport (2006), S. 35.

⁵²³ Der Hauptfokus der APS-Implementierung liegt laut Unternehmensangaben auf einer Erhöhung der Liefertreue und einer deutlichen Reduktion der Bestände.

⁵²⁴ Über das Modul der Supplier-Collaboration haben die Schlüssellieferanten die Möglichkeit, direktes Feedback zu Materialengpässen zu geben.

2.2 Charakterisierung der Supply Chain

Ein Produktionssystem lässt sich anhand ergebnisorientierter, einsatzorientierter und erzeugungsorientierter Attribute klassifizieren.⁵²⁵ Abbildung 25 gibt einen Überblick über ausgewählte Merkmale und deren jeweilige Ausprägung für die im Rahmen dieser Arbeit untersuchte Fallstudie.

Merkmale		Ausprägungen						
Ergebnisorientierte Typisierung	Verwendung der Erzeugnisse	Investitionsgüterproduktion	○	○	○	○	●	Konsumgüterproduktion
	Absatzstruktur	Auftragsorientierte Produktion	○	●	○	○	○	Marktorientierte Produktion
	Produktgestalt und Aufbau	Fließgüter	○	○	○	○	●	Stückgüter
	Spezialisierungsgrad	Individuelle Produkte	○	○	●	○	○	Standardisierte Produkte
Einsatzorientierte Typisierung	Vorherrschender Einsatzfaktor	Materialintensiv	●	○	○	○	○	Arbeitsintensiv
	Art der Arbeitskräfte	Gelernte	○	●	○	○	○	Ungelernte
	Vermögen	Anlagenintensiv	○	○	●	○	○	Vorratsintensiv
Erzeugungsorientierte Typisierung	Organisation der Produktion	Verrichtungsprinzip	○	○	○	●	○	Prozeßfolgeprinzip
	Produktionstechn. Wechselbeziehungen	Verbundene Produktion	●	○	○	○	○	Unverbundene Produktion
	Anzahl der Produktionsstellen	Einstufige Produktion	○	●	○	○	○	Mehrstufige Produktion
	Verknüpfung der Prozeßfolge	Lockere Verknüpfung	○	○	○	●	○	Starre zeitliche Verknüpfung

Abbildung 25: Typisierung des Produktionssystems der Fallstudie⁵²⁶

⁵²⁵ Für Ansätze zur Typisierung industrieller Produktionssysteme vgl. Kern (1992), S. 83 ff., Günther/Tempelmeier (2005), S. 10, und Corsten (2004), S. 28 ff.

⁵²⁶ Eigene Darstellung.

Hinsichtlich der Verwendung der Erzeugnisse lassen sich Mobiltelefone als Konsumgüter einordnen. Im Hinblick auf die Absatzstruktur kann von auftragspezifischer Konfiguration als Mischform zwischen kunden- und marktorientierter Produktion gesprochen werden.⁵²⁷ Darüber hinaus handelt es sich bei Mobiltelefonen um Stückgüter. Hinsichtlich des Spezialisierungsgrades können sie als kundenspezifische Varianten bezeichnet werden und bilden eine Mischform zwischen individuellen und standardisierten Produkten. Aufgrund des hohen Anteils der Materialkosten an den Gesamtherstellungskosten ist Material der vorherrschende Einsatzfaktor im Hinblick auf eine einsatzorientierte Typisierung. Die Produktion wird durch eine Mischung aus gelernten und angelernten Mitarbeitern durchgeführt, ungelernete Arbeitskräfte werden nicht eingesetzt. Das Kapital ist in den Anlagen und den Vorräten an Komponenten und Halbfertigerzeugnissen gebunden, die aufgrund der teilweise langen Wiederbeschaffungszeiten vorgehalten werden. Die Produktion ist weitgehend nach dem Prozessfolgeprinzip ausgerichtet und kann auch als Fließproduktion bezeichnet werden. Lediglich Reparaturarbeitsplätze und einige Reinraumvorgänge sind nach dem Werkstattprinzip organisiert. Die produktionstechnischen Wechselbeziehungen werden durch ein starres Mengenverhältnis charakterisiert. Im Rahmen des Konfigurationsprozesses sind die zwei Produktionsschritte Montage und Verpackung nacheinander zu durchlaufen. Die Prozesse sind dabei durch eine starre zeitliche Verknüpfung verbunden.

Wird nicht nur das Produktionssystem, sondern die gesamte Supply Chain betrachtet, kann zwischen strukturellen und funktionalen Attributen differenziert werden. Während sich die strukturellen Attribute mit der Topographie und der Integration und Koordination der Supply Chain beschäftigen, lassen sich die funktionalen Attribute in die Kategorien Beschaffung, Produktion, Distribution und Vertrieb einteilen.⁵²⁸ Abbildung 26 stellt ausgewählte Merkmale und deren Ausprägungen für das im Rahmen der vorliegenden Fallstudie betrachtete Unternehmen dar.

⁵²⁷ Vgl. Riebel (1965), S. 672 ff.

⁵²⁸ Vgl. Cook/Goh/Chung (1999), S. 318 ff., und Meyr/Stadtler (2005), S. 65 ff.

		Merkmale	Ausprägung						
Strukturelle Attribute	Netzwerkstruktur	einfach	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	komplex	
	Grad der Globalisierung	niedrig	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	hoch	
	Entkopplungspunkt	Lagerfertigung	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Auftragsfertigung	
	Hauptengpass	Kapazität	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	Material	
Funktionale Attribute	Beschaffung	Anzahl der Materialien	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	viele	
		Art der Materialien	standard	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	spezifisch
		Lieferzeiten	kurz	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	lang
		Lebenszyklus	lang	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	kurz
	Distribution	Distributionsstruktur	einstufig	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	mehrstufig
		Liefermuster	konstant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	dynamisch
		Transportveranlassung	rhythmisch	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	individuell
	Vertrieb	Bedarfsinformation	Aufträge	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Prognosen
		Bedarfskurve	konstant	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	saisonal
		Produktlebenszyklus	lang	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	kurz
Kundenanpassung		standard	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	kundenspezifisch	

Abbildung 26: Typologie der untersuchten Supply Chain⁵²⁹

Im Hinblick auf die Topographie der Supply Chain des Projektpartners kann von einer komplexen Netzwerkstruktur und einem hohen Globalisierungsgrad gesprochen werden. Der Auftragsentkopplungspunkt liegt auf der Ebene von Halbfertigerzeugnissen, da die Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration verfolgt wird. Der Hauptengpass ist in der Regel auf der Materialseite zu finden.⁵³⁰ Die Beschaffung als Teil der funktionalen Attribute ist durch eine große Anzahl zu beschaffender Materialien gekennzeichnet. Dabei werden sowohl Standardmaterialien als auch in Zusammenarbeit mit den Lieferanten speziell für das Unternehmen entwickelte Materialien beschafft. Die Lieferzeiten der Materialien bewegen sich wie in Abbildung 23 dargestellt zwischen Tagen und Monaten, die Lebenszyklen sind aufgrund des hohen Kostendrucks bei der Mehrzahl der Komponenten kurz. Zum Einsatz kommt eine

⁵²⁹ In Anlehnung an Meyr/Stadtler (2005), S. 65 ff. Für die Typisierung des Bereichs Produktion vgl. Abbildung 26.

⁵³⁰ Die Supply Chain kann damit als „material constrained“ bezeichnet werden. Vgl. Fleischmann/Meyr/Wagner (2005), S. 99.

zweistufige Distributionsstruktur mit dynamischem Liefermuster und individueller Transportveranlassung. Die Informationen über die Bedarfe liegen als eine Mischung aus Kundenaufträgen und Bedarfsprognosen vor. Die Bedarfskurve ist saisonal, mit den höchsten Absätzen in der Vorweihnachtszeit und den geringsten Absätzen in den Monaten Januar bis März. Die Lebenszyklen unterliegen aufgrund des technologischen Fortschritts und des starken Wettbewerbs einer ständigen Verkürzung. Hinsichtlich einer spezifischen Produktgestaltung haben Kunden die Möglichkeit, verschiedene Merkmale eines Produktes, zu denen neben der Farbe und der Bedruckung auch bestimmte Softwarefunktionen gehören, mitzugestalten. Die in diesem Abschnitt vorgenommene Klassifizierung des Produktionssystems und der Supply Chain der untersuchten Fallstudie bildet die Grundlage für das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Verfahren zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung.

2.3 Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung im Fallstudienfall

Temporäre Lieferunfähigkeit im Rahmen der Auftragsüberwachung und damit die Notwendigkeit der Verteilung der entstehenden Fehlmengen wird im vorliegenden Praxisfall in der Regel auf der dezentralen Ebene der Produktionsstandorte festgestellt. Der Engpass wird entweder von der Kapazitätsplanung oder Materialversorgung dadurch identifiziert, dass das ERP-System vor dem Hintergrund des zur Verfügung stehenden Ressourcenangebots bei den terminierten, noch nicht produzierten Aufträgen eine Unterdeckung feststellt. Der identifizierte Konflikt wird zuerst an die lokale Produktionsplanung kommuniziert. Kann der Konflikt innerhalb des Produktionsstandortes durch Umplanen eines oder mehrerer Aufträge nicht aufgelöst werden, wird die zentrale Produktionsplanung informiert, die dann die Möglichkeit einer Verschiebung des Auftrags an andere Standorte prüft. Lässt sich die temporäre Lieferunfähigkeit auch durch diese Maßnahme nicht aufheben, stimmt die zentrale Produktionsplanung zusammen mit dem Vertrieb in einem iterativen Prozess ab, welche Aufträge auf welche Termine zu verschieben sind. Das Verschieben einzelner Aufträge zieht in der Regel die Verschiebung einer ganzen Reihe weiterer Aufträge nach sich.⁵³¹ Als Ergebnis dieser Aktivitäten ist oftmals eine schlechte Liefertreue zum ersten bestätigten Termin zu beobachten. Folgende Schwachstellen im Fehlmengenverteilungsprozess lassen sich zusammenfassen:

- Keine simultane Betrachtung aller Aufträge über alle Standorte hinweg,

⁵³¹ Es erfolgt keine systematische Berücksichtigung aller Aufträge und Erfassung der komplexen Wechselwirkungen zwischen den Ressourcenbedarfen. Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 304.

- keine systematische Bewertung der Auswirkungen von Fehlmengen auf Kundenverhalten,
- keine Berücksichtigung der Leistungserstellungskosten (Produktions-, Transport- und Lagerkosten) sowie
- Durchführung der Verteilungsentscheidungen nach dem „Schreiprinzip“.

Als konkrete Problemstellung der untersuchten Fallstudie ergibt sich für den Fall des Auftretens von Fehlmengen die Frage, wie das Unternehmen darauf reagieren soll, um die aus Fehlmengen resultierenden negativen Auswirkungen auf den Unternehmenserfolg zu minimieren. Dabei ist in einem ersten Schritt zu klären, wie die Auswirkungen von verspäteten Lieferungen auf den Unternehmenserfolg zu quantifizieren sind. Zu den zu treffenden Entscheidungen zählen das Auswählen der zu verschiebenden Aufträge und die Bestimmung von neuen Produktions- und Lieferterminen für diese.

3 Numerische Untersuchungen

Zur Durchführung einer ersten quantitativen Untersuchung des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Modells der Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung anhand verschiedener Datensätze der untersuchten Fallstudie werden in einem ersten Schritt geeignete Leistungsgrößen definiert. Danach erfolgen die Vorstellung der untersuchten Datensätze und die Berechnung der kundenspezifischen Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten. Im Anschluss an die Erläuterung der Untersuchungsdurchführung schließt der Abschnitt mit der Diskussion der erzielten Ergebnisse.

3.1 Leistungsgrößen

Zur Beurteilung der im Rahmen der numerischen Untersuchungen erzielten Ergebnisse werden folgende quantitative Leistungsgrößen herangezogen:

1. Liefertreue,
2. Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten sowie
3. Leistungserstellungskosten.

In der betriebswirtschaftlichen Literatur existiert keine einheitliche Definition der Kennzahl Liefertreue.⁵³² Im Folgenden wird unter der Liefertreue die Zuverlässigkeit verstanden, mit der ein zugesagter Termin eingehalten wird.⁵³³ Die Anzahl der nacheinander zu durchlaufenden Prozessschritte und deren Zuverlässigkeit sowie die Höhe der eingebauten Sicherheitspuffer sind Faktoren, die die Liefertreue beeinflussen können.⁵³⁴ Während die Liefertreue im Rahmen

⁵³² Vgl. Reutersberg (1985), S. 159 ff., und Volk (1980), S. 67 f.

⁵³³ Die Liefertreue bzw. Termintreue ist damit neben Liefergenauigkeit (Übereinstimmung der Lieferung mit der Bestellung nach Art und Menge) und dem unbeschadeten Produktzustand Bestandteil der Lieferzuverlässigkeit. Vgl. Reutersberg (1985), S. 159 ff. Alternativ können die Liefergenauigkeit und der unbeschadete Produktzustand auch unter dem Begriff Lieferungsbeschaffenheit zusammengefasst werden. Vgl. Darr (1992), S. 52 f., und Tempelmeier (1980), S. 13 ff.

⁵³⁴ Eine Lieferzuverlässigkeit von 95% pro Prozessstufe resultiert bei fünf Stufen in einer Zuverlässigkeit des Gesamtsystems von lediglich 77% bei stochastischer Unabhängigkeit. Vgl. Delfmann/Darr/Simon (1990), S. 16. Darüber hinaus steigt die Liefertreue in der Regel mit Zunahme der im Prozess eingebauten Sicherheitspuffer. Vgl. Pfohl (2003), S. 114.

des SCOR-Modells als eine zentrale Kennzahl ausgewiesen wird, zeigt eine empirische Studie einen eher durchschnittlichen Implementierungsgrad in der Praxis.⁵³⁵

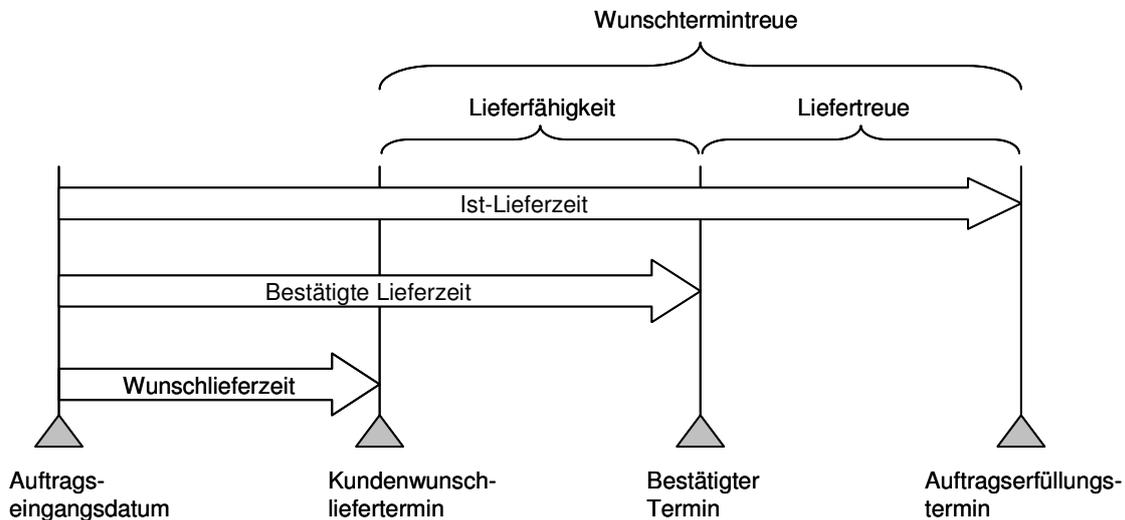


Abbildung 27: Logistikleistungsgrößen und deren Interdependenzen⁵³⁶

Abbildung 27 grenzt die Liefertreue von der Wunschtermintreue und der Lieferfähigkeit ab. Die Lieferfähigkeit gibt den Übereinstimmungsgrad des vom Kunden gewünschten Termins mit dem bestätigten Termin an.⁵³⁷ Die Wunschtermintreue misst dagegen den Übereinstimmungsgrad des tatsächlichen Auftragserfüllungstermins mit dem Kundenwunschliefertermin.⁵³⁸

⁵³⁵ Vgl. Göpfert/Kummer/Weber (1993), S. 242 f. Das Supply Chain Operations Reference-Modell (SCOR) wurde vom Supply Chain Council (SCC), einer unabhängigen Non-Profit Organisation, mit dem Ziel der Schaffung eines branchenübergreifenden Industriestandards zur Darstellung unternehmensübergreifender Supply Chains entwickelt. Vgl. Weber (2002), S. 197 ff. Die Kennzahl Liefertreue wird im Rahmen des SCOR-Modells als „Delivery Performance“ bezeichnet und im Rahmen der Level 1 Kennzahlen als Hauptkennzahl für das Supply Chain Management ausgewiesen. Vgl. Sürle/Wagner (2005), S. 46.

⁵³⁶ In Anlehnung an Gollwitzer/Karl (1998), S. 69. Für eine vertiefende Betrachtung von Wunschlieferzeit, bestätigter Lieferzeit und tatsächlicher Lieferzeit vgl. Zäpfel/Piekarz (1996), S. 87.

⁵³⁷ Synonym wird für die Lieferfähigkeit auch der Begriff Lieferbereitschaft verwendet. Vgl. Darr (1992), S. 51, und Wiendahl (1996), S. 44.

⁵³⁸ Im Gegensatz zur Liefertreue, die als „Delivery Performance to Commit“ bezeichnet werden kann, wird die Wunschtermintreue auch als „Delivery Performance to Request“ bezeichnet. Vgl. Supply Chain Council (2003), S. 17 ff.

Zur Messung der Liefertreue können unterschiedliche Kennzahlen verwendet werden. So kann beispielsweise der Anteil der tatsächlich erfüllten Aufträge an den zugesagten Aufträge bestimmt werden. Dies kann auf Basis der Anzahl der Aufträge⁵³⁹, der Menge der Aufträge oder des Auftragswertes erfolgen.⁵⁴⁰ Im Rahmen dieser Arbeit werden die in Abschnitt III.1.1 in den Gleichungen (17) und (18) vorgestellten Liefertreuekennzahlen *LTAM* (Liefertreue auf Basis der Auftragsmenge) und *LTAA* (Liefertreue auf Basis der Auftragsanzahl) betrachtet.

Als zweite Leistungsgrößen werden die Verspätungs- (89) und die Nichtbelieferungskosten (90) betrachtet, die sich direkt aus dem ersten Term der bereits im Rahmen des gemischt-ganzzahligen Grundmodells vorgestellten Zielfunktion (20) ergeben.⁵⁴¹

$$\sum_{a=1}^A \left(kv_a * \sum_{f=1}^F \sum_{t=bt_a-tz_{f,a}+1}^{T-tz_{f,a}} (t - (bt_a - tz_{f,a})) * P_{f,a,t} \right) \quad (89)$$

$$\sum_{a=1}^A kn_a * NB_a \quad (90)$$

Als dritte Leistungsgröße werden die in Formulierung (91) dargestellten Gesamtkosten der Leistungserstellung herangezogen, wie sie im zweiten Term der Zielfunktion des Grundmodells (20) enthalten sind. Neben Material-, Produktions- und Transportkosten werden dabei auch Lagerhaltungskosten für Rohmaterial, Halbfertig- und Endprodukte und die Kosten für eine Produktverlagerung zwischen Standorten berücksichtigt.

$$\sum_{f=1}^F \left(\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T km_{f,j} * MV_{f,j,t} + \sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^T kp_{f,a} * P_{f,a,t} + \sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^T kt_{f,a} * P_{f,a,t} + \sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^T klwa_{f,a,t} * P_{f,a,t} + \sum_{a=1}^A \sum_{t=0}^T klp_{f,a} * LBP_{f,a,t} + \sum_{j=1}^J \sum_{t=0}^{tf} klm_{f,j} * LBM_{f,j,t} + \sum_{a=1}^A ((1 - ps_{f,a}^0) * X_{f,a} * kav_a) \right) \quad (91)$$

⁵³⁹ Je nach Anwendungsfall kann zwischen Aufträgen, zusammengehörigen Auftragspositionen und einzelnen Auftragspositionen unterschieden werden.

⁵⁴⁰ Bei der Ermittlung der Liefertreue ist darauf zu achten, dass die tatsächliche absatzwirtschaftliche Wirkung der Abweichung zwischen Lieferversprechen und deren Einhaltung zutreffend abgebildet wird. Bei einer inhomogenen Verteilung der Auftragsgrößen können die Messungen auf Basis von Auftragsanzahl und Auftragsmenge stark voneinander abweichen. Vgl. Dietel (1997), S. 153.

⁵⁴¹ Vgl. Abschnitt III.1.2

3.2 Untersuchte Daten

Die numerischen Untersuchungen werden am Beispiel von fünf ausgewählten Datensätzen durchgeführt. Dabei wird das Ziel verfolgt, eine erste Aussage über die Leistungsfähigkeit des entwickelten Verfahrens gegenüber dem Status Quo zu erhalten. Da sich bereits die Gewinnung aller für die Untersuchung relevanten Daten für die fünf betrachteten Datensätze als sehr umfangreich gestaltete, wird auf Untersuchungen hinsichtlich der statistischen Signifikanz der Ergebnisse verzichtet.⁵⁴²

Datensatz	E1	E2	E3	E4	E5
Gesamte Auftragsanzahl	492	512	326	402	435
davon komplett zu bestätigen	98	102	60	56	80
Kunden	64	68	50	52	64
Produktionsstandorte	2	2	3	2	3
Ressourceneinbruch (ex post)	8%	12%	6%	4%	9%
Planungshorizont in Tagen	84	84	84	84	84

Tabelle 10: Übersicht der ausgewählten Datensätze⁵⁴³

Bei der Auswahl der in Tabelle 10 zusammengefassten Datensätze wurde darauf geachtet, dass die Ressourcen zum Startzeitpunkt der Betrachtung über den gesamten Betrachtungszeitraum nahezu komplett ausgelastet waren und zu einem späteren Zeitpunkt die Verfügbarkeit einer beliebigen Ressource signifikant reduziert wurde. Darüber hinaus findet die Produktion der betrachteten Produkttypen an mehreren Standorten statt. Der in Tabelle 10 angegebene prozentuale Ressourceneinbruch stellt den Prozentsatz dar, um den die Anfangskapazität bezogen auf die Gesamtausbringungsmenge in Stück durch eine kurzfristige Störung im Rahmen einer ex post-Betrachtung reduziert wurde. Für die komplett zu bestätigenden Aufträge ist davon auszugehen, dass die entsprechenden Kunden zwar eine verspätete Lieferung der Gesamtmenge, aber keine Teillieferungen akzeptieren. Für alle Datensätze erstreckt sich der Betrachtungszeitraum, auf den sich auch die prozentualen Aussagen zum Ressourceneinbruch beziehen, auf 12 Wochen bzw. 84 Tage. Im Rahmen der numerischen Untersuchungen wird pro

⁵⁴² Aufgrund der geringen Anzahl der Datensätze werden im Rahmen der numerischen Untersuchungen keine Signifikanztests durchgeführt.

⁵⁴³ Die Hauptgründe für das Auftreten der Engpässe waren bei allen fünf betrachteten Probleminstanzen unterschiedlicher Natur. In einem Fall meldete beispielsweise das Lackierunternehmen eines Zulieferers Insolvenz an, in einem anderen Fall brannte das Zwischenlager eines Lieferanten ab.

Datensatz jeweils die Verfügbarkeit von 10 Komponenten berücksichtigt. Die Komponenten wurden zusammen mit den verantwortlichen Einkäufern und Disponenten ausgewählt.

3.3 Berechnung der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten

Neben der simultanen Betrachtung aller Aufträge erlaubt der entwickelte Ansatz die Berücksichtigung auftragsspezifischer Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten. In diesem Abschnitt wird die Berechnung von kv_a (Verspätungskosten des Auftrags a pro Periode und Stück) und kn_a (Kosten pro nicht geliefertem Stück des Auftrags a) beispielhaft anhand der untersuchten Fallstudie dargestellt.⁵⁴⁴

Kriterium	Verschieben von Aufträge ist umso höher mit Strafkosten zu bewerten,
Marge	je größer die mit dem Auftrag erzielte durchschnittliche Marge ist
Priorität	je höher die strategische Bedeutung des Kunden aus Unternehmenssicht ist
Umsatz	je größer der in den letzten 12 Monaten mit einem Kunden erzielte Umsatz ist
Auftragsgröße	je größer die Stückzahl des Auftrags ist
Servicelevel	je größer die durchschnittliche Unterschreitung des mit dem Kunden vereinbarten Servicelevels über die letzten 12 Monate ist

Tabelle 11: Kriterien für Verspätungskosten aus Sicht des Projektpartners

Im ersten Schritt wurden dazu Workshops mit den relevanten Fachabteilungen durchgeführt, um die aus Unternehmenssicht wichtigen Kriterien im Zusammenhang mit der Fehlmengenverteilung zu identifizieren und ihrer Bedeutung nach zu bewerten. Tabelle 11 zeigt die verschiedenen Kriterien, die zur Berechnung der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten herangezogen werden. Die hinsichtlich der Kriterien erhobenen Daten wurden auf das Intervall $[0, 1]$ skaliert, indem dem niedrigsten Element der Wert 0 und dem höchsten der Wert 1 zugewiesen wurde. Zur Berechnung der auftragsspezifischen Verspätungskosten kv_a wurden die fünf Kriterien, wie in Abbildung 28 dargestellt, mit den Gewichtungsfaktoren g_1 bis g_5

⁵⁴⁴ Die Bestimmung der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten sollte dabei auf die konkrete Anwendungssituation abgestimmt werden. Für ein Beispiel zur Bestimmung von Eignungskoeffizienten im Umfeld der Lagerfertigung vgl. Fischer (2001), S. 159 ff.

multipliziert und anschließend addiert.⁵⁴⁵ Bei bereits in der Vergangenheit verschobenen Aufträgen wird der Wert kv_a um den Faktor kvs_a erhöht, um das mehrfache Verschieben von Aufträgen weitgehend zu vermeiden.⁵⁴⁶

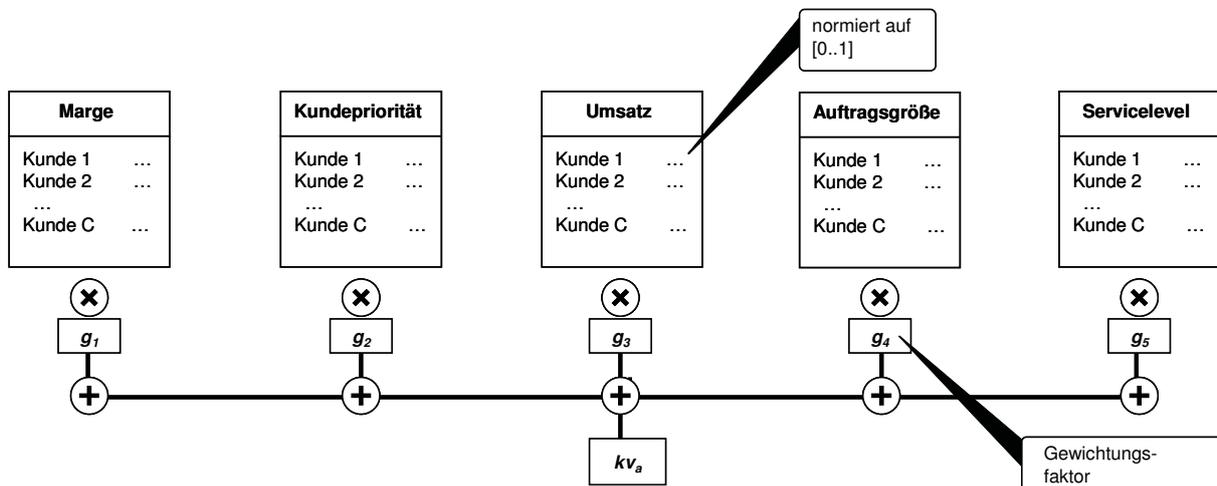


Abbildung 28: Berechnung der auftragspezifischen Verspätungskosten⁵⁴⁷

Bei der Berechnung des auftragspezifischen Nichtbelieferungsfaktors kn_a wurde zwischen Stornokunden und Normalkunden unterschieden. Während bei Stornokunden im Falle einer teilweisen Nichtbelieferung von der Stornierung des kompletten Auftrags ausgegangen wird, ist dies bei Normalkunden nicht der Fall. Die Einteilung der Kunden in diese Gruppen wurde dabei vom Vertrieb des Projektpartners auf Basis empirischer Daten vorgenommen. Die Berechnung der auftragspezifischen Nichtbelieferungskosten setzt sich wie in Gleichung (92) dargestellt aus den Kosten für die Verspätung und dem Verlust des Deckungsbeitrags eines Auftrags zusammen. Für Stornokunden wird dieser Wert wie in Gleichung (93) angegeben um den Faktor kns_a erhöht.⁵⁴⁸

$$kn_a = (T - bt_a) * kv_a + db_a \quad (92)$$

$$kn_a = ((T - bt_a) * kv_a + db_a) * kns_a \quad (93)$$

⁵⁴⁵ Folgende Gewichtungsfaktoren, die ebenfalls in Workshops ermittelt wurden, fanden dabei Anwendung: $g_1 = 0,5$, $g_2 = 0,2$, $g_3 = 0,1$, $g_4 = 0,1$ und $g_5 = 0,1$.

⁵⁴⁶ Im vorliegenden Fall wurde der Wert kvs_a dem Wert kv_a gleichgesetzt. Für jede weitere Verschiebung wurde kvs_a mit der Anzahl der Verschiebungen multipliziert.

⁵⁴⁷ Eigene Darstellung.

⁵⁴⁸ Für kns_a wurde der Wert 100 gewählt.

3.4 EDV-technische Realisierung

Zur Durchführung der numerischen Untersuchungen und zur Ableitung von Aussagen über die Leistungsfähigkeit des entwickelten Verfahrens zur Fehlmengenverteilung im Rahmen der Auftragsüberwachung wurde die in Abbildung 29 dargestellte Softwarelösung entwickelt. Zum Auslesen der relevanten Stamm- und Bewegungsdaten aus dem ERP- und APS-System wurde eine Datenbankanbindung programmiert, die den Export der Daten nach Excel ermöglichte. Die zu berücksichtigenden Leistungserstellungskosten wurden von den entsprechenden kaufmännischen Abteilungen ermittelt und zur Verfügung gestellt.⁵⁴⁹

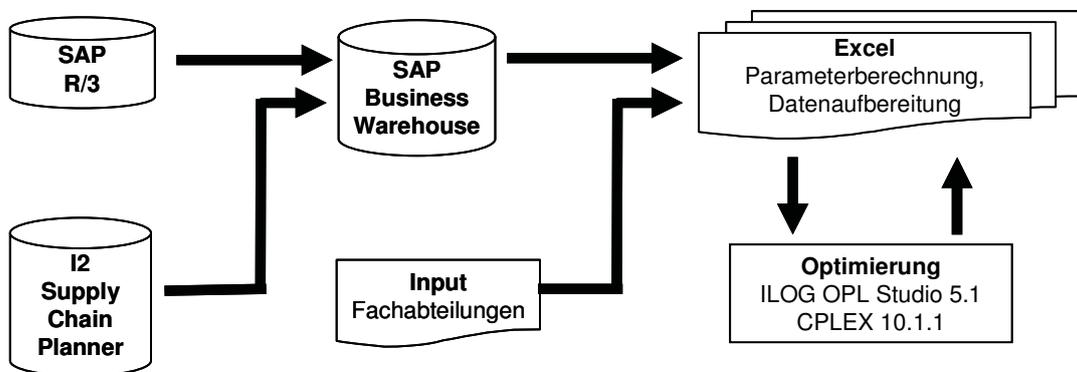


Abbildung 29: EDV-technische Realisierung der numerischen Untersuchungen⁵⁵⁰

Die Inputgrößen für die Berechnung der auftragsspezifischen Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten wurden in Interviews und Workshops zusammen mit den relevanten Fachabteilungen gewonnen. Die Berechnung selbst sowie die Aufbereitung der übrigen Daten in ein von der Optimierungssoftware lesbares Format wurde mit Visual Basic durchgeführt. Die Modellierung des gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblems erfolgte mit dem OPL-Studio von ILOG. Über eine Schnittstelle zu Microsoft Excel wurde das Modell mit den entsprechenden Daten versorgt. Die Ergebnisse eines Optimierungslaufes wurden ebenfalls wieder nach Excel zurückgeschrieben, wo eine Nachbearbeitung der Daten erfolgte. Dabei wurden beispielsweise aus den Produktionsplänen korrespondierende Lieferpläne errechnet und verschiedene Leistungskennzahlen ermittelt.

⁵⁴⁹ Dazu zählen Produktions-, Transport- und Lagerkosten. Konnten bestimmte Kosten nicht exakt ermittelt werden, wurden sie vom Projektpartner auf Basis von Erfahrungswerten geschätzt.

⁵⁵⁰ Eigene Darstellung.

3.5 Diskussion der Ergebnisse

3.5.1 Laufzeitverhalten

Als Kriterium für die Praxistauglichkeit des zu entwickelnden Ansatzes wurde vom Projektpartner die Lösungsfähigkeit innerhalb eines Zeitfensters von maximal 8 Stunden vorausgesetzt.⁵⁵¹ Bei der Untersuchung des Laufzeitverhaltens der im Rahmen der vorliegenden Fallstudie betrachteten Datensätze wurde differenziert zwischen:

- Vor- und Nachbearbeitungszeit der Daten und
- reiner Optimierungszeit.

Sowohl die Vor- und Nachbearbeitung der Daten als auch die Optimierung wurden auf einem Personalcomputer mit einem Pentium IV Prozessor mit 3,2 GHz Taktfrequenz und 2 GB Arbeitsspeicher durchgeführt. Die Vor- und Nachbearbeitung der Daten erfolgte mit Microsoft Excel und Visual Basic, während die Optimierung mit ILOG OPL Studio 5.1 und CPLEX Version 10.1.1 durchgeführt wurde. Zur Vor- und Nachbereitung der Daten gehörten neben der Berechnung der auftragsspezifischen Verspätungs- und Nichtbelieferungsfaktoren auch die Aufbereitung der existierenden Produktionspläne in die vom gemischt-ganzzahligen Lösungsansatz benötigte Form sowie die Umrechnung der erzeugten Produktionspläne in Lieferpläne im Anschluss an einen Optimierungslauf. Die gesamte Vor- und Nachbearbeitung der Daten dauerte in Summe für keine Probleminstanz länger als fünf Minuten und wird deshalb im Verlauf dieser Arbeit nicht weiter betrachtet.⁵⁵²

Die reine Optimierungszeit wurde für die fünf vorliegenden Datensätze für jeweils drei Szenarien, bei denen die Ressourcenverfügbarkeit variiert wurde, bestimmt:

- 100% Ressourcenverfügbarkeit,
- tatsächliche Ressourcenverfügbarkeit nach Auftreten eines Engpasses und
- 80% Ressourcenverfügbarkeit.

⁵⁵¹ Eine zentrale Anforderung des Projektpartners war die erfolgreiche Durchführung eines Optimierungslaufs über Nacht.

⁵⁵² Die genaue Zeit der Vor- und Nachbearbeitung konnte nicht ermittelt werden, da im Prototyp nicht alle Berechnungen automatisch miteinander verknüpft waren.

Im ersten Fall wurde die Optimierung auf Basis der jeweiligen Ausgangssituation der Datensätze E1 bis E5 durchgeführt. Da zu diesem Zeitpunkt noch kein Engpass eingetreten war und somit das gesamte Material- und Kapazitätsangebot (100%) zur Verfügung stand, waren keine Maßnahmen zur Fehlmengenverteilung notwendig. Der Schwerpunkt der Optimierung lag deshalb auf der Reduzierung der Leistungserstellungskosten bei gleichzeitiger Einhaltung aller bestätigten Termine.

Für das zweite Szenario (tatsächliche Ressourcenverfügbarkeit nach Auftreten eines Engpasses) wurden die Produktions- und Liefertermine vor dem Eintreten des jeweiligen Engpasses als Input für den Optimierungslauf verwendet. Als verfügbare Ressourcenmenge wurde die nach Auftreten des Engpasses im Rahmen einer ex post-Betrachtung ermittelte Ressourcenverfügbarkeit berücksichtigt.

Im dritten Fall (80% Ressourcenverfügbarkeit) wurde ein künstlicher Ressourcenengpass gegenüber dem jeweiligen Ausgangsszenario erzeugt, um den Einfluss der Höhe des Engpasses auf die Berechnungszeit zu evaluieren.

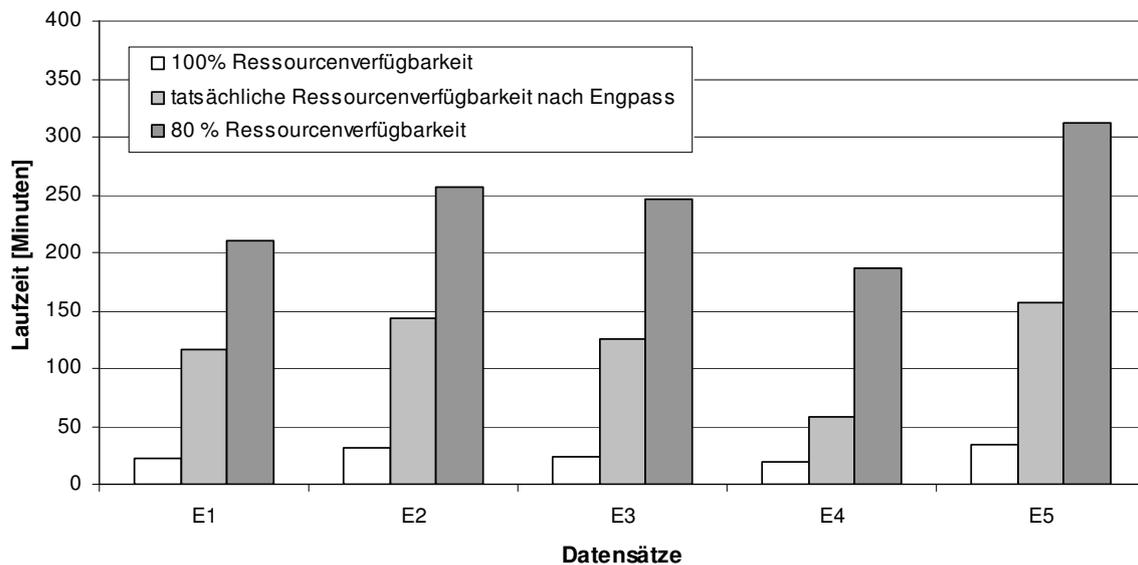


Abbildung 30: Laufzeitverhalten in Abhängigkeit von der Ressourcenauslastung⁵⁵³

⁵⁵³ Dabei wurden jeweils die ex post beobachteten tatsächlichen Reduktionen berücksichtigt, die für E1 bei 8%, für E2 bei 12%, für E3 bei 6%, für E4 bei 4% und für E5 bei 9% lagen. Vgl. Tabelle 10.

Abbildung 30 gibt die Laufzeit des Optimierungsmodells für die drei untersuchten Szenarien in Minuten an.⁵⁵⁴ Die reinen Produktionsplanungsprobleme ohne Verspätung und Nichtbelieferung (100% Ressourcenverfügbarkeit) lassen sich für alle fünf Probleminstanzen in weniger als 40 Minuten optimal lösen. Kommt die zusätzliche Problemstellung der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten durch die realen Ressourcenengpässe dazu, steigt die Rechenzeit bereits deutlich an (durchschnittlich um den Faktor 3,5). Eine Reduzierung der Kapazität auf 80% gegenüber dem Ausgangsszenario resultiert in einem weiteren deutlichen Rechenzeitanstieg.⁵⁵⁵ Laut Unternehmensaussagen ist mit einem über 20% hinausgehenden Ressourcenengpass nicht zu rechnen.

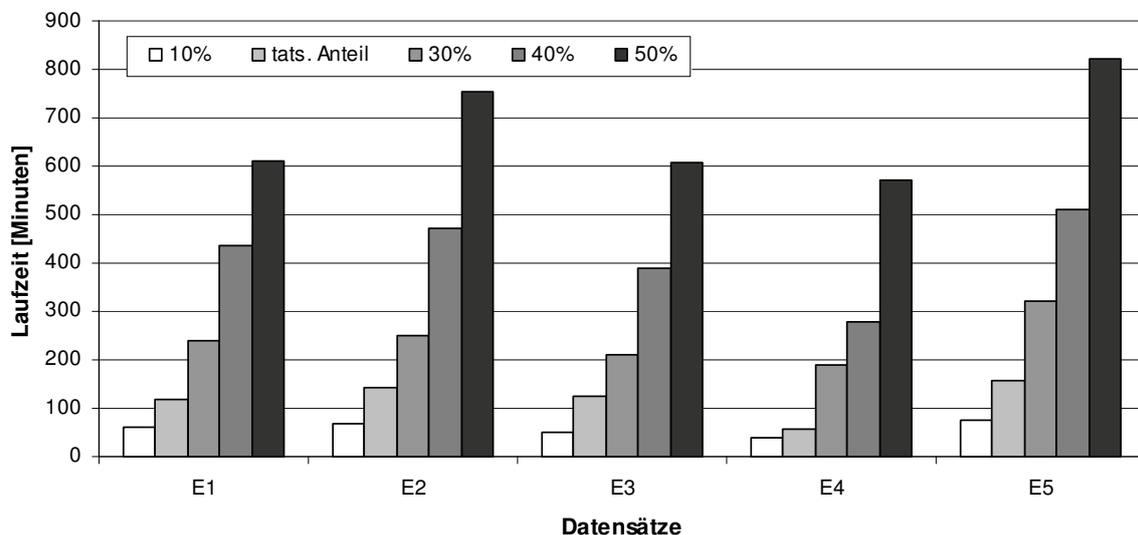


Abbildung 31: Einfluss des Anteils der komplett zu beliefernden Aufträge auf die Laufzeit

Um den Einfluss des Anteils der Aufträge, für die keine Teillieferungen zulässig sind, auf die Rechenzeit zu verdeutlichen, wurde dieser Anteil wie in Abbildung 31 dargestellt für die Probleminstanzen E1 bis E5 variiert.⁵⁵⁶ Für alle Untersuchungen wird dabei der tatsächliche

⁵⁵⁴ Für alle Optimierungsprobleme wurde in CPLEX ein relativer MIP-GAP von 0,1% gewählt. Der dritte Block der Zielfunktion (20) wurde dabei mithilfe der Nebenbedingung (39) und zweier Hilfsvariablen, sondern direkt mit der Betragsfunktion (abs) in OPL modelliert.

⁵⁵⁵ Für die einzelnen Probleminstanzen bedeutet dies eine über die ex post beobachtete Reduktion der Ressourcenverfügbarkeit hinausgehende Verringerung der verfügbaren Ressourcenmenge um 12% für E1, um 8% für E2, um 14% für E3, um 16% für E4 und um 11% für E5. Vgl. Tabelle 10.

⁵⁵⁶ Der Anteil der komplett zu bestätigenden Aufträge an der Gesamtauftragsmenge liegt für E1 bei 20%, für E2 bei 20%, für E3 bei 18%, für E4 bei 14% und für E5 bei 18%. Vgl. Abschnitt III.3.2.

Ressourcenengpass simuliert. Wie aus Abbildung 31 hervorgeht, nimmt die Rechenzeit mit steigendem Anteil an komplett zu bestätigenden Aufträgen an der Gesamtauftragszahl deutlich zu. Dies lässt sich aus der steigenden Anzahl an Binärvariablen erklären, die für die Modellierung dieses Auftragsstyps notwendig sind.⁵⁵⁷

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die fünf untersuchten Datensätze innerhalb der vorgegebenen Zeitschranke von 8 Stunden optimal gelöst werden konnten.⁵⁵⁸ Die Untersuchungen haben gezeigt, dass trotz einer Erhöhung des Ressourcenengpasses auf die vom Unternehmen vorgegebene Obergrenze die geforderte Lösungszeit nicht überschritten wird. Wie sich aber in Abbildung 31 bereits andeutet, steigt die Rechenzeit bei zunehmender Anzahl von Binärvariablen stark an. Wenn sich beispielsweise die Anzahl der Produktionsstandorte oder die Anzahl der komplett zu beliefernden Aufträge stark erhöht oder minimale Losgrößen zu berücksichtigen sind, dann zeigen die durchgeführten Berechnungen, dass sich das Optimum innerhalb akzeptabler Rechenzeiten nicht mehr berechnen lässt.⁵⁵⁹ In diesem Fall bietet sich der Einsatz heuristischer Verfahren an.

