

FEHLMENGENKOSTEN IN DER DISTRIBUTIONSLOGISTIK:
ANALYSE UND MODELLIERUNG AUS SICHT DER
INVESTITIONSGÜTERINDUSTRIE

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaften
an der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Bayerischen Julius-Maximilians-Universität
Würzburg

vorgelegt von: Diplom-Betriebswirt (FH), Master of Business Administration
Christian Kämmerer
aus: Landau/ Pfalz

Würzburg, im Januar 2017

Erstgutachter: Professor Dr. Rainer Thome

Zweitgutachter: Professor Dr. Ronald Bogaschewsky

Mündliche Doktorprüfung: 15. Dezember 2016

Widmung

Meinem Bruder

Gerhard Kämmerer †

12.05.1965 – 22.09.2007

meinen Eltern

Roland und Trudel Kämmerer

und

meiner geliebten Ehefrau

Martina Kämmerer

mit

Luisa und Leni

die mich alle stets und
auf unterschiedlichste Art und Weise
unterstützt und begleitet haben.

Vorwort

Die interessante Frage „Wie kam es zu dieser Arbeit?“ lässt sich zu Beginn leicht klären. Von der reinen Ausbildung her liegen meine Schwerpunkte in den Bereichen Marketing und Süd-Ostasien. Seit einigen Jahren bin ich im internationalen Vertrieb eines Großunternehmens der bayerischen Metallindustrie tätig. Vor diesem Hintergrund erscheint es eher ungewöhnlich eine Dissertation im Logistikumfeld und des Bestandsmanagements in Angriff zu nehmen. Das entwickelte sich jedoch aus meiner früheren Tätigkeit im selben Unternehmen. In meiner Funktion als Produktmanager wurde ich in regelmäßigen, meist wöchentlichen Abständen von Vertriebskollegen und Führungskräften aus aller Welt freundlich in einer Art Newsletter darauf hingewiesen, dass wieder einmal ein schöner Auftrag nicht an Land gezogen werden konnte, weil – ganz simpel – der notwendige Bestand aus einer reinen Mengenbetrachtung heraus entweder gänzlich nicht vorhanden war oder nicht in ausreichendem Maße. Nachfragen wie: „Warum leisten wir uns keinen ausreichenden Bestand...?“ wurden meist mit der Aussage: „Naja, wissen Sie, Bestände kosten ja auch viel Geld...“, beantwortet.

Da sich die oben beschriebenen Gegebenheiten in den folgenden zwei Jahren meiner dortigen Tätigkeit nicht änderten, erwachte in mir der zunehmende Wunsch, mich dieser Problematik wissenschaftlich anzunehmen. Ich war überzeugt, dass es ein monetär zu definierendes Optimum zwischen Beständen und deren Kosten einerseits, sowie den Kosten der Nichtverfügbarkeit andererseits geben musste. Zusammen mit einer gewissen Grundneugier wurde mein Forschergeist so stark geweckt, dass sich daraus dieses Promotionsvorhaben entwickelte.

Die Begeisterung für dieses Vorhaben in meinem Umfeld hielt sich anfangs verständlicherweise etwas in Grenzen, da ich bereits zwischen den Jahren 2002 bis 2004, ebenfalls berufsbegleitend, mein MBA-Studium an derselben Fakultät erfolgreich absolvierte hatte. Es war klar, dass eine externe Promotion nur dann gelingen konnte, wenn ich mich voll und ganz darauf einlassen und von Anfang an jede freie Minute an Wochenenden, Feiertagen und in den Ferien nutzen würde.

Rückblickend auf die letzten Jahre gilt mein größter Dank meiner Frau Martina und unseren Kindern Luisa und Leni, die großes Verständnis zeigten, unendlich viel Geduld bewiesen und mir stets die notwendige Rückendeckung gaben. Mein weiterer Dank gilt auch meinen Eltern Trudel und Roland Kämmerer, die mir, obwohl nicht vom Fach, moralisch immer wieder aufs Neue Durchhalteparolen zuriefen und damit

ebenfalls einen nicht zu unterschätzenden Beitrag für das Gelingen dieser Promotion leisteten. Danke sagen möchte ich ebenso ganz herzlich Hr. MBA Christoph Büttner und in besonderer Weise Fr. M.Sc. Beatrice Heinig, die mich hin und wieder mit anregenden Gedanken versorgt und unterstützt haben. Beatrice hat dafür gesorgt, dass die hohe Mathematik in diesem Kontext selbst nach über 20 Jahren Abstinenz von der Hochschulreife ihren anfänglichen Schrecken am Ende der Arbeit weitestgehend verloren hat.