Unter Heuristiken werden Verfahren zur Ermittlung näherungsweise Lösungen von komplexen Entscheidungs- und Optimierungsproblemen verstanden.⁵⁶⁰ Heuristische Verfahren gehen nach bestimmten Regeln vor, die die vorliegende Modellstruktur auf erfolgversprechende Weise ausnutzen und in der Regel nicht zu mathematisch optimalen Lösungen führen.⁵⁶¹ Sie werden vor allem dann eingesetzt, wenn die Rechenbarkeit optimaler Verfahren nicht mehr möglich oder nicht mehr wirtschaftlich ist, wie dies bei NP-schweren Optimierungsproblemen normalerweise der Fall ist.⁵⁶²

⁵⁵⁷ Vgl. Abschnitt III.1.3.1.

⁵⁵⁸ Die durchschnittlichen Modelldimensionen der Datensätze E1 bis E5 lagen bei ≈ 200.000 Variablen, ≈ 100.000 Restriktionen und $\approx 2.000.000$ Koeffizienten ungleich 0. Im Schnitt lag die Anzahl der Binärvariablen bei ≈ 15.000 .

⁵⁵⁹ Sind alle Aufträge komplett zu beliefern, dann steigt die durchschnittliche Anzahl an Binärvariablen für die Datensätze E1 bis E5 auf ≈ 90.000 an.

⁵⁶⁰ Der Begriff „Heuristik“ geht auf das griechische Wort „heuriskein“ zurück, das soviel wie „finden“ bzw. „entdecken“ bedeutet. Vgl. Reeves/Beasley (1995), S. 5.

⁵⁶¹ Vgl. Domschke/Scholl (2006), S. 2.

⁵⁶² Vgl. Ellinger/Beuermann/Leisten (2003), S. 14. NP-schwer steht dabei für „non-deterministic polynomial-time hard“. Vgl. Reeves/Beasley (1995), S. 8.

3.5.2 Lösungsgüte

Zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Verfahrens werden die für die fünf Beispieldatensätze erzielten Ergebnisse anhand der in Abschnitt III.3.1 definierten Leistungsgrößen mit den in der Realität beobachteten Resultaten verglichen. Dabei werden schrittweise folgende Kriterien zur Beurteilung der Lösungsqualität herangezogen:

- Vergleich der Leistungserstellungskosten bei 100% Ressourcenverfügbarkeit,
- Vergleich der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten bei Simulation des realen Engpasses und
- Untersuchung der Lösungsqualität bei Variation der Gewichtungsfaktoren.

Ziel der Anwendung des Optimierungsmodells auf die Ausgangssituation der betrachteten Datensätze (100% Ressourcenverfügbarkeit) ist die Evaluierung des Optimierungspotentials der Leistungserstellungskosten bei gleichzeitiger Einhaltung aller Liefertermine. Trotz der nahezu vollständigen Kapazitätsauslastung wird im betrachteten Unternehmen aufgrund des Fehlens einer toolunterstützten Produktionsplanung ein erhebliches Kostensenkungspotential vermutet.

Tabelle 12 stellt die Veränderung der Kosten nach der Durchführung eines Optimierungslaufs den im Praxisfall beobachteten Kosten gegenüber. Dabei werden die Material-, Produktions-, Lager- und Transportkosten einzeln verglichen und die Gesamtkostenveränderung in Summe dargestellt. Eine Kostenverbesserung wird dabei durch ein negatives, eine Kostenverschlechterung durch ein positives Vorzeichen ausgedrückt. Dabei zeigt sich bei gleichzeitiger Einhaltung der bestätigten Liefertermine eine deutliche Verbesserung der Gesamtkosten von durchschnittlich 2,2%.⁵⁶³ Das realisierbare Kostensenkungspotential lässt sich auf die im Praxisfall beobachtete regelbasierte Zuweisung von Aufträgen zu Produktionsstandorten und das Fehlen eines Systems zur Entscheidungsunterstützung für die dezentrale Produktionsfeinplanung zurückführen. Beim im Rahmen der Fallstudie untersuchten Unternehmen werden die Entscheidungen der Zuordnung von Kundenaufträgen zu Produktionsstandorten auf Basis von Prioritäten getroffen, die sich an der Maxime der bedarfsnahen Produktion orientieren. Da Kostengesichtspunkte nicht explizit berücksichtigt

⁵⁶³ Die erreichten Gesamtkosteneinsparungen bei gleichzeitiger Einhaltung aller bestätigten Termine liegen dabei je nach betrachtetem Datensatz in einer Größenordnung von 1 bis 2 Millionen Euro.

werden, finden beispielsweise auch keine Opportunitätsanalysen zwischen Produktions- und Transportkosten statt.

Datensatz	E1	E2	E3	E4	E5
Materialkosten	-1,6%	-2,8%	-0,5%	-1,5	-3,6
Produktionskosten	-4,3%	-6,6%	-3,7%	-2,8	-6,1
Lagerkosten	-3,1%	-1,2%	-3,9%	-1,0	-4,2
Transportkosten	+2,3%	+5,0%	+3,4%	+2,0	+4,3
Gesamtkosten	-2,0%	-2,9%	-0,8%	-1,5%	-3,5%

Tabelle 12: Prozentuale Veränderung der Leistungserstellungskosten der Datensätze E1 bis E5 gegenüber dem Status Quo durch Anwendung des Optimierungsverfahrens⁵⁶⁴

Aus der Kostenstruktur in Tabelle 12 kann die Standortverschiebung von Aufträgen als der Haupthebel zur Gesamtkostenoptimierung identifiziert werden.⁵⁶⁵ Die im Praxisfall verwendete regelbasierte Zuweisung von Aufträgen zu in der Nähe des Bedarfslandes liegenden Produktionsstandorten führt unter Umständen zu erhöhten Material- und Produktionskosten, denen geringere Transportkosten aufgrund der kürzeren Transportstrecken gegenüberstehen. Aufgrund des Fehlens einer Gesamtkostenbetrachtung wird im untersuchten Unternehmen der Einfluss der Transportkosten subjektiv größer eingeschätzt als der der übrigen Kosten der Leistungserstellung. Auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse lässt sich aber feststellen, dass die Ausnutzung standortspezifisch günstigerer Produktions- und Materialkosten die dadurch verursachten höheren Transportkosten überkompensiert. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Produktionsplanungselemente des entwickelten Modells im vorliegenden Praxisfall zu einer signifikanten Kostenreduktion führen. Das Ergebnis wird aber aufgrund der suboptimalen Ausgangslage durch Fehlen einer toolunterstützten Feinplanung relativiert.

⁵⁶⁴ Der Gewichtungsfaktor g''' in der Zielfunktion (20) wurde gleich Null gesetzt, da die Produktionsplanung optimiert werden sollte. Eine Veränderung der Produktionsplanung mit dem Ziel der Kostenreduktion war dabei ausdrücklich gewünscht. Darüber hinaus wurden die administrativen Verlagerungskosten aus dem zweiten Block der Zielfunktion (20) entfernt. g' und g'' wurden jeweils gleich 0,5 gesetzt. Die prozentuale Veränderung bezieht sich dabei auf die jeweiligen Kostenblöcke.

⁵⁶⁵ Steigende Transportkosten und sinkende übrige Leistungserstellungskosten legen eine Standortverschiebung von Aufträgen durch das Optimierungsmodell nahe, da die Transportkosten maßgeblich durch die Standortwahl beeinflusst werden. Die Entwicklung der Gesamtkosten zeigt, dass der Anstieg der Transportkosten durch die Reduzierung der übrigen Leistungserstellungskosten überkompensiert wird. Somit lassen sich im vorliegenden Fall durch die Standortverschiebung von Aufträgen die Gesamtkosten deutlich senken.

Im nächsten Schritt werden die bei den einzelnen Datensätzen tatsächlich beobachteten Ressourcenengpässe in der Optimierungsumgebung simuliert und die entsprechenden Leistungsgrößen berechnet.⁵⁶⁶ Dabei erfolgt zuerst ein Vergleich der Liefertreue auf Basis der Auftragsanzahl und der Auftragsmengen. Um die Ergebnisse miteinander vergleichen zu können, wird die Liefertreue in diesem Zusammenhang als Übereinstimmungsgrad einer ggf. notwendigen Neubestätigung mit dem ersten bestätigten Termin gemessen.⁵⁶⁷

Datensatz		E1	E2	E3	E4	E5
LTAA	ex post-Optimierung	90%	89%	78%	89%	82%
	Status Quo	78%	80%	74%	88%	76%
	Verbesserung	12%	9%	4%	1%	6%
LTAM	ex post-Optimierung	92%	88%	94%	96%	91%
	Status Quo	82%	81%	83%	91%	84%
	Verbesserung	10%	7%	11%	5%	7%

Tabelle 13: Vergleich der in der Fallstudie beobachteten (Status Quo) mit der durch ex post-Optimierung ermittelten Liefertreue für die Datensätze E1 bis E5 auf Basis der Auftragsanzahl (LTAA) und auf Basis der Auftragsmenge (LTAM)

Tabelle 13 stellt die im Praxisfall beobachteten den mithilfe der Optimierung ermittelten Werten für die Liefertreue gegenüber. Die Liefertreue wird sowohl auf Basis der Auftragsanzahl als auch auf Basis der Auftragsmengen berechnet.⁵⁶⁸ Durch den Einsatz des Optimierungsverfahrens wird sowohl auf Auftrags- als auch auf Mengenbasis eine Verbesserung der Liefertreue erreicht.

⁵⁶⁶ Im Optimierungsmodell wurden die Gewichtungsfaktoren g' und g'' jeweils gleich 0,5 gesetzt.

⁵⁶⁷ Die Berechnung der Liefertreue weicht deshalb von der klassischen Definition der Liefertreue ab. Vgl. Gollwitzer/Karl (1998), S. 69. Im vorliegenden Fall wird aus Analysegründen ein entweder im Praxisfall beobachteter oder durch das Optimierungsmodell neu ermittelter Liefertermin dem tatsächlichen Liefertermin gleichgesetzt.

⁵⁶⁸ Zur Berechnung der Liefertreue auf Basis der Auftragsanzahl (LTAA) wird der Mittelwert der Liefertreue der einzelnen Aufträge gebildet, wobei ein einzelner Auftrag 100% liefertreu ist, wenn er in seiner Gesamtmenge zum bestätigten Termin beliefert wird. Andernfalls hat ein Auftrag eine Liefertreue von 0%. Zur Ermittlung der Liefertreue nach der Auftragsmenge (LTAM) wird die Menge der einzelnen Aufträge, die zum gewünschten Zeitpunkt geliefert werden, als Prozentsatz der Gesamtauftragsmenge berechnet. Die Messung der Liefertreue nach Auftragsanzahl und Auftragsmenge kann bei unterschiedlich großen Aufträgen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Steht beispielsweise der Nachfrage von fünf Aufträgen mit den Mengen $am_1 = 100$, $am_2 = 5$, $am_3 = 10$, $am_4 = 5$ und $am_5 = 5$ nur ein Angebot von 100 Stück gegenüber, dann führt die Komplettbestätigung von Auftrag 1 zu einer Liefertreue auf Basis der Auftragsanzahl von 20%, während die Bestätigung der Aufträge 2 bis 5 zu einer Liefertreue von 80% führt. Die Liefertreue auf Auftragsmenge liegt demgegenüber für beide Fälle bei 80%.

Aufgrund der Berechnungsmethode der Liefertreue wird durch diese Kennzahl allerdings nicht ersichtlich, ob die „richtigen“ Aufträge bestätigt werden, d. h. ob die jeweils verschobenen bzw. nicht bestätigten Mengen so ausgewählt werden, dass die negativen Auswirkungen der Fehlmengen auf die Unternehmensziele minimiert werden.⁵⁶⁹

Da die Kennzahl der Liefertreue keine Rückschlüsse darauf erlaubt, welche Wertigkeit die verschobenen Aufträge aus Unternehmenssicht haben, werden im nächsten Schritt die auftragspezifischen Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten untersucht. Im Rahmen der Optimierung ergeben sich diese direkt aus dem ersten Block der Zielfunktion (20).⁵⁷⁰ Zur Gewinnung der tatsächlichen Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten der jeweiligen Datensätze wurden die nach Auftreten des jeweiligen Engpasses beobachteten neuen Liefertermine entsprechend umgerechnet.

Abbildung 32 zeigt die prozentuale Verringerung der durch die Optimierung erreichten Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten gegenüber den im Praxisfall nach Auftreten des Engpasses tatsächlich beobachteten. Dabei wird deutlich, dass sich die Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten durch die Optimierung signifikant verbessern. Dies lässt sich auf der einen Seite darauf zurückführen, dass in der Praxis des untersuchten Unternehmens nur mit subjektiven Prioritäten bei der Standortzuweisungsentscheidung gearbeitet wird. Eine systematische Bewertung der Auswirkungen von Verschiebungen, beispielsweise in Form des Abwägens zwischen Verschiebungen und Nichtbelieferungen, findet nicht statt. Als zweiter Grund für die mithilfe des Optimierungsansatzes erreichte signifikante Verbesserung lässt sich die simultane Betrachtung aller Aufträge anführen. Aufgrund der Komplexität der Entscheidungssituation und der großen Anzahl von Interdependenzen kann im manuellen Prozess nicht allen Wechselwirkungen Rechnung getragen werden. Dabei sind nicht nur die verschobenen Aufträge, die in den vorliegenden Datensätzen zwischen 12% und 26% der Gesamtauftragszahl ausmachen, sondern auch alle übrigen Aufträge zu berücksichtigen.

⁵⁶⁹ Vgl. Meyr (2005a), S. 1 f.

⁵⁷⁰ Vgl. Abschnitt III.3.1.

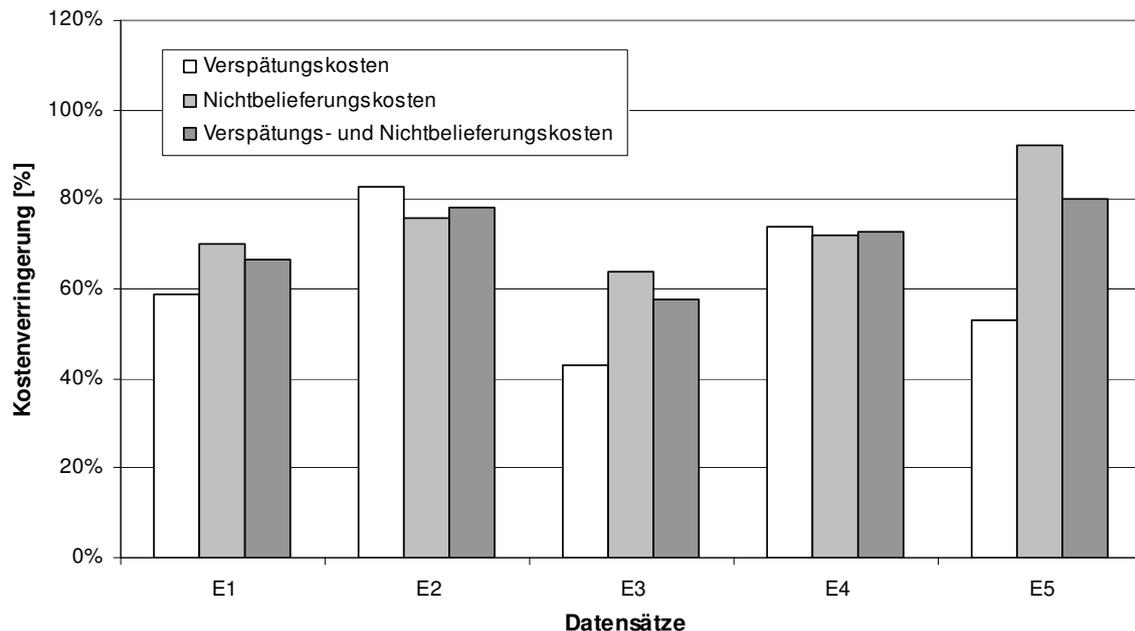


Abbildung 32: Prozentuale Verringerung der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten durch die Anwendung des Optimierungsansatzes gegenüber den aus dem Status Quo des Praxisfalls bestimmten Werten⁵⁷¹

Um abschließend die Abhängigkeit der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten als erstem Term der Zielfunktion (20) und der Leistungserstellungskosten als zweitem Term der Zielfunktion (20) von der Wahl der Gewichtungsfaktoren zu untersuchen, wird das Gewicht für die Produktionsplanstabilität (dritter Block der Zielfunktion) sehr gering gewählt.⁵⁷² Somit ergibt sich für die Summe der Gewichte der Terme der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten g' und der Leistungserstellungskosten g'' : $g' + g'' \approx 1$. Das Optimierungsproblem wird für den zu untersuchenden Datensatz mehrmals gelöst, wobei die Gewichtungsfaktoren g' und g'' zwischen den Extremwerten $(g', g'') = (0,9999, 0,0001)$ als verspätungskostendominiertes Szenario und $(g', g'') = (0,0001, 0,9999)$ als leistungserstellungskostendominiertes Szenario variiert werden. Die prozentuale Veränderung der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten und der Kosten der Leistungserstellung wurde berechnet, indem die Ergebnisse der Optimierung mit den im Praxisfall tatsächlich beobachteten Werten ins Verhältnis gesetzt wurden.

⁵⁷¹ Bei der Optimierung wurde für die Gewichtungsfaktoren g' und g'' jeweils 0,5 gesetzt.

⁵⁷² Dem Gewichtungsfaktor g''' wird der Wert 0,00001 zugewiesen.

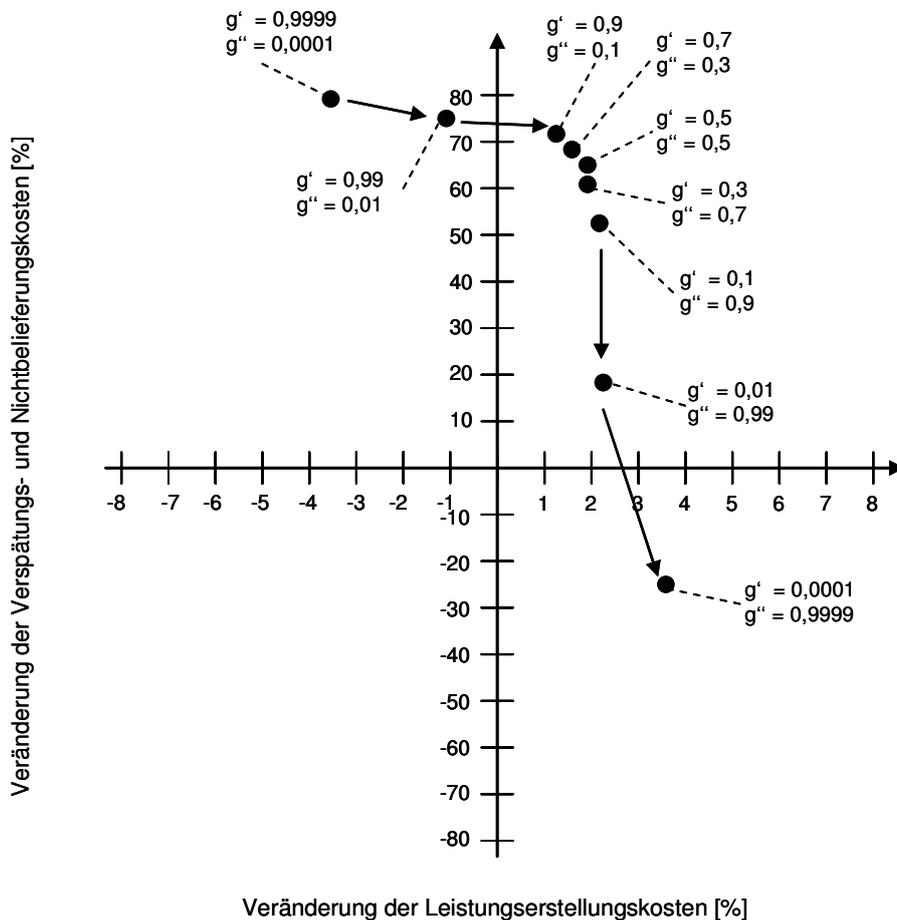


Abbildung 33: Sensitivitätsanalyse der Nichtbelieferungs- und Verspätungskosten und der Leistungserstellungskosten der Zielfunktion für den Datensatz E1 bei Variation der Gewichtungsfaktoren g' und g'' ⁵⁷³

Die Entwicklung der prozentualen Veränderung der Verspätungs- bzw. Nichtbelieferungskosten und der Kosten der Leistungserstellung wird in Abbildung 33 am Beispiel des Datensatzes E1 dargestellt, wobei positive Werte für eine Verbesserung (Reduktion) der Kosten und negative Werte für eine Verschlechterung (Erhöhung) der Kosten stehen. Auffällig ist, dass fast alle

⁵⁷³ Die Veränderung der Leistungserstellungskosten und der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten bei Variation der Gewichtungsfaktoren wird als Prozentsatz gegenüber den aus dem Status Quo berechneten Werten ermittelt.

Lösungen im rechten oberen Quadranten liegen, d. h. dass sowohl die Verspätungs- als auch die Leistungserstellungskosten verbessert werden. Die Untersuchung der Datensätze E2 bis E4 weist ein ähnliches Bild auf. Lediglich die Extremwerte der Gewichtungen, also das verspätungskostendominierte und das leistungserstellungskostendominierte Szenario, führen zu einer Verschlechterung der jeweils anderen Größe.

4 Ableitung von Handlungsempfehlungen

Die Anwendung des entwickelten Optimierungsmodells setzt die Bestimmung von auftragspezifischen Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten voraus, denen als Steuergrößen eine besondere Bedeutung zukommt. Besonders bei der Quantifizierung der mittel- und langfristigen Auswirkungen verspäteter Lieferungen (Goodwill-Verlust) kann das vorgestellte Fehlmengenmodell wertvolle Hilfestellung liefern. Zur Ermittlung der für die Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten relevanten Kriterien haben sich im vorliegenden Praxisfall konsensorientierte Workshops mit allen relevanten Fachabteilungen als besonders effektiv erwiesen. Die auftragspezifischen Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten zeigen sich aufgrund ihrer höheren Detaillierung der klassischen Kennzahl der Liefertreue überlegen.

Um verschiedenen Anwendungsfällen im Bereich der auftragspezifischen Konfiguration gerecht zu werden, lässt sich das Optimierungsmodell durch verschiedene Erweiterungen ergänzen. So kann beispielsweise die oftmals für die Elektronikindustrie relevante Verwendung alternativer Stücklisten modelliert werden. Über Platzhalteraufträge ist die Möglichkeit gegeben, ATP-Mengen für zukünftig erwartete Aufträge zu reservieren. Unter bestimmten Rahmenbedingungen kann das entwickelte Modell auch für die Auftragsfertigung eingesetzt werden.

Im Rahmen der numerischen Untersuchungen konnten alle Beispieldatensätze in zufriedenstellender Rechenzeit optimal gelöst werden. Für die Lösung umfangreicherer Modelle oder die Einbeziehung weiterer Modellerweiterungen wird im Hinblick auf die steigende Anzahl von Binärvariablen der Einsatz von heuristischen Verfahren empfohlen. Die Ergebnisse der Fallstudie zeigen eine deutliche Verbesserung hinsichtlich aller betrachteten Leistungsgrößen. Aufgrund der geringen Anzahl der untersuchten Datensätze lässt sich allerdings keine Aussage über die statistische Signifikanz der Untersuchungen ableiten. Neben den hohen Kosteneinsparungen liegt die Überlegenheit des entwickelten Ansatzes vor allem in der signifikanten Reduzierung der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten, wodurch sich das Unternehmen langfristig Wettbewerbsvorteile sichern kann. Relativiert werden die hinsichtlich der Leistungserstellungskosten erreichten Verbesserungen durch den suboptimalen Produktionsplan des Ausgangszustandes.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Anwendung des entwickelten Optimierungsverfahrens zur Fehlmengenverteilung für die Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration sehr erfolgversprechend erscheint.

IV Unterstützung der Fehlmengenverteilung bei Auftragsbestätigung mit Antizipation durch Verfahren des Revenue Managements

Ziel dieses Kapitels ist die Entwicklung eines auf den Grundgedanken des Revenue Managements basierenden Ansatzes zur Fehlmengenverteilung mit Antizipation und dessen Erprobung anhand einer Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie. Dazu werden zuerst die Grundlagen des Revenue Managements herausgearbeitet und ausgewählte mathematische Kontingentierungsverfahren vorgestellt. Anschließend wird die Anwendbarkeit der Ansätze auf Produktionsumgebungen im Allgemeinen und die Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration im Besonderen untersucht. Danach folgen die Entwicklung eines spezifischen Kontingentierungsansatzes und dessen Bewertung im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit anhand festgelegter Leistungsgrößen im Rahmen der numerischen Untersuchungen. Das Kapitel schließt mit der Ableitung von Handlungsempfehlungen.

1 Grundlagen des Revenue Managements

Zur Herausarbeitung der theoretischen Grundlagen des Revenue Managements wird zuerst auf die Entstehung des Konzeptes im Umfeld der Luftfahrtindustrie eingegangen und eine Begriffsdefinition vorgenommen. Nach der Zusammenfassung der Rahmenbedingungen, unter denen die Methoden des Revenue Managements anwendbar sind, wird auf die Instrumente Preisdifferenzierung, Preis-Mengen-Steuerung und Überbuchung näher eingegangen. Abschließend werden ausgewählte mathematische Kontingentierungsverfahren vorgestellt, die im Rahmen der konzipierten Revenue Management-Systematik Anwendung finden.

1.1 Entstehung und Definition

Als Folge der Deregulierung des amerikanischen Luftverkehrs traten Ende der 70er Jahre vorübergehend mehr als 100 neue Fluglinien in den Markt ein.⁵⁷⁴ Aufgrund ihres oftmals schlanken Verwaltungsapparates war es den neuen, kleinen Fluglinien möglich, Flüge weit unter den etablierten Preisen der großen Gesellschaften anzubieten und ihre Marktanteile auf deren Kosten zu erhöhen.⁵⁷⁵ Durch diese Niedrigpreisangebote konnten neue Kundengruppen für das

⁵⁷⁴ Im Airline Deregulation Act von 1978 wurde die staatliche Kontrolle der Preise, die vorher auf Basis von standardisierten Profitabilitätszielen strikt reguliert waren, gelockert. Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 6 f.

⁵⁷⁵ Vgl. Kimes (1997), S. 183.

Fliegen erschlossen und die Nachfrage insgesamt deutlich gesteigert werden. Die etablierten Fluggesellschaften wurden durch den zunehmenden Wettbewerbsdruck gezwungen, ihr starres Preisgefüge durch flexiblere Ansätze zu ersetzen.⁵⁷⁶

Die Grundidee dieser Ansätze bestand darin, die Sitzplatzkapazität eines Flugzeugs in einzelne Kontingente aufzuteilen und an verschiedene Kundensegmente zu unterschiedlichen Preisen zu verkaufen.⁵⁷⁷ Um die Kontingentgrößen der jeweiligen Teilsegmente bestimmen zu können, legte American Airlines eine umfangreiche Datenbank an, die mit Hilfe moderner Instrumente des Operations Research ausgewertet wurde.⁵⁷⁸ Ähnliche Ansätze wurden von anderen Fluglinien übernommen und bald unter dem Namen Yield Management bekannt.⁵⁷⁹ In letzter Zeit hat sich in der angloamerikanischen Literatur der Begriff Revenue Management durchgesetzt, der im weiteren Verlauf dieser Arbeit verwendet wird.⁵⁸⁰

Die großen wirtschaftlichen Erfolge der Ansätze des Revenue Managements in der Luftfahrtindustrie führten zu einer sukzessiven Ausdehnung des Konzeptes auf andere Dienstleistungsbereiche.⁵⁸¹ Beispielhaft sind hier die Beherbergungsindustrie⁵⁸², die Leihwagenindustrie⁵⁸³, das Gesundheitswesen⁵⁸⁴, der Schienenverkehr⁵⁸⁵, die Vermarktung von Kapazitäten in der Gas- und Energiewirtschaft⁵⁸⁶ und der Freizeitsektor⁵⁸⁷ anzuführen.

⁵⁷⁶ Vgl. Bertsch (1996), S. 2257 f. Zur historischen Entwicklung des Revenue Managements vgl. Cross (1995), S. 444 ff., und Talluri/Van Ryzin (2004), S. 7 ff.

⁵⁷⁷ Vgl. Pfeifer (1989), S. 149, Belobaba (1989), S. 183, und McGill/Van Ryzin (1999), S. 233 f.

⁵⁷⁸ Das System DINAMO wurde im Januar 1985 bei American Airlines in Betrieb genommen und kann als erstes Revenue Management-System bezeichnet werden. Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 9.

⁵⁷⁹ Da im Luftverkehr unter „Yield“ der durchschnittlich je Passagier und geflogener Entfernung erzielte Erlös verstanden wird, bleibt die Auslastung einer Maschine allerdings unberücksichtigt, weshalb der Begriff Revenue Management geeigneter erscheint. Vgl. Weatherford (1998), S. 69, Tillmanns (2003), S. 537, und Spengler/Rehkopf (2005), S. 124 f.

⁵⁸⁰ Vgl. Klein (2001), S. 245, und Kuhn/Defregger (2004), S. 319.

⁵⁸¹ Die durch Revenue Management generierten Zusatzerlöse bei American Airlines lagen für den Zeitraum von 1988 bis 1990 bei \$ 1,4 Milliarden. Vgl. Klophaus (1996), S. 146 f.

⁵⁸² Vgl. Bitran/Mondschein (1995), S. 427 ff., Dunn/Brooks (1990), S. 80 ff., und Griffin (1995), S. 375 ff.

⁵⁸³ Vgl. Geraghty/Johnson (1997), S. 107 ff.

⁵⁸⁴ Vgl. Chapman/Carmel (1992), S. 45 ff. und Secomandi et al. (2002), S. 7 ff.

⁵⁸⁵ Vgl. Strasser (1996), S. 47 ff., Ciancimino et al. (1999), S. 168 ff., und Kraft/Srikar/Phillips (2000), S. 157 ff.

⁵⁸⁶ Vgl. Dörband/Homann/Reichetseder (2003), S. 124 ff.

⁵⁸⁷ Vgl. Harris/Peacock (1995), S. 34 ff., Kimes (2000), S. 120 ff., und Barth (2002), S. 136 ff.

In letzter Zeit sind auch erste Arbeiten zu Anwendungen der Methoden auf die Produktion von Sachgütern erschienen.⁵⁸⁸ In der betriebswirtschaftlichen Literatur existiert in Abhängigkeit von der Anwendungssituation eine Vielzahl von Definitionen des Revenue Managements.⁵⁸⁹ Im Folgenden wird auf die relativ allgemeine Definition von *KLEIN* verwiesen:

„Revenue Management umfasst eine Reihe quantitativer Methoden zur Entscheidung über Annahme oder Ablehnung unsicherer, zeitlich verteilt eintreffender Nachfrage unterschiedlicher Wertigkeit. Dabei wird das Ziel verfolgt, die in einem begrenzten Zeitraum verfügbare, unflexible Kapazität möglichst effizient zu nutzen.“⁵⁹⁰

1.2 Anwendungsvoraussetzungen

Zur erfolgreichen Anwendung der Methoden des Revenue Managements werden in der Literatur Rahmenbedingungen diskutiert, die sich hinsichtlich der bevorrateten Kapazität, der Nachfrage und des Leistungsprogramms differenzieren lassen.⁵⁹¹

Im Hinblick auf die zur Leistungserbringung bereitgestellte **Kapazität** werden dabei folgende Situationsmerkmale aufgeführt:

- Hohe Fixkosten und geringe Grenzkosten,
- niedrige Kapazitätsflexibilität und
- Nichtlagerfähigkeit bzw. Verderblichkeit der Produkte.

Das Vorhalten der benötigten Kapazität ist mit hohen Fixkosten verbunden. Als Beispiele sind hier der Linienflugbetrieb, der regelmäßige Betrieb eines Fährschiffes oder der Betrieb eines Hotels anzuführen. Die Grenzkosten für die Erbringung einer zusätzlichen Leistungseinheit sind

⁵⁸⁸ Vgl. beispielsweise Spengler/Rehkopf (2005), S. 123 ff., Harris/Pinder (1995), S. 299 ff., Kuhn/Defregger (2004), S. 319 ff., Rehkopf/Spengler (2005b), S. 470 ff., und Kimms/Klein (2005), S. 22 f. Für weitere Beispiele möglicher Anwendungsfelder vgl. Tscheulin/Lindenmeier (2003), S. 649 ff., und Talluri/Van Ryzin (2004), S. 515 ff.

⁵⁸⁹ Die Definitionen greifen entweder die Merkmale der Anwendungssituation auf oder stellen die Instrumente in den Mittelpunkt. Vgl. beispielsweise Wendt/Schwind (2002), S. 3, Weatherford (1998), S. 70 ff., und Corsten/Stuhlmann (1998), S. 10.

⁵⁹⁰ Vgl. Klein (2001), S. 248.

⁵⁹¹ Für die Anwendungsvoraussetzungen hinsichtlich der bevorrateten Kapazität und der Nachfrage vgl. Weatherford/Bodily (1992), S. 831 f., Talluri/Van Ryzin (2004), S. 9, Pinder (2005), S. 76, Harris/Pinder (1995), S. 302 f., und Spengler/Rehkopf (2005), S. 126 f. *KIMMS* und *KLEIN* erweitern die Anwendungsvoraussetzungen auf das Leistungsprogramm. Vgl. Kimms/Klein (2005), S. 5 ff.

im Verhältnis zu den Fixkosten als gering einzustufen. Die vorhandene Kapazität ist im kurz- bis mittelfristigen Bereich als unveränderbar anzusehen. Kapazitätsanpassungen sind in der Regel nur mit großem finanziellen und erheblichem zeitlichen Aufwand durchzuführen.⁵⁹² Darüber hinaus lässt sich die Kapazität oftmals nicht kontinuierlich, sondern nur in bestimmten Stufen erhöhen. Als weiteres Merkmal wird die Nichtlagerfähigkeit bzw. Verderblichkeit der zu erbringenden Leistungen angeführt.⁵⁹³ Die Kapazität kann zur Leistungserstellung nur innerhalb eines begrenzten Zeitraums bzw. zu einem bestimmten Zeitpunkt verwendet werden. Danach verfällt sie entweder völlig oder kann nur noch zu einem reduzierten Preis genutzt werden.

Als charakteristisch für die **Nachfrage** werden in der Regel folgende Merkmale angesehen, die im Weiteren näher ausgeführt werden:

- Unsichere Nachfrage,
- Nachfrage unterschiedlicher Wertigkeit sowie
- zeitliche Differenz zwischen Verkauf und Zeitpunkt der Leistungserstellung.

Die Nachfrage ist mit Unsicherheit behaftet und weist in der Regel eine starke zeitliche Variation auf. Der Eintreffzeitpunkt und die Anzahl der Anfragen für eine bestimmte Buchungsklasse sind schwer prognostizierbar. Da die volatile und unsichere Nachfrage eine effiziente Kapazitätsauslastung erschwert, kommt der Hebung des sich aus der volatilen und unsicheren Nachfrage ergebenden Erlös- bzw. Ertragsteigerungspotentials eine entscheidende Bedeutung zu.⁵⁹⁴ Voraussetzung für eine Nachfragesegmentierung und Preisdifferenzierung ist, dass unterschiedliche Nachfrager eine unterschiedliche Zahlungsbereitschaft für die gleiche Leistung mitbringen. In der Luftfahrtindustrie nehmen Kunden in Abhängigkeit von der Buchungsflexibilität hohe Preisunterschiede in Kauf.⁵⁹⁵ Die zeitliche Differenz zwischen Verkauf und Zeitpunkt der Leistungserstellung erlaubt es, Kapazitäten im Voraus zu belegen. Dies ist beispielsweise beim Verkauf von Flugtickets der Fall, da die Leistungserbringung zu einem festgelegten Zeitpunkt erfolgt, der Verkauf aber schon im Vorfeld stattfinden kann.

⁵⁹² Eine Erhöhung der Bettenanzahl eines Hotels lässt sich beispielsweise nur durch bauliche Erweiterungsmaßnahmen erreichen.

⁵⁹³ Die Verderblichkeit wird im englischen mit „Perishability“ bezeichnet, weshalb im anglo-amerikanischen Sprachraum auch von „Perishable Asset Revenue Management“ (PARM) gesprochen wird. Vgl. Robinson (1995), S. 252, und Belobaba/Weatherford (1996), S. 343 f.

⁵⁹⁴ Vgl. Harris/Pinder (1995), S. 303.

⁵⁹⁵ Vgl. Pfeifer (1989), S. 149, Robinson (1995), S. 252, und Belobaba (1987), S. 63.

Um eine Nachfragesegmentierung und Preisdifferenzierung zu ermöglichen, wird ein vorgegebenes **Leistungsprogramm** mit weitgehend definierten Produkten vorausgesetzt.⁵⁹⁶ So können Kunden bei Fluglinien beispielsweise nur aus einem vorgegebenen Angebot von Verbindungen auswählen. Darüber hinaus sollte das Leistungsprogramm eine hinreichende Kontinuität aufweisen, um mithilfe von Prognoseverfahren geeignete Vorhersagen der zukünftigen Nachfrage treffen zu können.

1.3 Instrumente

Grundsätzlich kann Revenue Management als stochastisches, dynamisches Entscheidungsproblem verstanden werden. Zu den angewendeten Instrumenten gehören die Prognose, die Preissteuerung (segmentorientierte Preisdifferenzierung), die Kapazitätssteuerung (Preis-Mengen-Steuerung und Überbuchung) und die Ergebniskontrolle.⁵⁹⁷ Im Rahmen der Prognose werden auf Basis des verfügbaren Datenmaterials das zu erwartende Konsumentenverhalten sowie die zu erwartende Entwicklung der Nachfragestruktur vorhergesagt.⁵⁹⁸ Im Rahmen der Preissteuerung bzw. Preisdifferenzierung wird der Gesamtmarkt im Hinblick auf eine unterschiedliche Zahlungsbereitschaft der Kunden segmentiert und darauf aufbauend eine Tarifstruktur abgeleitet, die der Preisdifferenzierung Rechnung trägt.⁵⁹⁹ Die Kapazitätssteuerung umfasst die Preis-Mengen-Steuerung und die Überbuchung beschränkter Kapazitäten.⁶⁰⁰ Im Rahmen der Ergebniskontrolle werden auf der einen Seite die Güte der Prognose und auf der anderen Seite die Preissetzungs- und Kapazitätsallokationsstrategien kontinuierlich überprüft, um die Modellparameter zeitnah aktualisieren zu können. Abbildung 34 stellt die Instrumente des Revenue Managements dar, von denen im Folgenden die Preisdifferenzierung, die Preis-Mengen-Steuerung und die Überbuchung näher erläutert werden.

⁵⁹⁶ Vgl. Kimms/Klein (2005), S. 9.

⁵⁹⁷ Vgl. Tscheulin/Lindenmeier (2003), S. 631. Dabei handelt es sich um die Instrumente des Revenue Managements im engeren Sinne, die auf der taktisch-operativen Ebene Anwendung finden. Vgl. Kimms/Klein (2005), S. 12.

⁵⁹⁸ Da es sich bei der Prognose allerdings nicht um ein spezielles Instrument des Revenue Managements handelt, wird auf die Prognose bzw. Vorhersage der Nachfrage im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter eingegangen. Für Details zur Prognose im Rahmen des Revenue Managements vgl. McGill/Van Ryzin (1999), S. 236 f., und die darin angegebene Literatur.

⁵⁹⁹ Vgl. Spengler/Rehkopf (2005), S. 128, und Faßnacht/Homburg (1997), S. 137 ff.

⁶⁰⁰ Vgl. Klein (2001), S. 248.



Abbildung 34: Bestandteile des Planungsprozesses des Revenue Managements⁶⁰¹

1.3.1 Segmentorientierte Preisdifferenzierung

Die grundsätzliche Idee der Preisdifferenzierung als Instrument des Revenue Managements ist es, eine homogene Leistung verschiedenen Kundengruppen zu unterschiedlichen Preisen anzubieten, d. h. Kundengruppen isoliert zu bepreisen. Zur Differenzierung der einzelnen Segmente mit unterschiedlicher Zahlungsbereitschaft stehen verschiedene Ansätze zur Verfügung, zu denen neben Mengenrabatten, Mindestaufenthalt und bestimmten Reise-terminen auch der Zeitpunkt der Buchung zählt.⁶⁰²

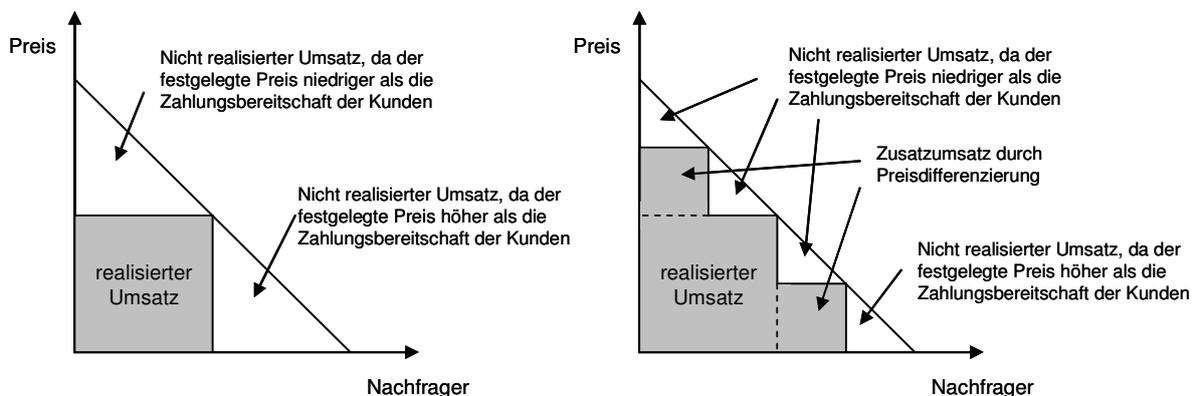


Abbildung 35: Vereinfachte Darstellung der Auswirkungen der Preisdifferenzierung auf den Umsatz⁶⁰³

⁶⁰¹ In Anlehnung an Tscheulin/Lindenmeier (2003), S. 631.

⁶⁰² Vgl. Spengler/Rehkopf (2005), S. 128.

⁶⁰³ Vgl. Spengler/Rehkopf (2005), S. 128.

Das Schützen von niedrigen Preisklassen vor der Nachfrage von Kunden, die auch bereit sind, den Preis der höheren Preisklasse zu bezahlen, wird als „Fencing“ bezeichnet.⁶⁰⁴ Dem in Abbildung 35 dargestellten Potential der Preisgestaltung bei mehreren Preisklassen liegt die Annahme zugrunde, dass die Nachfrage nach der betrachteten Kapazität mit zunehmendem Preis sinkt. Darüber hinaus werden funktionierende „Fencing“-Mechanismen vorausgesetzt.⁶⁰⁵ Kann die gesamte Kapazität dabei nur zu einem einzigen Preis angeboten werden, dann ist dieser wie im linken Teil der Abbildung 35 dargestellt zu wählen, um den Gesamtumsatz zu maximieren. Können dagegen verschiedene Preise für unterschiedliche Kontingente angeboten werden, dann lässt sich ein signifikant höherer Gesamtumsatz erzielen.

In der Literatur lassen sich zahlreiche sektorspezifische Modelle zur optimalen Marktsegmentierung und Preisdifferenzierung finden.⁶⁰⁶ Neben dem klassischen Luftfahrtsektor⁶⁰⁷ finden sich Arbeiten mit Bezug zum Schiffspassagiertransport⁶⁰⁸, zur Beherbergungsindustrie⁶⁰⁹, zur Bekleidungsindustrie bzw. zum Handel allgemein⁶¹⁰, zur Automobilindustrie⁶¹¹ und zu Anwendungen des E-Commerce⁶¹². *BOTIMER* und *BELOBABA* kritisieren, dass die Mehrzahl der Arbeiten zur Preissetzung im Rahmen des Revenue Managements entweder von einer ausschließlichen Preisdifferenzierung oder aber einer alleinigen Produktdifferenzierung ausgehen.⁶¹³ Zur Lösung des aufgezeigten Konflikts entwickeln sie ein Modell der Fare Product-Differenzierung, das auch Aspekte der Preisdifferenzierung einschließt.⁶¹⁴ In einigen Arbeiten wird der klassische Ansatz der Marktsegmentierung und Preisdifferenzierung um eine mehrperiodige bzw. dynamische Preissetzung erweitert. Die Modellierung der Preise als Steuerungsvariable und die Bestimmung kritischer Zeitpunkte der Preisänderungen rücken

⁶⁰⁴ Vgl. Hanks/Cross/Noland (1992), S. 17 f., und Botimer (2000), S. 105.

⁶⁰⁵ Vgl. Botimer/Belobaba (1999), S. 1086.

⁶⁰⁶ Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 177 f.

⁶⁰⁷ Vgl. Botimer (2000), S. 100 ff.

⁶⁰⁸ Vgl. Ladany/Arbel (1991), S. 136 ff.