Eine alte Weisheit des chinesischen Philosophen Laozi besagt: „Nur wer sein Ziel kennt, findet den Weg.“ Diese Sichtweise gab mir – als de facto Einzelkämpfer – in den letzten Jahren genauso die notwendige Kraft, wie die unvergessenen, spirituellen Erlebnisse im Kloster Arenberg bei Koblenz. In dessen Abgeschiedenheit und Ruhe habe ich mich in dieser Zeit mehrere Male zurückgezogen, um – getreu dem klösterlichen Motto „von frühmorgens bis spätabends“ – an dieser Arbeit zu feilen.

So gelang es mir insgesamt sehr gut, auch die schwierigsten Puzzleteile richtig einzufügen und die komplizierten Berechnungen letztlich erfolgreich zu Ende zu führen.

Symbolverzeichnis

Ab Abschnitt 5.2 gilt einheitlich folgende Symbolik:

Bestandsgrößen:

AB_{jl} = Tatsächlicher Lageranfangsbestand des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

$AB_{jl,erw}$ = Erwarteter Lageranfangsbestand des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

$AB_{o,jl}$ = Optimaler Lageranfangsbestand des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

EB_{jl} = Tatsächlicher Lagerendbestand des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

$EB_{jl,erw}$ = Erwarteter Lagerendbestand des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

EB'_{jl} = Lagerendbestand des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l vor Nachlieferung

RB_{il} = Restbestand der Fertigungsstätte F_i im Lieferzyklus l

Kostengrößen:

a_{ij} = Transportkostensatz von Fertigungsstätte F_i zu Zentrallager ZL_j

a_{jk} = Transportkostensatz von Zentrallager ZL_j zu Bestellpunkt B_k

A_{jl} = Transportkosten (Gesamt) des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

$c_{k,j}$ = Kapitalbindungskostensatz des Zentrallagers ZL_j

$C_{k,jl}$ = Kapitalbindungskosten des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

$C_{L,jl}$ = Lagerkosten (Gesamt) des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

$C_{p,j}$ = Prozesskosten des Zentrallagers ZL_j

$c_{o,j}$ = Bestellkostensatz des Zentrallagers ZL_j

$C_{o,jl}$ = Bestellkosten des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

$C_{SOC_{3,k,l}}$ = Kosten des Auftragsverlustes bezüglich des Bestellpunktes B_k

$C_{SOC_{4,k,(l+1)}}$ = Kosten der Goodwill-Verluste bezüglich des Bestellpunktes B_k

$C_{s,j}$ = Planungs- und Steuerungskosten des Zentrallagers ZL_j

$c_{w,j}$ = Lagerhaltungskostensatz des Zentrallagers ZL_j

$C_{w,jl}$ = Lagerhaltungskosten des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

k_p = Mittlere Herstellkosten des Investitionsguts

$SOC_{3,k}$ = Fehlmengenkostensatz des Auftragsverlustes bezüglich des Bestellpunktes B_k

$SOC_{3,kj}$ = Fehlmengenkostensatz des Auftragsverlustes bezüglich des Bestellpunktes B_k und dem Zentrallager ZL_j

$SOC_{4,k}$ = Fehlmengenkostensatz der Goodwill-Verluste bezüglich des Bestellpunktes B_k

Mengengrößen:

M_{il} = Gesamte Nachfrage an die Fertigungsstätte F_i im Lieferzyklus l

M_{jl} = Bestellmenge des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

$NLM_{k,t_{r'l+1}}$ = Nachzuliefernde Menge an Bestellpunkt B_k

$NLM_{j,t_{r'l+1}}$ = Entstandene nachzuliefernde Menge von Zentrallager ZL_j

$NLM_{t_{r'l+1}}$ = Gesamte nachzuliefernde Menge

Q_{il} = Fehlmenge der Fertigungsstätte F_i im Lieferzyklus l

Q'_{jl} = Fehlmenge des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

x_{jl} = Liefermenge (Gesamt) an Zentrallager ZL_j im Lieferzyklus l

x_{kl} = Liefermenge (Gesamt) an Bestellpunkt B_k im Lieferzyklus l

$x_{t_{r'l}+t_L(j),k}$ = Liefermenge des Zentrallagers ZL_j an den Bestellpunkt B_k

$x_{t_{r'(l+1)},jk}$ = Nachliefermenge des Zentrallagers ZL_j an den Bestellpunkt B_k

$x_{t_{r'(l+1)},k}$ = Nachliefermenge (Gesamt) an den Bestellpunkt B_k

y_{kl} = Nachfragemenge (Gesamt) des Bestellpunkts k im Lieferzyklus l

y'_{kl} = Verlorene Nachfrage des Bestellpunkts B_k im Lieferzyklus l

$y'_{jl,erw}$ = Zu erwartende verlorene Nachfrage des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l

Modellarchitektur:

$A(i)$ = Anzahl der Zentralläger, die Fertigungsstätte i zugeordnet sind

$B_k = (k = 1, \dots, K)$ Anzahl und Lage der Bestellpunkte (Kunden)

e_k = Enttäuschungsfaktor (Disappointment Factor) des Bestellpunktes B_k

$F_i = (i = 1, \dots, I)$: Standort und Anzahl der Fertigungsstätten

FW_i = Werkslager der Fertigungsstätte F_i

g = Gewinn pro Mengeneinheit

i = Index der Fertigungsstätte ($i = 1, \dots, I$)

j = Index des Zentrallagers ($j = 1, \dots, J$)

$J(i)$ = Indexmenge der Fertigungsstätte F_i zugeordneten Zentrallager ZL_j

k = Index des Bestellpunktes ($k = 1, \dots, K$)

$K(j)$ = Menge aller Bestellpunkte, die Zentrallager ZL_j zugeordnet sind

K_{LS} = Kostenerwartungsfunktion

p = Verkaufspreis pro Mengeneinheit

ρ_{il} = Tatsächlich von Fertigungsstätte F_i produzierter Ausschuss

π_{il} = Tatsächlich vorhandene Menge der Fertigungsstätte F_i im Lieferzyklus l

$\pi_{o,il}$ = optimale Produktionskapazität der Fertigungsstätte F_i im Lieferzyklus l
 q_i = Ausschusswahrscheinlichkeit der Fertigungsstätte i
 RB_i = Restbestand der Fertigungsstätte i
 s_i = Wahrscheinlichkeit der Nachfragebefriedigung
 SG_{jl} = Optimaler Servicegrad (Lieferbereitschaftsgrad) des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l
 z = Zinssatz der Kapitalkosten
 ZL_j = Standort und Anzahl der Zentrallager ($j = 1, \dots, J$)

Stochastik:

$f_{k,t_{rl}}$ = Verteilungsfunktion der normalverteilten Nachfragen
 q_i = Wahrscheinlichkeit, dass Fertigungsstätte F_i Ausschuss produziert
 s_i = Wahrscheinlichkeit, dass Fertigungsstätte F_i eine Nachfrage vollständig befriedigt
 $Y_{k,t_{rl}}$ = Zufallsvariable der Nachfrage des Bestellpunktes B_k in Periode t_{rl}
 Φ_{jl} = Wahrscheinlichkeit der Nachfrageerfüllung bei Zentrallager j in Lieferzyklus l
 $\mu_{k,t_{rl}}$ = Erwartungswert der Nachfrage des Bestellpunktes B_k in Periode t_{rl}
 $\mu_{o,k}$ = Maximale Nachfrage des Bestellpunktes B_k in einer Periode
 $\sigma_{k,t_{rl}}^2$ = Varianz der Nachfrage des Bestellpunktes B_k in Periode t_{rl}
 $\sigma_{o,k}^2$ = maximale Varianz der Nachfrage des Bestellpunktes B_k in einer Periode

Transaktionsgrößen:

$y_{j,t_{rl}}$ = Eingehende Nachfrage bei Zentrallager ZL_j in Periode t_{rl}
 y_{jl} = Eingehende Nachfrage bei Zentrallager ZL_j im Lieferzyklus l
 y_{kl} = Gesamte Nachfrage des Bestellpunktes B_k im Lieferzyklus l
 $y_{k,t_{rl}}$ = Gesamte Nachfrage des Bestellpunktes B_k in Periode t_{rl}
 $y_{k,t_{rl},s}$ = Tatsächliche Nachfrage des Bestellpunktes B_k in Periode t_{rl}
 $y_{k,t_{rl},e}$ = Ersatzbedarfsnachfrage des Bestellpunktes B_k in Periode t_{rl}

Zeitgrößen:

d = Mittlere Lebensdauer des Investitionsguts
 l = Index des Lieferzyklus ($l = 1, \dots, L$)
 L = Anzahl der Lieferzyklen im Planungszeitraum T (Lieferzyklen: $l = 1, \dots, L$)

r = Index der Betrachtungsperiode innerhalb eines Lieferzyklus ($r = 1, \dots, R$)