⁶⁰⁹ Vgl. Hanks/Cross/Noland (1992), S. 15 ff., Badinelli/Olsen (1990), S. 1 ff., und Badinelli (2000), S. 476 ff.

⁶¹⁰ Vgl. Friend/Walker (2001), S. 133 ff., Girard (2000), S. 8 ff., und Johnson (2001), S. 5 ff.

⁶¹¹ Vgl. Coy (2000), S. 160 ff.

⁶¹² Vgl. Van Ryzin (2000), S. 1 f.

⁶¹³ Vgl. Botimer/Belobaba (1999), S. 1085.

⁶¹⁴ Vgl. Botimer/Belobaba (1999), S. 1087 ff. Als „Fare Product“ wird dabei ein Bündel aus Tarifen und Restriktionen bezeichnet.

dabei in den Mittelpunkt.⁶¹⁵ Während sich in einigen dynamischen Modellen der Preis innerhalb eines festgelegten Intervalls kontinuierlich verändern kann, lassen andere Modelle nur eine eingeschränkte Menge diskreter Preise zu.⁶¹⁶ Während sich die meisten der analysierten Ansätze lediglich mit der Bepreisung beschäftigen, existieren auch Ansätze, die die Bepreisung mit dem im nächsten Abschnitt vorgestellten Instrument der optimalen Kapazitätsallokation bzw. Kontingentierung verbinden, um Ertragssteigerungen zu realisieren.⁶¹⁷

Da die Preise in der untersuchten Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie als gegeben vorausgesetzt werden, erfolgt im weiteren Verlauf dieser Arbeit keine detailliertere Untersuchung der Ansätze der Preisdifferenzierung. Das Preisdifferenzierungspotential der Fallstudie resultiert aus der Tatsache, dass in unterschiedlichen regionalen Absatzmärkten unterschiedliche Preise für ähnliche Produkte mit ähnlicher Kostenstruktur erzielt werden können.⁶¹⁸

1.3.2 Preis-Mengen-Steuerung

Die Preis-Mengen-Steuerung wird als zentrales Instrument des Revenue Managements gesehen. Ihre Aufgabe ist die Entscheidung über Annahme und Ablehnung von Anfragen in Abhängigkeit von der verbleibenden Kapazität mit dem Ziel der Erlösmaximierung. Der am weitesten verbreitete Ansatz ist die Kontingentierung⁶¹⁹ beschränkter Kapazitäten.⁶²⁰ Ziel ist es dabei, die Gesamtkapazität so in Teilkapazitäten aufzuteilen und diesen Kontingenten die Nachfrage aus unterschiedlichen Marktsegmenten zuzuordnen, dass der maximale Erlös erzielt wird. Dabei ist im Rahmen eines stochastischen und dynamischen Entscheidungsproblems

⁶¹⁵ Vgl. Desiraju/Shugan (1999), 44 ff., und Zhao/Zheng (2000), S. 375 ff. Dabei wird entweder von einer expliziten dynamischen Bepreisung der Leistung oder von einem beschränkten Lagerbestand ausgegangen.

⁶¹⁶ Für kontinuierliche Preise vgl. Gallego/Van Ryzin (1993), S. 999 ff., für diskrete Preise vgl. Chatwin (2000), S. 149 ff., und Feng/Xiao (1999), S. 337 ff.

⁶¹⁷ Vgl. Gallego/Van Ryzin (1997), S. 24 ff., Weatherford (1997), S. 227 ff., und Garcia-Diaz/Kuyumcu (2000), S. 51 ff.

⁶¹⁸ Kann die Annahme fest vorgegebener Preise dagegen in anderen Anwendungssituationen relaxiert werden, dann bieten die Ansätze der segmentorientierten Preisdifferenzierung auch für Produktionsumgebungen ein Erlös- bzw. Ertragssteigerungspotential.

⁶¹⁹ Im englischsprachigen Raum wird im Zusammenhang mit der Luftfahrtindustrie auch von „Seat-Inventory Control“ gesprochen. Vgl. Belobaba (1987), S. 64.

⁶²⁰ Vgl. McGill/Van Ryzin (1999), S. 233.

zwischen Umsatzverdrängung und Leerkosten abzuwägen.⁶²¹ Die stochastische Eigenschaft lässt sich für den Luftfahrtfall auf die unsichere Anzahl an zukünftigen Buchungsanfragen über den Buchungsverlauf zurückführen. Die Dynamik des Optimierungsproblems resultiert aus der sich nach jeder Buchung verändernden Entscheidungssituation. Im Folgenden werden die Funktionsweise der Kontingentierung und deren Steuerungsmechanismen exemplarisch für die Luftfahrtindustrie dargestellt. Anschließend wird auf verschiedene Literaturansätze eingegangen, die sich in statische und dynamische Problemlösungsansätze und Ansätze für Leistungserstellungnetzwerke differenzieren lassen.⁶²²

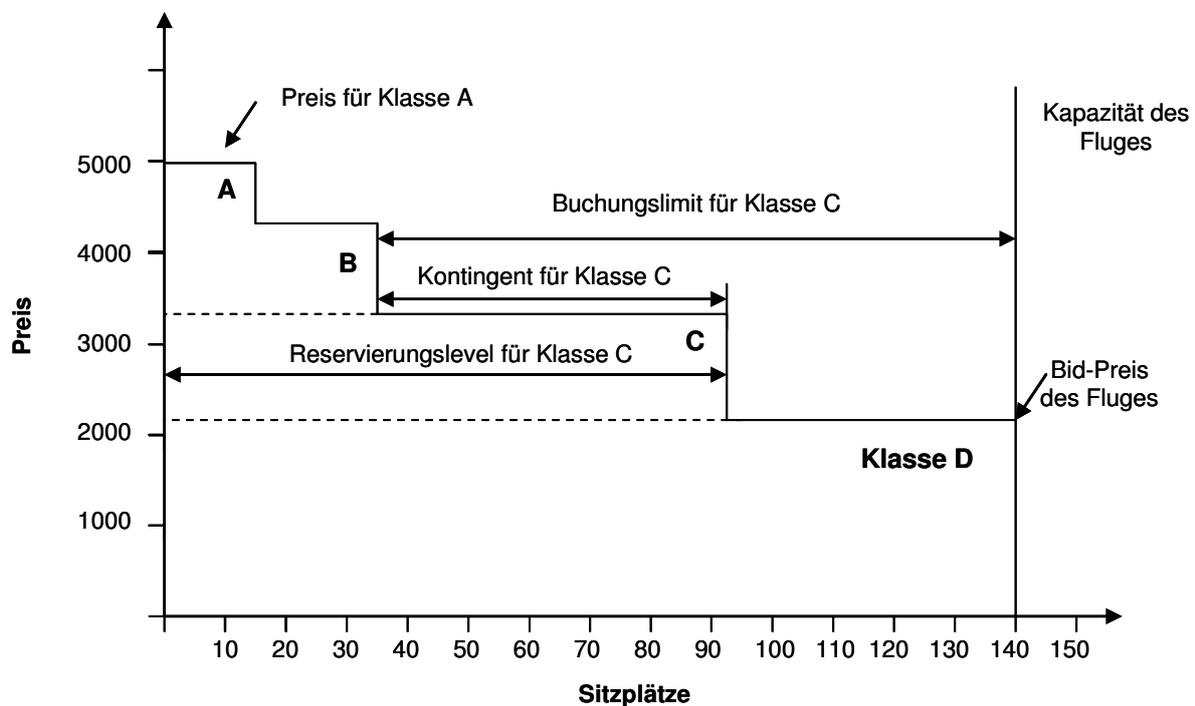


Abbildung 36: Kontingente am Beispiel eines Passagierflugs mit 140 Sitzplätzen und vier Buchungsklassen⁶²³

Abbildung 36 zeigt exemplarisch die Steuerungsmechanismen der Preis-Mengen-Steuerung eines fiktiven Fluges mit 140 Sitzplätzen und vier verschiedenen Buchungsklassen. Die

⁶²¹ Vgl. Kimms/Klein (2005), S. 13. Es handelt sich dabei um ein Problem der Auftragsselektion bei Unsicherheit. Vgl. Laux (1971), S. 165.

⁶²² Vgl. McGill/Van Ryzin (1999), S. 240 f.

⁶²³ In Anlehnung an Klein (2001), S. 251.

Buchungsklassen sind dabei nach fallenden Ticketpreisen geordnet. Als Steuerungsmechanismen für die Annahme von Anfragen kommen neben den Buchungslimits und Reservierungslevel (Schutzgrenzen) auch so genannte Bid-Preise zum Einsatz. Für den Fall, dass die Nachfrage nach einer höherwertigen Buchungsklasse unterschätzt wurde, kann es bei einem höherwertigen Kontingent zur Ablehnung einer Anfrage kommen, obwohl ein niederwertiges Kontingent noch über Kapazität verfügt. Wenn beispielsweise in Abbildung 36 bereits 15 Buchungsanfragen für Buchungsklasse A eingegangen sind, würde die 16. Anfrage abgelehnt, auch wenn noch Kapazitäten für Buchungsklassen B bis D vorhanden sind. Um eine solche, aus Gesamterlössicht suboptimale Entscheidung zu vermeiden, kann das Prinzip der hierarchisch kumulierten Kontingente angewendet werden.⁶²⁴ Dabei werden die Kontingente niederwertigerer Klassen für den Zugriff durch höherwertigere Buchungsklassen freigegeben, während höherwertige Klassen vor dem Zugriff niederwertigerer Klassen geschützt bleiben.⁶²⁵ Unter der Reservierungsmenge bzw. der Schutzgrenze wird die Menge an Kapazität verstanden, die für eine bestimmte Klasse oder eine Gruppe von Klassen zur Verfügung steht und damit vor dem Zugriff durch andere Klassen geschützt ist.⁶²⁶ Im hierarchisch kumulierten Fall wird die Schutzgrenze einer Klasse definiert als die Menge, die für diese Klasse und alle höherwertigen Klassen reserviert ist.

Im Unterschied zu den klassenbasierten Buchungslimits und Schutzgrenzen handelt es sich bei den so genannten Bid-Preisen um monetäre Steuerungsgrößen. Die Verwendung von Bid-Preisen bietet im Umfeld von Flugnetzwerken Steuerungsvorteile.⁶²⁷ Der Bid-Preis stellt dabei einen Mindestpreis dar, den die Fluggesellschaft für ein Ticket eines Fluges mindestens erzielen möchte. Der Bid-Preis ist nach jeder Buchung zu aktualisieren, da dieses Konzept sonst keinen ausreichenden Schutz höherwertiger Klassen bietet.⁶²⁸

Die Ansätze der Preis-Mengen-Steuerung bieten sich aufgrund ihrer Ähnlichkeit zu den im Zusammenhang mit Demand Fulfillment bereits vorgestellten regelbasierten „Allocated ATP“-

⁶²⁴ Vgl. Fischer (2001), S. 138 f.

⁶²⁵ Dieses Vorgehen wird auch als „Nesting“ bezeichnet. Vgl. Weatherford/Bodily (1992), S. 837, und Elimam/Dodin (2001), S. 454.

⁶²⁶ Schutzgrenzen werden im englischsprachigen Raum als „Protection Level“ bezeichnet. Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 30.

⁶²⁷ Bei Anwendung der Kontingentierung auf netzwerkartigen Problemstrukturen entstehen sehr kleine Kontingente, was zu einem erhöhten Aufwand bei der Auftragsannahmeentscheidung und unter Umständen zu Auslastungsproblemen führen kann. Vgl. Spengler/Rehkopf (2005), S. 131.

⁶²⁸ Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 32.

Ansätzen zur Übertragung auf Produktionsumgebungen an.⁶²⁹ Die im Ergebnis gebildeten Kontingente können leicht in vorhandene Abläufe der Verfügbarkeitsprüfung integriert werden.

Bei der Kontingentierung mit **statischen Problemlösungsansätzen**⁶³⁰ wird zum Entscheidungszeitpunkt davon ausgegangen, dass sich die erwartete Nachfragehöhe und Nachfragestruktur über den Zeitverlauf nicht ändert. Deshalb wird die Zeit zwischen der Allokationsentscheidung (Bildung der Kontingente) und dem Zeitpunkt der Leistungserstellung (beispielsweise der Abflug eines Passagierflugzeugs) vernachlässigt.

Die erste Arbeit auf diesem Gebiet leitet die optimale Zuordnung von Sitzplätzen auf einem Direktflug für zwei Buchungsklassen her und wird als Marginal Seat Revenue-Modell bezeichnet.⁶³¹ Darauf aufbauend wurde ein Modell entwickelt, das als Expected Marginal Seat Revenue (EMSR)-Modell eine Erweiterung auf beliebig viele geschachtelte Buchungsklassen vornimmt.⁶³² Dieses liefert aber nur für den Fall zweier Buchungsklassen eine optimale Lösung. Weitere Ansätze, die sich auf zwei Buchungsklassen bei Direktflügen konzentrieren, inkorporieren das Diversionsverhalten⁶³³, das No Show-Verhalten⁶³⁴ oder berücksichtigen statistisch abhängige Nachfrage.⁶³⁵

Als Erweiterung der Zweiklassenmodelle können die optimalen Modelle für Direktflüge mit multiplen Buchungsklassen angesehen werden.⁶³⁶ Im Zusammenhang mit multiplen Buchungsklassen kann analog zu den Ansätzen mit zwei Buchungsklassen das Diversionsverhalten von Passagieren betrachtet werden.⁶³⁷ In Richtung der dynamischen Problemlösung bewegt sich ein

⁶²⁹ Vgl. Abschnitt II.3.4.4.3.

⁶³⁰ Der Begriff „statisch“ bezieht sich darauf, dass die Anfragen ihrer Wertigkeit nach geordnet von niedrig zu hoch eintreffen. Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 33.

⁶³¹ Vgl. Littlewood (1972), S. 95 ff., und Bhatia/Parekh (1973), S. 1 ff.

⁶³² Vgl. Belobaba (1989), S. 183 ff. Das ursprüngliche EMSR-Modell wird auch als EMSRa-Modell bezeichnet, während eine spätere Weiterentwicklung mit EMSRb bezeichnet wird. Vgl. Belobaba (1992), S. 1 ff. und Talluri/Van Ryzin (2004), S. 33.

⁶³³ Unter dem Diversionsverhalten wird dabei der Effekt verstanden, dass ein Kunde einer niedrigeren Buchungsklasse bei Nichtverfügbarkeit auch ein Ticket einer teureren Buchungsklasse kauft, auch wenn er ursprünglich nur den Preis für die niedrigere Buchungsklasse ausgeben wollte. Vgl. Pfeifer (1989), S. 149 ff., und Bodily/Weatherford (1995), S. 173 ff.

⁶³⁴ Unter No Show-Verhalten wird der Fall verstanden, dass Passagiere am Abflugtag nicht erscheinen, auch wenn Sie einen Flug gebucht haben. Vgl. Bodily/Weatherford (1995), S. 176.

⁶³⁵ Vgl. Brumelle et al. (1990), S. 183 ff.

⁶³⁶ Vgl. Curry (1990), S. 193 ff., Wollmer (1992), S. 26 ff., und Brumelle/McGill (1993), S. 127 ff.

⁶³⁷ Vgl. Belobaba/Weatherford (1996), S. 343 ff.

Ansatz, der ein zufälliges Eintreffen der Anfragen der verschiedenen Buchungsklassen zulässt und damit eine zentrale Annahme der statischen Ansätze relaxiert.⁶³⁸

Da in der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Fallstudie die Ankunftsreihenfolge der Nachfrage näherungsweise als von niedrig- zu hochpreisig beschrieben werden kann, bieten sich die statischen Verfahren für die Übertragung auf die untersuchte Produktionsumgebung an. Daneben werden für die statischen Ansätze Informationen über die Nachfrageverteilung benötigt, die für die Fallstudie vorliegen. Darüber hinaus entstehen als Ergebnis Kontingente, die direkt als Input für die Verfügbarkeitsprüfung verwendet werden können.

Bei der Kontingentierung mit **dynamischen Problemlösungsansätzen** wird die Kernannahme der statischen Problemlösungsansätze aufgegeben, nach der Aufträge nur in einer festgelegten Reihenfolge eintreffen.⁶³⁹ Das Problem wird also nicht mehr als ein einmaliges Entscheidungsproblem, sondern als Sequenz voneinander abhängiger Entscheidungen modelliert. Der erhöhten Realitätsnähe und verbesserten Lösungsgüte steht eine Komplexitätssteigerung der dynamischen Ansätze gegenüber.⁶⁴⁰

In der Literatur finden sich verschiedene Modelle auf Basis der stochastischen Dynamischen Programmierung, die das Ziel verfolgen, den Erlöserwartungswert zu maximieren. Die Reservierungsbestände werden dabei als Zustandsvariablen berücksichtigt. Einen wichtigen Modellinput liefern die Zustandsübergangswahrscheinlichkeiten zwischen den Zuständen aufeinander folgender Zeitperioden.⁶⁴¹ Die Modelle lassen sich dabei unterscheiden in solche, die zwei Buchungsklassen⁶⁴², und solche, die multiple Buchungsklassen berücksichtigen.⁶⁴³ Im Rahmen der Modelle mit multiplen Buchungsklassen kann zwischen Ansätzen, die monoton eintreffende, sequentielle Buchungsanfragen abbilden⁶⁴⁴ und solchen, die von dieser restriktiven Annahme abstrahieren⁶⁴⁵, unterschieden werden. Daneben existieren Modelle, die das

⁶³⁸ Vgl. Robinson (1995), S. 252 ff.

⁶³⁹ Vgl. Talluri/Van Ryzin (2005), S. 57 f.

⁶⁴⁰ Vgl. Tscheulin/Lindenmeier (2003), S. 635 f.

⁶⁴¹ Vgl. Defregger/Kuhn (2003), S. 18. Dabei werden die Zeitperioden so klein gewählt, dass pro Periode nur ein Ereignis realisiert wird (beispielsweise das Eintreffen eines Kundenauftrags). Vgl. Lee/Hersh (1993), S. 255.

⁶⁴² Vgl. Zhao/Zheng (2001), S. 80 ff.

⁶⁴³ Vgl. Liang (1999), S. 117 ff.

⁶⁴⁴ Vgl. Lautenbacher/Stidham (1999), S. 136 ff.

⁶⁴⁵ Vgl. Subramanian/Lautenbacher/Stidham (1999), S. 147 ff.

Kontingentierungsproblem für multiple Buchungsklassen als stochastisches dynamisches Rucksackproblem formulieren.⁶⁴⁶ Darüber hinaus können No Shows⁶⁴⁷, Überbuchung⁶⁴⁸, Diversionsverhalten⁶⁴⁹ und Gruppenbuchungen⁶⁵⁰ in die Modelle integriert werden.

Die Preis-Mengen-Steuerung im Umfeld **vernetzter Leistungserstellung** hat ihren Ursprung in der Luftfahrtindustrie, da sich dort früh Netzverbindungen gebildet haben.⁶⁵¹ Dabei dienen bestimmte Flughäfen als Drehkreuze, über die zahlreiche Verbindungen angeboten werden können, die als Direktflug nicht ausreichend ausgelastet wären.⁶⁵² In solchen Netzwerken haben viele unterschiedliche Verbindungen gleiche Teilstrecken.⁶⁵³ Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurden Ansätze entwickelt, die die Preis-Mengen-Steuerung simultan für sämtliche Teilstrecken durchführen.⁶⁵⁴ Als Steuergröße wird dabei das bereits erläuterte Konzept der Bid-Preise verwendet. Wenn der erzielte Umsatz einer beliebigen Streckenkombination über der Summe der Bid-Preise der benötigten Teilstrecken liegt, wird die Anfrage angenommen.

Als mögliche Lösungsverfahren des Kontingentierungsproblems bei vernetzter Leistungserstellung werden in der Literatur Netzwerkmodelle⁶⁵⁵ und Verfahren der Dynamischen Programmierung⁶⁵⁶ diskutiert. Da die Verfahren der Kontingentierung bei netzwerkartigen Problemstrukturen zu sehr kleinen Kontingenten führen, wird in der praktischen Anwendung in

⁶⁴⁶ Rucksack-Probleme werden im englischsprachigen Raum als „Knapsack“-Probleme bezeichnet. Vgl. Kleywegt/Papastavrou (1998), S. 17 ff., und Van Slyke/Young (2000), S. 155 ff.

⁶⁴⁷ Vgl. Zhao/Zheng (2001), S. 80 ff. für zwei Buchungsklassen und Subramanian/Lautenbacher/Stidham (1999), S. 147 ff. für multiple Buchungsklassen.

⁶⁴⁸ Vgl. Subramanian/Lautenbacher/Stidham (1999), S. 147 ff.

⁶⁴⁹ Vgl. Zhao/Zheng (2001), S. 80 ff.

⁶⁵⁰ Vgl. Lee/Hersh (1993), S. 258, und Van Slyke/Young (2000), S. 155 ff.

⁶⁵¹ Diese in der Regel über Drehkreuze organisierten Flugnetze werden auch als Hub&Spoke-Netze bezeichnet. Vgl. McGill/Van Ryzin (1999), S. 241.

⁶⁵² Die Lufthansa AG betreibt beispielsweise ein Drehkreuz in Frankfurt am Main. Vgl. Domschke/Klein/Petrick (2005), S. 48.

⁶⁵³ Liegen beispielsweise Anfragen für den Direktflug Nürnberg - Frankfurt und die Flugstrecke Nürnberg - Frankfurt - Singapur vor, dann könnte letztere eventuell abgelehnt werden, weil die daraus auf die Strecke Nürnberg - Frankfurt entfallende Anfrage auf eine niederwertige Buchungsklasse als die des Direktflugs zielt. Dadurch würde die Fluggesellschaft aber eventuell der Auslastung der Strecke Frankfurt - Singapur schaden und möglicherweise kein globales Erlösoptimum erreichen.

⁶⁵⁴ Vgl. Klein (2001), S. 254.

⁶⁵⁵ Vgl. Glover et al. (1982), S. 73 ff., Dror/Trudeau/Ladany (1988), S. 239 ff., und Phillips/Boyd/Grossman (1991), S. 225 ff.

⁶⁵⁶ Vgl. Feng/Xiao (2001), S. 938 ff.

der Regel auf eine Bid-Preis-Steuerung zurückgegriffen.⁶⁵⁷ Unter „Virtual Nesting“ wird dabei eine Mischform zwischen Kontingentierung einer Ressource und Kontingentierung im Rahmen der vernetzten Leistungserstellung verstanden.⁶⁵⁸ Dabei werden die bereits vorgestellten Verfahren zur Kontingentierung einer Ressource auf jede Ressource des Netzwerks angewendet. Allerdings sind die verwendeten Klassen virtueller Art, wobei Produktgruppen zusammengefasst werden, die auf die gleiche Klasse zugreifen. Um über eine eintreffende Buchungsanfrage zu entscheiden, wird die Verfügbarkeit aller dem Produkt zugeordneten virtuellen Klassen geprüft.⁶⁵⁹

Da in der vorliegenden Fallstudie die verschiedenen Varianten eines Produktes die gleichen Ressourcen beanspruchen, bieten die Ansätze der vernetzten Leistungserstellung keinen signifikanten Mehrwert. Hat die Problemstellung in einer Anwendungssituation aber einen Netzwerkcharakter, wie dies beispielsweise bei Auftragsfertigung der Fall sein kann, dann bieten die Ansätze der vernetzten Leistungserstellung ein großes Potential.⁶⁶⁰

1.3.3 Überbuchung

Das Instrument der Überbuchung zielt darauf ab, die aus Stornierungen und No-Shows resultierenden Leerkosten zu verringern. Falls zum Zeitpunkt der Leistungserstellung aufgrund von Überbuchung nicht alle Reservierungen erfüllt werden können, entstehen Zusatzkosten, die auch als Überverkaufskosten bezeichnet werden.⁶⁶¹ Neben direkt quantifizierbaren Kosten sind auch nicht direkt quantifizierbare Kosten zu betrachten, die beispielsweise durch unzufriedene Kunden entstehen, die trotz einer Reservierung einen Flug nicht antreten können. Die in der Literatur vorhandenen Ansätze können analog zu den Ansätzen der Preis-Mengen-Steuerung in statische und dynamische Problemlösungsansätze unterteilt werden.⁶⁶²

⁶⁵⁷ Vgl. Simpson (1989), S. 1 ff., Williamson (1992), S. 1 ff., und Phillips (1994), S. 73 ff.

⁶⁵⁸ Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 85, und McGill/Van Ryzin (1999), S. 242.

⁶⁵⁹ Vgl. Vinod (1995), S. 459 ff., und Curry (1990), S. 194. Eine Anfrage wird dann angenommen, wenn alle zu ihr gehörenden Klassen verfügbar sind.

⁶⁶⁰ Für Details zu den dynamischen Ansätzen vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 81 ff.

⁶⁶¹ Bei Fluggesellschaften sind das beispielsweise Übernachtungskosten, Kosten für Upgrades und Ausgaben für kostenlose Beförderung auf einem Anschlussfluge. Vgl. Chatwin (1998), S. 806.

⁶⁶² Vgl. Tscheulin/Lindenmeier (2003), S. 640 ff. Da in der untersuchten Fallstudie Bestellungen in der Regel nicht storniert werden, besteht für die Anwendung der Instrumente der Überbuchung keine Notwendigkeit. Wird diese Annahme aber im Rahmen geeigneter Anwendungssituationen relaxiert, dann scheint die Übertragung der Überbuchungsinstrumente des Revenue Managements auf Produktionsumgebungen bedenkenswert.

Als **statische Überbuchungsansätze** werden solche bezeichnet, die Überbuchungsquoten zu einem einmaligen Zeitpunkt festlegen und diese über den Zeitverlauf nicht mehr anpassen.⁶⁶³ Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass sich die Nachfrage, die No Shows und die Stornierungen über den Buchungsverlauf nicht ändern. Während sich einige Modelle mit einer Buchungsklasse⁶⁶⁴ beschäftigen, zielen andere auf zwei⁶⁶⁵ bzw. multiple⁶⁶⁶ Buchungsklassen ab. Neben der Mehrzahl an Ansätzen, die sich mit der Überbuchung von Flugzeugkapazitäten und Hotelzimmern⁶⁶⁷ beschäftigen, existieren auch einige sektorunabhängige Ansätze. Dabei werden Stornierungen und No Shows anhand von Überlebenswahrscheinlichkeiten vorhandener Reservierungen modelliert.⁶⁶⁸

Unter **dynamischen Überbuchungsansätzen** werden solche zusammengefasst, die die Annahmen der statischen Problemlösungsansätze aufheben.⁶⁶⁹ Analog zu den Eigenschaften der dynamischen Kontingentierungsansätze steht auch hier der erhöhten Realitätsnähe die zunehmende Komplexität der dynamischen Ansätze entgegen, die sich negativ auf die praktische Umsetzbarkeit auswirken kann. Zur Lösung der dynamischen Ansätze kommen u. a. Dynamische Programme zum Einsatz, bei denen der zu erwartende Unternehmensertrag in rekursiver Weise maximiert wird.⁶⁷⁰ Neben Ansätzen für die Flugzeugindustrie⁶⁷¹ stehen dabei solche für die Beherbergungsindustrie⁶⁷² im Mittelpunkt. Die zweite Gruppe von Ansätzen beschäftigt sich mit der Anwendung von Auktionslösungen auf das Überbuchungsproblem.⁶⁷³

⁶⁶³ Vgl. Chatwin (1998), S. 806.

⁶⁶⁴ Vgl. Beckmann (1958), S. 134 ff., und Bodily/Pfeifer (1992), S. 129 ff.

⁶⁶⁵ Vgl. Thompson (1961), S. 167 ff., und Shlifer/Vardi (1975), S. 101 ff.

⁶⁶⁶ Vgl. Coughlan (1999), S. 1098 ff.

⁶⁶⁷ Vgl. Williams (1977), S. 18 ff., und Bitran/Gilbert (1996), S. 35 ff.

⁶⁶⁸ Vgl. Arenberg (1991), S. 100 ff., und Bodily/Pfeifer (1992), S. 129 ff.

⁶⁶⁹ Bei den dynamischen Ansätzen wird eine Veränderung der Parameter über den Buchungsverlauf zugelassen. Vgl. Tscheulin/Lindenmeier (2003), S. 643 ff.

⁶⁷⁰ Vgl. Rothstein (1971), S. 180 ff. für eine, Alstrup et al. (1986), S. 274 ff. für zwei und Chatwin (1996), S. 603 ff. für multiple Buchungsklassen.

⁶⁷¹ Vgl. Alstrup et al. (1989), S. 10 ff.

⁶⁷² Vgl. Ladany/Sheva (1977), S. 165 ff., und Libermann/Yechiali (1978), S. 1117 ff.

⁶⁷³ Vgl. beispielsweise Simon (1968), S. 201 f. Die Idee dabei ist, im Falle einer tatsächlichen Überbuchung die Kunden den Geldbetrag bestimmen zu lassen, für den sie auf den reservierten Sitzplatz verzichten. Die Kunden mit den niedrigsten Geboten würden dann erst auf dem nächsten Flug transportiert werden. Vgl. Vickery (1972), S. 257, und Falkson (1969), S. 352. In diesem Zusammenhang wird versucht, die Kosten eines solchen Mechanismus zu quantifizieren. Vgl. Simon/Visabhanathy (1977), S. 277 ff., Nagaranja (1979), S. 111 ff., und Simon (1994), S. 319 ff.

1.4 Ausgewählte mathematische Modelle der statischen Ansätze der Preis-Mengen-Steuerung

Wie in den Ausführungen zu den statischen und dynamischen Ansätzen der Preis-Mengen-Steuerung bereits erläutert, erscheinen für die untersuchte Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie besonders die statischen Ansätze der Preis-Mengen-Steuerung vielversprechend.⁶⁷⁴ Die Daten der Fallstudie erfüllen näherungsweise die im Rahmen der statischen Modelle vorausgesetzte Auftragsankunftsreihenfolge. In diesem Abschnitt werden Lösungsansätze für das statische Kontingentierungsproblem vorgestellt, die im Rahmen der numerischen Untersuchungen zum Einsatz kommen. Die als Ergebnis der statischen Verfahren entstehenden Kontingente bzw. geschachtelten Schutzgrenzen können dabei im Rahmen der Ansätze des Demand Fulfillments als Bestätigungskontingente interpretiert werden.⁶⁷⁵ Für Lösungsverfahren der dynamischen Ansätze der Preis-Mengen-Steuerung und der Ansätze der vernetzten Leistungserstellung wird auf die entsprechende Literatur verwiesen.⁶⁷⁶

1.4.1 Exakte Verfahren

Der erste bedeutende Forschungsbeitrag zu Kontingentierungsverfahren für zwei Bedarfsklassen geht auf *LITTLEWOOD* zurück.⁶⁷⁷ Diesem auf einer einfachen Marginalanalyse basierenden Verfahren für zwei unterschiedlich bepreiste Buchungsklassen liegt die Annahme zugrunde, dass Buchungsanfragen für die Klasse mit dem niedrigeren Preis vor den Buchungsanfragen für die Klasse mit dem höheren Preis eintreffen. Überbuchungen und Stornierungen werden im Rahmen des Modells nicht berücksichtigt. Zur mathematischen Beschreibung des Ansatzes werden folgende Symbole verwendet:

⁶⁷⁴ Der zentrale Unterschied zwischen den statischen und dynamischen Ansätzen liegt in der Modellierung der Reihenfolge des Eintreffens der Reservierungsanfragen. Während bei den statischen Ansätzen von einer strikten sequentiellen Ankunft in aufsteigender Reihenfolge des Preises ausgegangen wird, kann diese Annahme bei den dynamischen Ansätzen relaxiert werden. Allerdings gehen die dynamischen Ansätze davon aus, dass die Ankunftsmodellierung einen gedächtnislosen Prozess darstellt. Vgl. Rehkopf (2007), S. 63. Die Untersuchung der Anwendung der dynamischen Ansätze der Preis-Mengen-Steuerung auf die vorliegende Anwendungssituation wird weiteren Forschungsarbeiten überlassen.

⁶⁷⁵ Für das Konzept des „Allocated ATP“ vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 188., und Abschnitt II.3.4.4.3.

⁶⁷⁶ Für eine umfangreiche Übersicht zur Kontingentierung mit dynamischen Ansätzen und im Rahmen der vernetzten Leistungserstellung vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 57 ff., und die darin angegebene Literatur.

⁶⁷⁷ Vgl. Littlewood (1972), S. 95 ff.

i	Buchungsklasse, mit $i = 1, \dots, I$ und $I =$ Anzahl der Buchungsklassen. Für das Zweiklassenmodell wird $I = 2$ gesetzt
$F_i(\cdot)$	Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion der Nachfrage nach Buchungsklasse i
k^0	Gesamtkapazität, die für alle Buchungsanfragen zur Verfügung steht
nf_i	stochastische Nachfrage für Buchungsklasse i
pr_i	Preis einer Einheit der Buchungsklasse i
σ_i	Standardabweichung der normalverteilten Nachfrage nach Buchungsklasse i
μ_i	Mittelwert der normalverteilten Nachfrage nach Buchungsklasse i
$W(a > b)$	Wahrscheinlichkeit, dass $a > b$ ist
y_i	für Buchungsklasse i und alle höherwertigen Buchungsklassen ($i - 1, i - 2, \dots, 1$) reservierte Kapazität (geschachtelte Schutzgrenze)
y_i^*	optimale geschachtelte Schutzgrenze

Der Preis für eine Einheit der Buchungsklasse 1 liegt dabei über dem einer Einheit der Buchungsklasse 2 ($pr_1 > pr_2$). Ziel des Ansatzes ist die Bestimmung der optimalen Schutzgrenze für die Nachfrage nach Klasse 1, d. h. die Bestimmung der für Klasse 1 zu reservierenden Kapazität.⁶⁷⁸ Zur Lösung kann eine einfache Marginalanalyse herangezogen werden.⁶⁷⁹ Der erwartete Erlös aus der Reservierung der x -ten Einheit der Kapazität für Klasse 1 ergibt sich als erwarteter Marginalwert $pr_1 * W(nf_1 \geq x)$.⁶⁸⁰ Daraus lässt sich die Regel ableiten, dass Anfragen für Klasse 2 so lange anzunehmen sind, wie der Preis einer Einheit der Klasse 2 den marginalen Wert der Kapazitätsreservierung für Klasse 1 übersteigt.

$$pr_2 \geq pr_1 * W(nf_1 \geq y_1) \quad (94)$$

⁶⁷⁸ Der statische Zweiklassenansatz ähnelt dabei dem in der Lagerhaltungstheorie als „News Vendor“-Modell bezeichneten Problem. Vgl. Hopp/Spearman (2008), S. 67 f., und Pfeifer (1989), S. 155 f.

⁶⁷⁹ Vgl. Bhatia/Parekh (1973), S. 4.

⁶⁸⁰ $W(nf_1 \geq x)$ bezeichnet dabei die Wahrscheinlichkeit, dass die Nachfrage nach Klasse 1 größer oder gleich der Kapazitätsreservierung für diese Klasse ist.

Dabei fällt der Wert der rechten Seite der Gleichung (94) mit zunehmendem y_1 . Deshalb existiert eine optimale Schutzgrenze y_1^* , für die die Gleichungen (95) und (96) erfüllt sind.⁶⁸¹

$$pr_2 < pr_1 * W(nf_1 \geq y_1^*) \quad (95)$$

$$pr_2 > pr_1 * W(nf_1 \geq y_1^* + 1) \quad (96)$$

Anfragen für Klasse 2 werden dabei so lange angenommen, wie die verbleibende Kapazität größer als y_1^* ist, und abgelehnt, wenn die verbleibende Kapazität Werte kleiner oder gleich y_1^* annimmt. Wird eine kontinuierliche Verteilung $F_1(\cdot)$ zur Bedarfsmodellierung verwendet, dann lässt sich die optimale Schutzgrenze y_1^* wie in Gleichung (97) angegeben ausdrücken.⁶⁸²

$$y_1^* = F^{-1}\left(1 - \frac{pr_2}{pr_1}\right) \quad (97)$$

Die Erweiterung dieses Zweiklassenmodells auf mehr als zwei Klassen lässt sich als Dynamisches Programm formulieren. Zur Beschreibung werden folgende Symbole verwendet:

i	Buchungsklasse, mit $i = 1, \dots, I$ und $I =$ Anzahl der Buchungsklassen und Phase, in der die Buchung eintrifft, mit $i = 1, \dots, I$ und $I =$ Anzahl der Phasen
AM_i	bestätigte Menge der Anfragen nach Buchungsklasse i
AM_i^*	optimale bestätigte Menge der Anfragen nach Buchungsklasse i
$E[nf_i]$	Erwartungswert der stochastischen Nachfrage für Buchungsklasse i
$V_i(x)$	Wertfunktion zu Beginn der Phase i , die den optimalen erwarteten Erlös als Funktion der verbleibenden Kapazität x angibt
$\Delta V_i(x)$	erwarteter Marginalwert der x -ten Kapazitätseinheit in der Phase i
x	Restkapazität

⁶⁸¹ Unter der Schutzgrenze wird dabei die Kapazitätsmenge verstanden, die für eine bestimmte Klasse oder eine Gruppe von Klassen reserviert und damit vor dem Zugriff durch andere, in der Regel niederwertigere Klassen geschützt ist. Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 30.

⁶⁸² Ist nf_1 normalverteilt mit Mittelwert μ_1 und Standardabweichung σ_1 , dann kann die optimale Schutzgrenze mit $y_1^* = \mu_1 + z\sigma_1$ berechnet werden, wobei $z = \Phi^{-1}(1 - p_2 / p_1)$ und Φ^{-1} die Inverse der Standardnormalverteilung darstellt.

Dabei liegt die Annahme zugrunde, dass für die unterschiedlichen Buchungsklassen verschiedene Preise pr_i erzielt werden ($pr_1 > pr_2 > \dots > pr_i$). Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die Nachfrage für die einzelnen Klassen der Reihenfolge ihrer Wertigkeit nach von niedrig zu hoch eintrifft, d. h. dass zuerst Nachfrage für Klasse l und zuletzt Nachfrage für Klasse 1 erwartet wird.⁶⁸³ Überbuchungen und Stornierungen werden nicht berücksichtigt. Sowohl Klassen als auch Phasen werden mit i indiziert, da jede Buchungsklasse genau einer Phase zugeordnet werden kann. Der Bedarf für Klasse l trifft in der ersten Phase (l) und der Bedarf für Klasse 1 in der letzten Phase (1) ein. Zu Beginn jeder Phase i sind Anfragen für die Klassen 1 bis i , also $nf_i, nf_{i-1}, \dots, nf_1$, noch nicht eingetroffen. Innerhalb der Phase i wird dabei folgende Ereignissequenz angenommen:⁶⁸⁴

- Eintreffen des Bedarf nf_i ,
- Entscheidung, welche Menge AM_i der angefragten Menge nf_i bestätigt wird, wobei die Menge AM_i nicht größer als die verbleibende Kapazität x sein kann ($AM_i \leq x$)⁶⁸⁵ und
- Realisierung des Umsatzes $pr_i * AM_i$ und Fortfahren in der Phase $i - 1$ mit der verbleibenden Kapazität $x - AM_i$.

Mit $V_i(x)$ wird die Wertfunktion zu Beginn der Phase i bezeichnet.⁶⁸⁶ Im Anschluss an die Beobachtung des Bedarfs nf_i ist der Wert AM_i so zu wählen, dass die Summe des Wertes der aktuellen Phase i und der noch erwarteten Phasen maximal wird: $pr_i * AM_i + V_{i-1}(x - AM_i)$. Dabei sind die Grenzen für AM_i zu beachten: $0 \leq AM_i \leq \min \{nf_i, x\}$. Die Wertfunktion $V_i(x)$ ist somit der Wert dieser Optimierung im Hinblick auf den Bedarf nf_i . Die Bellman-Gleichung⁶⁸⁷ lautet:

⁶⁸³ Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 36 f.

⁶⁸⁴ Diese Reihenfolge wird aus analytischen Gründen angenommen. In der Realität treffen die Reservierungsanfragen sequentiell über den Zeitverlauf einer Phase ein und die Entscheidung über ihre Annahme bzw. Ablehnung muss bereits vor dem kompletten Eintreffen des Bedarfs getroffen werden. Vgl. Brumelle/McGill (1993), S. 129 f.

⁶⁸⁵ Die aus Unternehmenssicht optimal anzunehmende Menge AM_i^* ist somit eine Funktion der Phase i , der verbleibenden Kapazität x und des Bedarfs nf_i .

⁶⁸⁶ Die Wertfunktion misst den optimal erwarteten Ertrag als Funktion der verbleibenden Kapazität x . Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 37.

⁶⁸⁷ Nach Bellman hat eine optimale Entscheidungspolitik die Eigenschaft, dass alle nachfolgenden Entscheidungen wiederum eine optimale Politik bilden. Die Lösung dynamischer Optimierungsprobleme mit Hilfe des Bellman'schen Optimalitätsprinzips gründet sich auf die Reduktion eines möglicherweise unendlichen dimensional Problems auf eine Sequenz von Zweiperiodenproblemen. Vgl. Bellman (1957), S. 83.

$$V_i(x) = E \left[\max_{0 \leq AM_i \leq \min\{nf_i, x\}} \{pr_i * AM_i + V_{i-1}(x - AM_i)\} \right] \quad (98)$$

Dabei gelten folgende Randbedingungen:

$$V_0(x) = 0 \quad \text{für alle } x = 1, \dots, k^0 \quad (99)$$

Die Werte AM_i , die die rechte Seite der Gleichung (98) für jedes i und x maximal werden lassen, bilden eine optimale Kontrollpolitik für dieses Modell und werden mit AM_i^* bezeichnet.

Für den Fall diskreter Kapazitäten und diskreter Nachfrage lässt sich der erwartete Grenzwert der x -ten Kapazitätseinheit durch Gleichung (100) definieren:⁶⁸⁸

$$\Delta V_i(x) = V_i(x) - V_i(x-1) \quad \text{für alle } i = 1, \dots, l \quad (100)$$

Der Marginalwert $\Delta V_i(x)$ der in (98) definierten Wertfunktion erfüllt dabei die Rahmenbedingungen (101) und (102).⁶⁸⁹

$$\Delta V_i(x+1) \leq \Delta V_i(x) \quad \text{für alle } i = 1, \dots, l \quad (101)$$

$$\Delta V_{i+1}(x) \geq \Delta V_i(x) \quad \text{für alle } i = 1, \dots, l \quad (102)$$

In einer gegebenen Phase i fällt der Marginalwert mit der verbleibenden Kapazität und in einem gegebenen Kapazitätslevel steigt er mit zunehmender Anzahl der Phasen. Das Optimierungsproblem lässt sich in der Phase $i+1$ folgendermaßen formulieren:

$$V_{i+1}(x) = V_i(x) + E \left[\max_{0 \leq AM_i \leq \min\{nf_{i+1}, x\}} \left\{ \sum_{z=1}^{AM_i} (pr_{i+1} - \Delta V_i(x+1-z)) \right\} \right] \quad (103)$$

⁶⁸⁸ Für Details zur Formulierung bei kontinuierlicher Nachfragefunktion vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 40 f.

⁶⁸⁹ Für den Beweis, dass der Marginalwert in einem Zustand i mit der verbleibenden Kapazität abnimmt und das in einem gegebenen Kapazitätslevel der Marginalwert mit der Anzahl der verbleibenden Stationen zunimmt, vgl. Wollmer (1992), S. 29.

Bei genauer Betrachtung von (103) stellt es sich als optimal heraus, AM_i so lange zu erhöhen, bis entweder der Term $pr_{i+1} - \Delta V_i(x+1-z)$ negativ oder die Obergrenze $\min\{nf_{i+1}, x\}$ erreicht wird.⁶⁹⁰ Die sich ergebende optimale Politik kann in Form der optimalen Schutzgrenzen y_i^* für $i, i-1, \dots, 1$ angegeben werden:

$$y_i^* = \max\{x : pr_{i+1} < \Delta V_i(x)\} \quad \text{für alle } i = 1, \dots, I-1 \quad (104)$$

Das beschriebene Problem lässt sich mit Dynamischer Programmierung lösen, in dem die Rekursion in (98) direkt verwendet wird. Dieser Lösungsansatz eignet sich für diskrete Kapazitäten und Bedarfsfunktionen. Die Komplexität ergibt sich dabei aus der Anzahl der Buchungsklassen I und der Höhe der Kapazität k^0 zu $\approx I^* k^{0^2}$. Da die Rechenzeit des optimalen Lösungsverfahrens mit zunehmender Kapazität exponentiell ansteigt, werden im Folgenden heuristische Verfahren für den Fall vorgestellt, dass der optimale Ansatz nicht mehr mit vertretbarem Aufwand berechnet werden kann.

1.4.2 Heuristische Verfahren

EMSRa (Expected Marginal Seat Revenue - Version a) ist die in der Praxis am weitesten verbreitete Heuristik zur Lösung des Kontingentierungsproblems und geht von normalverteilten Bedarfen für alle Klassen aus.⁶⁹¹ Die Idee dabei ist, die mit Hilfe der Marginalanalyse von *LITTLEWOOD* für nachfolgende Klassen berechneten Schutzgrenzen zusammenzufassen.⁶⁹² Zur Beschreibung der heuristischen Verfahren werden folgende Symbole verwendet:

- b Buchungsklasse, mit $b = 1, \dots, I$ und $I =$ Anzahl der Buchungsklassen
- $E[nf_i]$ Erwartungswert der stochastischen Nachfrage nach Buchungsklasse i
- \bar{p}_i gewichteter Durchschnittspreis der virtuellen Klasse i , die durch die Zusammenfassung der Klassen $1, \dots, i$ entsteht.
- S_i Nachfrage der virtuellen Buchungsklassen i , die durch die Zusammenfassung der Klassen $1, \dots, i$ entsteht.

⁶⁹⁰ Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 38.

⁶⁹¹ Vgl. Wollmer (1992), S. 30.

⁶⁹² Vgl. Klein (2001), S. 254, und Belobaba (1989), S. 187 f.

y_b^{i+1} Schutzgrenze für Buchungsklasse b vor Nachfrage nach Buchungsklasse $i + 1$

Bei der Betrachtung der Klasse $i + 1$ wird der Bedarf nf_{i+1} mit dem Preis pr_{i+1} erwartet. Zur Berechnung der Schutzgrenze y_i für die verbleibenden Klassen $i, i - 1, \dots, 1$ wird eine Klasse b der Klassen $i, i - 1, \dots, 1$ betrachtet und isoliert mit der Klasse $i + 1$ verglichen. Nach Gleichung (105) ergibt sich die zu reservierende Kapazität, y_b^{i+1} , folgendermaßen:⁶⁹³

$$W(nf_b > y_b^{i+1}) = \frac{pr_{i+1}}{pr_b} \quad \text{für alle } b = i, i - 1, \dots, 1 \quad (105)$$

Zur Berechnung der Schutzgrenze y_j werden dann die einzeln berechneten Schutzgrenzen aufsummiert:⁶⁹⁴

$$y_i = \sum_{b=1}^i y_b^{i+1} \quad \text{für alle } i = 1, \dots, I - 1 \quad (106)$$

Abbildung 37 verdeutlicht die Funktionsweise der EMSRa-Heuristik für drei Buchungsklassen auf graphische Weise. Die Schutzgrenze y_2 ergibt sich dabei aus der Addition der separat berechneten Schutzgrenzen y_1^3 und y_2^3 . In der Literatur wird darauf hingewiesen, dass EMSRa unter gewissen Umständen zu konservativ ist und Schutzgrenzen berechnet, die über den optimalen liegen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass durch die Addition der einzelnen Schutzgrenzen der statistische Ausgleichseffekt ignoriert wird.⁶⁹⁵

⁶⁹³ Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 46.

⁶⁹⁴ Vgl. Klein (2001), S. 254.

⁶⁹⁵ Der statistische Ausgleichseffekt wird auch als Pooling-Effekt bezeichnet, da er durch die Zusammenfassung von Zufallsgrößen auftritt. Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 48.

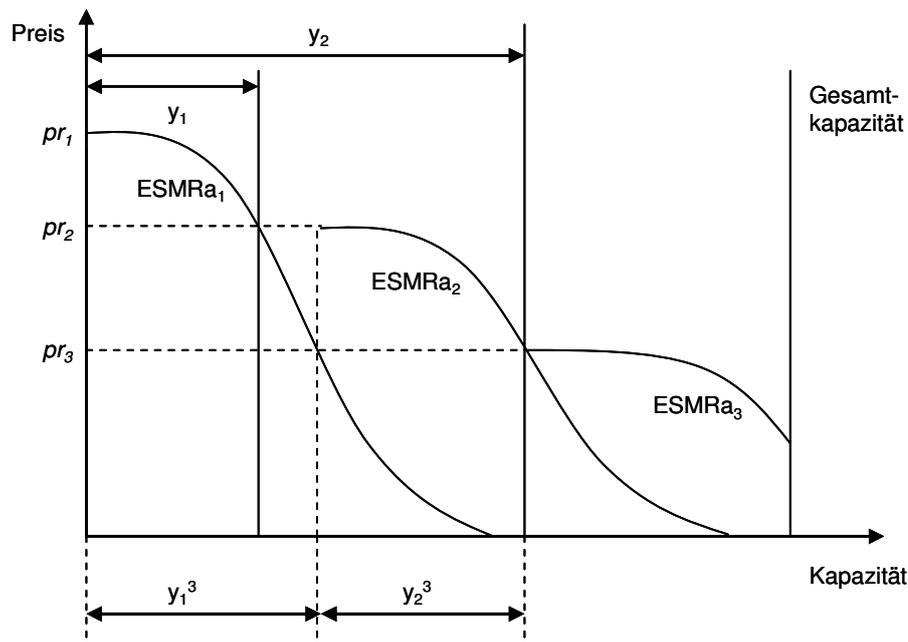


Abbildung 37: Bestimmung der Schutzgrenzen mithilfe der EMSRa-Heuristik⁶⁹⁶

EMSRb (Expected Marginal Seat Revenue - Version b) versucht, die Schwächen von EMSRa zu überwinden. Der Ansatz arbeitet ebenfalls mit der Verdichtung von Daten und reduziert das Problem von mehr als zwei auf zwei Klassen. Dabei werden allerdings im Gegensatz zu EMSRa die Näherungen auf das Verdichten der Nachfrage und nicht auf das Zusammenfassen der Schutzgrenzen ausgerichtet.⁶⁹⁷ Im Folgenden soll beispielhaft die Schutzgrenze y_i für die Klasse i bestimmt werden. Dazu werden neben der kumulierten Nachfrage (107) auch der gewichtete Durchschnittspreis (108) der Klassen $i, i-1, \dots, 1$ gebildet:

$$S_i = \sum_{b=1}^i n f_b \quad \text{für alle } i = 1, \dots, I-1 \quad (107)$$

$$\bar{p}_i = \frac{\sum_{b=1}^i p_r b E[n f_b]}{\sum_{b=1}^i E[n f_b]} \quad \text{für alle } i = 1, \dots, I-1 \quad (108)$$

⁶⁹⁶ In Anlehnung an Belobaba (1989), S. 187.

⁶⁹⁷ Vgl. Belobaba (1992), S. 3 f.

Die EMSRb-Schutzgrenze y_i^* für die Klasse i und höher ($i - 1, i - 2, \dots, 1$) wird dann nach der Marginalanalyse von *LITTLEWOOD* so gewählt, dass Bedingung (109) erfüllt wird.

$$W(S_i > y_i^*) = \frac{pr_{i+1}}{pr_i} \quad \text{für alle } i = 1, \dots, l - 1 \quad (109)$$

Analysen hinsichtlich des Vergleichs von heuristischen und optimalen Schutzgrenzen haben ergeben, dass die Ergebnisse hinsichtlich der in Simulationsstudien ermittelten Gesamterlöse nur gering voneinander abweichen (<1%), obwohl zwischen der heuristischen und den optimalen Schutzgrenzen zum Teil erhebliche Abweichungen zu beobachten sind.⁶⁹⁸

1.5 Anwendbarkeit der Verfahren des Revenue Managements bei Sachgüterproduktion

In diesem Abschnitt wird die Anwendbarkeit der im Luftfahrt- und Dienstleistungssektor etablierten Methoden des Revenue Managements zur Entscheidungsunterstützung bei Auftragsannahme im Umfeld der Sachgüterproduktion untersucht.⁶⁹⁹ Dazu werden zuerst die Charakteristika der Sachgüterproduktion im Allgemeinen und der Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration im Speziellen mit den in Abschnitt IV.1.2 identifizierten Anwendungsvoraussetzungen des Revenue Managements verglichen.⁷⁰⁰ Abschließend werden Veröffentlichungen, die sich mit der Anwendung der Methoden des Revenue Managements auf Sachgüterproduktionsumgebungen beschäftigen, zusammengefasst und die Übertragbarkeit der analysierten Verfahren auf die im Rahmen der Fallstudie vorliegende Problemstellung geprüft.

1.5.1 Vergleich der Anwendungsvoraussetzungen

Die Rahmenbedingungen zur Anwendung der Methoden des Revenue Managements lassen sich aus dem Luftfahrt- und Dienstleistungssektor ableiten und hinsichtlich der zur Leistungserbringung bereitgestellten Kapazität, der Nachfrage und des Leistungsprogramms

⁶⁹⁸ Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 49.

⁶⁹⁹ Während einige Autoren auf die Ähnlichkeit zwischen der Problemstellung der Auftragsannahme unter Unsicherheit bei Sachgüterproduktion und der Entscheidung über Reservierungsanfragen in der Luftfahrtindustrie hinweisen, werden die verschiedenen Rahmenbedingungen dabei nicht näher verglichen. Vgl. Fleischmann/Meyr (2003a), S. 319, und Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 187.

⁷⁰⁰ Bei der betrachteten Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie kommt die auftragsspezifische Konfiguration als Fertigungsstrategie zum Einsatz.

differenzieren.⁷⁰¹ Dabei ist festzuhalten, dass keine der Anwendungsvoraussetzungen alleine eine notwendige Bedingung für die Anwendung der Methoden des Revenue Managements darstellt.⁷⁰²

Im Gegensatz zur Luftfahrtindustrie kann bei Sachgüterproduktionsumgebungen nicht in allen Fällen von **niedrigen Grenzkosten** der Leistungserstellung ausgegangen werden, da die Materialeinzelkosten in der Regel nicht vernachlässigt werden können. **Hohe Fixkosten** sind oftmals bei anlagenintensiver Produktion in Verbindung mit einem hohen Automatisierungsgrad zu finden. Geringe Grenzkosten einer zusätzlichen Leistungserstellungseinheit liegen allerdings nur dann vor, wenn der Anteil der Materialkosten an den Gesamtkosten gering ist und durch die Produktion einer zusätzlichen Einheit nur geringe variable Produktionskosten entstehen. Bei auftragsspezifischer Konfiguration kann deshalb ebenfalls nicht verallgemeinernd davon ausgegangen werden, dass durch zusätzliche Produktionsmengen nur geringe Grenzkosten entstehen. Während beim Flugpassagiertransport aufgrund der geringen Grenzkosten und hohen Fixkosten die Umsatzmaximierung in der Regel ebenfalls zur Maximierung des Ertrags führt, kann im Rahmen der Sachgüterproduktion eine explizite Fokussierung auf die Maximierung des Deckungsbeitrags notwendig sein. Bei der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie ist aufgrund der hohen Grenzkosten die Anwendungsvoraussetzung hoher Fixkosten in Verbindung mit niedrigen Grenzkosten somit nur teilweise erfüllt.

Als nahezu **fix anzusehende Produktionskapazitäten** sind in der Regel bei anlageintensiven Produktionsumgebungen zu finden, bei denen die Anschaffungskosten für Maschinen zur Kapazitätserweiterung hoch und mit langen Vorlaufzeiten verbunden sind. Darüber hinaus lässt sich Kapazität oftmals nicht kontinuierlich, sondern nur in bestimmten Intervallen erhöhen.⁷⁰³ Bei auftragsspezifischer Konfiguration ist eine kurzfristige Erweiterung der Kapazitäten in der Regel

⁷⁰¹ Hinsichtlich der Kapazität lassen sich hohe Fixkosten in Verbindung mit geringen Grenzkosten der Leistungserstellung, niedrige Kapazitätsflexibilität und Nichtlagerfähigkeit bzw. Verderblichkeit der Produkte als Anwendungsvoraussetzungen des Revenue Managements identifizieren. Charakteristisch für die Nachfrage sind hohe Prognoseunsicherheiten mit starker zeitlicher Variation der Nachfrage, unterschiedliche Wertigkeiten und zeitliche Differenzen zwischen Verkauf und Zeitpunkt der Leistungserstellung. Das Leistungserstellungsprogramm wird durch weitgehend fest definierte Produkte und eine grundsätzliche Kontinuität gekennzeichnet. Für detaillierte Ausführungen zu den Anwendungsvoraussetzungen vgl. Abschnitt IV.1.2.

⁷⁰² Vgl. Corsten/Stuhmann (1998), S. 14 f., und Weatherford/Bodily (1992), S. 832.

⁷⁰³ In der Halbleiterindustrie kann die Produktionskapazität beispielsweise nur durch den Kauf ganzer Linien bzw. den Bau ganzer Werke gesteigert werden. Die durch solche Maßnahmen herbeigeführte Kapazitätserhöhung kann den Nachfrageüberhang dabei um ein Vielfaches übersteigen.

nur in engen Grenzen möglich. Bei der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie ist die Anwendungsvoraussetzung der nahezu fixen Kapazitäten im Kurz- und Mittelfristbereich erfüllt, da die bestehenden Produktionskapazitäten im Engpasszeitraum, der zwischen Oktober und Dezember eines Jahres liegt, normalerweise voll ausgelastet sind. Der Bau einer neuen Halle in Verbindung mit der Anschaffung und Inbetriebnahme neuer Maschinen würde einen zeitlichen Vorlauf von mindestens 12 Monaten erfordern.

Die **Nichtlagerfähigkeit** der Produkte bzw. Leistungen lässt sich im Zusammenhang mit Produktionsumgebungen auch auf die Nichtlagerfähigkeit der Leistungserstellung übertragen. Im Umfeld der auftragsspezifischen Konfiguration steht vorgehaltene Kapazität in späteren Perioden nicht mehr zur Verfügung und ist normalerweise nicht „lagerfähig“, da der Konfigurationsprozess erst bei Vorlage der an den Kundenauftrag gekoppelten Produktspezifikationen gestartet wird. Vorgehaltene und nicht genutzte Konfigurationskapazität geht somit verloren, wenn die erwarteten Aufträge letztendlich nicht eintreffen.⁷⁰⁴ Die Nichtlagerfähigkeit resultiert also nicht aus physikalischen Produkteigenschaften, sondern aus der Tatsache, dass erst beim Vorliegen eines Kundenauftrags gefertigt wird. Unternehmen, die eine Lagerfertigungsstrategie verfolgen, können den antizipierten Nachfrageüberhang dagegen mit einer Produktion in vorgelagerten Zeitperioden decken. In der untersuchten Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie ist die Voraussetzung der Nichtlagerfähigkeit der Leistungserstellung erfüllt, da die Produktion aufgrund der hohen Prognoseunsicherheit erst bei Vorlage eines mit kurzem Vorlauf eintreffenden Kundenauftrags gestartet wird.

Unsichere Nachfrage mit starker zeitlicher Variation als Anwendungsvoraussetzung für die Methoden des Revenue Managements kann nicht pauschal für alle Produktionsumgebungen angenommen werden. Bei auftragsspezifischer Konfiguration ist in der Regel von unsicherer Nachfrage auszugehen, da diese Fertigungsstrategie oftmals gerade aufgrund der großen Prognoseunsicherheit gewählt wird.⁷⁰⁵ Im Gegensatz zur Lagerfertigung, bei der der gesamte Produktionsprozess auf der Basis von Prognosen gesteuert wird, hängt die Unsicherheit bei kundenindividueller Produktion stark vom jeweiligen Marktumfeld ab. Die Nachfrageunsicherheit beeinflussende Faktoren sind dabei u. a. das Verhältnis der am Markt durchsetzbaren Lieferzeiten zu den Gesamtdurchlaufzeiten, die Anzahl der betrachteten Produkte bzw.

⁷⁰⁴ Vgl. Spengler/Rehkopf (2005), S. 127.

⁷⁰⁵ Vgl. Corsten (2004), S. 234 f., und Zäpfel (2001), S. 90.

Varianten und die Lage des Auftragsentkopplungspunktes.⁷⁰⁶ Der Eintreffzeitpunkt und die Anzahl der Anfragen für ein bestimmtes Produkt sind im Rahmen der auftragsspezifischen Konfiguration in der Regel schwer prognostizierbar. Die Analyse der Nachfrage in der untersuchten Fallstudie zeigt, dass diese Anwendungsvoraussetzung des Revenue Managements erfüllt wird.

Voraussetzung für eine Marktsegmentierung und eine daraus resultierende Preisdifferenzierung ist, dass die Nachfrage **unterschiedliche Wertigkeit** aufweist. Im Rahmen der Sachgüterproduktion kann dies zum einen dadurch auftreten, dass ein Unternehmen in unterschiedlichen regionalen Märkten agiert, in denen unterschiedliche Preise für gleiche bzw. ähnliche Produkte durchsetzbar sind.⁷⁰⁷ Darüber hinaus kann der Markt durch die unterschiedliche Anreicherung der Produkte mit Serviceleistungen, zu denen beispielsweise verschiedene Lieferzeiten und unterschiedliche Verfügbarkeitsniveaus zählen, segmentiert werden. Eine solche Differenzierung hinsichtlich des Zusatznutzens kann auch bei auftragsspezifischer Konfiguration Anwendung finden.⁷⁰⁸ Im Rahmen der untersuchten Fallstudie ist diese Anwendungsvoraussetzung erfüllt, da die Verkaufspreise für gleiche bzw. ähnliche Produkte je nach Absatzland große Unterschiede aufweisen und Kunden, die lange im Voraus bestellen, einen entsprechenden Preisnachlass erwarten.

Die **zeitliche Differenz zwischen Verkauf und Zeitpunkt der Leistungserstellung** erlaubt es, Kapazitäten im Voraus zu belegen. Dies ist beispielsweise beim Verkauf von Flugtickets der Fall, da die Leistungserbringung zu einem festgelegten Zeitpunkt erfolgt, der Verkauf aber schon im Vorfeld stattfinden kann. Im Rahmen der Sachgüterproduktion ist diese Anwendungsvoraussetzung der Methoden des Revenue Managements in der Regel für kundenindividuelle Produktion, also für die Fertigungsstrategien der Auftragsfertigung und der auftragsspezifischen Konfiguration, erfüllt. Aufgrund der Charakteristik der Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration, bei der die Produktion erst nach Vorliegen eines Kundenauftrags

⁷⁰⁶ Vgl. Abschnitt II.2.

⁷⁰⁷ Bei international agierenden Unternehmen können die Preisunterschiede für gleiche bzw. ähnliche Produkte in unterschiedlichen Ländern signifikant auseinander liegen. Um zu verhindern, dass Güter als sogenannte Grauiporte zwischen Ländern transferiert werden, bieten Unternehmen ihre Produkte oftmals nur mit landesspezifischen Garantien an.

⁷⁰⁸ Vgl. Spengler/Rehkopf (2005), S. 127.

gestartet wird, findet der Absatz der Produkte vor der eigentlichen Produktion statt.⁷⁰⁹ Dies trifft auch für die in dieser Arbeit untersuchte Fallstudie zu.

Die Anwendungsvoraussetzung eines auf weitgehend **fest definierten Produkten basierenden Leistungsprogramms** ist bei Sachgüterproduktion in der Regel erfüllt. Bei auftragsspezifischer Konfiguration werden oftmals lediglich bestimmte Ausprägungen der Produkte auftragsspezifisch angepasst bzw. zusammengestellt. Ist allerdings eine Definition der Produkte vorab nicht möglich, wie dies beispielsweise bei einer bestimmten Ausprägungsform der Auftragsfertigung der Fall sein kann, dann verhindert die Individualität der Leistungserstellung normalerweise den Einsatz der Methoden des Revenue Managements.⁷¹⁰ In der vorliegenden Fallstudie kann diese Anwendungsvoraussetzung jedoch als erfüllt angesehen werden, da die Produkte bereits vor Auftragseingang hinreichend genau definiert sind.⁷¹¹

Die **grundsätzliche Kontinuität des Leistungsprogramms**, ohne die sich in der Regel keine für die Anwendung der Methoden des Revenue Managements ausreichenden Prognosen erstellen lassen, ist für die meisten Sachproduktionsumgebungen gegeben. Während diese Anwendungsvoraussetzung für die Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration in der Regel erfüllt ist, lassen sich bei reiner Auftragsfertigung aufgrund der individuellen und zum Teil sporadischen Leistungserstellung unter Umständen keine längerfristigen Prognosen erstellen. In der im Rahmen dieser Arbeit betrachteten Fallstudie kann von einem kontinuierlichen Leistungsprogramm gesprochen werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Anwendung der Methoden des Revenue Managements auf Sachgüterproduktionsumgebungen grundsätzlich möglich scheint, allerdings stark von der konkreten Ausgestaltung des Einzelfalls abhängt. Die Fertigungsstrategien der auftragsspezifischen Konfiguration und der Auftragsfertigung bieten dabei ein höheres Potential als die Lagerfertigung, die die Bedingung der Nichtlagerfähigkeit nicht erfüllt. Bis auf die geringen Grenzkosten der Leistungserstellung werden alle untersuchten Anwendungsvoraussetzungen für die im Rahmen dieser Arbeit betrachtete Fallstudie aus der Telekommunikations-

⁷⁰⁹ Vgl. Harris/Pinder (1995), S. 303.

⁷¹⁰ Vgl. Kimms/Klein (2005), S. 10.

⁷¹¹ Bei der Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie können sich Kunden nur aus einem vorher festgelegten Produktspektrum mit individuell vereinbarten Ausprägungen bedienen.

industrie erfüllt, weshalb der Einsatz des Revenue Managements für die Entscheidungsunterstützung bei der Auftragsannahme ein großes Potential verspricht.⁷¹²

1.5.2 Ansätze zur Anwendung der Methoden des Revenue Managements auf Sachgüterproduktionsumgebungen

Einige Veröffentlichungen zur Anwendung der Methoden des Revenue Managements beziehen sich nicht explizit auf Produktionsumgebungen, sondern gehen allgemein von Unternehmen mit beschränkten Kapazitäten aus und sind somit konzeptionell auf Produktionsumgebungen übertragbar. Die gewählten Ansätze lassen sich in solche der segmentorientierten Preisdifferenzierung und solche der Preis-Mengen-Steuerung differenzieren. Die meisten Ansätze der Preisdifferenzierung konzentrieren sich dabei auf die Preissetzung unter Berücksichtigung endlicher Verkaufshorizonte und stetiger Preisintervalle.⁷¹³ *REECE* und *SOBEL* entwickeln ein graphisches Modell zur differenzierten Preissetzung kapazitätsbeschränkter Unternehmen.⁷¹⁴ Bei der Preis-Mengen-Steuerung kommen sowohl statische als auch dynamische Ansätze zur Anwendung.⁷¹⁵ Nur wenige Veröffentlichungen beschäftigen sich explizit mit der Anwendung der Methoden des Revenue Managements auf Produktionsumgebungen.⁷¹⁶

HARRIS und *PINDER* haben bereits 1995 die Ähnlichkeit zwischen den sich beim Revenue Management im Rahmen der Luftfahrtindustrie und bei der Auftragsannahmeentscheidung im Umfeld der Sachgüterproduktion ergebenden Fragestellungen herausgestellt. Sie erweitern Modelle der optimalen Preisbildung⁷¹⁷ und Lagerbestandshaltung⁷¹⁸ auf die Rahmen-

⁷¹² Ist die Segmentierbarkeit bzw. Differenzierbarkeit der Nachfrage nicht erfüllt, dann schrumpft das durch die Methoden des Revenue Managements zu hebende Potential erheblich.

⁷¹³ Vgl. Gallego/Van Ryzin (1993), S. 999 ff., Feng/Gallego (1995), S. 1371 ff., und Weatherford (1997), S. 227. Für Ansätze mit diskreten Preisen bzw. Preisintervallen vgl. Chatwin (2000), S. 149 ff., und Feng/Xiao (1999), S. 337 ff.

⁷¹⁴ Vgl. Reece/Sobel (2000), S. 1001 ff.

⁷¹⁵ Für statische Modelle vgl. Bodily/Weatherford (1995), S. 173 ff., und Belobaba/Weatherford (1996), S. 343 ff. Für eine stochastische dynamische Knapsack-Formulierung vgl. Kleywegt/Papastavrou (1998), S. 17 ff.

⁷¹⁶ Vgl. Harris/Pinder (1995), S. 299 ff., Balakrishnan/Sridharan/Patterson (1996), S. 185 ff., Elimam/Dodin (2001), S. 449 ff., Defregger/Kuhn (2003), S. 17 ff., Gallien/Taltec/Schoenmeyr (2004), S. 1 ff., Kuhn/Defregger (2004), S. 319 ff., Gupta/Wang (2004), S. 1 ff., Rehkopf/Spengler (2005), S. 470 ff., Spengler/Rehkopf (2005), S. 123 ff., und Kimms/Klein (2005), S. 22 ff.

⁷¹⁷ Vgl. Sherman/Visscher (1982), S. 254 ff., und Harris (1987), S. 271 ff.

⁷¹⁸ Vgl. Gould (1978), S. 1 ff., und Hillier/Liebermann (1990), S. 48 ff.

bedingungen der auftragsspezifischen Konfiguration und bestimmen ertragsoptimale Preise und ertragsoptimale Kapazitätskontingente.⁷¹⁹ Der Ansatz enthält sowohl Elemente der Preisfindung als auch solche der Kapazitätssteuerung, beschränkt sich aber lediglich auf die Betrachtung zweier Nachfrageklassen.

BALAKRISHNAN, SRIDHARAN und *PATTERSON* entwickeln einen Kapazitätsrationierungsansatz für Auftragsproduktion unter Berücksichtigung zweier Bedarfsklassen.⁷²⁰ Dabei werden die Kontingente in Abhängigkeit der eintreffenden Aufträge kontinuierlich aktualisiert.⁷²¹ In einer späteren Veröffentlichung testen die Autoren die Robustheit des Ansatzes gegenüber Prognosefehlern.⁷²²

ELIMAM und *DODIN* entwickeln ein nicht-lineares Optimierungsmodell zur gemeinsamen Bestimmung des optimalen finanziellen Anreizes zur Produktivitätssteigerung und des optimalen Preisnachlasses für alle Nachfrageklassen. Aufgrund seiner generischen Formulierung kann es auf Mehrproduktproduktionsumgebungen angewendet werden. Die Autoren testen ihr Modell an einer Fallstudie aus der Zementindustrie.⁷²³

GALLIEN, TALLEC und *SCHOENMEYR* entwickeln im Rahmen der Auftragsfertigung ein Modell, das für ein Produktionswerk bzw. -standort mit beschränkter Kapazität und zufälligem Auftragseingang Entscheidungen über die Auftragsannahme und Produktionsplanung trifft.⁷²⁴ Dabei wird das Ziel verfolgt, die langfristige Gewinnerwartung bei gleichzeitiger Erfüllung der Wunschtermine zu maximieren.⁷²⁵ Dieses Modell basiert auf einem Markov-Entscheidungsprozess, für den eine Optimallösung durch stochastische Dynamische Programmierung hergeleitet wird. Das Modell wird für einen Testdatensatz mit Hilfe einer Heuristik gelöst.

KUHN und *DEFREGGER* entwickeln einen auf einem Markov-Entscheidungsprozess basierenden dynamischen Kontingentierungsansatz zur Bestimmung der optimalen Auftrags-

⁷¹⁹ Vgl. Harris/Pinder (1995), S. 299 ff.

⁷²⁰ Der von *BALAKRISHNAN, SRIDHARAN* und *PATTERSON* entwickelte Ansatz hat Ähnlichkeiten mit der auf Littlewood zurückgehenden Marginalanalyse für zwei Buchungsklassen. Vgl. Littlewood (1972), S. 95 ff.

⁷²¹ Vgl. Balakrishnan/Sridharan/Patterson (1996), S. 185 ff.

⁷²² Vgl. Balakrishnan/Patterson/Sridharan (1999), S. 328 ff.

⁷²³ Vgl. Elimam/Dodin (2001), S. 449 ff.

⁷²⁴ Die zufällig eintreffenden Aufträge haben dabei unterschiedliche Kapazitätsbedarfe und Erlöse.

⁷²⁵ Vgl. Gallien/Taltec/Schoenmeyr (2004), S. 1 ff.

politik für einen Papierhersteller und vergleichen die damit erzielten Ergebnisse mit einer First-Come-First-Served-Politik.⁷²⁶ Dabei wird die Lösung des Markov-Entscheidungsprozesses über ein lineares Programm angenähert, das den durchschnittlichen Periodenerlös maximiert.⁷²⁷ Notwendiger Input dazu sind die Übergangswahrscheinlichkeiten der Zustände.⁷²⁸ In einer späteren Publikation wenden die Autoren zur Entscheidungsunterstützung bei der Auftragsannahme einen Markov-Entscheidungsprozess auf eine fiktive Auftragsfertigungssituation in einem Unternehmen mit hohen Fixkosten an.⁷²⁹ Zur Lösung großer Probleminstanzen wird eine Heuristik entwickelt und anhand von Beispieldaten getestet.⁷³⁰

GUPTA und *WANG* entwickeln für die Auftragsfertigung und für eine hybride Mischform aus Auftrags- und Lagerfertigung jeweils eine Problemformulierung auf Basis eines Markov-Entscheidungsprozesses.⁷³¹ Beide Modelle beschränken sich auf zwei Kundenklassen und berücksichtigen Aspekte der Produktionsplanung. Zur approximativen Lösung kommt ein Wertiterationsalgorithmus zum Einsatz.⁷³²

REHKOPF und *SPENGLER* diskutieren die Anwendbarkeit der Methoden des Revenue Managements im Rahmen der Auftragsfertigung bei Sachgüterproduktion und formulieren das Kontingentierungsproblem als ein Problem der vernetzten Leistungserstellung analog einem für Fluglinien entwickelten Ansatz.⁷³³ Als Lösungsansatz wird ein stochastisches dynamisches Programm⁷³⁴ entwickelt, das aus Gründen der Lösbarkeit durch ein gemischt-ganzzahliges lineares Programm angenähert wird.⁷³⁵ Als Kriterium für die Annahme- bzw. Ablehnungsentscheidung eines Auftrages werden Bid-Preise eingesetzt.⁷³⁶ In einer späteren Veröffentlichung erweitern die Autoren ihr Modell und leiten eine optimale Lösungsmethode zur

⁷²⁶ Vgl. Kuhn/Defregger (2004), S. 323 f.

⁷²⁷ Vgl. Winston (1997), S. 1096.

⁷²⁸ Die akkurate Vorhersage der auch als „Booking Curve“ bezeichneten Auftragsankunftsmuster stellt bei den dynamischen Ansätzen eine große Herausforderung dar. Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 58.

⁷²⁹ Vgl. Defregger/Kuhn (2003), S. 17 ff.

⁷³⁰ Vgl. Defregger/Kuhn (2003), S. 20 f.

⁷³¹ Vgl. Gupta/Wang (2004), S. 1 ff.

⁷³² Vgl. Putermann (1994), S. 239 ff.

⁷³³ Für den verwendeten Ansatz vgl. Bertsimas/Popescu (2003), S. 257 ff.

⁷³⁴ Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 88 f.

⁷³⁵ Vgl. Rehkopf/Spengler (2005), S. 475.

⁷³⁶ Dabei werden für ein einfaches Beispiel aus der Stahlindustrie die entsprechenden Opportunitätskosten bestimmt. Vgl. Rehkopf/Spengler (2005), S. 477.

Bestimmung der Opportunitätskosten her.⁷³⁷ Im Anschluss daran werden zwei mathematische Berechnungsmethoden zur Approximation der Opportunitätskosten dargestellt.⁷³⁸ Im Rahmen einer Fallstudie aus der Stahlindustrie wird die Eignung zur Entscheidungsunterstützung bei Auftragsannahme untersucht. Abschließend werden Modellverbesserungen diskutiert.⁷³⁹

KIMMS und *KLEIN* entwickeln ein gemischt-ganzzahliges Grundmodell, das für auftragsorientierte Fertigung unter Berücksichtigung der Ressourcenverfügbarkeit die Mengenkontingente als Anteil der (erwarteten) Produktionsmengen der Aufträge bestimmt. Dabei kommen auftragsspezifische Zielfunktionskoeffizienten zum Einsatz.⁷⁴⁰

Neben den durch das Revenue Management motivierten Ansätzen existieren zahlreiche Veröffentlichungen zur Bestandsrationierung unter Annahme stochastischer Nachfrage. Die erste Gruppe der Ansätze geht von beschränkter und stochastischer Nachschubsteuerung aus. Dabei werden Warteschlangenmodelle verwendet, um die optimalen Kontingentgrößen zu bestimmen und die Regeln zur Allokation dieser Kontingente festzulegen.⁷⁴¹ Die zweite Gruppe von Ansätzen zur Bestandsrationierung erlaubt unbeschränktes Auffüllen der Lagerbestände und bestimmt dabei optimale Bestell- und Rationierungspolitiken für zwei oder mehr Bedarfsklassen.⁷⁴² In der Regel verwenden die Modelle allerdings keine kurzfristigen Informationen über freie Ressourcen und erwartete Nachfrage, wie sie im Umfeld von ERP- und APS-Systemen vorliegen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass noch kein Ansatz existiert, der die Anwendung der statischen Kontingentierungsverfahren des Revenue Managements auf die Problemstellung der Auftragsannahme im Rahmen des Demand Fulfillments für die Fertigungsstrategie der

⁷³⁷ Aufgrund der mit der optimalen Lösung realistischer Problemgrößen verbundenen Komplexität muss im Praxisfall auf approximative Ansätze zur Bestimmung der Opportunitätskosten zurückgegriffen werden. Vgl. Spengler/Rehkopf (2005), S. 135.

⁷³⁸ Neben der bereits im früheren Ansatz verwendeten Bid-Preis-Kontrolle wird die sogenannte Certainty Equivalent Control (CEC)-Methode vorgestellt, bei der die Opportunitätskosten direkt durch eine LP-basierte Formulierung, welche die Stochastizität des Dynamischen Programms aufhebt, angenähert werden. Vgl. Spengler/Rehkopf (2005), S. 137.

⁷³⁹ Zu den Modellverbesserungen zählt beispielsweise die Aufweichung der fixen Kapazitätsgrenzen. Vgl. Spengler/Rehkopf (2005), S. 145.

⁷⁴⁰ Vgl. Kimms/Klein (2005), S. 23.

⁷⁴¹ Vgl. Ha (1997a), S. 42 ff., Ha (1997b), S. 1093 ff., und De Véricourt/Karaesmen/Dallery (2002), S. 1486 ff.

⁷⁴² Diese Ansätze können auch als Bestandsmanagement bezeichnet werden. Vgl. Cohen/Kleindorfer/Lee (1988), S. 482 ff., Nahmias/Demmy (1981), S. 1236 ff., und Topkis (1968), S. 160 ff.

auftragsspezifischen Konfiguration untersucht.⁷⁴³ Ein entsprechender Ansatz wird im Folgenden entwickelt und im Anschluss im Rahmen numerischer Untersuchungen am Beispiel einer Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie auf seine Leistungsfähigkeit hin getestet.

⁷⁴³ Für einen sich auf den Erwartungswert der Nachfrage konzentrierenden Kontingentierungsansatzes bei Lagerfertigung vgl. Meyr (2005a), S. 1 ff.

2 Entscheidungsunterstützung bei Auftragsannahme durch Methoden des Revenue Managements

Ziel dieses Abschnittes ist die Entwicklung eines auf den Kontingentierungsverfahren des Revenue Managements basierenden Ansatzes zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation. Aufbauend auf konzeptionellen Vorüberlegungen wird dazu eine die Elemente Nachfragesegmentierung, Ressourcenkontingentierung und erweiterte Verfügbarkeitsprüfung umfassende Revenue Management-Systematik konzipiert. Zur Segmentierung der Nachfrage kommen verschiedene Verfahren der Clusteranalyse zur Anwendung. Abschließend erfolgen die Vorstellung der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Fallstudie und die Eingrenzung der konkreten Problemstellung auf die Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration.

2.1 Revenue Management-Systematik

Wird zum Zeitpunkt der Entscheidung über die Annahme eines Kundenauftrags davon ausgegangen, dass die gesamte, zum Entscheidungszeitpunkt allerdings noch unsichere Nachfrage das Ressourcenangebot im Betrachtungszeitraum übersteigt, und werden Kundenaufträge unterschiedlicher Wertigkeit erwartet, dann bietet sich der Einsatz von Verfahren zur Fehlmengenverteilung mit Antizipation mit dem Ziel der Steigerung des Gesamterlöses bzw. -ertrags an. Die verfügbaren Produktionsressourcen werden dabei in einem der eigentlichen Auftragsannahmeentscheidung vorgelagerten Schritt auftragsanonym allokiert. Die Kriterien für die der Allokation zugrunde liegenden Segmentierung lassen sich aus dem Preisdifferenzierungspotential der Nachfrage ableiten, welches beispielsweise aus unterschiedlichen Absatzkanälen oder einer geographischen Aufteilung des Gesamtmarktes resultieren kann. Die im Rahmen der auftragsanonymen Allokation gebildeten Kontingente werden im Rahmen der operativen Auftragsannahmeentscheidung zur Entscheidungsunterstützung herangezogen. Sowohl die in den gängigen APS-Systemen zu findenden Verfahren der regelbasierten Allokation, als auch die in der Literatur diskutierten Ansätze der deterministischen mathematischen Optimierung basieren auf dem erwarteten Mittelwert der Nachfrage.⁷⁴⁴ Demgegenüber ist es das Ziel der Kontingentierungsansätze des Revenue Managements, die vorhandene Ressourcenkapazität im Rahmen einer stochastischen Entscheidungssituation erlösoptimal aufzuteilen. Im Zuge einer Marginalanalyse finden dabei detaillierte Prognoseinformationen in Form von Verteilungsparametern explizit Berücksichtigung.

⁷⁴⁴ Die regelbasierten Verfahren und die deterministischen mathematischen Ansätze verwenden keine über die Erwartungswerte hinausgehenden Prognoseinformationen. Vgl. Abschnitt II.3.4.4.3.

Um die Vorteilhaftigkeit der Anwendung der Kontingentierungsansätze des Revenue Managements gegenüber den auf den Erwartungswerten basierenden regelbasierten Verfahren und den deterministischen mathematischen Optimierungsansätzen im Rahmen numerischer Untersuchungen zu analysieren, wird ein konzeptioneller Rahmen für eine Revenue Management-Systematik entwickelt, der die folgenden drei Elemente beinhaltet, die im Folgenden näher erläutert werden:⁷⁴⁵

- Segmentierung der Nachfrage (Abschnitt IV.2.2),
- Kontingentierung der Ressourcen (Abschnitt IV.2.3) und
- erweiterte Verfügbarkeitsprüfung (Abschnitt IV.2.4).

2.2 Segmentierung der Nachfrage

Voraussetzung für die segmentspezifische Ressourcenallokation ist die Bestimmung der Segmente als Ergebnis der Preisdifferenzierung.⁷⁴⁶ Fluglinien als klassisches Anwendungsgebiet des Revenue Managements verwenden in der Regel eine begrenzte Anzahl von Buchungsklassen.⁷⁴⁷ Als Ergebnis der Preisdifferenzierung bei Sachgüterproduktion kann sich je nach Nachfragesituation dagegen eine größere Anzahl von Klassen anbieten.⁷⁴⁸ Ist die Nachfrage für einzelne Klassen aber mit Unsicherheit behaftet, so bietet die Zusammenfassung von Klassen die Möglichkeit, die Nachfrageunsicherheit der neu gebildeten Klassen zu reduzieren.⁷⁴⁹ Der Einfluss dieser beiden gegenläufigen Effekte wird im Rahmen der numerischen Untersuchungen analysiert, indem die Anzahl der Klassen variiert und die Auswirkungen auf den Periodenerlös untersucht werden. Um eine objektive und reproduzierbare

⁷⁴⁵ Da die detaillierte Ausgestaltung des Ansatzes vom konkreten Untersuchungsgegenstand abhängt, wird im Folgenden die in der Fallstudie zum Einsatz kommende Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration bei Sachgüterproduktion zugrunde gelegt.

⁷⁴⁶ Voraussetzung für eine erfolgreiche Nachfragesegmentierung und Preisdifferenzierung ist das Vorhandensein einer unterschiedlichen Zahlungsbereitschaft verschiedener Nachfrager für gleiche bzw. ähnliche Leistungen bzw. Produkte. Bei Sachgüterproduktion kann dies beispielsweise daraus resultieren, dass ein Unternehmen in unterschiedlichen geographischen Märkten agiert, in denen verschiedene Preise für das gleiche Produkt bezahlt werden. Vgl. Abschnitt III.2.1.

⁷⁴⁷ Bei Fluglinien wird in der Regel zwischen drei Buchungsklassen (First, Business, Economy) unterschieden, die zum Teil noch in Normal- und Spezialtarife aufgeteilt werden. Vgl. Spann et al. (2005), S. 57 f., und Domschke/Klein/Petrick (2005), S. 48.

⁷⁴⁸ Je nach Preisstruktur könnte im Extermfall für jeden Kunden eine eigene Klasse definiert werden.

⁷⁴⁹ Dieser Effekt wird auch als Pooling-Effekt bezeichnet. Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 43, und Hölscher (2002), S. 4.

Segmentierung der Nachfrage zu ermöglichen, kommen mathematische Clusterverfahren zum Einsatz. Im Folgenden werden nach einer Erläuterung der Grundlagen der Clusteranalyse zwei Clusterformulierungen vorgestellt und problemadäquate Lösungsverfahren entwickelt.

Unter dem Begriff Clusteranalyse werden unterschiedliche Verfahren zur Gruppierung von Objekten in Klassen (Cluster) zusammengefasst.⁷⁵⁰ Dabei wird das Ziel verfolgt, die Klassifizierungsobjekte so in Klassen einzuteilen, dass die Objekte innerhalb einer Klasse möglichst homogen und zwischen den Klassen möglichst inhomogen sind.⁷⁵¹ Clusteranalyseverfahren haben ihre historischen Ursprünge in der Biologie, wo sie in den 60er Jahren zur Klassifikation biologischer Spezies angewendet wurden. Heute kommen sie sowohl in zahlreichen Wissenschaftsdisziplinen als auch in der betriebswirtschaftlichen Praxis zum Einsatz.⁷⁵² Um die Ähnlichkeit bzw. Unähnlichkeit zwischen Objekten zu bestimmen, werden Ähnlichkeits- und Distanzmaße als Proximitätsmaße herangezogen.⁷⁵³ Ähnlichkeitsmaße dienen der Beschreibung der Ähnlichkeit zweier Objekte. Je ähnlicher diese sind, umso höher ist das zugehörige Ähnlichkeitsmaß.⁷⁵⁴ Dazu verhält sich das Distanzmaß reziprok. Je ähnlicher sich zwei Objekte sind, umso niedriger ist das Distanzmaß.⁷⁵⁵ Distanzmaße kommen bei Objekten mit metrischem Skalenniveau zum Einsatz.⁷⁵⁶ Auf Basis des Proximitätsmaßes erfolgt eine Zuordnung der einzelnen Objekte zu Gruppen. Partitionierende Clusterverfahren⁷⁵⁷ zerteilen die gegebenen Objekte in vorgegebene Gruppen.⁷⁵⁸ Im Gegensatz zu den hierarchischen Verfahren entsteht dabei nur eine Ebene von Clustern.⁷⁵⁹ Wird im Allgemeinen von verschiedenen Clusterverfahren gesprochen, ist in der Regel bereits eine unterschiedliche mathematische

⁷⁵⁰ Vgl. Anderberg (1973), S. 4, und Hartigan (1975), S. 1.

⁷⁵¹ Vgl. Chen (2001), S. 5, und Bradley/Fayyad (1998), S. 91. Im Rahmen der Clusteranalyse wird nach Homogenität innerhalb der Cluster und Heterogenität zwischen den Clustern gestrebt. Für den Begriff der homogenen Gruppen vgl. Kozelka (1982), S. 6.

⁷⁵² Vgl. Bacher (1996), S. 1, und Hartigan (1975), S. 1 ff. Für Anwendungsbeispiele aus der Betriebswirtschaft vgl. Backhaus et al. (2006), S. 491.

⁷⁵³ Vgl. Bacher (1996), S. 198 f., und Kaufmann/Pape (1996), S. 440 f.

⁷⁵⁴ Vgl. Kaufmann/Pape (1996), S. 440.

⁷⁵⁵ Vgl. Büschken/von Thaden (1999), S. 345.

⁷⁵⁶ Vgl. Backhaus et al. (2006), S. 494 ff.

⁷⁵⁷ Partitionierendes Clustern wird in der englischsprachigen Literatur auch als „k-clustering“ bezeichnet. Vgl. Fasulo (1999), S. 1.

⁷⁵⁸ Für eine detailliertere Einführung in die Clusteranalyse und die Vorstellung weiterer Ansätze vgl. beispielsweise Jain/Dubes (1988), S. 1 ff., Kaufmann/Rousseeuw (1990), S. 1 ff., und Backhaus et al. (2006), S. 510 ff.

⁷⁵⁹ Vgl. Büschken/von Thaden (1999), S. 372.