R = Anzahl der Perioden eines Lieferzyklus L (Perioden: t_{rl} mit $r = 1, \dots, R$)

t = Index der Betrachtungsperiode

T = Planungszeitraum (Betrachtungsperioden: $t = 1, \dots, T$)

$t_L(j)$ = Lieferzeit vom Zentrallager ZL_j zu den Bestellpunkten

$t_{rl} + t_L(j)$ = Liefertermin einer Bestellung in Periode t_{rl}

$t_{r'l+1}$ = Nachliefertermin im Lieferzyklus $l + 1$

t_{r^*l} = Periode im Lieferzyklus l , in der ein Zentrallager j lieferunfähig wird

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	II
Symbolverzeichnis	VI
Inhaltsverzeichnis	XI
1 Einleitung	15
1.1 <i>Hintergrund und Problemstellung</i>	15
1.2 <i>Ziel der Arbeit</i>	18
1.3 <i>Aufbau der Arbeit</i>	19
1.4 <i>Lückenanalyse</i>	22
2 Qualitative Analyse eines wertorientierten Bestandsmanagements	23
2.1 <i>Grundlagen</i>	23
2.1.1 Wertorientierung als Unternehmensziel	23
2.1.2 Wertorientierte Kennzahlensysteme	25
2.1.3 Definition, Aufgaben und Ziele des Bestandsmanagements	30
2.1.4 Bestandsmanagement als Subfunktion der Unternehmensplanung	33
2.1.5 Kostenoptimaler Lieferservice als theoriebasiertes Lösungsaxiom	34
2.2 <i>Bestandskosten</i>	35
2.2.1 Lagerhaltungskosten	35
2.2.1.1 Lagergebäudekosten	36
2.2.1.2 Lagerbestandskosten	36
2.2.2 Kapitalbindungskosten	38
2.2.3 Planungs- und Steuerungskosten	40
2.2.4 Bestellkosten	43
2.2.5 Prozesskosten	44
2.2.6 Gesamtbetrachtung im Lagerkostensatz	46
2.3 <i>Fehlmenge</i>	48
2.3.1 Definition	48
2.3.2 Reaktionsmöglichkeiten	50
2.3.3 Erfassungsprobleme	51
2.4 <i>Fehlmengenkosten</i>	51
2.4.1 Definition und Auswirkungen	51
2.4.2 Differenzierung von Fehlmengenkosten	52
2.4.2.1 Materiallogistische Perspektive	54
2.4.2.2 Fertigungslogistische Perspektive	55
2.4.2.3 Distributionslogistische Perspektive	56
2.4.2.4 Zusammenfassung	59

2.4.3	Fehlmengenkostenarten aus Sicht der Distributionslogistik	61
2.4.3.1	Sondermaßnahmen	61
2.4.3.2	Reduzierte Erlöse	62
2.4.3.3	Auftragsverluste	63
2.4.3.4	Goodwill-Verluste	66
2.4.3.5	Kundenverluste	66
2.4.4	Determinanten von Fehlmengenkosten	67
2.4.4.1	Die Art des Produktes	67
2.4.4.2	Verbundwirkungen	68
2.4.4.3	Distributionskanäle	70
2.4.4.4	Wettbewerbsstrukturen	70
2.4.4.5	Kundenverhalten	71
2.4.4.6	Zeitbezogene Faktoren	73
2.5	<i>Resümee und Lückenanalyse</i>	76
3	Strukturierung und Hierarchisierung qualitativer Kostenparameter	80
3.1	<i>Selektion und Definition eines geeigneten Modells</i>	81
3.1.1	Anforderungen an ein hierarchisches Zielsystem	81
3.1.2	Axiomatic Design	81
3.1.3	Supply Chain Valuedriver Decomposition	83
3.1.4	Übertragbarkeit der SCVD auf vorliegende Problemstellungen	86
3.2	<i>Integration der Bestandskosten in das SCVD-Modell</i>	87
3.3	<i>Integration der Fehlmengenkosten in das SCVD-Modell</i>	88
4	Modelle zur Quantifizierung von Fehlmengenkosten aus Sicht der	
	Distributionslogistik	91
4.1	<i>Stand der wissenschaftlichen Diskussion</i>	91
4.1.1	Das Modell von Eilon	93
4.1.2	Die Modelle von Schwartz	95
4.1.3	Das Modell von Chang und Niland	100
4.1.4	Das Modell von Alscher und Schneider	104
4.1.5	Das Modell von Gudehus	105
4.1.6	Das Modell von Reichmann	107
4.1.7	Das Modell von Schmid	108
4.1.8	Das Modell von Wahl	109
4.1.9	Das Modell von Botta	111
4.2	<i>Die Quantifizierung einzelner Fehlmengenkostenarten</i>	114
4.2.1	Kosten der Sondermaßnahmen	114
4.2.2	Kosten reduzierter Erlöse	116
4.2.3	Kosten des Auftragsverlustes	116