Formalisierung des Clusterbegriffs gemeint. In diesem Zusammenhang werden mit Clusterverfahren häufig mathematische Formulierungen eines Clusterproblems und die dazugehörigen Lösungsheuristiken bezeichnet. Clusterprobleme sind bis auf wenige Spezialfälle NP-schwer, weshalb sich die optimale Lösung mit zunehmender Problemgröße nicht effizient berechnen lässt.⁷⁶⁰ Im folgenden Abschnitt werden zwei partitionierende Clusterprobleme vorgestellt und im Anschluss daran heuristische Lösungsansätze entwickelt.

2.2.1 Ausgewählte partitionierende Clusterprobleme

Da die bei der im Rahmen der untersuchten Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie betrachteten Daten metrischer Natur sind, lässt sich der Abstand der bei den Kunden c und d für ein Produkt e erzielbaren Erlöse als Distanzmaß $abst_{c,d,e}$ folgendermaßen definieren:⁷⁶¹

$$abst_{c,d,e} := abst_{d,c,e} := |Erlös_{c,e} - Erlös_{d,e}| \quad (110)$$

Im Folgenden werden beispielhaft die gemischt-ganzzahligen Formulierungen Minimale Abstandssumme (MA) und K-Medoid (KM) zur Modellierung der partitionierende Clusterverfahren vorgestellt.

2.2.1.1 Minimale Abstandssumme

Die Grundidee bei der Problemformulierung Minimale Abstandssumme (MA) ist die Minimierung der Abstände zwischen den Elementen einer Klasse.⁷⁶² Zur mathematischen Beschreibung werden folgende Symbole verwendet:

⁷⁶⁰ Die als vollständige Enumeration bezeichnete Generierung sämtlicher möglicher Zerlegungen für eine vorgegebene Menge von Objekten und Klassen und deren Bewertung anhand eines geeigneten Gütekriteriums lässt sich schon bei kleinen Problemgrößen nicht mehr mit vertretbarem Aufwand durchführen. Für C Objekte und I Cluster ($1 \leq I \leq C$) existieren:

$$\frac{1}{I!} \sum_{k=0}^I (-1)^k \binom{I}{k} * (I-k)^C$$

verschiedene Zerlegungen. Für $C = 100$ und $I = 5$ ergeben sich $\approx 10^{69}$ Möglichkeiten. Vgl. Kaufmann/Pape (1996), S. 471 und Backhaus et al. (2006), S. 512.

⁷⁶¹ Da es sich bei Preisen um eindimensionale metrische Daten handelt, wird die City-Block-Metrik als Distanzmaß verwendet. Vgl. Backhaus et al. (2006), S. 503, Bacher (1996), S. 222, und Kaufmann/Pape (1996), S. 449.

- i Klasse, mit $i = 1, \dots, I$ und $I =$ Anzahl der Klassen
- c Kunde, mit $c = 1, \dots, C$ und $C =$ Anzahl der Kunden
- d Kunde, mit $d = 1, \dots, C$ und $C =$ Anzahl der Kunden
- $abst_{c,d}$ Abstand der bei den Kunden c und d erzielbaren Erlöse⁷⁶³
- $DIS_{c,d}$ Abstand der bei den Kunden c und d realisierbaren Erlöse, wenn beide Kunden der gleichen Klasse zugeordnet werden
- $ZK_{c,i}$ Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn der Kunde c der Klasse i zugeordnet wird, andernfalls 0

Das Minimierungsproblem lässt sich folgendermaßen formulieren:⁷⁶⁴

$$\min \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^C DIS_{c,d} \quad (111)$$

unter Beachtung der Restriktionen:

$$\sum_{i=1}^I ZK_{c,i} = 1 \quad \text{für alle } c = 1, \dots, C \quad (112)$$

$$DIS_{c,d} \geq abst_{c,d} * (ZK_{c,i} + ZK_{d,i} - 1) \quad \text{für alle } i = 1, \dots, I; c = 1, \dots, C; d = 1, \dots, C; c < d \quad (113)$$

$$ZK_{c,i} \in \{0;1\} \quad \text{für alle } i = 1, \dots, I; c = 1, \dots, C \quad (114)$$

$$DIS_{c,d} \geq 0 \quad \text{für alle } c = 1, \dots, C; d = 1, \dots, C \quad (115)$$

Die Binärvariable $ZK_{c,i}$ nimmt den Wert 1 an, wenn der Kunde c der Klasse i zugeordnet wird, ansonsten 0. Nebenbedingung (112) sorgt dafür, dass ein Kunde c nur zu einer Klasse i zugeordnet werden kann. Die kontinuierliche Variable $DIS_{c,d}$ nimmt nur dann als Wert den Abstand zwischen den bei den Kunden c und d erzielbaren Erlösen für ein Produkt an, wenn

⁷⁶² Die Formulierung Minimale Abstandssumme wird im englischsprachigen Raum auch als „minimum-clustering-sum“ Problem bezeichnet. Vgl. Guttmann-Beck/Hassin (1998), S. 125.

⁷⁶³ Da nur ein Produkt betrachtet wird, wird der Index e von $abst_{c,d,e}$ weggelassen.

⁷⁶⁴ Vgl. Guttmann-Beck/Hassin (1998), S. 127 f.

diese der gleichen Klasse zugeordnet sind (113). Die Zielfunktion (111) minimiert den Abstand der zu einer Klasse gehörenden Elemente bzw. Kunden.⁷⁶⁵

2.2.1.2 K-Medoid

Die Problemformulierung K-Medoid (KM) weist Ähnlichkeiten mit dem Standortproblem in Graphen auf.⁷⁶⁶ Dabei wird jedes Cluster durch jeweils ein typisches bzw. repräsentatives Objekt charakterisiert.⁷⁶⁷ Zur mathematischen Formulierung von K-Medoid werden folgende Symbole verwendet:

i Klasse, mit $i = 1, \dots, I$ und $I =$ Anzahl der Klassen

c Kunde, mit $c = 1, \dots, C$ und $C =$ Anzahl der Kunden

d Kunde, mit $d = 1, \dots, C$ und $C =$ Anzahl der Kunden

$abst_{c,d}$ Abstand der bei den Kunden c und d erzielbaren Erlöse⁷⁶⁸

YR_c Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn Kunde c als repräsentatives Objekt ausgewählt wird, andernfalls 0

$ZR_{c,d}$ Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn der Kunde d dem Repräsentanten c zugeordnet wird, andernfalls 0

K-Medoid lässt sich als ganzzahliges Problem folgendermaßen formulieren:⁷⁶⁹

$$\text{Min} \sum_{c=1}^C \sum_{d=1}^C abst_{c,d} * ZR_{c,d} \quad (116)$$

⁷⁶⁵ Dieser Ansatz stellt nur eine mögliche Alternative zur partitionierenden Clusterbildung dar. Für die mathematische Formulierung und einen heuristischen Lösungsansatz zur Minimierung des maximalen Abstands jedes Kundenpaares in derselben Klasse vgl. Meyr (2005a), S. 14 ff.

⁷⁶⁶ Vgl. Kanungo et al. (2002), S. 881.

⁷⁶⁷ Vgl. Bacher (1996), S. 279. Die repräsentativen Objekte werden als Medoiden bezeichnet. Vgl. Agrawal et al. (1998), S. 95.

⁷⁶⁸ Da nur ein Produkt betrachtet wird, wird der Index e von $abst_{c,d,e}$ weggelassen.

⁷⁶⁹ Vgl. Gonzales (1985), S. 293, und Hochbaum/Shmoys (1986), S. 534.

unter Beachtung der Restriktionen:

$$\sum_{c=1}^C ZR_{c,d} = 1 \quad \text{für alle } d = 1, \dots, C \quad (117)$$

$$ZR_{c,d} \leq YR_c \quad \text{für alle } c = 1, \dots, C, d = 1, \dots, C \quad (118)$$

$$\sum_{c=1}^C YR_c = I \quad (119)$$

$$YR_c, ZR_{c,d} \in \{0,1\} \quad \text{für alle } c = 1, \dots, C, d = 1, \dots, C \quad (120)$$

Die Variable YR_c wählt die repräsentativen Objekte aus und nimmt den Wert 1 an, wenn Kunde c als repräsentatives Objekt ausgewählt wird, andernfalls 0. Die Binärvariable $ZR_{c,d}$ ist dann 1, wenn Kunde d dem Repräsentanten c zugeordnet wurde, ansonsten nimmt sie den Wert 0 an. Die Zielfunktion (116) minimiert die Abstandssumme aller Objekte von den ihnen zugeordneten repräsentativen Objekten. Bedingung (117) stellt sicher, dass jedes Objekt genau einem repräsentativen Objekt zugeordnet wird. Nebenbedingung (118) sorgt dafür, dass Objekte nur solchen zugeordnet werden, die tatsächlich als repräsentative Objekte ausgewählt worden sind. Die Bedingung (119) stellt sicher, dass genau so viele repräsentative Objekte festgelegt werden, wie Klassen (I) existieren.

2.2.2 Ausgewählte heuristische Lösungsverfahren

2.2.2.1 Minimale Abstandssumme

Zur Lösung der Problemformulierung Minimale Abstandssumme können ein Verbesserungsverfahren und ein Threshold Accepting-Algorithmus herangezogen werden.⁷⁷⁰ Das reine **Verbesserungsverfahren** startet mit der Ausgangslösung und testet alle Kunden in allen Klassen darauf, welche Reduktion der Zielfunktion durch die Verschiebung eines Kunden in eine andere Klasse erreicht wird.⁷⁷¹ Der Schritt, der zur größten Reduktion der Zielfunktion führt, wird

⁷⁷⁰ Für beide Heuristiken wird eine Anfangslösung bestimmt, indem die vorliegenden Kunden zufällig den existierenden Klassen zugeordnet werden.

⁷⁷¹ Vgl. Reeves/Beasley (1995), S. 9.

ausgeführt und im Anschluss die Suche fortgesetzt.⁷⁷² Das Abbruchkriterium ist erfüllt, wenn sich keine weitere Verbesserung durch ein Vertauschen erreichen lässt. Die beste gefundene Lösung stellt für die Nachbarschaftsdefinition ein lokales Optimum dar, dessen Zielfunktionswert deutlich schlechter als der des globalen Optimums sein kann.⁷⁷³ Beim **Threshold Accepting-Verfahren**⁷⁷⁴ wird eine zwischenzeitliche Verschlechterung des Zielfunktionswertes zugelassen, um lokale Optima wieder verlassen zu können. Eine Verschlechterung der Zielfunktion ist dabei auf eine bestimmte Grenze beschränkt, die mit fortschreitender Zeit gesenkt wird.⁷⁷⁵ Zur Berechnung der Threshold Accepting-Heuristik werden die Schwellenwerte als Prozentwerte der aktuellen Lösung in absteigender Reihenfolge gewählt: 0,15, 0,03, 0,025, 0,02, 0,015, 0,01, 0,005, 0,004, 0,003, 0,002, 0,001, 0.⁷⁷⁶ Der Algorithmus endet, wenn eine bestimmte Anzahl von Iterationen durchlaufen oder für eine bestimmte Zeit keine Verbesserung erreicht worden ist.⁷⁷⁷

2.2.2.2 K-Medoid

Zur Lösung der Problemformulierung K-Medoid wird ein auf *KAUFMANN* und *ROUSSEEUW* zurückgehender Algorithmus verwendet, der in eine Aufbau- und eine Vertauschungsphase unterteilt werden kann.⁷⁷⁸ Während der Aufbauphase wird eine initiale Menge von R repräsentativen Objekten sukzessive ausgewählt. In der Vertauschungsphase wird versucht, die Partitionen zu verbessern, indem ein Repräsentant mit einem Objekt, das kein Repräsentant ist,

⁷⁷² Im Gegensatz zum Übergang auf die erste gefundene Nachbarlösung (First Fit) wird die vollständige Untersuchung der Nachbarschaft als Best Fit bezeichnet. Vgl. Domschke/Scholl (2006), S. 6.

⁷⁷³ Zur Lösungsverbesserung wird das Verbesserungsverfahren im Rahmen der numerischen Untersuchungen auf jeweils 20 zufällig gewählte Klasseneinteilungen angewendet. Anschließend wird das Clusterergebnis mit dem besten Zielfunktionswert ausgewählt.

⁷⁷⁴ Für Details zur Threshold Accepting-Heuristik vgl. Dueck/Scheuer (1990), S. 161 ff. Grundsätzlich sind für die vorliegende Problemstellung auch andere Typen von Metaheuristiken einsetzbar.

⁷⁷⁵ Während die simulierte Abkühlung (Simulated Annealing) Verschlechterungen in der Bewertung eines Zwischenergebnisses nur mit einer bestimmten (im Verlauf der Optimierung kleiner werdenden) Wahrscheinlichkeit akzeptiert, akzeptiert der Schwellenakzeptanzalgorithmus Verschlechterungen immer, sofern die Verschlechterung nicht größer als ein vorgegebener Schwellwert (Threshold) ist. Dieser Schwellwert wird im Verlauf der Optimierung ebenfalls gesenkt. Vgl. Dueck/Scheuer (1990), S. 161 ff.

⁷⁷⁶ Diese Werte haben sich in einer anderen Anwendungssituation als sinnvoll erwiesen. Vgl. Meyr (2000), S. 311 ff.

⁷⁷⁷ Im Rahmen der numerischen Untersuchungen werden pro Schwellwert 1000 Iterationen durchlaufen.

⁷⁷⁸ Dieser Ansatz wird auch als PAM (Partitioning around Medoids)-Algorithmus bezeichnet. Vgl. Kaufmann/Rousseeuw (1990), S. 68 ff.

vertauscht wird. Der Algorithmus endet, sobald sich das Ergebnis durch keine der möglichen Vertauschungen mehr verbessern lässt.⁷⁷⁹

In der **Aufbauphase** wird als erster Repräsentant⁷⁸⁰ das Objekt mit der minimalen Summe der Distanzen zu allen Objekten ausgewählt. Danach wird als nächstes das Objekt als Repräsentant gewählt, welches den Zielfunktionswert der Gleichung (96) am stärksten verringert. Um dieses Objekt zu identifizieren, wird für jedes normale Objekt n die Verringerung berechnet, die durch die Auswahl dieses Objektes als Repräsentant entstände. Die Bestimmung der Initialpartition ist dann beendet, wenn R Repräsentanten ausgewählt sind.

In der **Vertauschungsphase** wird versucht, die Partition durch Vertauschung eines normalen Objektes mit einem Repräsentanten zu verbessern. Für jedes Paar (r, n) aus Repräsentant r und normalem Objekt n wird untersucht, wie sich der Zielfunktionswert verändert, wenn n ein Repräsentant und r ein normales Objekt wäre. Für das die Zielfunktion am stärksten verringernde Paar wird der Tausch durchgeführt. Das Abbruchkriterium greift, sobald die Zielfunktion durch einen Tausch nicht weiter verringert werden kann. Der Algorithmus ist von der Betrachtungsreihenfolge der Objekte unabhängig, da immer alle möglichen Vertauschungen untersucht werden. In der Praxis zeigt sich, dass die Zahl der durchgeführten Vertauschungen selten zweistellig wird.⁷⁸¹

2.3 Kontingentierung der Ressourcen

Im Anschluss an die Segmentierung sind die Prognosedaten der zu den neu gebildeten Klassen gehörenden Kunden so zu verdichten, dass als Input für das Kontingentierungsmodell nur eine Nachfrageverteilung pro Klasse vorliegt. In der Regel lässt sich die Nachfrage dabei über Normalverteilungen beschreiben, deren Mittelwerte und Standardabweichungen als bekannt vorausgesetzt werden.⁷⁸² Im Anschluss an die Segmentierung der Nachfrage werden die verfügbaren Ressourcen mit den statischen Ansätzen der Preis-Mengen-Steuerung des Revenue Managements auf die Segmente allokiert. Den Ausgangspunkt stellt dabei das

⁷⁷⁹ Vgl. Han/Kamber (2001), S. 351.

⁷⁸⁰ Unter Repräsentant wird im Folgenden ein als repräsentatives Objekt gewähltes Objekt verstanden. Normale Objekte sind solche, die nicht als repräsentative Objekte gewählt werden.

⁷⁸¹ Vgl. Han/Kamber (2001), S. 353 f.

⁷⁸² Während zur Zusammenfassung von Normalverteilungen die Mittelwerte addiert werden können, ist zur Zusammenfassung der Standardabweichungen die Wurzel aus der Summe der Quadrate der einzelnen Standardabweichungen zu ziehen. Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 48.

geplante Produktionsprogramm dar, welches als Ergebnis der kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung des APS-Systems vorliegt. Die berechneten Kontingente bilden dann die Grundlage für die sich anschließende erweiterte Verfügbarkeitsprüfung.

Zur Kontingentierung kommen die in Abschnitt IV.1.4 vorgestellten statischen Verfahren der Preis-Mengen-Steuerung des Revenue Managements zum Einsatz. Zur exakten Bestimmung der Kontingente wird auf einen von *WOLLMER* entwickelten Algorithmus zurückgegriffen.⁷⁸³ Zur heuristischen Lösung des Kontingentierungsproblems werden die Verfahren EMSRa und EMSRb angewendet.⁷⁸⁴ Die Schutzgrenzen, aus denen sich die Buchungslimits berechnen lassen, ergeben sich dabei als direktes Ergebnis der verschiedenen Kontingentierungsverfahren. Kontingente niederwertiger Klassen sind für den Zugriff höherwertiger Nachfrageklassen freigegeben, während höherwertige Klassen vor dem Zugriff niederwertiger Klassen geschützt sind.

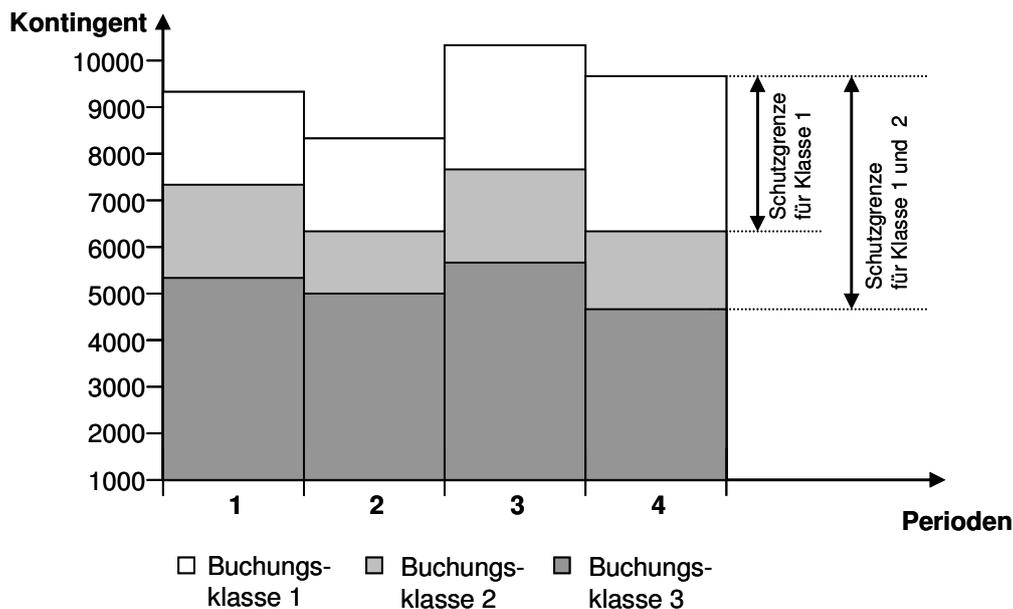


Abbildung 38: Hierarchisch kumulierter Ansatz für drei Buchungsklassen und vier Zeitperioden⁷⁸⁵

⁷⁸³ Vgl. Wollmer (1992), S. 26.

⁷⁸⁴ Vgl. Belobaba (1992), S. 3 f.

⁷⁸⁵ Eigene Darstellung.

Abbildung 38 zeigt ein beispielhaftes Kontingentierungsergebnis für drei Nachfrageklassen und vier Zeitperioden. Da je Zeitperiode ein unterschiedliches Ressourcenangebot und unter Umständen auch eine unterschiedliche Nachfrageverteilung vorliegen kann, werden die Kontingente für jede Zeitperiode separat berechnet. Die Buchungsklasse 1 hat den höchsten und die Buchungsklasse 3 den niedrigsten Preis. Es wird davon ausgegangen, dass zuerst die Nachfrage für Buchungsklasse 3, dann die Nachfrage für Buchungsklasse 2 und zum Schluss die Nachfrage für Buchungsklasse 1 eintrifft. Während beispielsweise die Nachfrage für Buchungsklasse 1 Zugriff auf die gesamte kontingentierte Menge der Periode 1 (9300 Stück) hat, kann die Nachfrage für Buchungsklasse 3 nur aus dem entsprechenden Kontingent (5300 Stück) bedient werden, da die Schutzgrenze für Klasse 1 und 2 keinen Zugriff auf die Mengen dieser Klasse erlaubt. Bei der im Rahmen der Fallstudie vorliegenden Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration bietet es sich an, die Zuordnung der Produktionsressourcen zu den Kundenklassen nicht auf der Basis von Multi-Level-ATP durchzuführen, sondern Endproduktäquivalente zu verwenden.⁷⁸⁶ Dabei werden den Kundengruppen keine einzelnen Material- und Kapazitätsressourcenmengen, sondern die sich aus der kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung ergebenden Endprodukte zugewiesen. Produkte ähnlicher Ausprägung können dabei zu Produktgruppen zusammengefasst werden. Die entstehenden Kontingente werden auch als Kundenkontingente bezeichnet. Die sich anschließende Verfügbarkeitsprüfung wird dann als zweistufiger Prozess gestaltet, bei dem sowohl gegen Multi-Level-ATP als auch gegen die Kundenkontingente geprüft wird.

2.4 Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung

Im Rahmen der erweiterten Verfügbarkeitsprüfung wird für einen eintreffenden Kundenauftrag in einem zweistufigen Verfahren überprüft, ob dieser hinsichtlich Wunschtermin und Menge erfüllt werden kann. Im ersten Schritt wird ein Konfigurationsauftrag gegen Multi-Level-ATP geprüft, indem die Stückliste aufgelöst und eine Verfügbarkeitsprüfung sowohl für Material- als auch für Kapazitätsressourcen durchgeführt wird. Im zweiten Schritt erfolgt dann die Verfügbarkeitsprüfung des Auftrags gegen die entsprechenden Kundenkontingente, deren Bildung in Abschnitt IV.2.3 erläutert wurde.⁷⁸⁷

⁷⁸⁶ Vgl. Kilger/Schneeweiss (2005a), S. 189 ff.

⁷⁸⁷ Während die klassische ATP- bzw. Multi-Level-ATP-Verfügbarkeitsprüfung die Frage nach der ressourcentechnischen Machbarkeit beantwortet, geht es bei der Prüfung gegen die Kundenkontingente um die Frage, ob sich die Auftragsannahme für das Unternehmen lohnt. Dieses Konzept wird auch mit dem Begriff „Profitable-to-Promise“ bezeichnet. Vgl. SAP (2003), S. 1 ff.

Ist nicht genug Multi-Level-ATP vorhanden, dann greifen die bereits vorgestellten Mechanismen der Fehlmengenverteilung.⁷⁸⁸ Lässt sich die Fehlmengensituation nicht auflösen, so erfolgt keine Auftragsbestätigung. Ist die Prüfung gegen Multi-Level-ATP dagegen erfolgreich oder kann die Fehlmengensituation aufgelöst werden, dann findet die Prüfung des Auftrags bzw. der Auftragsmenge gegen die im vorgelagerten Kontingentschritt gebildeten Kundenkontingente statt. Aufträge für Kunden aus höherwertigen Klassen haben dabei Zugriff auf die Kontingente der niederwertigen Klassen, allerdings nicht umgekehrt. Ist zum gewünschten Zeitpunkt nicht genug Kapazität im korrespondierenden Kundenkontingent vorhanden, muss über eine alternative Strategie entschieden werden. Dabei ist gegebenenfalls eine Rückkopplung zur Verfügbarkeitsprüfung gegen Multi-Level-ATP notwendig.⁷⁸⁹ Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden neben dem Ausschluss des Konsums zeitlich vor- oder nachgelagerter Perioden folgende Regeln zur Suche nach verfügbarer Menge in den Kundenkontingenten untersucht:⁷⁹⁰

- Konsum aus zeitlich vorgelagerten Perioden,
- Konsum aus zeitlich nachgelagerten Perioden und
- Konsum aus zeitlich vor- und nachgelagerten Perioden.

2.5 Problemstellung auf Basis einer Fallstudie

Das Unternehmen der Fallstudie wurde bereits in Abschnitt III.2 im Zusammenhang mit der Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung vorgestellt. Im Hinblick auf den Prozess der Auftragsannahme ist festzustellen, dass der Markt für Mobiltelefone durch eine zyklische Nachfrage gekennzeichnet ist. Während sich diese in den Monaten Januar bis September annähernd konstant zeigt, steigt sie im sogenannten Weihnachtsquartal (Oktober bis Dezember) stark an. Aufgrund der hohen Kapazitätserweiterungskosten kann die Kapazität aber während dieses Zeitraums kurzfristig nicht erhöht werden, weshalb regelmäßig Maßnahmen zur Fehlmengenverteilung notwendig werden. Aufgrund hoher Variantenvielfalt, unsicherer Nachfrage und kurzer Auftragsvorlaufzeiten kommt eine Vorproduktion in Form der Lager-

⁷⁸⁸ Vgl. Abschnitt II.3.4.3.3.

⁷⁸⁹ Nach der Annahme eines Auftrags sind sowohl die entsprechenden Multi-Level-ATP-Mengen als auch die Kundenkontingente der entsprechenden Klassen zu reduzieren, damit der nächste eintreffende Auftrag vor dem Hintergrund des aktuellen Ressourcenangebots geprüft werden kann.

⁷⁹⁰ Der Konsum zeitlich nachgelagerter Perioden bietet sich nur für Kunden an, die eine verspätete Belieferung akzeptieren.

fertigung für das betrachtete Unternehmen aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage. Zur Sicherstellung kurzer Auftragsdurchlaufzeiten bei gleichzeitiger Reduktion des Bestandsrisikos wird die Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration eingesetzt.

In der Unternehmenspraxis werden Kundenaufträge nach dem First-Come-First-Served (FCFS)-Prinzip geprüft und im Falle verfügbarer Ressourcen bestätigt.⁷⁹¹ Grundlage für die Bestätigung bildet die globale Verfügbarkeitsprüfung gegen Multi-Level-ATP für Material und Kapazität. Da sich für ähnliche Produkte in Abhängigkeit der Kunden unterschiedliche Preise erzielen lassen und die Aufträge in der Regel in der Reihenfolge von niedrigen zu hohen Preisen eintreffen, führt die FCFS-Bestätigungsstrategie zu suboptimalen Gesamterlösen bzw. -erträgen. Obwohl im Bedarfsplanungsmodul des APS-Systems historische Nachfragedaten vorliegen, finden diese Daten in der Unternehmenspraxis keine Anwendung.

Als konkrete Problemstellung der untersuchten Fallstudie ergibt sich die Frage, durch welche Maßnahmen im Rahmen der Auftragsannahme sich der in der Regel suboptimale Periodenerlös verbessern lässt. Im Rahmen der numerischen Untersuchungen werden die Auswirkungen der Anwendung der entwickelten Revenue Management-Systematik auf den erzielbaren Periodenerlös untersucht. Darüber hinaus wird analysiert, welche Einflüsse die gewählte Klassenanzahl, die verschiedenen Clusteralgorithmen, die unterschiedlichen Kontingentierungsverfahren und die verschiedenen Suchstrategien im Rahmen der erweiterten Verfügbarkeitsprüfung auf die erzielten Gesamterlöse haben.

⁷⁹¹ Da Kunden eine zeitnahe Auftragsbestätigung erwarten, kommt das Sammeln von Auftragsanfragen zur späteren simultanen Auftragsannahmeentscheidung, wie es im Rahmen batch-basierter Optimierungsansätze angewendet wird, nicht in Frage. Vgl. Zhao/Ball (2005), S. 1 ff., und Chen/Zhao/Ball (2001), S. 477 ff.

3 Numerische Untersuchungen

Zur Beurteilung der Vorteilhaftigkeit der entwickelten Revenue Management-Systematik gegenüber dem im Fallstudienfall praktizierten Vorgehen werden verschiedenen Referenzszenarien implementiert und hinsichtlich der damit erzielten Gesamterlöse mit den in der Fallstudie beobachteten Ergebnissen verglichen. Im Anschluss an die Darstellung der Referenzszenarien erfolgt die Vorstellung der untersuchten Datensätze der Fallstudie. Vor der abschließenden Ergebnisdiskussion wird auf die EDV-technische Realisierung der Untersuchungen eingegangen.

3.1 Referenzszenarien

Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der entwickelten Revenue Management-Systematik, die im weiteren Verlauf der Arbeit als **Revenue Management-Szenario (RMS)** bezeichnet wird, erfolgt anhand der Leistungsgröße des im gesamten Betrachtungszeitraum realisierten Gesamterlöses.⁷⁹² Im Rahmen der numerischen Untersuchungen werden drei Referenzszenarien mit dem Revenue Management-Szenario verglichen:

- Best-Case-Szenario,
- First-Come-First-Served-Szenario und
- Mittelwert-Szenario.

Beim **Best-Case-Szenario (BCS)** wird die Unsicherheit hinsichtlich der Auftragsankunftsreihenfolge aufgehoben, da alle Aufträge simultan im Rahmen einer ex post-Betrachtung untersucht werden. BCS stellt die Obergrenze des realisierbaren Gesamterlöses dar und lässt sich als gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem formulieren. Dabei werden Teillieferungen in verschiedenen Perioden zugelassen, allerdings muss über alle Perioden hinweg die Gesamtmenge geliefert werden. Eine teilweise Nichtbelieferung ist nicht zulässig. Zur Formulierung finden folgende Symbole Verwendung.⁷⁹³

⁷⁹² Aufgrund der gleichen Kostenstruktur für alle Produkte eines Produkttyps resultiert die Erlösmaximierung gleichzeitig in der Ertragsmaximierung.

⁷⁹³ Da sich die Betrachtung im Folgenden nur auf einen Produkttyp beschränkt, wird der entsprechende Produktindex e bei den Berechnungen weggelassen.

a	Auftrag, mit $a = 1, \dots, A$ und $A = \text{Anzahl der Aufträge}$
t	Periode, mit $t = 0, \dots, T$ und $T = \text{Anzahl der Perioden}$
AB_a	Binärvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn der Auftrag a bestätigt wird, andernfalls 0
ATP_t	in Periode t zur Auftragsbestätigung zur Verfügung stehende Menge
$BM_{a,t}$	in Periode t bestätigte Menge des Auftrags a
Erl_a	Erlös pro Stück des Auftrags a , wenn dieser entsprechend des Kundenwunschtermins in Periode wp_a bestätigt wird
$Erl_{a,t}$	Erlös pro Stück des Auftrags a , wenn dieser in Periode t bestätigt wird
$früh_a$	prozentualer Abschlagfaktor pro Periode, die Auftrag a zu früh geliefert wird
$spät_a$	prozentualer Abschlagfaktor pro Periode, die Auftrag a zu spät geliefert wird
$temp_{a,t}$	Abschlagfaktor für Belieferung des Auftrags a in der Periode t
wm_a	Wunschmenge des Auftrags a
wp_a	Wunschperiode des Auftrags a

Das in Periode t für alle Aufträge verfügbare Mengenkontingent wird mit ATP_t bezeichnet und in Stück angegeben. Eine Bestätigung in der Periode $T + 1$ ist gleichbedeutend mit Nichtbelieferung der in dieser Periode bestätigen Menge. $Erl_{a,t}$ setzt sich aus dem Erlös bei Belieferung zum Wunschtermin (Erl_a) und einem Faktor für zu frühe bzw. zu späte Belieferung ($temp_a$) zusammen. Dafür wird die folgende abschnittsweise lineare Funktion verwendet:

$$Erl_{a,t} = Erl_a * temp_{a,t} \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, T + 1 \quad (121)$$

mit

$$temp_{a,t} := \begin{cases} früh_a^{(wp_a-t)} & \text{wenn } t < wp_a \\ spät_a^{(t-wp_a)} & \text{wenn } wp_a \leq t \leq T \\ 0 & \text{wenn } t = T + 1 \end{cases} \quad (122)$$

Das Maximierungsproblem lässt sich folgendermaßen formulieren:

$$\text{Max} \sum_{a=1}^A \sum_{t=1}^{T+1} BM_{a,t} * \text{Erlös}_{a,t} \quad (123)$$

unter Beachtung der Restriktionen:

$$\sum_{a=1}^A BM_{a,t} \leq ATP_t \quad \text{für alle } t = 1, \dots, T + 1 \quad (124)$$

$$\sum_{t=1}^{T+1} BM_{a,t} = wm_a \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A \quad (125)$$

$$BM_{a,T+1} = (1 - AB_a) * wm_a \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A \quad (126)$$

$$AB_a \in \{0,1\} \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A \quad (127)$$

$$BM_{a,t} \geq 0 \quad \text{für alle } a = 1, \dots, A; t = 1, \dots, T \quad (128)$$

Die Zielfunktion (123) maximiert den im Abschnitt $t = 1, \dots, T + 1$ erzielten Gesamterlös. Gleichung (124) stellt sicher, dass in einer Periode nicht mehr als die vorhandene Kontingentmenge konsumiert werden kann. Die Nebenbedingung (125) sorgt in Verbindung mit (126) dafür, dass die Auftragsmenge entweder komplett oder gar nicht beliefert wird.

Das **First-Come-First-Served-Szenario (FCFS)** entspricht der aktuell beim Fallstudienpartner verfolgten Strategie, Kundenaufträge der Reihenfolge ihres Eintreffens nach zu bestätigen. Die Auftragsankunftsreihenfolge hat somit großen Einfluss auf den in einer Periode erzielten Gesamterlös. Dabei wird die Politik verfolgt, Aufträge nur dann nicht zu bestätigen, wenn von den entsprechenden Kunden ein verspäteter Liefertermin nicht akzeptiert wird. Kann ein Kundenauftrag in der Wunschperiode nicht bestätigt werden, d. h. war die ATP-Prüfung in der gewünschten und in vorgelagerten Perioden nicht erfolgreich, dann wird in zeitlich nachgelagerten Perioden so lange nach ATP gesucht, bis der Auftrag bestätigt werden kann.⁷⁹⁴ Zur Berechnung des Gesamtertrages werden die tatsächlichen Liefermengen der einzelnen

⁷⁹⁴ Kann auch in nachgelagerten Perioden kein ATP gefunden werden, dann wird der Auftrag abgelehnt. Vgl. Abschnitt II.3.4.3.3.

Perioden mit dem jeweiligen Erlösfaktor der Periode multipliziert, wodurch zu früher und zu später Belieferung Rechnung getragen wird.

Beim **Mittelwert-Szenario (MWS)** wird lediglich der erwartete Mittelwert der Nachfrage der einzelnen Kundenklassen berücksichtigt. Analog zum Revenue Management-Szenario werden im Anschluss an die Auswahl einer bestimmten Klassenanzahl die Erwartungswerte der neu gebildeten Klassen zusammengefasst. Auf Basis dieser erfolgt dann die Zuordnung der verfügbaren Ressourcengrößen auf die Klassen in absteigender Reihenfolge der Wertigkeit, d. h. zuerst wird der Bedarf der Klasse mit dem größten Erlös gedeckt, danach der Bedarf der Klasse mit dem zweitgrößten Erlös usw. Die anschließende Verfügbarkeitsprüfung orientiert sich dabei analog zum Revenue Management-Szenario an den auf diese Weise gebildeten Kundenkontingenten.

i	Preis (pr_i)	Mittelwert (μ_i)	Standardabweichung (σ_i)	Schutzgrenze RMS-Szenario (y_i^{RMS})	Schutzgrenze MWS-Szenario (y_i^{MWS})
1	1050	17	6	17	17
2	567	45	15	43	62
3	534	40	13	72	102
4	520	34	11	-	-

Tabelle 14: Vergleich der Berechnung der Schutzgrenzen für die Szenarien RMS und MWS anhand von vier Bedarfsklassen⁷⁹⁵

Tabelle 14 zeigt beispielhaft den Unterschied in der Berechnung der Schutzgrenzen für das Revenue Management-Szenario und das Mittelwert-Szenario. Während bei der Berechnung der Schutzgrenzen auf Basis des Revenue Management-Szenarios (y_i^{RMS}) die Preise (pr_i) und Standardabweichungen (σ_i) der Verteilungen berücksichtigt werden, erfolgt die Berechnung der Schutzgrenzen für das Mittelwert-Szenario durch Addition der jeweiligen Mittelwerte (μ_i). Im vorliegenden Beispiel ergeben sich dabei für die Buchungsklassen 2 und 3 für das Mittelwert-Szenario (MWS) erheblich größere Schutzgrenzen als für das Revenue Management-Szenario (RMS).

⁷⁹⁵ In Anlehnung an Talluri/Van Ryzin (2004), S. 48. Die Schutzgrenzen des Revenue Management-Szenarios (y_i^{RMS}) wurden dabei mit einem auf WOLLMER zurückgehenden Algorithmus optimal bestimmt. Vgl. Wollmer (1992), S. 26.

3.2 Untersuchte Daten

Im Rahmen der numerischen Untersuchungen werden fünf Datensätze betrachtet, die zusammen mit dem Projektpartner nach den für die Analyse relevanten Gesichtspunkten ausgewählt wurden. Dabei stellen die Datensätze jeweils die Nachfrage für einen Produkttyp in einer ausgewählten Woche dar.⁷⁹⁶

Datensatz	D1	D2	D3	D4	D5
Kundenanzahl	43	36	39	38	41
\overline{Preis}	44,96	47,36	43,05	48,28	44,88
\hat{s}_{Preis}	8,78	13,90	5,11	10,56	13,86
max_{Preis}	65,90	80,90	50,30	69,00	73,23
min_{Preis}	30,20	22,50	32,10	28,50	24,81
Auftragsanzahl	1039	1157	936	897	1006
Kapazitätsengpass	32,04%	27,47%	24,31%	19,58%	28,70%
Prognosegenauigkeit	73,29%	83,80%	84,78%	79,32%	87,60%

Tabelle 15: Ausgewählte Datensätze der Fallstudie

Wie in Tabelle 15 dargestellt variiert die Kundenanzahl von 36 (D2) bis 43 (D1). Der durchschnittliche Preis ($\overline{Preis}^{\mathcal{E}}$) in Verbindung mit dem Schätzer der Standardabweichung $\hat{s}_{Preis}^{\mathcal{E}}$ und den maximalen und minimalen Preisen $max_{Preis}^{\mathcal{E}}$ bzw. $min_{Preis}^{\mathcal{E}}$ kennzeichnet das Preisdifferenzierungspotential der Datensätze. Während dieses für den Datensatz D2 am größten ist, liegen die Preise bei Datensatz D3 am dichtesten zusammen. Die Anzahl der Aufträge reicht von 897 (D4) bis 1157 (D2). Der prozentuale Kapazitätsengpass gibt an, wieviel der für den Betrachtungszeitraum beobachteten Nachfragemenge im Rahmen einer ex post-Betrachtung aufgrund fehlender Ressourcenverfügbarkeit abgelehnt werden musste. Die Prognosegenauigkeit wurde ebenfalls im Nachhinein ermittelt. Sie gibt den durchschnittlichen Übereinstimmungsgrad der für jede Kundenklasse tatsächlich eingetroffenen Nachfrage mit der ursprünglichen Nachfrageprognose an. Aufgrund der geringen Anzahl von fünf Datensätzen wird auf Untersuchungen hinsichtlich der statistischen Signifikanz der Ergebnisse verzichtet.⁷⁹⁷

⁷⁹⁶ Für eine Erläuterung zum Unterschied zwischen Produkttypen und Varianten vgl. Abschnitt III.2.3.

⁷⁹⁷ Eine auf Signifikanztests basierende Überprüfung der Vorteilhaftigkeit des entwickelten Verfahrens wird weiteren Forschungsarbeiten überlassen.

3.3 EDV-technische Realisierung

Zur EDV-technischen Realisierung der numerischen Untersuchungen wurde die in Abbildung 39 dargestellte Softwarelösung entwickelt. Die Prognosedaten wurden mithilfe einer zwischen dem i2 Demand Planner und dem SAP Business Warehouse implementierten Schnittstelle bestimmt. Die darüber hinaus benötigten Stamm- und Bewegungsdaten wurden aus dem ERP-System (SAP R/3) und dem Modul der mittelfristigen Produktionsplanung (i2 Supply Chain Planner) geladen.

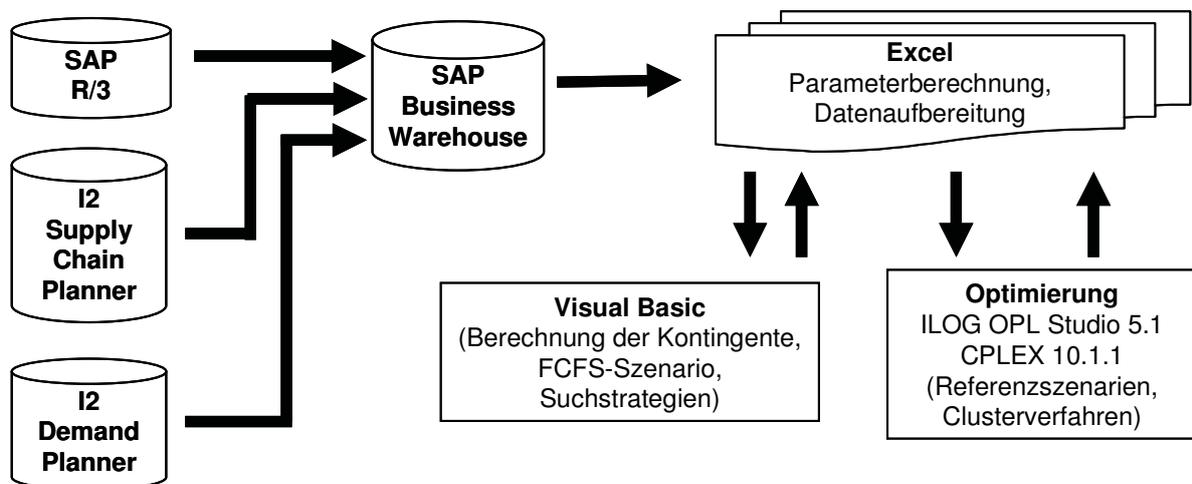


Abbildung 39: EDV-technische Realisierung der numerischen Untersuchungen⁷⁹⁸

Die heuristischen Clusteralgorithmen, die Verdichtung der Nachfragefunktionen auf die neu gebildeten Klassen, die Algorithmen zur heuristischen und optimalen Kontingentierung bei beliebiger Klassenanzahl, die regelbasierte Verfügbarkeitsprüfung und verschiedene Auswert- und Analyseschritte wurden in Microsoft Visual Basic implementiert. Zur Berechnung der Referenzszenarien und zur optimalen Lösung der Clusterformulierungen wurde das OPL Studio 5.1 in Verbindung mit CPLEX 10.1.1. eingesetzt.

Sowohl die Vor- und Nachbearbeitung der Daten als auch die Optimierung wurden auf einem Personal Computer mit Pentium IV Prozessor, 3,2 GHz Taktfrequenz und 2 GB Arbeitsspeicher durchgeführt.

⁷⁹⁸ Eigene Darstellung.

3.4 Diskussion der Ergebnisse

Zur Gewinnung grundsätzlicher Aussagen über die Vorteilhaftigkeit des entwickelten Revenue Management-Szenarios (RMS) wird als Leistungsgröße der in der jeweiligen Betrachtungsperiode erzielte Gesamterlös herangezogen.⁷⁹⁹ Nach dem Vergleich der verschiedenen Referenzszenarien mit dem Revenue Management-Szenario wird der Einfluss der Anwendung unterschiedlicher Verfahren zur Nachfrageclustering analysiert. Danach erfolgt die Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Kontingentierungsansätze auf den Periodenerlös. Abschließend werden die Betrachtungen auf mehrere aufeinander folgende Zeitperioden ausgedehnt und die Auswirkungen der Anwendung unterschiedlicher Suchstrategien im Rahmen der erweiterten Verfügbarkeitsprüfung auf den Periodenerlös untersucht.

Datensatz	D1	D2	D3	D4	D5
$\overline{\text{Erlös}}_{RMS}$	96,08%	96,43%	96,84%	96,66%	95,43%
\hat{s}_{RMS}	1,89%	1,98%	1,25%	1,17%	1,43%
\min_{RMS}	88,82%	86,92%	94,10%	93,47%	90,06%
\max_{RMS}	99,43%	99,04%	99,83%	98,75%	98,79%
$\overline{\text{Erlös}}_{MWS}$	91,33%	92,49%	92,33%	94,65%	92,55%
\hat{s}_{MWS}	0,97%	1,41%	0,46%	0,70%	0,86%
\min_{MWS}	85,81%	84,90%	90,38%	92,05%	86,34%
\max_{MWS}	93,73%	95,68%	93,22%	95,77%	94,73%
$\overline{\text{Erlös}}_{FCFS}$	79,27%	71,30%	89,96%	83,79%	72,40%

Tabelle 16: Erlöse der Referenzszenarien RMS, MWS und FCFS für die Datensätze D1 bis D5 als Prozentwerte des jeweiligen ex post-Optimums (BCS)⁸⁰⁰

Tabelle 16 zeigt die Gesamterlöse der drei Szenarien Revenue Management (RMS), Mittelwert (MWS) und First-Come-First-Served (FCFS) für die Datensätze D1 bis D5 als Prozentsätze des jeweiligen ex post-Optimums.⁸⁰¹ $\overline{\text{Erlös}}_{\{RMS, MWS\}}^{\epsilon}$ geben die Mittelwerte, $\hat{s}_{\{RMS, MWS\}}^{\epsilon}$ die Schätzer der Standardabweichungen und $\min_{\{RMS, MWS\}}^{\epsilon}$ und $\max_{\{RMS, MWS\}}^{\epsilon}$ die minimalen und maximalen

⁷⁹⁹ Die Betrachtungsperioden der in Tabelle 15 vorgestellten Datensätze D1 bis D5 beziehen sich auf jeweils eine Woche. Kann ein Auftrag nicht innerhalb dieser Periode bestätigt werden, so kommt dies seiner Nichtbelieferung gleich.

⁸⁰⁰ Die Grundgesamtheit wird dabei für das jeweilige Szenario und den jeweiligen Datensatz aus den für alle zulässigen Kombinationen von Klassenanzahl, Clusterverfahren und Kontingentierungsansatz berechneten Erlösen als Prozentsatz des ex post-Optimums bestimmt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Datensätze in der Indizierung weggelassen.

⁸⁰¹ Zur Berechnung des ex post-Optimums vgl. Abschnitt IV.3.1

Werte aller zulässigen Kombinationen aus Klassenanzahl, Clusterverfahren und Kontingierungsmethode für die jeweiligen Datensätze und Szenarien an. Die Klassenanzahl wird dabei zwischen zwei und der maximalen Kundenanzahl eines Datensatzes variiert. Für jede gewählte Klassenanzahl wird die Clusterbildung auf jeweils fünf verschiedenen Wegen durchgeführt. Neben der optimalen Lösung der Problemformulierung Minimale Abstandssumme (MA OPT) werden eine Steepest Descent-Heuristik (MA SD) und eine Threshold Accepting-Heuristik (MA TA) eingesetzt. Die Problemformulierung K-Medoid wird auf der einen Seite optimal (KM OPT) und auf der anderen Seite mithilfe der in Abschnitt IV.2.2.2 vorgestellten PAM-Heuristik (KM PAM) gelöst. Für jede Kombination aus Klassenanzahl und Clusterlösung wird für das Revenue Management-Szenario der Gesamterlös bestimmt, indem zur Kontingierung neben dem optimalen Ansatz (RM OPT) die Heuristiken EMSRa (RM EMSRa) und EMSRb (RM EMSRb) zum Einsatz kommen und anschließend die erweiterte Verfügbarkeitsprüfung auf Basis der gebildeten Kontingente durchgeführt wird.

Aus Tabelle 16 wird ersichtlich, dass sich das Revenue Management-Szenario sowohl dem Mittelwert-Szenario als auch dem First-Come-First-Served-Szenario für alle untersuchten Datensätze überlegen zeigt. Während die Streubreite der Ergebnisse bei MWS geringer als bei RMS ist, liegen die Mittelwerte des Revenue Management-Szenarios deutlich über denen des Mittelwert-Szenarios. Die in der Unternehmenspraxis angewendete Strategie des Bestätigens der Aufträge in der Reihenfolge ihres Eintreffens (First-Come-First-Served-Szenario) führt für alle fünf Datensätze zu den mit Abstand geringsten Erlösen.

Abbildung 40 stellt die prozentuale Verbesserung der durchschnittlichen Erlöse der Strategien MWS und RMS gegenüber denen der FCFS-Strategie für die fünf untersuchten Datensätze dar. Dabei lässt sich feststellen, dass der durch die Kontingierungsansätze gegenüber der First-Come-First-Served-Strategie erreichbare Erlösvorteil mit dem Preisdifferenzierungspotential der einzelnen Datensätze korreliert.⁸⁰² Als Maß für das Preisdifferenzierungspotential wird der durchschnittliche Preis der untersuchten Datensätze in Verbindung mit dem Schätzer der Standardabweichung der Preisverteilung herangezogen.⁸⁰³ Während beispielsweise das Preisdifferenzierungspotential des Datensatzes D2 in der größten prozentualen Erlösverbesserung

⁸⁰² Das Preisdifferenzierungspotential wurde bereits als wichtige Anwendungsvoraussetzung für die Methoden des Revenue Managements identifiziert. Vgl. Spengler/Rehkopf (2005), S. 128, Pfeifer (1989), S. 149, und Robinson (1995), S. 252.

⁸⁰³ Vgl. Tabelle 15.

resultiert, führt das relativ homogene Preisgefüge des Datensatzes D3 bei Anwendung von RMS und MWS zu den geringsten Erlösverbesserungen gegenüber FCFS.

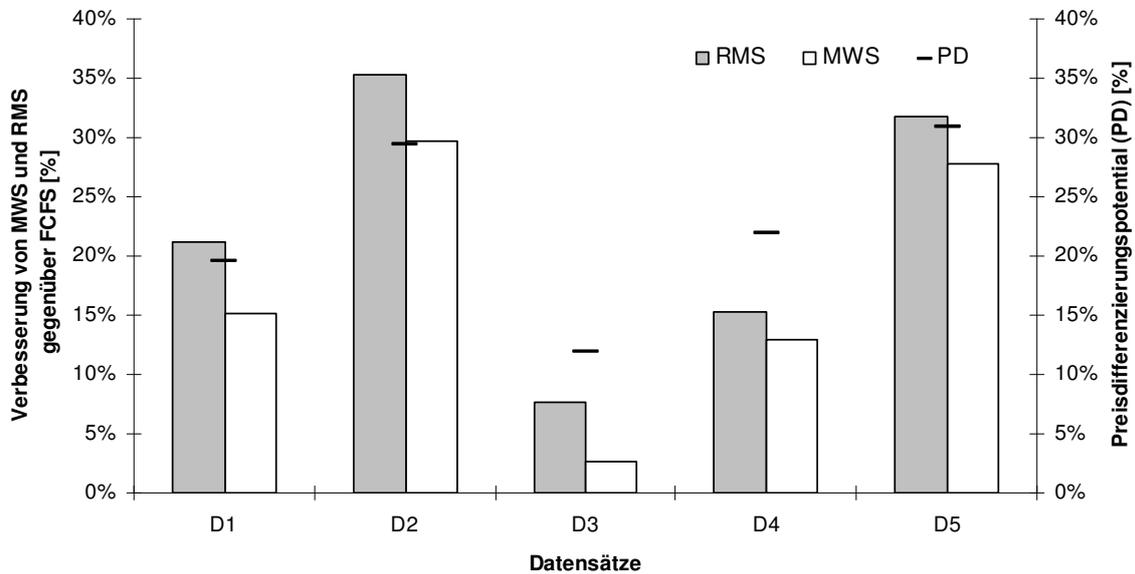


Abbildung 40: Prozentuale durchschnittliche Erlösverbesserung der Strategien Revenue Management (RMS) und Mittelwert (MWS) gegenüber der First-Come-First-Served-Strategie für die Datensätze D1 bis D5 und Vergleich mit dem jeweiligen Preisdifferenzierungspotential⁸⁰⁴

Zur Untersuchung des Einflusses der **Clusterverfahren** auf die durch die Anwendung der verschiedenen Referenzszenarien erzielbaren Erlöse werden die heuristischen Lösungen der vorgestellten Formulierungen Minimale Abstandssumme (MA) und K-Medoid (KM) mit den optimalen Lösungen verglichen.⁸⁰⁵ Da beide Formulierungen unterschiedliche Zielfunktionen haben und somit nicht direkt über die Werte dieser miteinander verglichen werden können, werden sie im Folgenden in einem ersten Schritt getrennt voneinander analysiert.⁸⁰⁶ In einem zweiten Schritt werden die durch die jeweilige Formulierung im Rahmen des Revenue

⁸⁰⁴ Das Preisdifferenzierungspotential PD wird berechnet als Quotient des Schätzers der Standardabweichung s_{Preis}^{ϵ} und des durchschnittlichen Preises $\overline{Preis}^{\epsilon}$.

⁸⁰⁵ Zur Berechnung der optimalen Lösung der Clusterformulierungen MA und KM wurde das OPL Studio 5.1 in Verbindung mit CPLEX 10.1.1. eingesetzt.

⁸⁰⁶ Die Clusterung des Datensatzes $c = 1, \dots, 5$ mit $Erlös_1 = 1$, $Erlös_2 = 3$, $Erlös_3 = 5$, $Erlös_4 = 3$ und $Erlös_5 = 2$ in $l = 2$ Klassen ergibt für MA die Cluster $\{1; 5\}$ und $\{2; 3; 4\}$ mit einem Zielfunktionswert von 5. Die Formulierung KM führt zu den Clustern $\{1\}$ und $\{2; 3; 4; 5\}$ mit einem Zielfunktionswert von 3.

Management-Szenarios erzielten Gesamterlöse miteinander verglichen. Zur Untersuchung der Clusterformulierung MA wird die Anzahl der Klassen von 2 bis 20 variiert und die Clusterformulierung für die fünf Datensätze der Fallstudie jeweils optimal (MA OPT) und durch die Heuristiken Steepest Descent (MA SD) und Threshold Accepting (MA TA) gelöst.⁸⁰⁷ Tabelle 17 zeigt die prozentuale Verschlechterung des Zielfunktionswerts von MA SD gegenüber MA TA und MA OPT.

/	Datensatz				
	D1	D2	D3	D4	D5
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	1,52%	-	-	-	2,17%
7	1,78%	3,82%	2,17%	1,76%	1,60%
8	1,48%	7,68%	2,13%	1,92%	1,99%
9	3,04%	7,74%	1,93%	1,28%	4,49%
10	4,21%	6,85%	4,35%	2,51%	3,77%
11	6,91%	8,37%	5,89%	6,12%	5,39%
12	9,96%	8,43%	5,59%	5,59%	8,20%
13	8,01%	3,41%	8,15%	9,20%	10,09%
14	10,70%	6,40%	9,27%	10,20%	9,27%
15	12,73%	10,32%	7,68%	9,90%	9,20%
16	14,29%	14,60%	10,89%	13,00%	10,49%
17	16,79%	30,89%	12,44%	17,31%	25,10%
18	22,43%	30,43%	13,15%	21,34%	30,11%
19	29,76%	42,86%	35,67%	27,57%	33,49%
20	35,71%	45,83%	40,85%	39,90%	36,68%

Tabelle 17: Prozentuale Verschlechterung des Zielfunktionswertes von MA SD gegenüber MA TA bzw. MA OPT in Abhängigkeit von der Klassenanzahl /.⁸⁰⁸

⁸⁰⁷ Mit steigender Klassenanzahl streben die Zielfunktionen von MA und KM gegen Null. Dabei nähert sich die Anzahl der Klassen derjenigen der Kunden an, bis schließlich jeder Kunde einer eigenen Klasse zugeordnet ist. Aus dieser Betrachtung heraus erscheint es sinnvoll, die Anzahl der Klassen so groß wie möglich zu wählen. Dieser Annahme steht die Überlegung entgegen, dass die Nachfrage in der Regel mit Unsicherheit behaftet ist. Die Prognosequalität der Nachfrage für jede einzelne Klasse wird als Ergebnis des Gesetzes der Großen Zahlen mit steigender Anzahl von Kunden pro Klasse verbessert. Vgl. Talluri/Van Ryzin (2004), S. 43, und Hölscher (2002), S. 4.

⁸⁰⁸ Kann MA OPT nicht ermittelt werden, wird für die Berechnung der prozentualen Verschlechterung in Tabelle 17 das Ergebnis von MA TA herangezogen.

MA OPT konnte dabei mithilfe von CPLEX 10.1.1 für den Datensatz D1 nur bis zu 4, für den Datensätze D5 nur bis zu 5, für die Datensätze D3 und D4 bis zu 6 und für den Datensatz D2 bis zu 8 Klassen gelöst werden. MA TA zeigt keine Unterschiede zu den Werten, die mithilfe des optimalen Lösungsverfahrens bestimmt werden konnten. Zusammenfassend lässt sich aus Tabelle 17 festhalten, dass sich die Threshold Accepting-Heuristik im Hinblick auf den Zielfunktionswert mit zunehmender Klassenanzahl der Steepest Descent-Heuristik deutlich überlegen zeigt.

Um zu untersuchen, welche Auswirkungen die unterschiedlichen heuristischen Clusterverfahren MA SD und MA TA im Rahmen der Anwendung des Revenue Management-Szenarios auf die erzielbaren Erlöse haben, werden die Anzahl der Klassen von 2 bis 20 variiert und für jede Klasse und jeden Datensatz die Erlöse des Revenue Management-Szenarios bestimmt.⁸⁰⁹

<i>I</i>	Datensatz				
	D1	D2	D3	D4	D5
2	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
6	0,001%	-	-	-	0,010%
7	0,003%	0,011%	0,020%	0,009%	0,012%
8	0,009%	0,015%	0,031%	0,013%	0,011%
9	0,009%	0,013%	0,031%	0,020%	0,017%
10	0,076%	0,022%	0,064%	0,025%	0,078%
11	0,011%	0,010%	0,006%	0,028%	0,009%
12	0,047%	0,010%	0,037%	0,032%	0,050%
13	0,012%	0,025%	0,013%	0,032%	0,014%
14	0,010%	0,042%	0,026%	0,033%	0,012%
15	0,011%	0,008%	0,037%	0,061%	0,015%
16	0,020%	0,194%	0,017%	0,028%	0,008%
17	0,081%	0,122%	0,013%	0,046%	0,091%
18	0,132%	0,075%	0,012%	0,091%	0,135%
19	0,031%	0,054%	0,101%	0,055%	0,038%
20	0,054%	0,090%	0,064%	0,059%	0,062%

Tabelle 18: Prozentuale Verschlechterung des mithilfe von MA SD für RMS realisierten Periodengesamterlöses gegenüber MA OPT bzw. MA TA in Abhängigkeit von der Klassenanzahl *I*.

⁸⁰⁹ Bei der Berechnung der Kontingentierungsansätze wird der Mittelwert aus dem optimalen und den heuristischen Ansätzen (EMSRa und EMRb) gebildet.

Während sich der Zielfunktionswert der Steepest Descent-Heuristik wie in Tabelle 17 festgestellt mit zunehmender Klassenanzahl gegenüber dem der Threshold Accepting-Heuristik stark verschlechtert, lässt sich aus Tabelle 18 ableiten, dass die Erlösverschlechterung durch die Anwendung der Steepest Descent-Heuristik im Rahmen des Revenue Management-Szenarios gegenüber MA TA bzw. MA OPT wesentlich weniger stark ausfällt.⁸¹⁰ Lässt sich die Lösung von MA OPT für eine bestimmte Klassenanzahl nicht ermitteln, dann bietet MA TA somit die besseren Ergebnisse als MA SD, auch wenn der Vorteil durch die Anwendung der Threshold Accepting-Heuristik auf den Gesamterlös im Rahmen des Revenue Management-Szenarios geringer als erwartet ausfällt.

Im nächsten Schritt werden die Zielfunktionswerte der optimalen (KM OPT) und heuristischen Lösung (KM PAM) der Clusterformulierung K-Medoid und die im Rahmen der Anwendung des Revenue Management-Szenarios erzielten Periodenerlöse miteinander verglichen.⁸¹¹ Mit zunehmender Klassenanzahl verschlechtert sich der Zielfunktionswert der PAM-Heuristik für alle fünf untersuchten Datensätze gegenüber der Optimallösung erheblich. Trotz der großen Zielfunktionsverschlechterung der Clusterheuristik liegt die durchschnittliche prozentuale Erlösverschlechterung, die sich bei Anwendung der PAM-Heuristik im Rahmen des Revenue Management-Szenarios gegenüber der optimalen Lösung der Problemformulierung K-Medoid einstellt, über die Klassen 2 bis 20 bei lediglich 0,07%.⁸¹² Kann KM OPT für eine bestimmte Anzahl von Klassen nicht gelöst werden, dann bietet KM PAM zur Anwendung im Rahmen des Revenue Managements-Szenarios eine gute Alternative.

Um den Einfluss der unterschiedlichen Formulierungen des Clusterproblems (Minimale Abstandssumme und K-Medoid) auf den im Rahmen der Anwendung des Revenue Management-Szenarios erzielten Gesamterlös zu untersuchen, stellt Abbildung 41 die durchschnittliche Erlösverbesserung der jeweils besten Clusterlösung der Formulierung MA der besten gefundenen Lösung der Formulierung MA bei Anwendung des Revenue Management-Szenarios für die fünf untersuchten Datensätze gegenüber.

⁸¹⁰ Die durchschnittliche Erlösverschlechterung bei der Anwendung von MA SD gegenüber MA TA über die Klassen 2 bis 20 liegt für den Datensatz D1 bei 0,027%, für D2 bei 0,036%, für D3 bei 0,025%, für D4 bei 0,028% und für D5 bei 0,03%. Der Durchschnitt über alle 5 Datensätze liegt bei 0,03%.

⁸¹¹ Vgl. Tabellen 23 und 24 im Anhang.

⁸¹² Die durchschnittliche Erlösverschlechterung von KM PAM gegenüber KM OPT über alle betrachteten Klassen liegt für den Datensatz D1 bei 0,0431%, für D2 bei 0,109%, für D3 bei 0,065%, für D4 bei 0,088% und für D5 bei 0,063%.

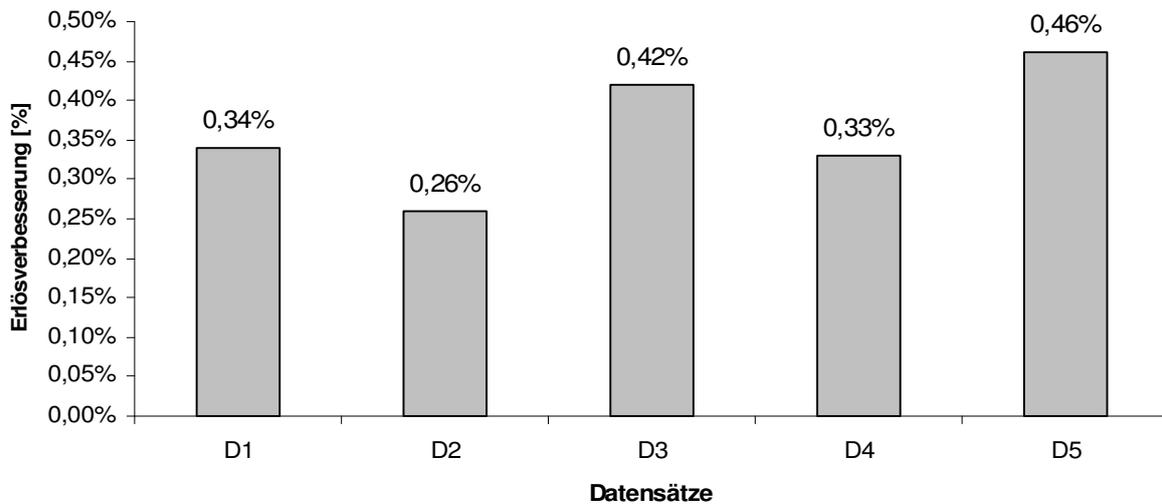


Abbildung 41: Prozentuale Verbesserung der durch Anwendung des Revenue Management-Szenarios erzielten Erlöse von MA OPT gegenüber KM OPT⁸¹³

Als Ergebnis der Untersuchung der verschiedenen Clusteransätze und ihrer Auswirkungen auf den erzielten Gesamterlös lässt sich festhalten, dass für die Formulierung Minimale Abstandssumme die Threshold Accepting-Heuristik die gleichen Ergebnisse wie die optimale Lösung (soweit diese zu ermitteln war) liefert und der Steepest Descent-Heuristik leicht überlegen ist. Wie zu erwarten zeigt sich die optimale Lösung der Clusterformulierung K-Medoid der heuristischen überlegen, auch wenn der Erlösvorteil nicht so groß ausfällt, wie dies aufgrund der Unterschiede der Zielfunktionswerte zu erwarten wäre. Im Hinblick auf die Formulierung des Clusterproblems selbst führt die Formulierung Minimale Abstandssumme für die untersuchten Datensätze gegenüber der Formulierung K-Medoid zu den besseren Ergebnissen.

Bei der bisherigen Betrachtung wurde der Kontingentierungsschritt mit dem optimalen Kontingentierungsansatz und den beiden Heuristiken EMSRa und EMSRb durchgeführt und der Mittelwert aus den erzielten Ergebnissen gebildet. Im Folgenden wird nun untersucht, welchen Einfluss die **verschiedenen Kontingentierungsverfahren** auf den Periodenerlös haben. Tabelle 19 stellt für die untersuchten Datensätze die durchschnittlichen, über alle untersuchten Klassen erzielten Erlöse des Revenue Management-Szenarios als Prozentsatz des ex post-Optimums (Best-Case-Szenario) dar.

⁸¹³ Der Durchschnitt wurde über die Klassen 2 bis 20 errechnet. Wenn die optimale Lösung der Formulierung MA OPT nicht bestimmt werden konnte, wurde das Ergebnis der Threshold Accepting-Heuristik herangezogen.

Datensatz	D1		D2		D3		D4		D5	
RM	$\overline{\text{Erlös}}_{RMS}$	\hat{s}_{RMS}								
OPT	97,25%	1,51%	96,91%	1,78%	97,43%	0,93%	97,39%	1,16%	96,15%	1,23%
EMSRb	96,03%	1,39%	96,79%	1,77%	96,60%	0,88%	96,42%	0,98%	95,35%	1,01%
EMSRa	94,96%	2,20%	95,59%	2,11%	96,49%	1,59%	96,18%	0,99%	94,78%	2,43%

Tabelle 19: Erlöse des Revenue Management-Szenarios bei Kontingentierung mithilfe der Heuristiken EMSRa und EMSRb und des optimalen Ansatzes (OPT) für die Datensätze D1 bis D5 als Prozentwerte des jeweiligen ex post-Optimums⁸¹⁴

$\overline{\text{Erlös}}_{RMS}^{\hat{s}}$ gibt dabei den durchschnittlichen Erlös und $\hat{s}_{RMS}^{\hat{s}}$ den Schätzer der Standardabweichung über alle untersuchten Klassen an, wobei neben dem optimalen Kontingentierungsansatz (OPT) die Heuristiken Expected Marginal Seat Revenue-Version a (EMSRa) und Version b (EMSRb) zum Einsatz kommen.⁸¹⁵ Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der optimale Kontingentierungsansatz die besten Ergebnisse liefert. Die Heuristik EMSRb zeigt sich für alle fünf untersuchten Datensätze der Heuristik EMSRa leicht überlegen.

Abbildung 42 stellt die prozentuale Verbesserung der Erlöse des Revenue Management-Szenarios gegenüber dem First-Come-First-Served-Szenario in Abhängigkeit von der gewählten Klassenanzahl für die Datensätze D1 bis D5 dar. Zur Klassenbildung wird dabei die Threshold Accepting-Heuristik der Clusterformulierung Minimale Abstandssumme und zur Kontingentierung die optimale Formulierung (RM OPT) eingesetzt. Dabei ist zu beobachten, dass der Gesamtperiodenerlös mit zunehmender Klassenanzahl anfangs stark ansteigt und nach Überschreitung eines Höchstwertes wieder langsam fällt. Zur Erklärung können der bereits erläuterte Pooling-Effekt und das Preisdifferenzierungspotential herangezogen werden. Während bei zwei Kundenklassen von einer hohen Prognosegenauigkeit der neu gebildeten Klassen auszugehen ist, wird durch die Bildung von zwei Durchschnittspreisen dem Preisdifferenzierungspotential der Datensätze aufgrund der hohen Preisinhomogenität nicht ausreichend Rechnung getragen.⁸¹⁶

⁸¹⁴ Die Klassenanzahl wird von zwei bis zur Kundenanzahl des jeweiligen Datensatzes variiert und die Erlöse werden bestimmt, indem die Clusterbildung mit MA TA und die Kontingentierung jeweils mit RM OPT, RM EMSRa und RM EMSRb durchgeführt wird.

⁸¹⁵ Vgl. Abschnitt IV.1.4.2.

⁸¹⁶ Innerhalb der zwei Klassen wird nicht nach Preisen differenziert, sondern die Aufträge werden der Reihenfolge ihres Eintreffens nach bestätigt.

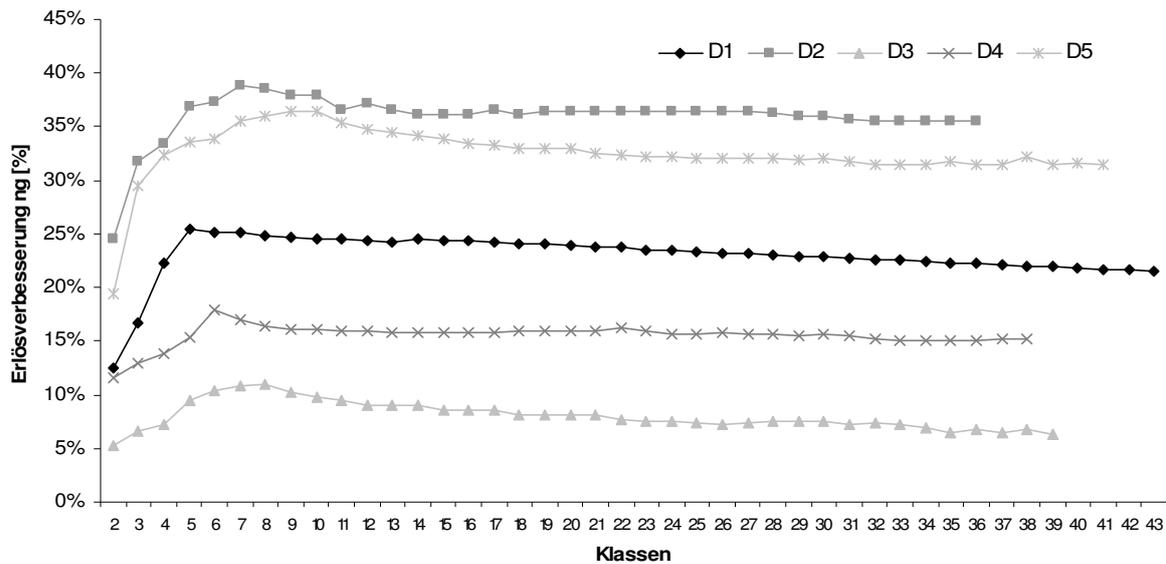


Abbildung 42: Prozentuale Erlösverbesserung von RMS gegenüber FCFS in Abhängigkeit von der Klassenanzahl für die Datensätze D1 bis D5⁸¹⁷

Mit zunehmender Klassenanzahl nimmt die Prognosegenauigkeit der neu gebildeten Klassen ab, da sich Prognoseabweichungen einzelner Nachfrageklassen nicht mehr gegenseitig ausgleichen können. Im Gegensatz dazu wird mit zunehmender Klassenanzahl das Preisdifferenzierungspotential stärker genutzt, da eine größere Anzahl von Durchschnittspreisen gebildet wird. Die Klassenanzahl, bei der der Erlös als Prozentsatz des First-Come-First-Served-Szenarios maximal wird, variiert wie in Abbildung 42 dargestellt zwischen fünf (Datensatz D1) und zehn (Datensatz D5). Bei einem Vergleich zur Prognosegenauigkeit der Datensätze fällt auf, dass die Klassenanzahl, bei der der maximale Erlös erzielt wird, umso höher liegt, je größer die durchschnittliche Prognosegenauigkeit der Nachfrage der einzelnen Datensätze ist.⁸¹⁸

Bei den bisherigen Untersuchungen wurde bei der Anwendung des Revenue Management-Szenarios jeweils eine Zeitperiode betrachtet.⁸¹⁹ Im Folgenden wird der Einfluss auf den Periodengesamterlös analysiert, indem mehrere aufeinander folgende Zeitperioden untersucht

⁸¹⁷ Die Clusterbildung wird mit der Threshold Accepting-Heuristik der Clusterformulierung Minimale Abstandssumme und die Kontingentierung mit dem optimalen Ansatz (RM OPT) durchgeführt.

⁸¹⁸ Während der Datensatz D1 mit 73,3% Prognosegenauigkeit den maximalen Erlös des Revenue Management-Szenarios bei fünf Klassen erreicht, liegt dieser bei Datensatz D5 mit einer Prognosegenauigkeit von 87,6% bei zehn Klassen.

⁸¹⁹ Die Datensätze D1 bis D5 beziehen sich jeweils auf eine Woche.

und die in Abschnitt IV.2.4 vorgestellten Suchstrategien zur Verfügbarkeitsprüfung eingesetzt werden. Dazu werden die Datensätze D1 bis D5 um ihre jeweiligen drei Folgewochen erweitert und im Folgenden mit D1* bis D5* bezeichnet. Zur Bildung der Cluster kommt die Formulierung Minimale Abstandssumme zum Einsatz, die mithilfe der bereits vorgestellten Threshold Accepting-Heuristik gelöst wird. Die Kontingentierung im Rahmen des Revenue Management-Szenarios wird mit dem bereits erläuterten optimalen Verfahren (RM OPT) durchgeführt. Die Kontingente werden für alle vier Zeitperioden auf Basis des jeweiligen Gesamtressourcenangebots und der Nachfrageprognosen getrennt berechnet. Im Rahmen der sich an die Kontingentierung anschließenden Verfügbarkeitsprüfung kommen vier verschiedene Strategien zum Einsatz.

Bei der SGT-Strategie (getrennt) können Aufträge nur in ihrer Wunschperiode bestätigt werden. Steht in dieser Periode in der benötigten Klasse nicht genügend Kontingentmenge zur Verfügung, dann führt dies zur Ablehnung des Auftrags. Bei der SVP-Strategie ist der Konsum von Verfügbarkeitskontingenten der entsprechenden Nachfrageklasse in vorgelagerten Perioden erlaubt. Die SNP-Strategie gestattet das Durchsuchen von Kundenkontingenten in zeitlich nachgelagerten Perioden. Sowohl zu frühe als auch zu späte Belieferungen werden durch Erlösabschläge sanktioniert. Im Rahmen der SVNP-Strategie wird zuerst in vorgelagerten und im Anschluss daran in nachgelagerten Kundenkontingenten nach verfügbarer Menge gesucht.

In Tabelle 20 werden die Gesamterlöse der vier Suchstrategien SGT, SVP, SNP und SVNP für die Datensätze D1* bis D5* als Prozentsätze des jeweiligen ex post-Optimums dargestellt. $\overline{Erlös}^{\ast}_{\{SGT, SVP, SNP, SVNP\}}$ gibt den Mittelwert, $\hat{s}^{\ast}_{\{SGT, SVP, SNP, SVNP\}}$ den Schätzer der Standardabweichung und $\min^{\ast}_{\{SGT, SVP, SNP, SVNP\}}$ und $\max^{\ast}_{\{SGT, SVP, SNP, SVNP\}}$ den minimalen und maximalen Wert an.⁸²⁰ $\overline{Erlös}_{FCFS}$ stellt den durch Anwendung der First-Come-First-Served-Strategie erzielten Gesamterlös als Prozentsatz des Best-Case-Szenarios dar. Aus Tabelle 20 wird deutlich, dass alle vier Strategien einen erheblichen Erlösvorteil gegenüber der First-Come-First-Served-Strategie bieten. Innerhalb der Suchstrategien führt der Konsum zeitlich nachgelagerter Kontingente zu den schlechtesten Ergebnissen, da eine zu späte Belieferung mit höheren Strafkosten als eine zu frühe Belieferung belegt wird. Die Strategie SGT zeigt für fast alle Datensätze die besten Ergebnisse. Dies lässt sich aus dem relativ großen Kapazitätsengpass erklären, wodurch die gesamte Kapazität innerhalb einer Zeitperiode ausgenutzt wird. Bei einem geringen Kapazitätsengpass bietet sich die Strategie VP an, da

⁸²⁰ Die Klassenanzahl wird dabei zwischen zwei und der Kundenanzahl eines Datensatzes variiert.

dadurch die Kapazitätsauslastung verbessert wird und es nicht zu verspäteten Auftragsbestätigungen kommt.

Datensatz	D1*	D2*	D3*	D4*	D5*
$\overline{\text{Erlös}}_{SGT}^*$	97,10%	96,13%	98,11%	98,65%	96,83%
\hat{s}_{SGT}^*	1,39%	4,25%	0,64%	3,31%	1,20%
\min_{SGT}^*	89,33%	71,74%	95,14%	80,39%	90,36%
\max_{SGT}^*	98,28%	97,70%	99,25%	99,66%	98,10%
$\overline{\text{Erlös}}_{SVP}^*$	97,21%	95,86%	98,14%	98,64%	96,32%
\hat{s}_{SVP}^*	1,45%	4,22%	0,69%	3,32%	1,35%
\min_{SVP}^*	89,28%	71,67%	95,07%	80,12%	89,94%
\max_{SVP}^*	98,81%	97,68%	99,56%	99,32%	97,89%
$\overline{\text{Erlös}}_{SNP}^*$	96,86%	95,77%	97,74%	98,62%	96,23%
\hat{s}_{SNP}^*	1,43%	4,23%	0,68%	3,56%	1,09%
\min_{SNP}^*	89,00%	71,47%	94,75%	79,56%	80,39%
\max_{SNP}^*	98,45%	97,55%	99,21%	99,02%	99,01%
$\overline{\text{Erlös}}_{SVNP}^*$	97,05%	95,80%	97,89%	98,64%	96,38%
\hat{s}_{SVNP}^*	1,43%	4,21%	0,67%	3,45%	1,23%
\min_{SVNP}^*	89,18%	71,64%	94,93%	80,99%	81,46%
\max_{SVNP}^*	98,66%	97,58%	99,31%	99,86%	98,86%
$\overline{\text{Erlös}}_{FCFS}^*$	78,26%	71,52%	89,54%	82,12%	76,34%

Tabelle 20: Erlöse der Suchstrategien SGT, SVP, SNP und SVNP für die Datensätze D1* bis D5* als Prozentwerte des jeweiligen ex post-Optimums (BCS)⁸²¹

⁸²¹ Der Faktor für zu frühe Belieferung, $früh_a$, wird mit 0,1 gewählt und der Faktor für zu späte Belieferung, $spät_a$, beträgt 0,9.

4 Ableitung von Handlungsempfehlungen

Das Entscheidungsproblem der Auftragsannahme unter Unsicherheit liegt vor, wenn davon ausgegangen wird, dass die unsichere Nachfrage für eine zukünftige Periode das für diese vorhandene Ressourcenangebot übersteigt. Im Entscheidungszeitpunkt sind dabei Umsatzverdrängungs- und Leerkosten gegeneinander abzuwägen. Die grundsätzliche Idee des entwickelten Ansatzes liegt in der Erweiterung der klassischen Verfügbarkeitsprüfung um Elemente einer Wirtschaftlichkeitsprüfung. Die Anwendung der konzipierten Systematik zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation für die Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration setzt voraus, dass die Nachfrage unterschiedliche Wertigkeit aufweist und somit eine Preisdifferenzierung ermöglicht. Darüber hinaus werden detaillierte Nachfrageinformationen benötigt.

Werden diese Voraussetzungen in einer konkreten Anwendungssituation wie der der untersuchten Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie erfüllt, dann zeigt die konzipierte Revenue Management-Systematik ein erhebliches Erlössteigerungspotential gegenüber der in der Praxis verbreiteten Strategie, Kundenaufträge der Reihenfolge ihres Eintreffens nach zu prüfen und zu bestätigen. Die Revenue Management-Systematik zeigt sich dabei ebenfalls einer sich auf Erwartungswerte stützenden Kontingentierung (MWS) überlegen, wodurch der Mehrwert der Berücksichtigung der Nachfrageverteilung gezeigt wird. Im Rahmen der Clusterung der Daten zeigt die Formulierung Minimale Abstandssumme (MA) bessere Ergebnisse als die Formulierung K-Medoid (KM). Kann die Clusterformulierung MA nicht optimal gelöst werden, dann liefert die entwickelte Threshold Accepting-Heuristik gute Ergebnisse. Hinsichtlich des Kontingentierungsansatzes zeigt sich die optimale Lösung den heuristischen Lösungen überlegen. Innerhalb der Heuristiken liefert EMSRb für die analysierten Datensätze bessere Resultate als EMSRa. Die Klassenanzahl sollte in Abhängigkeit von der Prognosegenauigkeit und des Preisdifferenzierungspotentials gewählt werden. Im vorliegenden Fall liegt die optimale Klassenanzahl zwischen 5 und 10. Bei der Betrachtung mehrerer aufeinander folgender Zeitperioden liefert die Strategie SGT für die untersuchten Daten die besten Ergebnisse. Bei einem geringeren Kapazitätsengpass wird die Strategie SVP empfohlen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Anwendung des entwickelten Verfahrens zur Fehlmengenverteilung mit Antizipation für die Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration großes Potential hat (im Praxisfall konnten Erlössteigerungen von €1,3 bis €5,2 Millionen erzielt werden) und eine breitere Anwendung sehr erfolgversprechend erscheint.

V Zusammenfassung und Ausblick

1 Zusammenfassung

Obwohl kundenorientierte Unternehmen die schnelle Zusage und zuverlässige Einhaltung von Lieferterminen zunehmend als wichtigen Wettbewerbsfaktor begreifen, wird eine effiziente und transparente Verteilung der bei der Annahme und Abwicklung von Kundenaufträgen auftretenden Fehlmengen oftmals vernachlässigt. Innerhalb der modular aufgebauten Advanced Planning & Scheduling-Systeme werden die Module des Demand Fulfillments von den Herstellern als Antwort auf die Herausforderungen der Terminbestimmung und Überwachung von Kundenaufträgen und damit auch der Fehlmengenverteilung propagiert.

Vor diesem Hintergrund war es das Ziel der vorliegenden Arbeit, die im Rahmen des Demand Fulfillments eingesetzten Verfahren zur Fehlmengenverteilung zu analysieren und eigene Ansätze zur Kompensation der identifizierten Defizite zu entwickeln. Die eigenen Ansätze konzentrierten sich auf die Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung und die Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation. In diesem Zusammenhang wurde untersucht, in wieweit sich die in der Luftfahrtindustrie und dem Dienstleistungssektor zum Einsatz kommenden Verfahren des Revenue Managements zur Entscheidungsunterstützung bei Auftragsannahmeentscheidungen in Produktionsumgebungen eignen. Zur Quantifizierung der Vorteilhaftigkeit der entwickelten Verfahren wurden diese auf eine Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie angewendet.

Kapitel I begann mit der Darstellung des Ausgangspunktes und der Motivation dieser Arbeit, bevor die Problemstellung und Zielsetzung und der Gang der Untersuchung erläutert wurden.

In **Kapitel II** wurden im ersten Schritt die Gründe für den zunehmenden Einsatz von APS-Systemen im Allgemeinen und der Module des Demand Fulfillments im Besonderen untersucht. Obwohl APS-Systeme in der Praxis als höchste Evolutionsstufe betriebswirtschaftlicher Planungssoftware für das Supply Chain Management beworben werden, zeigte die Analyse der Lösungsansätze und Koordination der einzelnen Module, dass APS-Systeme ihrem hohen Anspruch, besonders im Hinblick auf eine unternehmensübergreifende Planung, den Einsatz von Optimierungsverfahren und die Koordination der Module zu einer zulässigen Gesamtlösung,

nur teilweise gerecht werden.⁸²² Als Teilaufgaben des Demand Fulfillments wurden Auftragsüberwachung, ATP-Berechnung, Verfügbarkeitsprüfung und Auftragsbestätigung sowie Fehlmengenverteilung identifiziert, konzeptionell in den Kundenauftragsabwicklungsprozess eingeordnet und im Hinblick auf ihre betriebswirtschaftlichen Aufgaben und die in Theorie und Praxis bekannten Verfahren untersucht. Da die konkrete Ausgestaltung der Teilaufgaben stark von der zur Anwendung kommenden Fertigungsstrategie abhängt, wurden die Untersuchungen für die drei idealtypischen Fertigungsstrategien der Lagerfertigung, der auftragspezifischen Konfiguration und der Auftragsfertigung unter Berücksichtigung der jeweiligen Auftragsentkopplungspunkte durchgeführt. Im Rahmen der Untersuchung der Auswirkungen von Fehlmengen auf das Kundenverhalten anhand eines Fehlmengenmodells wurde deutlich, dass der Goodwill-Verlust große Auswirkungen auf das langfristige Kaufverhalten der Kunden hat, gleichzeitig aber schwer zu quantifizieren ist.⁸²³ Die Untersuchungen der Verteilung von Fehlmengen bei Auftragsüberwachung und bei Auftragsannahme mit und ohne Antizipation hinsichtlich des Auftretens von Fehlmengen, der identifizierten Aufgaben der Fehlmengenverteilung und der in Theorie und Praxis etablierten Verfahren zeigten dabei verschiedene Schwächen auf. Die Entscheidungsunterstützung der untersuchten Verfahren der Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung kann als mangelhaft bezeichnet werden, da weder Fehlmengenkosten durch Quantifizierung von Verspätungen und Nichtbelieferung berücksichtigt werden, noch eine simultane Betrachtung aller Aufträge im Sinne eines Optimierungsansatzes erfolgt. Bei der Analyse der Verfahren der Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation zeigte sich, dass keine Informationen über die Nachfrageverteilung mit einbezogen werden, sondern lediglich der Erwartungswert als Durchschnitt der Nachfrage Berücksichtigung findet. Die die Praxis dominierenden regelbasierten Verfahren arbeiten mit einfachen Prioritäten, über die die Auswirkungen von Fehlmengen nur indirekt, und damit nicht gewinnmaximierend bzw. kapazitätsoptimierend, berücksichtigt werden.

Aufbauend auf den in Kapitel II identifizierten Defiziten wurde in **Kapitel III** ein gemischt-ganzzahliges Grundmodell zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung entwickelt. Dabei wurden Fehlmengenkosten in Form von Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten explizit berücksichtigt. Die Nichtzulassung von Teillieferungen, die Einhaltung von Mindest-

⁸²² Die Analyse wird dadurch erschwert, dass die Hersteller in der Regel nicht offenlegen, welche Verfahren in den Modulen zum Einsatz kommen, der Optimierungsbegriff dafür aber eher großzügig Verwendung findet. Vgl. Corsten (2004), S. 543.

⁸²³ Vgl. Alscher/Schneider (1982), S. 269.

produktionslosgrößen, die Verwendung alternativer Stücklisten und die Berücksichtigung von Platzhalteraufträgen wurden als modelltheoretische Erweiterungen vorgestellt. Zur Überprüfung der Vorteilhaftigkeit des entwickelten Ansatzes wurde eine Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie herangezogen. Zur Ermittlung der Lenkparameter der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten des Optimierungsmodells wurden Workshops mit allen relevanten Fachabteilungen des Unternehmens durchgeführt. Als Ergebnis der numerischen Untersuchungen lässt sich festhalten, dass alle untersuchten Datensätze in zufriedenstellender Rechenzeit optimal gelöst werden konnten. Die Anwendung des entwickelten Verfahrens zeigte eine deutliche Verbesserung aller untersuchten Leistungsgrößen, wobei besonders die erhebliche Reduzierung der Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten hervorzuheben ist. Als Benchmark wurden dabei die aus dem Status Quo der Fallstudie berechneten Leistungsgrößen herangezogen. Die Anwendung auftragspezifischer Verspätungs- und Nichtbelieferungskosten zeigte sich der klassischen Kennzahl der Liefertreue überlegen, da den Auswirkungen von Fehlmengen auf das Kundenverhalten dadurch differenzierter Rechnung getragen wird.

Auf den in Kapitel II identifizierten Schwächen aufbauend wurde in **Kapitel IV** ein auf den Grundgedanken des Revenue Managements basierendes Verfahren zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation entwickelt. Im Rahmen der Herausarbeitung der Grundlagen des Revenue Managements wurden die Instrumente der Preisdifferenzierung, der Preis-Mengen-Steuerung und der Überbuchung am Beispiel der Luftfahrtindustrie vorgestellt. Der Vergleich der Anwendungsvoraussetzungen der Verfahren des Revenue Managements mit den Rahmenbedingungen bei Sachgüterproduktion im Allgemeinen und bei der Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration im Besonderen zeigte, dass die Übertragbarkeit der Verfahren des Revenue Managements grundsätzlich möglich ist, allerdings stark von der konkreten Ausgestaltung des Einzelfalls abhängt. Für die Fallstudie lässt sich feststellen, dass alle relevanten Anwendungsvoraussetzungen erfüllt waren, wobei besonders die unsichere und mit unterschiedlicher Wertigkeit behaftete Nachfrage ein großes Erlössteigerungspotential verspricht. Die entwickelte Revenue Management-Systematik besteht aus den Elementen Nachfragesegmentierung, Ressourcenkontingentierung und erweiterte Verfügbarkeitsprüfung. Dabei wurde die klassische Verfügbarkeitsprüfung um Elemente einer Wirtschaftlichkeitsprüfung mit dem Ziel erweitert, die beschränkten Unternehmensressourcen erlösmaximal auszulasten. Zur objektiven und reproduzierbaren Segmentierung der Nachfrage kamen zwei unterschiedliche Clusterformulierungen zum Einsatz. Zur Kontingentierung wurden ein exaktes und zwei heuristische Verfahren der statischen Preis-Mengen-Steuerung eingesetzt. Die

Beurteilung der Vorteilhaftigkeit der Revenue Management-Systematik erfolgte anhand verschiedener Referenzszenarien. Im Rahmen der numerischen Untersuchungen dominierte die entwickelte Revenue Management-Systematik für alle untersuchten Parameterkombinationen die im Praxisfall angewendete First-Come-First-Served-Bestätigungsstrategie im Hinblick auf den erzielten Gesamterlös um durchschnittlich 17%. Darüber hinaus zeigte sich die Revenue Management-Systematik ebenfalls einer sich auf Mittelwerte der Nachfrage stützenden Kontingentierung überlegen, wodurch der Mehrwert der Berücksichtigung der zeitlichen und mengenmäßigen Unsicherheit der Auftragsankünfte nachgewiesen wurde.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Anwendung des entwickelten Optimierungsansatzes zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung für die untersuchte Fallstudie, in der die Fertigungsstrategie der auftragsspezifischen Konfiguration zum Einsatz kommt, sehr vielversprechende Ergebnisse lieferte. Der Einsatz der konzipierten Revenue Management-Systematik zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation zeigte für die untersuchte Fallstudie aus der Telekommunikationsindustrie ebenfalls ein großes Erlössteigerungspotential. Beide entwickelten Verfahren erscheinen somit für weitere Anwendungen erfolgversprechend.

2 Ausblick

Vor dem Hintergrund der sich verstärkt ausbildenden Wertschöpfungsketten bzw. -netzwerke und der daraus resultierenden Komplexitätszunahme wird es für an diesen Supply Chains beteiligte Unternehmen zunehmend schwieriger, verlässliche Liefertermine zeitnah zu ermitteln und deren Einhaltung zu steuern. Gleichzeitig steigen in globalen Märkten die Kundenanforderungen an die Geschwindigkeit und Qualität der Terminzusagen. Die effiziente und transparente Verteilung von Fehlmengen entwickelt sich dabei zu einer wichtigen Voraussetzung für den langfristigen Unternehmenserfolg. In der Praxis ist allerdings festzustellen, dass die komplexen Aufgaben der Fehlmengenverteilung, besonders im Hinblick auf quantitative Verfahren zur Entscheidungsunterstützung, weitgehend vernachlässigt werden.

Im Rahmen dieser Arbeit gelingt es, jeweils ein Verfahren zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung und bei Auftragsannahme mit Antizipation zu entwickeln und deren Vorteilhaftigkeit unter Benutzung realer Daten für eine konkrete Fallstudie nachzuweisen. Darüber hinaus glückt der Nachweis, dass sich die statischen Verfahren der Preis-Mengen-Steuerung unter bestimmten Randbedingungen auf Produktionsumgebungen übertragen lassen. Die entwickelten Verfahren beschränken sich allerdings auf die Fertigungsstrategie der auftragspezifischen Konfiguration. Darüber hinaus können die Ergebnisse lediglich als erste Indikation für die Vorteilhaftigkeit der Verfahren angesehen werden, da aufgrund der geringen Anzahl an betrachteten Datensätzen auf eine Untersuchung im Hinblick auf die statistische Signifikanz der Ergebnisse verzichtet wird.

Hinsichtlich des Nachweises der Vorteilhaftigkeit des entwickelten Ansatzes zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsüberwachung ist dessen Anwendung in weiteren Fallstudien bzw. Branchen notwendig, um eine breitere Validierung der Ergebnisse zu erhalten. Ziel weiterer Forschungsarbeiten sollte die Erweiterung des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Ansatzes auf die Fertigungsstrategien der Lagerfertigung und der Auftragsfertigung sein. Darüber hinaus können zusätzliche Modellerweiterungen diskutiert werden, um einem breiteren Spektrum an Anwendungsfällen gerecht zu werden. Um zusätzliche Modellerweiterungen oder umfangreichere Modellgrößen erfolgreich lösen zu können wird die Entwicklung und das Testen geeigneter Heuristiken, wie beispielsweise von Simulated Annealing- und Threshold Accepting-Heuristiken, empfohlen. Das Fehlmengenmodell und die Ableitung von Fehlmengenkosten bieten ebenfalls interessante Felder für weitere Untersuchungen. Dabei ist beispielsweise zu analysieren, wie taktische und strategische Überlegungen bei der Priorisierung von Kunden im

Rahmen der Fehlmengenkosten quantifiziert und somit in die Fehlmengenverteilungsentscheidung mit einbezogen werden können. Darüber hinaus bieten die Möglichkeiten der Integration des entwickelten Modells in die Module der kapazitierten Hauptproduktionsprogrammplanung und Losgrößen- und Ablaufplanung weiteren Forschungsbedarf.

Für eine breitere Validierung der Vorteilhaftigkeit des entwickelten Ansatzes zur Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme mit Antizipation sollte dieser in weiteren Fallstudien und Branchen getestet werden. Während im untersuchten Fall der Erlös maximiert wird, können im Rahmen weiterer Betrachtungen ebenfalls taktische und strategische Überlegungen im Rahmen der Fehlmengenkosten mit einbezogen werden. Der Themenkomplex des Revenue Managements bietet zahlreiche weitere Untersuchungsrichtungen. Während sich diese Arbeit aufgrund der vorliegenden Problemstellung auf die statischen Ansätze der Preis-Mengen-Steuerung beschränkt, sollte es das Ziel weiterer Forschungsarbeiten sein, die dynamischen Kontingentierungsverfahren an geeigneten Fallstudien zu testen. Darüber hinaus bieten sich die Verfahren der Preis-Mengen-Steuerung der vernetzten Leistungserstellung für die Fertigungsstrategie der Auftragsfertigung in Verbindung mit der Steuerung über Bid-Preise besonders dann an, wenn die Auftragsannahmeentscheidung von mehreren Ressourcen mit Netzwerkcharakter abhängt. Während im Rahmen dieser Arbeit die Kontingentierung im Anschluss an die kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung auftragsanonym vorgenommen wird, sollte untersucht werden, wie sich die zeitliche und mengenmäßige Stochastizität der Nachfrage direkt in den Prozess des Master Plannings einbinden lässt. Während im Rahmen der vorliegenden Fallstudie die Preisdifferenzierung über regional unterschiedliche Marktpreise vorgegeben war, scheint es sehr vielversprechend, die Relaxation dieser Annahme zu testen und über die Preissetzung in Verbindung mit der Kontingentierung zusätzliche Erlöse zu generieren.⁸²⁴ Während in der untersuchten Fallstudie Bestellungen in der Regel nicht storniert werden, kann diese Annahme im Rahmen geeigneter Fallstudien relaxiert und die Anwendbarkeit der Überbuchungsinstrumente des Revenue Managements analysiert werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass im Rahmen dieser Arbeit ein erster Nachweis der Vorteilhaftigkeit der entwickelten Fehlmengenverteilungsansätze anhand von Realdaten einer Fallstudie gelingt. Besonders im Hinblick auf die Anwendung der Verfahren des Revenue Managements auf die Fragestellungen der Fehlmengenverteilung bei Auftragsannahme bei Sachgüterproduktion besteht weiterer grundsätzlicher Forschungsbedarf.

⁸²⁴ Vgl. Harris/Pinder (1995), S. 299 ff.

Anhang

1 Übersicht über APS-Systeme verschiedener Hersteller

	Strategische Netzwerkplanung	Absatzplanung	Mittelfristige Produktionsplanung	Losgrößen- und Ablaufplanung	Distributions- und Transportplanung	Kollaborierende Planung	Demand Fulfillment
Adexa (ehemals Paragon)	•	•	•	•		•	•
Agilisys	•	•	•	•	o	•	•
Aspen Tech	•	•	•	•	•	•	•
Accom	•	•	•	•	•	•	•
Baan	•	•	•	•	•	•	•
DynaSys		•	•	•	o	•	o
Flexis			•	•			•
GEAC		o	o	•			o
i2 Technologies	•	•	•	•	•	•	•
ICON		•	•	•	o	•	•
Intentia	•		•	•	o	•	•
Manugistics	•	•	•	•	•	•	•
Mapics (ehemals Frontstep)	•	•	•	•	•	•	•
Oracle		•	•	•	•	•	•
Peoplesoft	•	•	•	•	•	•	•
SAP	•	•	•	•	•	•	•

Tabelle 21: Durch APS-Module abgedeckte Planungsprozesse⁸²⁵

⁸²⁵ •: Funktionalität komplett abgedeckt, o: Funktionalität teilweise abgedeckt. Vgl. Kilger/Wetterauer (2005) S. 305.

	Automobil	Bekleidung	Handel	Halbleiter	High Tech	Lebensmittel / Getränke	Logistikdienstleister	Pharmazie/ Chemie
Adexa (ehemals Paragon)	o	•		•	•	o		
Agilisys						•		•
Aspen Tech	o	o		o	o	•		•
Accom	o		•			•	o	o
Baan	•	•	•	•	•	•	•	•
DynaSys	o	o	•		o	•		•
Flexis	•			o	o		o	•
GEAC	•	•	o	o	o	•		•
i2 Technologies	•	•	•	•	•	•	•	•
ICON	•				•			
Intentia	•	•	•		o	•	o	o
Manugistics	•	•	•	•	•	•	•	•
Mapics (ehemals Frontstep)	•	•	•	•	•	o		•
Oracle	•	•	•	•	•	o	o	•
Peoplesoft	•	o			•	•	•	•
SAP	•	•	•	•	•	•	•	•

Tabelle 22: Industriefokus und Referenzen von APS-Anbietern⁸²⁶

⁸²⁶ •: zahlreiche Referenzen für diesen Sektor verfügbar, o: einige Referenzen für diesen Sektor verfügbar. Vgl. Laakmann/Nayabi/Hieber (2003), S. 12, und Busch et al. (2003), S. 75.

2 Algorithmus zur Bestimmung der optimalen Schutzgrenzen (RM OPT)

Zur Formulierung des auf *WOLLMER* zurückgehenden Algorithmus werden folgende Symbole verwendet.⁸²⁷

- s Sitzplatz, mit $s = 1, \dots, S$ und $S =$ Anzahl der Sitzplätze
- i Buchungsklasse, mit $i = 1, \dots, I$ und $I =$ Anzahl der Buchungsklassen
- w, z Hilfsvariablen
- nf_i stochastische Nachfrage für Buchungsklasse i
- pr_i Preis einer Einheit der Buchungsklasse i
- $V_i(s)$ Wertfunktion für Buchungsklasse i , die den optimalen erwarteten Erlös als Funktion der verbleibenden Sitzplätze s angibt
- $\Delta V_i(s)$ erwarteter Marginalwert des s -ten Sitzplatzes der Buchungsklasse i
- $W(a > b)$ Wahrscheinlichkeit, dass $a > b$ ist
- y_i für Buchungsklasse i und alle höherwertigen Buchungsklassen ($i - 1, i - 2, \dots, 1$) reservierte Kapazität (geschachtelte Schutzgrenze)

Der Algorithmus besteht aus folgenden Schritten:

1. Setze $\Delta V_1(s) = pr_1 * W(nf_1 \geq s)$ und $V_1(s) = \sum_{z=0}^s \Delta V_1(z)$ für alle $s = 1, \dots, S$
2. Setze $i = 2$
3. Finde $y_i = \lceil \max s | pr_i < \Delta V_{i-1} \rceil$
4. Für $s \leq y_i$ setze $V_i(s) = V_{i-1}(s)$
5. Setze $w = 1$ und $\bar{V} = V(y_i)$
6. Setze $\bar{V} = \bar{V} + pr_i * W(nf_m \geq w)$

⁸²⁷ Vgl. Wollmer (1992), S. 26

7. Setze $V(y_i + w) = \bar{V} + \sum_{z=0}^{w-1} \Delta V_{i-1}(y_i + w - z) * W(nf_i \leq z)$

8. Setze $\Delta V(y_i + w) = V(y_i + w) - V(y_i + w - 1)$

9. Falls $y_i + w = S$, dann gehe zu Schritt 10. Andernfalls erhöhe w um 1 und gehe zu Schritt 6.

10. Wenn $i = I$, beende den Algorithmus. Andernfalls erhöhe i um 1 und gehe zu Schritt 3.

3 Vergleich der optimalen Lösung der Clusterformulierung K-Medoid mit der PAM-Heuristik

/	Datensatz				
	D1	D2	D3	D4	D5
2	-	-	-	-	-
3	-	0,687%	-	-	-
4	-	0,450%	1,010%	0,926%	-
5	0,758%	1,925%	0,860%	1,135%	0,407%
6	0,578%	0,533%	2,320%	1,582%	0,617%
7	0,980%	2,464%	4,648%	1,995%	2,341%
8	0,850%	2,934%	9,663%	4,009%	2,711%
9	0,654%	7,310%	19,145%	4,363%	4,511%
10	1,908%	21,678%	33,197%	13,946%	18,332%
11	3,125%	27,935%	47,157%	18,715%	18,550%
12	6,218%	38,605%	48,217%	22,802%	25,421%
13	18,868%	54,497%	85,183%	26,577%	25,662%
14	33,083%	80,982%	106,398%	51,333%	32,682%
15	44,828%	102,837%	123,080%	76,988%	76,252%
16	72,340%	124,615%	138,098%	120,051%	86,125%
17	84,810%	138,596%	188,844%	138,401%	172,157%
18	129,231%	189,011%	210,915%	220,035%	202,388%
19	159,615%	217,722%	276,000%	244,710%	203,768%
20	230,769%	254,412%	254,412%	271,876%	234,523%

Tabelle 23: Verschlechterung des Zielfunktionswertes von KM PAM gegenüber KM OPT in Abhängigkeit von der Klassenanzahl /

/	Datensatz				
	D1	D2	D3	D4	D5
2	-	-	-	-	-
3	-	0,010%	-	-	-
4	-	0,073%	0,062%	0,026%	-
5	0,007%	0,072%	0,029%	0,047%	0,009%
6	0,034%	0,060%	0,029%	0,048%	0,043%
7	0,024%	0,008%	0,031%	0,008%	0,028%
8	0,089%	0,022%	0,078%	0,022%	0,119%
9	0,074%	0,020%	0,056%	0,020%	0,105%
10	0,024%	0,087%	0,025%	0,087%	0,029%
11	0,034%	0,043%	0,045%	0,043%	0,039%
12	0,027%	0,042%	0,058%	0,042%	0,037%
13	0,023%	0,030%	0,039%	0,030%	0,025%
14	0,097%	0,178%	0,050%	0,178%	0,108%
15	0,042%	0,124%	0,069%	0,124%	0,055%
16	0,044%	0,179%	0,061%	0,179%	0,064%
17	0,080%	0,069%	0,141%	0,169%	0,092%
18	0,085%	0,241%	0,066%	0,241%	0,126%
19	0,172%	0,195%	0,027%	0,195%	0,186%
20	0,099%	0,229%	0,146%	0,229%	0,130%

Tabelle 24: Prozentuale Verschlechterung des mithilfe von KM PAM für RMS realisierten Periodengesamterlöses gegenüber KM OPT in Abhängigkeit von der Klassenanzahl /

Literaturverzeichnis

- Agrawal, R. / Gehrke, J. / Gunopulos, D. / Raghavan, R. (1998):** Automatic Subspace Clustering of High Dimensional Data for Data Mining Applications, in: Proceedings of the ACM SIGMOD Conference on Management of Data, S. 94 - 104.
- Albers, G. / Guibas, L. J. / Michell, J. S. / Roos, T. (1998):** Voronoi Diagrams of Moving Points, in: International Journal of Computational Geometry & Applications, 8 (1998) 3, S. 365 - 379.
- Alscher, J. / Schneider, H. (1981):** Zur gemeinsamen Festlegung von Lieferbereitschaft, Kapitalbindung, Handling- und Lagerkapazität für ein Mehrproduktlager, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 51 (1981) 2, S. 180 - 200.
- Alscher, J. / Schneider, H. (1982):** Zur Interdependenz von Fehlmengenkosten und Servicegrad, in: Kostenrechnungspraxis, 26 (1982) 6, S. 257 - 271.
- Alsène, É. (2007):** ERP Systems and the Coordination of the Enterprise, in: Business Process Management Journal, 13 (2007) 3, S. 417 - 432.
- Alstrup, J. / Boas, S. / Madsen, O. / Vidal, R. (1986):** Booking Policy for Flights with two Types of Passengers, in: European Journal of Operational Research, 27 (1986) 1, S. 274 - 288.
- Alstrup, J. / Andersson, S. E. / Boas, S. / Madsen, O. / Vidal, R. (1989):** Booking Control increases Profit at Scandinavian Airlines, in: Interfaces, 19 (1989) 4, S. 10 - 19.
- Anderberg, M. R. (1973):** Cluster Analysis for Applications, New York: Academic Press.
- Anderson, J. C. / Narus, J. A. (1999):** Business Market Management: Understanding, Creating, and Delivering Value, London u. a.: Prentice Hall.
- Angelelli, E. / Mansini, R. (2002):** The Vehicle Routing Problem with Time Windows and Simultaneous Pick-Up and Delivery, in: Klose, A. / Speranza, M. G. / Van Wassenhove, L. N (Hrsg.): Quantitative Approaches to Distribution Logistics and Supply Chain Management, Berlin u. a.: Springer, S. 249 - 267.

- Angeli, R. (2002):** Aufbau und Koordination dynamischer Unternehmensnetzwerke, in: Bundesvereinigung Logistik (Hrsg.): Wissenschaftssymposium Logistik der Bundesvereinigung Logistik, München: Huss, S. 537 - 549.
- Arenberg, Y. (1991):** Reservations and Overbooking, in: Eastern Economic Journal, 17 (1991) 1, S. 100 - 108.
- Ashayeri, J. / Selen, W. J. (2001):** Order Selection Optimization in Hybrid Make-to-Order and Make-to-Stock Markets, in: Journal of the Operational Research Society, 52 (2001) 8, S. 1098 - 1106.
- Ausborn, M. (2003):** Mehrstufige Planung kapazitierter Produktionsnetzwerke, Dissertation, Berlin: Logos.
- Axsäter, S. (1979):** On the Design of the Aggregate Model in a Hierarchical Production Planning System, in: Engineering and Process Economics, 4 (1979) 1, S. 89 - 97.
- Bacher, J. (1996):** Clusteranalyse: Anwendungsorientierte Einführung, 2. Auflage, München u. a.: Oldenbourg.
- Backhaus, K. / Erichson, B. / Plinke, W. / Weiber, R. (2006):** Multivariate Analysemethoden, 11. Auflage, Berlin: Springer.
- Badinelli, R. D. (2000):** An Optimal Dynamic Policy for Hotel Yield Management, in: European Journal of Operational Research, 121 (2000) 3, S. 476 - 503.
- Badinelli, R. D. / Olsen, M. D. (1990):** Hotel Yield Management using Optimal Decision Rules, in: Journal of the International Hospitality Research, 1 (1990) 1, S. 1 - 38.
- Balakrishnan, N. / Geunes, J. (2000):** Requirements Planning with Substitutions: Exploring Bill-of-Materials Flexibility in Production Planning, in: Manufacturing & Service Operations Management, 2 (2000) 2, S. 166 - 185.
- Balakrishnan, N. / Patterson, J. W. / Sridharan, V. (1999):** Robustness of Capacity Rationing Policies, in: European Journal of Operational Research, 115 (1999) 2, S. 328 - 338.
- Balakrishnan, N. / Sridharan, V. / Patterson, J. W. (1996):** Rationing Capacity between two Product Classes, in: Decision Sciences, 27 (1996) 2, S. 185 - 214.

- Ball, M. O. / Chen, C.-Y. / Zhao, Z.-Y. (2004):** Available to Promise, in: Simchi-Levi, D. / Wu, D. / Shen, M. (Hrsg.): Handbook of Quantitative Supply Chain Analysis: Modelling in the E-Business Era, Bosten u. a.: Kluwer, S. 447 - 483.
- Barth, J. E. (2002):** Yield Management: Opportunities for Private Club Managers, in: International Journal of Contemporary Hospitality Management, 14 (2002) 3, S. 136 - 141.
- Bartsch, H. / Bickenbach, P. (2002):** Supply Chain Management mit SAP APO: Supply-Chain-Modelle mit dem Advanced Planner & Optimizer 3.1, 2. Auflage, Bonn: Galileo Press.
- Battiti, R. / Tecchiolli, G. (1994):** The Reactive Tabu Search, in: INFORMS Journal of Computing, 6 (1994) 2, S. 126 - 140.
- Baumgarten, H. / Darkow, I.-L. (1999):** Gestaltung und Optimierung von Logistiknetzwerken, in: Hossner, R. (Hrsg.): Jahrbuch der Logistik 1999, Düsseldorf: Verlagsgruppe Handelsblatt, S. 146 - 150.
- Bechtel, C. / Jayaram, J. (1997):** Supply Chain Management: A Strategic Perspective, in: The International Journal of Logistics Management, 8 (1997) 1, S. 15 - 34.
- Beckman, J. J. (1958):** Decision Team Problems in Airline Reservation, in: Econometrica, 26 (1958) 1, S. 134 - 145.
- Beckmann H. (2004):** Supply Chain Management: Grundlagen, Konzept und Strategien, in: Beckmann, H. (Hrsg.): Supply Chain Management: Strategien und Entwicklungstendenzen in Spitzenunternehmen, Berlin u. a.: Springer, S. 1 - 97.
- Bellman, R. E. (1957):** Dynamic Programming, Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Belobaba, P. P. (1987):** Airline Yield Management: An Overview of Seat Inventory Control, in: Transportation Science, 21 (1987) 2, S. 63 - 73.
- Belobaba, P. P. (1989):** Application of a Probabilistic Decision Model to Airline Seat Inventory Control, in: Operations Research, 37 (1989) 2, S. 183 - 197.

- Belobaba, P. P. (1992):** Optimal vs. Heuristic Methods for Nested Seat Allocation, in: Presentation to AGIFORS Yield Management Study Group Meeting, Brüssel.
- Belobaba, P. P. / Weatherford, L. R. (1996):** Comparing Decision Rules that Incorporate Customer Diversion in Perishable Asset Revenue Management Situations, in: Decision Science, 27 (1996) 2, S. 343 - 363.
- Bertsch, L. H. (1996):** Yield Management, in: Kern, W. / Schröder, H. H. / Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 2257 - 2270.
- Bertsimas, D. / Popescu, I. (2003):** Revenue Management in a Dynamic Networking Environment, in: Transportation Science, 37 (2003) 3, S. 257 - 277.
- Betge, D. (2006):** Koordination in Advanced Planning and Scheduling-Systemen, Dissertation, Wiesbaden: Deutscher Universitäten-Verlag.
- Bhatia, A. V. / Parekh, S. C. (1973):** Optimal Allocation of Seats by Fare, Presentation to AGIFORS Reservations Study Group, Trans World Airlines.
- Bitran, G. R. / Gilbert, S. M. (1996):** Managing Hotel Reservations with Uncertain Arrivals, in: Operations Research, 44 (1996) 1, S. 35 - 49.
- Bitran, G. R. / Mondschein, S. V. (1995):** An Application of Yield Management to the Hotel Industry Considering Multiple Day Stays, in: Operations Research, 43 (1995) 3, S. 427 - 443.
- Bitran, G. R. / Tirupati, D. (1993):** Hierarchical Production Planning, in: Graves, S. C. et al. (Hrsg.): Handbooks in Operations Research and Management Science, Volume 4, Logistics of Production and Inventory, Amsterdam u. a.: North-Holland, S. 523 - 570.
- Bodily, S. / Pfeifer, P. E. (1992):** Overbooking Decision Rules, in: Omega, 20 (1992) 1, S. 129 - 133.
- Bodily, S. / Weatherford, L. (1995):** Perishable-Asset Revenue Management: Generic and Multiple-Price Yield Management with Diversion, in: Omega, 23 (1995) 2, S. 173 - 186.

- Bölzing, D. (2000):** "e-Logistics": Internetbasierte Logistikprozesse und -dienstleistungen für effizientes Supply Chain Management, in: Pfohl, H.-C. (Hrsg.): Supply Chain Management: Logistik plus?, Darmstadt: Erich-Schmidt, S. 107 - 138.
- Bogaschewsky, R. (1996):** Losgrößen, in: Kern, W. / Schröder, H. J. / Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 1141 - 1158.
- Botimer, T. C. (2000):** Airline Fare Product Design in the Context of Yield Management, in: International Journal of Services Technology and Management, 1 (2000) 1, S. 100 - 113.
- Botimer, T. C. / Belobaba, P. P. (1999):** Airline Pricing and Fare Product Differentiation: A New Theoretical Framework, in: Journal of the Operational Research Society, 50 (1999) 11, S. 1085 - 1097.
- Bovet, D. / Sheffi, Y. (1998):** The Brave New World of Supply Chain Management, in: Supply Chain Management Review, 2 (1998) 1, S. 14 - 22.
- Bowersox, D. J. (1969):** Physical Distribution Development, Current Status, and Potential, in: Journal of Marketing, 33 (1969) 1, S. 63 - 70.
- Bradley, P. S. / Fayyad, U. M. (1998):** Refining Initial Points for k-Means Clustering, in: Shavlik, J. (Hrsg.): Proceedings of the 15th International Conference of Machine Learning, San Francisco: Kaufmann, S. 91 - 99.
- Brumelle, S. L. / McGill, J. I. (1993):** Airline Seat Allocation with Multiple Nested Fare Classes, in: Operations Research, 41 (1993) 1, S. 127 - 137.
- Brumelle, S. L. / McGill, J. I. / Oum, T. H. / Tretheway, M. W. / Sawaki, K. (1990):** Allocation of Airline Seats between Stochastic Dependent Demands, in: Transportation Science, 24 (1990) 3, S. 183 - 192.
- Büschken, J. / von Thaden, C. (1999):** Clusteranalyse, in: Herrmann, A. / Homburg, C. (Hrsg.): Marktforschung, 2. Auflage, Wiesbaden: Gabler, S. 339 - 380.
- Busch, A. / Dangelmaier, W. / Pape, U. / Rüther, M. (2003):** Marktspiegel Supply Chain Management Systeme: Potentiale, Konzepte und Anbieter im Vergleich, Wiesbaden: Gabler.

- Buscher, R. / Jelken, O. (2000):** ERP- und APS-Systeme: Von der Pflicht zur Kür, in: Logistik Heute, 5 (2000) 4, S. 64 - 66.
- Buse, H. P. (1997):** Wandelbarkeit von Produktionsnetzen: Auswirkungen auf die Gestaltung des interorganisatorischen Logistiksystems, in: Dangelmaier, W. (Hrsg.): Vision Logistik: Logistik wandelbarer Produktionsnetze, Paderborn: HNI-Verlagsschriftreihe (Band 31), S. 71 - 139.
- Buxmann, P. / König, W. (2000):** Zwischenbetriebliche Kooperationen auf Basis von SAP-Systemen, Berlin u. a.: Springer.
- Cerny, V. (1985):** Thermodynamical Approach to the Traveling Salesman Problem: An Efficient Simulation Algorithm, in: Journal of Optimization Theory and Applications, 45 (1985) 1, S. 41 - 51.
- Chakrabarti, S. (2002):** Mining the Web: Discovering Knowledge from Hypertext Data, San Francisco: Morgan-Kaufmann.
- Chang, Y. S. / Niland, P. (1967):** A Model for Measuring Stock Depletion Costs, in: Operations Research, 15 (1967) 3, S. 427 - 447.
- Chapman, S. W. / Carmel, J. I. (1992):** Demand/Capacity Management in Health Care: An Application of Yield Management, in: Health Care Management Review, 17 (1992) 4, S. 45 - 54.
- Chatwin, R. E. (1996):** Multi-Period Airline Overbooking with Multiple Fair Classes, in: Naval Research Logistics, 43 (1996) 5, S. 603 - 612.
- Chatwin, R. E. (1998):** Multi-Period Airline Overbooking with a Single Fair Class, in: Operations Research, 46 (1998) 6, S. 805 - 819.
- Chatwin, R. E. (2000):** Optimal Dynamic Pricing of Perishable Products with Stochastic Demand and a Finite Set of Prices, in: European Journal of Operational Research, 125 (2000) 1, S. 149 - 175.
- Chen, M. (2006):** Coordinating Demand Fulfillment with Supply across a Dynamic Supply Chain, Dissertation, Graduate School of the University of Maryland, College Park.

- Chen, C.-Y. / Zhao, Z. / Ball, M. O. (2001):** Quantity and Due Date Quoting Available-to-Promise, in: Information Systems Frontiers, 3 (2001) 4, S. 477 - 488.
- Chen, C.-Y. / Zhao, Z. / Ball, M. O. (2002):** A Model for Batch Advanced Available-to-Promise, in: Production and Operations Management, 11 (2002), 4, S. 424 - 440.
- Chen, Z. (2001):** Data Mining and Uncertain Reasoning: An Integrated Approach, New York: John Wiley & Sons.
- Cheng, T. / Gupta, M. (1989):** Survey of Scheduling Research involving Due-Date Determination Decisions, in: European Journal of Operational Research, 38 (1989) 2, 156 - 166.
- Christopher, M. (2005):** Logistics and Supply Chain Management: Creating Value-adding Networks, 3. Auflage, London: Prentice Hall.
- Ciancimino, A. / Inzerillo, G. / Lucidi, S. / Palagi, L. (1999):** An Algorithm for Solving the Nonlinear Programming Formulation of the Railway Yield Management Problem, in: Transportation Science, 33 (1999) 2, S. 168 - 181.
- Cohen, M. A. / Kleindorfer, P. R. / Lee, H. L. (1988):** Service Constrained (s, S) Inventory System with Priority Demand Classes and Lost Sales, in: Management Science, 34 (1988) 4, S. 482 - 499.
- Cook, D. P. / Goh, C.-H. / Chung, C. H. (1999):** Service Topologies: A State of the Art Survey, in: Production and Operations Management, 8 (1999) 3, S. 318 - 338.
- Corsten, H. (2004):** Produktionswirtschaft: Einführung in das industrielle Produktionsmanagement, 10. Auflage, München: Oldenbourg.
- Corsten, H. / Gössinger, R. (2001a):** Advanced Planning Systems: Eine kritische Analyse aus planungsmethodischer Sicht, in: Corsten, H. (Hrsg.): Schriften zum Produktionsmanagement, Kaiserslautern: Universität Kaiserslautern.
- Corsten, H. / Gössinger, R. (2001b):** Einführung in das Supply Chain Management, München u. a.: Oldenbourg.

- Corsten, H. / Stuhlmann, S. (1998):** Yield Management : ein Ansatz zur Kapazitätsplanung und -steuerung in Dienstleistungsunternehmen, in: Schriften zum Produktionsmanagement, 18 (1998) 1, Kaiserslautern: Universität Kaiserslautern.
- Coughlan, J. (1999):** Airline Overbooking in the Multi-Class Case, in: Journal of the Operational Research Society, 50 (1999) 11, S. 1098 - 1103.
- Coy, P. (2000):** The Power of Smart Pricing: Companies are fine-tuning their Price Strategies, and it's paying off, in: Business Week, (2000) April 10, S. 160 - 164.
- Croom, S. / Romano, P. / Giannakis, M. (2000):** Supply Chain Management: An Analytical Framework for Critical Literature Review, in: European Journal of Purchasing and Supply Management, 6 (2000) 1, S. 67 - 83.
- Cross, R. (1995):** An Introduction to Revenue Management, in: Jenkins, D. (Hrsg.): Handbook of Airline Economics, New York: McGraw-Hill, S. 443 - 458.
- Curry, R. E. (1990):** Optimal Airline Seat Allocation with Fare Classes nested by Origins and Destinations, in: Transportation Science, 24 (1990) 2, S. 193 - 204.
- Darr, W. (1992):** Integrierte Marketing-Logistik: Auftragsabwicklung als Element der marketing-logistischen Strukturplanung, Dissertation, Wiesbaden: Deutscher Universitäten-Verlag.
- Defregger, F. / Kuhn, H. (2003):** Revenue Management in Manufacturing, in: Ahr, D. et al. (Hrsg.): Operations Research Proceedings 2003, Berlin: Springer, S. 17 - 22.
- Delfmann, W. (1987):** Das Steiner-Weber-Modell, in: WISU: das Wirtschaftsstudium, 16 (1987) 6, S. 291 - 293.
- Delfmann, W. (1995):** Logistische Segmentierung: Ein modellanalytischer Ansatz zur Gestaltung logistischer Auftragszyklen, in: Albach, H. / Delfmann, W. (Hrsg.): Dynamik und Risikofreude in der Unternehmensführung, Wiesbaden: Gabler, S. 171 - 202.
- Delfmann, W. / Darr, W. / Simon, R.-P. (1990):** Grundlagen der Marketing-Logistik, Arbeitspapier Nr. 85 des Seminars für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Betriebswirtschaftliche Planung und Logistik der Universität zu Köln.

- Dellaert, N. (1989):** Production to Order: Models and Rules for Production Planning, Berlin u. a.: Springer.
- Derstroff, M. (1995):** Mehrstufige Losgrößenplanung mit Kapazitätsbeschränkungen, Dissertation, Heidelberg: Physica.
- Desiraju, R. / Shugan, S. M. (1999):** Strategic Service Pricing and Yield Management, in: Journal of Marketing, 63 (1999) 1, S. 44 - 56.
- De Véricourt, F. / Karaesmen, F. / Dallery, Y. (2002):** Optimal Stock Allocation for a Capacitated Supply System, in: Management Science, 48 (2002) 11, S. 1486 - 1501.
- Dickersbach, J. T. (2004):** Supply Chain Management with APO, Berlin u. a.: Springer.
- Dietel, A. (1997):** Lieferserviceorientierte Distributionslogistik: Fallstudienbasierte Untersuchung in der Bauzulieferindustrie, Dissertation, Wiesbaden: Gabler.
- Dörband, R. / Homann, K. / Reichetseder, P. (2003):** Revenue Management: Preismodell zur Vermarktung von Transport- und Speicherkapazitäten in der Gaswirtschaft, in: Das Gas- und Wasserfach, 144 (2003) 2, S. 124 - 131.
- Domschke, W. (1997):** Logistik: Rundreisen und Touren, 4. Auflage, München: Oldenbourg.
- Domschke, W. / Klein, R. / Petrick, A. (2005):** Revenue Management: Instrumente zur Erlösmaximierung im Luftverkehr, in: Thema Forschung, 3 (2005) 1, Darmstadt: Universität Darmstadt, S. 46 - 50.
- Domschke, W. / Scholl, A. (2006):** Heuristische Verfahren, Arbeits- und Diskussionspapier der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena.
- Domschke, W. / Scholl, A. / Voß, S. (1997):** Produktionsplanung: Ablauforganisatorische Aspekte, 2. Auflage. Berlin u. a.: Springer.
- Dorloff, F.-D. / Roth, P. (1985):** Service- und Materialmanagement: Fälle, Konzepte, Instrumente, Wiesbaden: Gabler.
- Downsland, K. A. (1995):** Simulated Annealing, in: Reeves, C. R. (Hrsg.): Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems, Berkshire: McGraw-Hill, S. 20 - 89.

- Drexl, A. / Fleischmann, B. / Günther, H.-O. / Stadtler, H. / Tempelmeier, H. (1994):** Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 46 (1994) 6, S. 1022 - 1045.
- Dror, M. / Trudeau, P. / Ladany, S. P. (1988):** Network Models for Seat Allocations of Flights, in: Transportation Research, 22 (1988) 4, S. 239 - 250.
- Dudek, G. / Rohde, J. / Sürie, C. (2002):** Advanced Planning Systems: Lösungsverfahren und Modellierung, in: Industrie Management, 18 (2002) 6, S. 49 - 52.
- Dueck, G. / Scheuer, T. (1990):** Threshold Accepting: A General Purpose Optimization Algorithm appearing Superior to Simulated Annealing, in: Journal of Computational Physics, 90 (1990) 1, S. 161 - 175.
- Duenyas, I. (1995):** Single Facility Due Date Setting with Multiple Customer Classes, in: Management Science, 41 (1995) 4, S. 608 - 619.
- Duenyas, I / Hopp, W. J. (1995):** Quoting Customer Lead Times, in: Management Science, 41 (1995) 1, S. 43 - 57.
- Dunn, K. D. / Brooks, D. E. (1990):** Profit Analysis: Beyond Yield Management, in: Cornell Hotel and Restaurant Administrations Quarterly, 31 (1990) 3, S. 80 - 90.
- Eggert, S. (2007):** Marktübersicht zum Thema ERP-Systeme im Dienstleistungssektor, in: ERP Management, 3 (2007) 4, S. 25 - 32.
- Elimam, A. A. / Dodin, B. M. (2001):** Incentives and Yield Management in improving Productivity of Manufacturing Facilities, in: IIE Transactions, 33 (2001) 6, S. 449 - 462.
- Ellinger, T. / Beuermann, G. / Leisten, R. (2003):** Operations Research: Eine Einführung, 6. Auflage, Berlin u. a.: Springer.
- Ellram, L. M. (1991):** Supply Chain Management: The Industrial Organization Perspective, in: International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 21 (1991) 1, S.13 - 22.

- Ellram, L. M. / Cooper, M. C. (1990):** Supply Chain Management, Partnerships, and the Shipper-Third Party Relationship, in: International Journal of Logistics Management, 1 (1990) 2, S. 1 - 10.
- Ervolina, T. / Dietrich, B. (2001):** Moving towards Dynamic Available-to-Promise, in: Gass, S. / Jones, A. T. (Hrsg.): Supply Chain Management Practics and Research, University of Maryland, S. 1 - 19.
- Falkson, L. M. (1969):** Airline Overbooking: Some comments, in: Journal of Transportation Economics and Policy, 3 (1969) 1, S. 352 - 354.
- Faßnacht, M. / Homburg, C. (1997):** Preisdifferenzierung als Instrument eines Kapazitätsmanagements, in: Corsten, H. / Stuhlmann, S. (Hrsg.): Kapazitätsmanagement in Dienstleistungsunternehmen, Wiesbaden: Gabler, S. 137 - 153.
- Fasulo, D. (1999):** An Analysis of Recent Work on Clustering Algorithms, Technical Research Report, Seattle: University of Washington.
- Feng, Y. / Gallego, G. (1995):** Optimal Starting Times for End of the Season Sales and Optimal Stopping Time for Promotional Fares, in: Management Science, 41 (1995) 8, S. 1371 - 1391.
- Feng, Y. / Xiao, B. (1999):** Maximizing Revenue of Perishable Assets with Risk Analysis, in: Operations Research, 47 (1999) 2, S. 337 - 341
- Feng, Y. / Xiao, B. (2001):** A Dynamic Airline Seat Inventory Control and its Optimal Policy, in: Operations Research, 49 (2001) 6, S. 938 - 949.
- Fischer, M. (2001):** „Available-to-Promise“: Aufgaben und Verfahren im Rahmen des Supply Chain Management, Regensburg: Roderer.
- Fleischmann, B. (1988):** Operations-Research-Modelle und -Verfahren in der Produktionsplanung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 58 (1988) 4, S. 347 - 372.
- Fleischmann, B. (2005):** Distribution and Transportation Planning, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer: S. 215 - 244.

- Fleischmann, B. / Meyr, H. (2003a):** Customer Orientation in Advanced Planning Systems, in: Dyckhoff, H. / Lackes, R. / Reese, J. (Hrsg.): Supply Chain Management and Reverse Logistics, Berlin u. a.: Springer, S. 297 - 321.
- Fleischmann, B. / Meyr, H. (2003b):** Optimierungsmethoden in Advanced Planning Systemen, Präsentation, Arbeitsgruppe Supply Chain Management, Frankfurt, 23. Mai 2003.
- Fleischmann, B. / Meyr, H. / Wagner, M. (2005):** Advanced Planning, in: Stadler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 81 - 106.
- Fogarty, D. W. / Barringer, R. L. (1984):** The Available-to-Promise (ATP) quantity, in: APICS International Conference Proceedings, 1984, S. 153 - 156.
- Fogarty, D. W. / Blackstone, J. H. / Hoffmann, T. R. (1991):** Production & Inventory Management, 2. Auflage, Ohio: South Western Educational Publishing.
- Fordyce, K. J. / Sullivan, G. A. (1999):** Supply Chain Management, Decision Technology, and e-Business Information Technology at IBM Microelectronics, in: MicroNews, 5 (1999) 4, S. 18 - 21.
- Forrester, J. W. (1958):** Industrial Dynamics: A Major Breakthrough for Decision Makers, in: Harvard Business Review, 36 (1958) 4, S. 37 - 66.
- Framiñán, J. M. / Leisten, R. (2006):** Available-to-Promise Systems: Review and a Framework for Analysis, Working Paper, Duisburg: Universität Duisburg-Essen.
- Friend, S. C. / Walker, P. H. (2001):** Welcome to the New World of Merchandising, in: Harvard Business Review, 79 (2001) 11, S. 133 - 141.
- Gallego, G. / Van Ryzin, G. (1993):** Optimal Dynamic Pricing of Inventories with Stochastic Demand over Finite Horizons, in: Management Science, 40 (1994) 8, S. 999 - 1020.
- Gallego, G. / Van Ryzin, G. (1997):** A Multiple Product Dynamic Pricing Problem with Applications to Network Yield Management, in: Operations Research, 45 (1997) 1, S. 24 - 41.

- Gallien, J. / Tallec, Y. L. / Schoenmeyr, T. (2004):** A Model for Make-to-Order Revenue Management, Working Paper, Cambridge, Massachusetts: MIT Sloan School of Management.
- Garcia-Diaz, A. / Kuyumcu, A. (2000):** A Cutting-Plane Procedure for Maximizing Revenues in Yield Management, in: Computers and Industrial Engineering, 33 (2000) 1, S. 51 - 54.
- Gaul, W. / Baier, D. (1994):** Marktforschung und Marketing-Management: computerbasierte Entscheidungsunterstützung, 2. Auflage, München: Oldenbourg.
- Geraghty, M. K. / Johnson, E. (1997):** Revenue Management saves National Car Rental, in: Interfaces, 27 (1997) 1, S. 107 - 127.
- Girard, G. (2000):** Revenue Management: The Price can't be right if the Tools aren't, Technical Report, Boston, Massachusetts: AMR Research Inc.
- Glover, F. / Glover, R. / Lorenzo, J. / McMillan, C. (1982):** The Passenger-Mix Problem in the Scheduled Airlines, in: Interfaces, 12 (1982) 3, S. 73 - 80.
- Glover, F. / Laguna, M. (1995):** Tabu Search, in: Reeves, C. R. (Hrsg.): Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems, Hamburg u. a.: McGraw-Hill, S. 70 - 141.
- Göpfert, I. / Kummer, S. / Weber, J (1993):** Logistik-Kennzahlen in der Praxis, in: Weber, J. (Hrsg.): Praxis des Logistik-Controlling, Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Hochschule für Unternehmensführung Koblenz, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 233 - 251.
- Goetschalckx, M. / Fleischmann, B. (2005):** Strategic Network Planning, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 179 - 195.
- Gollwitzer, M. / Karl, R. (1998):** Logistik-Controlling: Wirkungszusammenhänge – Leistung, Kosten, Durchlaufzeiten und Bestände, München: Langen Müller/Herbig.
- Gonzales, T. F. (1985):** Clustering to Minimize the Maximum Intercluster Distance, in: Theoretical Computational Science, 38 (1985) 12, S. 293 - 306.
- Gould, J. (1978):** Inventories and Stochastic Demand: Equilibrium Models of the Firm and Industry, in: Journal of Business, 51 (1978) 1, S. 1 - 42.

- Griffin, R. K. (1995):** A Categorization Scheme for Critical Success Factors of Lodging Yield Management Systems, in: International Journal of Hospitality Management, 14 (1995) 3, S. 375 - 395.
- Grochla, E. (1978):** Grundlagen der Materialwirtschaft, 3. Auflage, Wiesbaden: Gabler.
- Groffmann, H. D. (1997):** Das Data Warehouse Konzept, in: HMD: Praxis der Wirtschaftsinformatik, 34 (1997) 195, S. 8 - 17.
- Gronau, N. (2007):** Der Wettbewerb "ERP-System des Jahres", in: ERP Management, 3 (2007) 1, S. 22 - 25.
- Günther, H.-O. (2005):** Supply Chain Management and Advanced Planning Systems: A Tutorial, in: Günther, H.-O. / Mattfeld, D.-C. / Suhl, L. (Hrsg.): Supply Chain Management und Logistik: Optimierung, Simulation, Decision Support, Heidelberg: Physica, S. 3 - 40.
- Günther, H.-O. / Tempelmeier, H. (2005):** Produktion und Logistik, 5. Auflage, Berlin u. a.: Springer.
- Gupta, D. / Wang, L. (2004):** Manufacturing Capacity Revenue Management, Working Paper, Minneapolis: University of Minnesota.
- Guttman-Beck, N. / Hassin, R. (1998):** Approximation Algorithms for Min-Sum p-Clustering, in: Discrete Applied Mathematics, 89 (1998) 1, S. 125 - 142.
- Ha, A. Y. (1997a):** Optimal Dynamic Scheduling Policy for a Make-to-Stock Production System, in: Operations Research, 45 (1997) 1, S. 42 - 53.
- Ha, A. Y. (1997b):** Inventory Rationing in a Make-to-Stock Production System with Several Demand Classes and Lost Sales, in: Management Science, 43 (1997) 8, S. 1093 - 1103.
- Hackelbusch, R. (2005):** Kooperatives Planen im Kontext von Transportplanung, Oldenburg: Universität Oldenburg.
- Häder, M. / Häder, S. (1994):** Die Grundlagen der Delphi Methode: Ein Literaturbericht, ZUMA-Arbeitsbuch 94/2, Mannheim: ZUMA.
- Hahn, D. (2000):** Problemfelder des Supply Chain Management, in: Wildemann, H. (Hrsg.): Supply Chain Management, München u.a.: Transfer-Centrum, S. 9 - 19.

- Han, J. / Kamber, M. (2001):** Data Mining: Concepts and Techniques, London: Academic Press.
- Hanks, R. D. / Cross, R. G. / Noland, R. P. (1992):** Discounting in the Hotel Industry, in: Cornell Hotel and Restaurant Administrations Quarterly, 33 (1992) 3, S. 15 - 23.
- Harris, F. H. (1987):** Competing Theories of Firm Decision-Making under Risk, in: South Economic Journal, 54 (1987) 2, S. 271 - 285.
- Harris, F. H. / Peacock, P. (1995):** "Hold my Place, please", in: Marketing Management, 4 (1995) 2, S. 34 - 45.
- Harris, F. H. / Pinder, J. P. (1995):** A Revenue Management Approach to Demand Management and Order Booking in Assembly-to-Order Manufacturing, in: Journal of Operations Management, 13 (1995) 4, S. 299 - 309.
- Hartigan, J. A. (1975):** Clustering Algorithms, New York u. a.: John Wiley & Sons.
- Hartley, S. / Maslin, S. (2007):** ARC Group: Future Mobile Handset: Worldwide Technology & Market Developments 2007 - 2012, Industry Report, London: Portland Place.
- Hax, A. C. / Meal, H. C. (1975):** Hierarchical Integration of Production Planning and Scheduling, in: Geisler, M. A. (Hrsg.): Logistics, TIMS Studies in Management Science, Vol. 1, Amsterdam: North-Holland, S. 53 - 69.
- Hegedus, M. G. / Hopp, W. J. (2001):** Due Date Setting with Supply Constraints in Systems using MRP, in: Computers & Industrial Engineering, 39 (2001) 3, S. 293 - 305.
- Henning, A. (2002):** Praktische Job-Shop Scheduling-Probleme, Dissertation, Jena: Universität Jena.
- Hieber, R. (2002):** Supply Chain Management: A Collaborative Performance Measurement Approach, Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Hillier, F. S. / Liebermann, G. J. (1990):** Introduction to Operations Research, 5. Auflage, New York: McGraw-Hill.
- Hochbaum, D. S. / Shmoys, D. B. (1986):** A Unified Approach to Approximation Algorithms for Bottleneck Problems, in: Journal of the Association for Computing Machinery, 33 (1986) 3, S. 533 - 550.

- Hoekstra, S. / Romme, J. (1992):** Integral Logistic Structures: Developing Customer Oriented Goods Flow, New York: McGraw-Hill.
- Hölscher, R. (2002):** Von der Versicherung zur integrativen Risikobewältigung: Die Konzeption eines modernen Risikomanagements, in: Hölscher, R. / Efgem, R. (Hrsg.): Herausforderung Risikomanagement, Wiesbaden: Gabler, S. 3 - 31.
- Hoitsch, H. (1993):** Produktionswirtschaft, 2. Auflage, München: Vahlen.
- Hopp, W. J. / Spearman, M. L. (2008):** Factory Physics, 3. Auflage, Boston u. a.: McGraw-Hill.
- Hopp, W. J. / Sturgis, M. L. (2000):** Quoting Manufacturing Due Dates Subject to a Service Level Constraint, in: IIE Transactions, 32 (2000) 9, S. 771 - 784.
- Hsu, V. N. / Lowe, T. J. / Tamir, A. (1997):** Structured p-Facility Location Problems on the Line Solvable in Polynomial Time, in: Operations Research Letter, 21 (1997) 4, S. 159 - 164.
- i2 (2005):** i2 Technologies, Demand Fulfillment Modeling Manual, Version 6.0.0.1.
- Industriereport (2006):** Interner Mobilfunkindustriereport des Fallstudienpartners
- Jahnke, H. / Biskup, D. (1999):** Planung und Steuerung der Produktion, Landsberg/Lech: mi Verlag Moderne Industrie.
- Jain, A. K. J. / Dubes, R. C. (1988):** Algorithms for Clustering Data, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- Jeong, B. / Sim S. B. / Kim, S. W. (2002):** An Available-to-Promise System for TFT LCD Manufacturing in Supply Chain, in: Computers & Industrial Engineering, 43 (2002) 1, S. 191 - 212.
- Jirik, C. T. (1999):** Supply Chain Management: Gestaltung und Koordination der Lieferkette, in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 28 (1999) 10, S. 547 - 550.
- Johnson, C. A. (2001):** Retail Revenue Optimization: Timely and rewarding, Technical Report, Cambridge, Massachusetts: Forrester Research Inc.
- Johnson, L. A. / Montgomery, D. C. (1974):** Operations Research in Production Planning, Scheduling and Inventory Control, New York: John Wiley & Sons.

- Kahl, S. J. (1999):** "What's the Value of Supply Chain Software?", in: Supply Chain Management Review, (1999), S. 55 - 63.
- Kaluza, B. / Blecker, T. (2000):** Supply Chain Management und Unternehmen ohne Grenzen, in: Wildemann, H. (Hrsg.): Supply Chain Management, Regensburg: Transfer-Centrum, S. 117 - 152.
- Kanungo, T. / Mount, D. M. / Netanyahu, N. S. / Piatko, C. D. / Silverman, R. / Wu, A. (2002):** An Efficient k-Means Clustering Algorithm: Analysis and Implementation, in: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24 (2002) 7, S. 881 - 892.
- Kaufmann, H. / Pape, H. (1996):** Clusteranalyse, in: Fahrmeier, L. / Hamerle, A. / Tutz, G. (Hrsg.): Multivariate statistische Verfahren, 2. Auflage, Berlin u. a.: de Gruyter, S. 437 - 486.
- Kaufmann, L. / Rousseeuw, P. J. (1990):** Finding Groups in Data: An Introduction to Cluster Analysis, New York u. a.: John Wiley & Sons.
- Kern, W. (1992):** Industrielle Produktionswirtschaft, 5. Auflage, Stuttgart: Poeschel.
- Kilger, C. (1998):** Optimierung der Supply Chain durch Advanced Planning Systems, in: Information Management & Consulting, 13 (1998) 3, S. 49 - 55.
- Kilger, C. / Reuter, B. (2005):** Collaborative Planning, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 259 - 278.
- Kilger, C. / Schneeweiss, L. (2005a):** Demand Fulfilment and ATP, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 179 - 195.
- Kilger, C. / Schneeweiss, L. (2005b):** Computer Assembly, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 389 - 406.
- Kilger, C. / Wetterauer U. (2005):** The Selection Process, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 303 - 316.

- Kilger, C. / Meyr H. (2008):** Demand Fulfillment and ATP in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 4. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 181 - 198.
- Kimes, S. (1997):** A Strategic Approach to Yield Management, in: Ingold, A. / Yeoman, I. (Hrsg.): Yield Management: Strategies for the Service Industries, London: Cassel, S. 179 - 197.
- Kimes, S. (2000):** Revenue Management on the Links: Applying Yield Management to the Golf-Course Industry, in: Cornell Hotel and Restaurant Administrations Quarterly, 41 (2000) 1, S. 120 - 127.
- Kimms, A. (1997):** Multi-Level Lot-Sizing and Scheduling-Methods for Capacitated Models, Heidelberg: Physica.
- Kimms, A. / Klein, R. (2005):** Revenue Management im Branchenvergleich, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Ergänzungsheft 1 „Revenue Management“, S. 1 - 25.
- Kingsman, B. G. / Worden, L. / Hendry, L. / Mercer, A. / Wilson, E. (1993):** Integrated Marketing and Production Planning in Make-To-Order Companies, in: International Journal of Production Economics, 30 (1993) 1, S. 53 - 66.
- Kirkpatrick, S. / Gelatt C. D. / Vecchi, M. P. (1983):** Optimization by Simulated Annealing, in: Science, 220 (1983) 4598, S. 671 - 680.
- Kistner, K. / Steven, M. (1993):** Produktionsplanung, 2. Auflage, Heidelberg: Physica.
- Kistner, K. / Switalski, M. (1989):** Hierarchische Produktionsplanung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 59 (1989) 5, S. 477 - 503.
- Klein, R. (2001):** Revenue Management: Quantitative Methoden zur Erlösmaximierung in der Dienstleistungsproduktion, in: Betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis, 53 (2001) 3, S. 245 - 259.
- Klein, R. (2005):** Genetic Algorithms, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer: S. 485 - 492.

- Klein, S. (1989):** Manager und Planer, in: Szyferski, N. (Hrsg.): Handwörterbuch der Planung, Stuttgart: Poeschel, S. 999 - 1006.
- Klemm, H. / Mikut, M. (1972):** Lagerhaltungsmodelle, Berlin: Die Wirtschaft.
- Kleywegt, A. J. / Papastavrou, J. D. (1998):** The Dynamic and Stochastic Knapsack Problem, in: Operations Research, 46 (1998) 1, S. 17 - 35.
- Kleywegt, A. J. / Papastavrou, J. D. (2001):** The Dynamic and Stochastic Knapsack Problem with Random Size Items, in: Operations Research, 49 (2001) 1, S. 26 - 41.
- Klophaus, R. (1998):** Revenue Management: Wie die Airline Ertragswachstum schafft, in: Absatzwirtschaft, 41 (1998) 9, S. 146 - 152.
- Knolmayer, G. (2001):** Advanced Planning & Scheduling Systems: Optimierungsmethoden als Entscheidungskriterium für die Beschaffung von Softwarepaketen, in: Wagner, U. (Hrsg.): Zum Erkenntnisstand der Betriebswirtschaftslehre am Beginn des 21. Jahrhunderts, Berlin: Duncker & Humblot, S. 135 - 155.
- Knolmayer, G. / Mertens, P. / Zeier, A. (2000):** Supply Chain Management auf Basis von SAP-Systemen: Perspektiven der Auftragsabwicklung für Industriebetriebe, Berlin u. a.: Springer.
- Kotzab, H. (2000):** Zum Wesen von Supply Chain Management vor dem Hintergrund der betriebswirtschaftlichen Logistikkonzeption: erweiterte Überlegungen, in: Wildemann, H. (Hrsg.): Supply Chain Management, Regensburg: Transfer-Centrum, S. 21 - 48.
- Kozelka, R. M. (1982):** How to work through a Clustering Problem, in: Hudson, H. C. (Hrsg.): Classifying Social Data, San Francisco u. a.: Jossey Bass, S. 1 - 12.
- Kraemer, K. L. / Dedrick, J. / Yamashiro, S. (2000):** Refining and Extending the Business Model with Information Technology: Dell Computer Corporation, in: The Information Society, 16 (2000) 1, S. 5 - 21.
- Kraft, E. R. / Srikar B. N. / Phillips, R. L. (2000):** Revenue Management in Railroad Applications, in: Transportation Quarterly, 54 (2000), S. 157 - 177.

- Krupp, T. (2002):** Supply Chain Software: Einordnung der Softwarelösungen zur Unterstützung von Supply Chain Management und ein Bewertungsraster für einen Profilvergleich bestehender Advanced Planning Systems (APS), in: Klaus, P. / Prockl, G. (Hrsg.): Nürnberger Logistik Arbeitspapiere Nr. 12, Stuttgart: IRB.
- Kuhn, H. / Defregger, F. (2004):** Revenue Management in der Sachgüterproduktion. in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 33 (2004) 5, S. 319 - 324.
- Kuhn, A. / Hellingrath, H. (2002):** Supply Chain Management: Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette, Berlin u. a.: Springer.
- Kurbel, K. (2003):** Produktionsplanung und -steuerung: Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen, 5. Auflage, München u. a.: Oldenbourg.
- Laakmann, F. / Nayabi, K. / Hieber, R. (2003):** Market Survey 2003: Supply Chain Management Software - Detailed Investigation of Supply Chain Planning Systems, Stuttgart: IRB.
- Ladany, S. P. / Arbel, A. (1991):** Optimal Cruise-Liner Passenger Cabin Pricing Policy, in: European Journal of Operational Research, 55 (1991) 2, S. 136 - 147.
- Ladany, S. P. / Sheva, B. (1977):** Dynamic Operating Rules for Hotel Reservation, in: Zeitschrift für Operations Research, 21 (1977) 1, S. 165 - 176.
- Lambert, D.-M. / Emmelhainz, M. A. / Gardner, J. T. (1996):** Developing and Implementing Supply Chain Partnerships, in: The International Journal of Logistics Management, 7 (1996) 2, S. 1 - 17.
- Lasserre, J. B. / Mercé, C. (1990):** Robust Hierarchical Production Planning under Uncertainty, in: Annals of Operations Research, 26 (1990) 1, S. 73 - 87.
- Lautenbacher, C. J. / Stidham, S. (1999):** The Underlying Markov Decision Process in the Single-Leg Airline Yield Management Problem, in: Transportation Science, 33 (1999) 2, S. 136 - 146.
- Laux, H. (1971):** Auftragsselektion bei Unsicherheit, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 23 (1971), S. 164 - 180.

- Lawrenz, O. / Hildebrand, K. / Nenninger, M. (2000):** Supply Chain Management: Strategien, Konzepte und Erfahrungen auf dem Weg zu digitalen Wertschöpfungsnetzwerken, Braunschweig u. a.: Vieweg.
- Lawrence, S. (1995):** Estimating Flowtimes and Setting Due-Dates in Complex Production Systems, in: IIE Transactions, 27 (1995) 4, S. 657 - 668.
- Lechleiter, I. (1999):** Maschinenbelegungsplanung in der Variantenfertigung, Dissertation, Wiesbaden: Gabler.
- Lee, H. L. / Billington, C. (1995):** The Evolution of Supply Chain Management Models and Practice at Hewlett-Packard, in: Interfaces, 25 (1995) 4, S. 43 - 63.
- Lee, H. L. / Padmanabhan, V. / Whang, S. (1997):** Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect, in: Management Science, 43 (1997) 4, S. 546 - 558.
- Lee, T. C. / Hersh, M. (1993):** A Model for Dynamic Airline Seat Inventory Control with Multiple Seat Bookings, in: Transportation Science, 27 (1993) 3, S. 252 - 265.
- Leisten, R. (1996):** Iterative Aggregation und mehrstufige Entscheidungsmodelle, Habilitation, Heidelberg: Physica.
- Li, C.-L. / Cheng, T. (1999):** Due-Date Determination with Resequencing, in: IIE Transactions, 31 (1999) 8, S. 183 - 188.
- Li, M. (2006):** A Model of Pricing Inventories Using Two Restrictions, with an Application to Airline Pricing, in: Journal of Revenue and Pricing Management, 4 (2006) 4, S. 329 - 343.
- Liang, Y. (1999):** Solution to the Continuous-Time Dynamic Yield Management Model, in: Transportation Science, 33 (1999) 1, S. 117 - 123.
- Lieberman, V. / Yechiali, U. (1978):** On the Hotel Overbooking Problem: An Inventory Problem with Stochastic Cancellations, in: Management Science, 24 (1978) 11, S. 1117 - 1126.
- Lin, J. T. / Chen, T.-L. / Huang, C.-C. (2004):** A Hierarchy Planning Model for TFT-LCD Production Chain, in: International Journal of Electronic Business Management, 2 (2002) 1, S. 59 - 68.

- Linstone, H. A. (1978):** The Delphi Technique, in: Fowles, J. (Hrsg.): Handbook of Futures Research, Westport u. a.: Greenwood Press, S. 273 - 300.
- Littlewood, K. (1972):** Forecasting and Control of Passenger Bookings, in: AGIFORS 12th Annual Symposium Proceedings, Nathanya, Israel, S. 95 - 128.
- Makridakis, S. / Wheelwright, S. C. / Hyndman, R. J. (1998):** Forecasting Methods and Applications, 3. Auflage, New York: John Wileys & Sons.
- Matthyssens, P. / Van den Bulte, C. (1994):** Getting Closer and Nicer: Partnerships in the Supply Chain, in: Long Range Planning, 27 (1994) 1, S. 72 - 83.
- McFeely, D. J. / Daniel J. / Simpson, W. P. / Simons, J. V. (1997):** Scheduling to Achieve Multiple Criteria in an Air Force Depot CNC Machine Shop, in: Production and Inventory Management Journal, 38 (1997) 1, S. 72 - 79.
- McGill, J. I. / Van Ryzin, G. J. (1999):** Revenue Management: Research Overview and Prospects, in: Transportation Science, 33 (1999) 2, S. 233 - 256.
- Meyer, R. (1997):** Hierarchische Produktionsplanung für die marktorientierte Serienfertigung: Anwendung auf ein Unternehmen der elektrotechnischen Industrie, Dissertation, Heidelberg: Physica.
- Meyr, H. (2000):** Simultaneous Lot sizing and Scheduling by Combining Local Search with Dual Reoptimization, in: European Journal of Operational Research, 120 (2000) 2, S. 311 - 326.
- Meyr, H. (2005a):** Customer Segmentation, Allocation Planning and Order Promising in Make-to-Stock Production, Arbeitspapier, Institut für Transportwirtschaft und Logistik, Wien: Wirtschaftsuniversität Wien.
- Meyr, H. (2005b):** Forecast Methods, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 461 - 472.
- Meyr, H. / Rohde, J. / Wagner, M. / Wetterau, U. (2005):** Architecture of Selected APS, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 341 - 354.

- Meyr, H. / Stadtler, H. (2005):** Types of Supply Chains, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 65 - 80.
- Meyr, H. / Wagner, M. / Rohde, J. (2005):** Structure of Advanced Planning Systems, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 109 - 115.
- Meyr, H. / Rosic, H. / Seipl, C. / Wagner, M. / Wetterauer, U. (2008):** Architecture of Selected APS, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 4. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 349 - 366.
- Michalewicz, Z. / Fogel, D. B. (2002):** How to Solve it: Modern Heuristics, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer.
- Miklas, W. E. (1979):** Measuring Customer Response to Stock-Outs, in: International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 9 (1979) 5, S. 212 - 241.
- Moses, S. A. (1999):** Due Date Assignment using Feedback Control with Reinforcement Learning, in: IIE Transactions, 31 (1999) 10, S. 989 - 999.
- Nagarajan, K. V. (1979):** On an Auction Solution to the Problem of Airline Overbooking, in: Transportation Research, 13 (1979) 2, S. 111 - 114.
- Nahmias, S. / Demmy, S. (1981):** Operating Characteristics of an Inventory System with Rationing, in: Management Science, 27 (1981) 11, S. 1236 - 1245.
- Nebel, T. (2007):** Produktionswirtschaft, 7. Auflage, München u. a.: Oldenbourg.
- Nickel, S. / Velten, S. / Weimerskirch, G. (2005):** Strategische Supply Chain Entscheidungen in der Stahlindustrie: Eine Fallstudie, in: Günther, H.-O. / Mattfeld, D.-C. / Suhl, L. (Hrsg.): Supply Chain Management und Logistik: Optimierung, Simulation, Decision Support, Heidelberg: Physica, S. 157 - 201.
- Nicolai, S. (2002):** Praxisinstrumente für erfolgreiche eSCM-Realisierung, in: Wannenwetsch, H. H. / Nicolai, S. (Hrsg.): E-Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Praxisanwendungen. Wiesbaden: Gabler, S. 69 - 99.

- Özdamar, L. / Yazgac, T. (1997):** Capacity driven Due Date Setting in Make-to-Order Production Systems, in: International Journal of Production Economics, 49 (1997) 1, S. 29 - 44.
- Okabe, A. / Suzuki, A. (1997):** Locational Optimization Problems solved through Voronoi Diagrams, in: European Journal of Operational Research, 98 (1997) 3, S. 445 - 456.
- Pfeifer, P. E. (1989):** The Airline Discount Fare Allocation Problem, in: Decision Science, 20 (1989) 1, S. 149 - 157.
- Pfohl, H.-C. (2000):** Supply Chain Management: Konzept, Trends, Strategien, in: Pfohl, H.-C. (Hrsg.): Supply Chain Management: Logistik plus?, Berlin: Erich-Schmidt, S. 1 - 44.
- Pfohl, H.-C. (2003):** Logistiksysteme: Betriebswirtschaftliche Grundlagen, 7. Auflage, Berlin u. a.: Springer.
- Philippon, C. / Pillep, R. / Von Wrede, P. / Röder, A. (1999):** Markspiegel Supply Chain Management Software, Aachen: Forschungsinstitut für Rationalisierung.
- Phillips, R. L. (1994):** A Marginal Value Approach to Airline Origin and Destination Revenue Management, in: Henry, J. / Yvon, P. (Hrsg.): Proceedings of the Sixteenth Conference on System Modeling and Optimization, New York: Springer, S. 73 - 82.
- Phillips, R. L. / Boyd, D. W. / Grossmann, T. A. (1991):** An Algorithm for Calculating Consistent Itinerary Flows, in: Transportation Science, 25 (1991) 3, S. 225 - 239.
- Pibernik, R. (2004):** Dynamische Supply Chain Configuration mit Advanced Planning Systemen, in: Suhl, L. / Voß, S. (Hrsg.) Quantitative Methoden in ERP und SCM, Universität Paderborn, S. 55 - 76.
- Pibernik, R. (2005):** Advanced Available-to-Promise: Classification, Selected Methods and Requirements for Operations and Inventory Management, in: International Journal of Production Economics, 93 - 94 (2005), S. 239 - 252.
- Pibernik, R. / Sucky, E. (2005):** Master Planning in Supply Chains, in: Günther, H.-O. / Mattfeld, D.-C. / Suhl, L. (Hrsg.): Supply Chain Management und Logistik: Optimierung, Simulation, Decision Support, Heidelberg: Physica, S. 69 - 93.

- Pillep, R. / von Wrede, P. (1999):** Anspruch- und Wirklichkeit: Nutzenpotentiale und Marktübersicht von SCM-Systemen, in: *Industrie Management*, 15 (1999) 5, S. 18 - 22.
- Pinder, J. (2005):** Using Revenue Management to improve Pricing and Capacity Management in Programme Management, in: *Journal of the Operational Research Society*, 56 (2005), S. 75 - 87.
- Piontek, J. (2003):** Bausteine des Logistikmanagements: Supply Chain Management, E-Logistics, Logistikcontrolling, Herne u. a.: Neue Wirtschaftsbriefe.
- Pirron, J. / Kulow, B. / Hellingrath, B. / Laakmann, F. (1999):** Gut, dass wir verglichen haben: Marktübersicht SCM-Software, in: *Logistik heute*, 21 (1999) 3, S. 69 - 76.
- Pirron, J. / Reisch, O. / Kulow, B. / Hezel, H. (1998):** Werkzeuge der Zukunft, in: *Logistik heute*, 20 (1999) 11, S. 60 - 69.
- Poirier, C. C. (1999):** *Advanced Supply Chain Management: How to Build a Sustained Competitive Advantage*, San Francisco: Berrett-Koehler.
- Prahalad, C. K. / Hamel, G. (1990):** The Core Competence of the Corporation, in: *Harvard Business Review*, 68 (1990) 3, S. 79 - 91.
- Preusser, M. / Almeder, C. / Hartl, R.-F. / Klug, M. (2005):** LP-Modelling and Simulation of Supply Chain Networks, in: Günther, H.-O. / Mattfeld, D.-C. / Suhl, L. (Hrsg.): *Supply Chain Management und Logistik: Optimierung, Simulation, Decision Support*, Heidelberg: Physica, S. 95 - 113.
- Prockl, G. (1998):** Supply Chain Software, in: Klaus, P. / Krieger, W. (Hrsg): *Gabler Lexikon Logistik*, Wiesbaden: Gabler, S. 441 - 445.
- Punj, G. / Stewart, D. W. (1983):** Cluster Analysis in Marketing Research: Review and Suggestions for Application, in: *Journal of Marketing Research*, 10 (1983) 2, S. 134 - 148.
- Puterman, M. L. (1994):** *Markov Decision Processes: Discrete Stochastic Dynamic Programming*, New York u. a: John Wiley & Sons.

- Rade, K. (2004):** Erfolgs- und Beteiligungsrechnung für unternehmensübergreifende SCM-Systeme, Dissertation, Berlin: Universität Berlin.
- Reece, W. J. / Sobel, R. S. (2000):** Targeting Teaching: A Diagrammatic Approach to Capacity-Constrained Price Discrimination, in: *Southern Economic Journal*, 66 (2000) 4, S. 1001 - 1008.
- Reeves, C. R. / Beasley, J. E. (1995):** Introduction, in: Reeves, C. R. (Hrsg.): *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, Berkshire: McGraw-Hill, S. 1 - 19.
- Rehkopf, S. / Spengler, T. (2005):** Revenue Management in a Make-to-Order Environment, in: Fleuren, H. / Den Hertog, D. / Kort, P. (Hrsg.): *Operations Research Proceedings*, Berlin u. a.: Springer, S. 470 - 478.
- Rehkopf, S. (2006):** Revenue Management-Konzepte zur Auftragsannahme bei kundenindividueller Produktion: Am Beispiel der Eisen und Stahl erzeugenden Industrie, Dissertation, Wiesbaden: Gabler.
- Reichheld, F. F. / Sasser, W. E. (1990):** Zero Defections: Quality Comes to Service, in: *Harvard Business Review*, 68 (1990) 5, S. 105 - 111.
- Reutersberg, B. (1985):** Logistik als Instrument zur Steigerung der Marktleistungsfähigkeit von Stahlhandlungen, Göttingen: Vandenhoeck & Rupprecht.
- Riebel, P. (1965):** Typen der Markt- und Kundenproduktion in produktions- und absatzwirtschaftlicher Sicht, in: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 17 (1965) 5, S. 633 - 685.
- Robinson, A. G. / Dilts, D. M (1999):** OR & ERP: A Match for the new Millennium?, in: *OR/MS Today*, 26 (1999) 3, S. 30 - 35.
- Robinson, L. W. (1995):** Optimal and Approximate Control Policies for Airline Booking with Sequential Nonmonotonic Fare Classes, in: *Operations Research*, 43 (1995) 2, S. 252 - 263.
- Rohde, J. (2005):** Coordination and Integration, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): *Supply Chain Management and Advanced Planning*, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 245 - 257.

- Rohde, J. / Meyr, H. / Wagner, M. (2001):** Die Supply Chain Planning Matrix, in: PPS Management, 5 (2001) 1, S. 10 - 15.
- Rohde, J. / Wagner, M. (2005):** Master Planning, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer: S. 159 - 177.
- Rose, J. / Sharman, G. (1989):** The Redesign of Logistics, The McKinsey Quarterly, (1989) Winter, S. 29 - 43.
- Ross, D. F. (1998):** Competing through Supply Chain Management: Creating Market-Winning Strategies through Supply Chain Partnerships, New York u. a.: Chapman & Hall.
- Rothstein, M. (1971):** An Airline Overbooking Model, in: Transportation Science, 5 (1971) 2, S. 180 - 192.
- Roundy, R. / Chen, D. / Chen, P. / Cakanyildirim, M. / Freimer, M. B. / Melkonian, V. (2005):** Capacity-Driven Acceptance of Customer Orders for a Multi-Stage Batch Manufacturing System: Models and Algorithms, in: IIE Transactions on Scheduling and Logistics, 37 (2005) 12, S. 1093 - 1105.
- SAP (2003):** Profitable-to-Promise: The next Step in the Evolution of Order Promising, SAP White Paper.
- SAP (2005):** SAP Advanced Planner and Optimizer, Schulungsunterlagen.
- Scheurer, S. (2006):** A Tabu Search Heuristic for the Truck and Trailer Routing Problem, in: Computers and Operations Research, 22 (2006) 4, S. 894 - 909.
- Schmid, O. (1977):** Modelle zur Quantifizierung der Fehlmengenkosten als Grundlage optimaler Lieferservicestrategien bei temporärer Lieferunfähigkeit, Dissertation, Frankfurt u. a.: Harri Deutsch.
- Schneeweiß, C. (1989):** Hierarchische Planung, in: WISU: das Wirtschaftsstudium, 18 (1989) 10, S. 564 - 569.
- Schneeweiß, C. (2003):** Distributed Decision Making, 2. Auflage. Berlin u. a.: Springer.

- Schönsleben, P. (2000):** Integrales Logistikmanagement: Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen, 2. Auflage, Berlin u. a.: Springer.
- Schweiger, A (1991):** Lagerausgleichsdistribution: Konzeption eines Verfahrens zur Verbesserung des Servicegrads in Distributionssystemen, Dissertation, Berlin u. a.: Duncker & Humblot.
- Schwendinger, J. R. (1978):** Master Production Scheduling's Available to Promise, in: APICS Conference Proceedings, 1978, S. 316 - 330.
- Secomandi, N. / Abbott, K. / Atan, T. / Boyd, E. A. (2002):** From Revenue Management Concepts to Software Systems, in: Interfaces, 32 (2002) 2, S. 1 - 11.
- Seidl, K. (2000):** Supply Chain Management Software - Einsatzmöglichkeiten und Nutzen-erwartung, in: Pfohl, H.-C. (Hrsg.): Supply Chain Management: Logistik plus?, Berlin: Erich-Schmidt, S. 161 - 184.
- Sharman, G. (1984):** The Rediscovery of Logistics, in: Harvard Business Review, 62 (1984) 5, S. 71 - 79.
- Sharman, G. (1985):** Die Wiederentdeckung der Logistik, in: Harvard Manager, 7 (1985) 3, S. 48 - 53.
- Sherman, R. / Visscher, S. (1982):** Nonprice Rationing and Monopoly Price Structures when Demand is Stochastic, in: The Bell Journal of Economics, 13 (1982) 1, S. 254 - 262.
- Shlifer, E. / Vardi, J. (1975):** An Airline Overbooking Policy, in: Transportation Science, 9 (1975) 2, S. 101 - 114.
- Siebert, G. / Kempf, S. (2000):** Weg vom Machtdenken hin zu einer Kooperation: Supply Chain Management, in: eco, (2000) 1, S. 46 - 48.
- Silver, E. A. (2004):** An Overview of Heuristic Solution Methods, in: Journal of the Operations Research Society, 55 (2004) 9, S. 936 - 956.
- Silver, E. A. / Peterson, R. (1985):** Decision Systems for Inventory Management and Production Planning, 2. Auflage, New York: John Wiley & Sons.

- Simchi-Levi, D. / Kaminski, P. / Simchi-Levi, E. (2000):** Designing and Managing the Supply Chain, Boston u. a.: McGraw-Hill.
- Simon, H. (1992):** Preismanagement: Analyse, Strategien, Umsetzung, 2. Auflage, Wiesbaden: Gabler.
- Simon, J. L. (1968):** An Almost Practical Solution to Airline Overbooking, in: Journal of Transportation and Policy, 2 (1968) 5, S. 201 - 202.
- Simon, J. L. (1994):** The Airline Oversales Auction Plan: The Results, in: Journal of Transport Economics and Policy, 18 (1994) 3, S. 319 - 323.
- Simon, J. L. / Visvabhanathy, G. (1977):** The Auction Solution to Airline Overbooking: The Data Fit the Theory, in: Journal of Transport Economics and Policy, 11 (1977) 3, S. 277 - 283.
- Simpson, R. W. (1989):** Using Network Flow Techniques to find Shadow Prices for Market and Seat Inventory Control, Technical Report Memorandum M89-1, Cambridge, Massachusetts: MIT.
- Smith, B. C. / Leimkuhler, J. F. / Darrow, R. M. (1992):** Yield Management at American Airlines, in: Interfaces, 22 (1992) 1, S. 8 - 31.
- Smith, B. C. / Penn, C. W. (1988):** Analysis of Alternative Origin-Destination Control Strategies, in: Proceedings of the 28th Annual AGIFORS Symposium, New Seabury, Massachusetts.
- Spann, M. / Klein, J. / Makhlouf, K. / Bernhardt, M. (2005):** Interaktive Preismaßnahmen bei Low-Cost-Fluglinien, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 75 (2005) 3, S. 53 - 77.
- Specht, D. / Hellmich, K. (2000):** Management der Zulieferbeziehungen in dynamischen Produktionsnetzen, in: Wildemann, H. (Hrsg.): Supply Chain Management, Regensburg: Transfer-Centrum, S. 89 - 116.
- Specht, O. / Wolter, B. (1997):** Produktionslogistik mit PPS-Systemen: Informationsmanagement in der Fabrik der Zukunft, 2. Auflage, Ludwigshafen: Friedrich Kiehl.

- Spengler, T. / Rehkopf, S. (2005):** Revenue Management Konzepte zur Entscheidungsunterstützung bei der Annahme von Kundenaufträgen, in: Zeitschrift für Planung und Unternehmenssteuerung, 16 (2005) 2, S. 123 - 146.
- Stadtler, H. (1996):** Hierarchische Produktionsplanung, in: Kern, W. / Schröder, H. / Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Auflage. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 631 - 641.
- Stadtler, H. (2005a):** Supply Chain Management: An Overview, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u.a.: Springer, S. 9 - 35.
- Stadtler, H. (2005b):** Production Planning and Scheduling, in Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 197 - 214.
- Stadtler, H. (2005c):** Introduction, in Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer: S. 1 - 8.
- Stadtler, H. (2005d):** Purchasing and Material Requirements Planning, in Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 215 - 228.
- Stadtler, H. (2005e):** Linear and Mixed Integer Programming, in Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer, S. 473 - 484.
- Steven, M. (1994):** Hierarchische Produktionsplanung, 2. Auflage, Heidelberg: Physica.
- Stevens, G. C. (1989):** Integrating the Supply Chain, in: The International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 19 (1989) 8, S. 3 - 8.
- Strasser, S. (1996):** The Effect of Yield Management on Railroads, in: Transportation Quarterly, 50 (1996) 2, S. 47 - 55.
- Streitferdt, L. (1994):** Kostenmanagement im Produktionsbereich, in: Corsten, H. (Hrsg.): Handbuch Produktionsmanagement, Wiesbaden: Gabler, S. 477 - 496

- Subramanian, J. / Lautenbacher, C. J. / Stidham, S. (1999):** Airline Yield Management with Overbooking, Cancellations, and No-Shows, in: *Transportation Science*, 33 (1999) 2, S. 147 - 167.
- Sürle, C. / Wagner, M. (2005):** Supply Chain Analysis, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): *Supply Chain Management and Advanced Planning*, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer S. 37 - 63.
- Supply Chain Council (2003):** Supply-Chain Operations Reference Model, Overview of SCOR Version 5.0, Pittsburgh.
- Talluri, K. T. / Van Ryzin, G. J. (1998):** An Analysis of Bid-Price Control for Network Revenue Management, in: *Management Science*, 44 (1988) 11, S. 1577 - 1593.
- Talluri, K. T. / Van Ryzin, G. J. (2004):** *The Theory and Practise of Revenue Management*. Boston u. a.: Kluwer.
- Taylor, S. G. / Plenert, G. J. (1999):** Finite Capacity Promising, in: *Production and Inventory Management Journal*, 40 (1999) 3, S. 50 - 56.
- Tempelmeier, H. (1980):** *Standortoptimierung in der Marketing-Logistik*, Königstein: Anton Hain.
- Tempelmeier, H. (2001):** *Master Planning mit Advanced Planning Systems: Modelle und Beispiele*, Köln: Books on Demand.
- Tempelmeier, H. (2003):** *Materiallogistik*. 5. Auflage, Berlin u. a.: Springer.
- Tempelmeier, H. (2006):** *Bestandsmanagement in Supply Chains*, Köln, Books on Demand.
- Thome, R. / Böhnlein, C. (2001):** Fünf Stufen zum Supply Net Management, in *WISU: das Wirtschaftsstudium*, 30 (2001) 11, S. 1521 - 1527.
- Thompson, H. R. (1961):** Statistical Problems in Airline Reservation Control, in: *Operational Research Quarterly*, 12 (1961) 3, S. 167 - 185.
- Thore, S. (1991):** *Economic Logistics: The Optimization of Spatial and Sectoral Resource, Production, and Distribution Systems*, New York: Quorum Books.

- Tillmanns, C. (2003):** Revenue Management in der Airlinebranche, in: Diller, H. / Herrmann, A. (Hrsg.): Handbuch Preispolitik: Strategie, Planung, Organisation, Umsetzung, Wiesbaden: Gabler, S. 535 - 550.
- Topkis, D. M. (1968):** Optimal Ordering and Rationing Policies in a Nonstationary Dynamic Inventory Model with n Demand Classes, in: Management Science, 15 (1968) 3, S. 160 - 176.
- Tscheulin, D. K. / Lindenmeier, J. (2003):** Yield-Management: Ein State-of-the-Art, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaftslehre, 73 (2003) 6, S. 629 - 662.
- Vahrenkamp, R. (1999):** Supply Chain Management, in: Baumgarten, H. / Weber, J. (Hrsg.): Handbuch Logistik, Stuttgart: Schäffer-Poeschel, S. 309 - 321.
- Van Ryzin, G. J. (2000):** The Brave New World of Pricing, in: Survey: Mastering Management, October 16 (2000), Financial Times.
- Van Slyke, R. / Young, Y. (2000):** Finite Horizon Stochastic Knapsacks with Application to Yield Management, in: Operations Research, 48 (2000) 1, S. 155 - 172.
- Vickery, W. (1972):** Airline Overbooking: Some Further Solutions, in: Journal of Transport Economics and Policy, 6 (1972) 3, S. 257 - 270.
- Vinod, B. (1995):** Origin-and-Destination Yield Management, in: Jenkins, D. (Hrsg): The Handbook of Airline Economics, New York: McGraw-Hill, S. 459 - 468.
- Vinod, H. (1969):** Integer Programming and the Theory of Grouping, in: Journal of the American Statistical Association, 64 (1969) 326, S. 506 - 517
- Volk, R. (1980):** Industrielle Logistik: Interdependenzen, Ziele, Entscheidungen, Dissertation, Freiburg im Preissgau.
- Voß, S. / Woodruff, D. L. (2000):** Supply Chain Management: Is MRP a Good Starting Point?, in: Wildemann, H. (Hrsg.): Supply Chain Management, München: Transfer-Centrum, S. 178 - 204.
- Wagner, M. (2005):** Demand Planning, in: Stadtler, H. / Kilger, C. (Hrsg.): Supply Chain Management and Advanced Planning, 3. Auflage, Berlin u. a.: Springer S. 139 - 158.

- Wannenwetsch, H. (2002):** E-Logistik und E-Business, Stuttgart: Kohlhammer.
- Walter, C. K. / La Londe, B. J. (1975):** Development and Tests of two Stockout Models, in: International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 5 (1975) 3, S. 121 - 132.
- Walters, D. (1974):** The Cost of a Stock-Out, in: International Journal of Physical Distribution and Logistics Management, 5 (1974) 1, S. 36 - 48.
- Weatherford, L. R. (1997):** Using Prices More Realistically as Decision Variables in Perishable-Asset Revenue Management Problems, in: Journal of Combinatorial Optimization, 1 (1997), S. 227 - 304.
- Weatherford, L. R. (1998):** A Tutorial on Optimization of Perishable-Asset Revenue Management Problems for the Airline Industry, in: Yu, G. (Hrsg.): Operations Research in the Airline Industry, Boston u. a.: Kluwer, S. 68 - 100.
- Weatherford, L. R. / Bodily, S. E. (1992):** A Taxonomy and Research Overview of Perishable-Asset Revenue Management: Yield Management, Overbooking, and Pricing, in: Operations Research, 40 (1992) 5, S. 831 - 844.
- Weatherford, L. R. / Bodily, L. R. / Pfeifer, P. E. (1993):** Modeling the Customer Arrival Process and Comparing Decision Rules in Perishable Asset Revenue Situations, in: Transportations Science, 27 (1993) 3, S. 239 - 251.
- Weber, J. (1987):** Fehlmengenkosten, in: Kostenrechnungspraxis, 31 (1987) 1, S. 13 - 18.
- Weber, J. (2002):** Logistik- und Supply Chain Controlling, 5. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- Wedel, M. / Kamakura, W. A. (1998):** Market Segmentation: Conceptual and Methodological Foundations, Boston u. a.: Kluwer Academic Press.
- Wein, L. (1991):** Due-Date Setting and Priority Sequencing in a Multiclass M/G/1 Queue, in: Management Science, 37 (1991) 7, S. 834 - 850.
- Wendt, O. / Schwind, M. (2002):** Reinforcement Learning zur Lösung multidimensionaler Yield-Management-Probleme, Arbeitsbericht, Frankfurt: Institut für Wirtschaftsinformatik.

- Werner, H. (2002):** Supply Chain Management: Grundlagen, Strategien, Instrumente und Controlling, 2. Auflage, Wiesbaden: Gabler.
- Wildemann, H. (2000):** Von Just-In-Time zu Supply Chain Management, in: Wildemann, H. (Hrsg.): Supply Chain Management, Regensburg: Transfer-Centrum, S. 49 - 85.
- Wiendahl, H.-P. (1996):** Erfolgsfaktoren Logistikqualität: Vorgehen, Methoden und Werkzeuge zur Verbesserung der Logistikleistung, Berlin u. a.: Springer.
- Williams, F. E. (1977):** Decision Theory and the Innkeeper: An Approach for Setting Hotel Reservation Policy, in: Interfaces, 7 (1977) 4, S. 18 - 30.
- Williamson, E. L. (1992):** Airline Network Seat Inventory Control: Methodologies and Revenue Impacts, Dissertation, Cambridge, Massachusetts: MIT.
- Winston, W. L. (1997):** Operations Research: Applications and Algorithms, 3. Auflage, Belmont, California: Duxbury Press.
- Wollmer, R. D. (1992):** An Airline Seat Management Model for a Single Leg Route when Lower Fare Classes Book First, in: Operations Research, 40 (1992) 1, S. 26 - 37.
- Wolsey, L. A. (1997):** MIP Modelling of Changeovers in Production Planning and Scheduling Problems, in: European Journal of Operational Research, 99 (1997) 1, S. 154 - 165.
- Xiong, M. / Tor, S. B. / Khoo, L. P. / Bhatnagar, R. (2001):** Fulfillment of Rush Customer Orders under Limited Capacity, SMA Symposium 2001.
- You, P.-S. (1999):** Dynamic Pricing in Airline Seat Management for Flights with Multiple Flight Legs, in: Transportation Science, 33 (1999) 2, S. 192 - 206.
- Zäpfel, G. (2001):** Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement, 2. Auflage, München u. a.: Oldenbourg.
- Zäpfel, G. / Piekarz, B. (1996):** Supply Chain Controlling: Interaktive und dynamische Regelung der Material- und Warenflüsse, Wien: Wirtschaftsverlag.
- Zhao, Z. / Ball, M. O. (2005):** Optimization-Based Available-to-Promise with Multi-Stage Resource Availability, Technical Research Report, Institute for Systems Research, TR 2005-4.

- Zhao, Z. / Ball M. O. / Kotake, M. (2005):** Optimization-Based Available-to-Promise with Multi-Stage Resource Availability, in: Annals of Operations Research, 135 (2005) 1, S. 65 - 85.
- Zhao, W. / Zheng, Y. S. (2000):** Optimal Dynamic Pricing for Perishable Assets with Non-Homogeneous Demand, in: Management Science, 46 (2000) 3, S. 375 - 388.
- Zhao, W. / Zheng, Y. S. (2001):** A Dynamic Model for Airline Seat-Allocation with Passenger Diversion and No-Shows, in: Transportation Science, 35 (2001) 1, S. 80 - 98.
- Zweben, M. (1996):** Delivering on Every Promise: Real-Time Sales Order Promising of Supply Chain Resources, in APICS -The Performance Advantage, 6 (1996) 3, S. 1 - 18.