4.2.4	Kosten des Goodwill-Verlustes	117
4.2.5	Kosten des verlorenen Kunden	119
4.3	<i>Restriktionen in Mehrproduktunternehmen</i>	123
4.4	<i>Zusammenfassung und kritische Würdigung</i>	127
5	Quantitative Analyse eines kostenoptimalen Lieferservices am Beispiel eines ausgewählten Distributionsmodells der Investitionsgüterindustrie	133
5.1	<i>Rahmenbedingungen</i>	133
5.1.1	Investitionsgüter	133
5.1.2	Ersatzteilmarkt	134
5.1.3	Kapitalbindungskosten	135
5.1.4	Servicegrad	137
5.1.5	Transportkosten	139
5.1.6	Wechselkosten	143
5.2	<i>Modellierung eines praxisnahen Modells</i>	145
5.3	<i>Bestimmung einer kostenoptimalen Lieferservicestrategie</i>	155
5.3.1	Kostenoptimaler Servicegrad und optimale Lageranfangsbestände	156
5.3.2	Optimale Produktionsmengen- und Fehlmengenstrategie	163
5.3.3	Optimale Liefermengenstrategie	166
5.3.3.1	Optimale Liefermengenstrategie bei Lieferunfähigkeit	167
5.3.3.2	Optimale Liefermengenstrategie bei Nachlieferungen	168
5.4	<i>Optimale Lieferzeit</i>	170
6	Praxisbeispiel	173
6.1	<i>Modellparameter und kostenoptimaler Servicegrad</i>	173
6.2	<i>Berechnung der Lieferzyklen</i>	180
6.2.1	Erster Lieferzyklus	180
6.2.2	Zweiter Lieferzyklus	184
6.2.3	Dritter Lieferzyklus	189
6.2.4	Vierter Lieferzyklus	193
6.2.5	Fünfter Lieferzyklus	199
6.2.6	Sechster Lieferzyklus	204
7	Management Summary	209
	Anhang	211
	Quellenverzeichnis	213
	Abkürzungsverzeichnis	221

1 Einleitung

1.1 Hintergrund und Problemstellung

Das Umfeld heutiger Unternehmen ist geprägt von der Globalisierung der Märkte, schnellem technologischem Fortschritt und einem demzufolge immer stärker werdenden Wettbewerbs- und Kostendruck. Gleichzeitig werden die Produktlebenszyklen kürzer, die Produktinnovationsraten steigen und die Produktproliferation nimmt zu. Zudem wachsen durch das zunehmend transparenter werdende Angebot die Kundenerwartungen hinsichtlich der Kriterien Lieferservice und Termintreue. Die Zusage genauer Liefertermine wird aber umso schwieriger, je größer die Zahl der Kunden, der Produkte und der Produktvarianten ist. Diese Problematik wird noch verstärkt, je kürzer die Produktlebenszyklen werden, je variabler die Gestaltung der Preiskoordination ist und je stärker die Nachfrageschwankungen ausgeprägt sind [FISC08, S. 9f.].

Globale Beschaffungs- und Distributionsmärkte müssen dabei logistisch erschlossen werden und erhöhen die Komplexität existierender Strukturen. Die Orientierung an individuellen Kundenwünschen treibt innovative Konzepte wie Mass Customization und Postponement voran und verändert auf diese Weise Logistikprozesse in den gesamten Versorgungsketten. Stetig abnehmende Reaktions- und Durchlaufzeiten in Industrie und Handel, die Komprimierung von „Time-to-Market“ oder die immer kürzeren Produktlebenszyklen, die den schnellen Wandel kennzeichnen, stellen ebenfalls neue Anforderungen an die logistischen Systeme. Logistik wird angesichts dieser Entwicklungen immer mehr zu einem wesentlichen Erfolgsfaktor für die moderne Unternehmung [PFLA01, S. 3].

Die vorstehenden überblicksartigen Ausführungen verdeutlichen, dass sowohl das Wettbewerbsumfeld als auch die in ihrem Verhalten zunehmend heterogen auftretenden Kunden dafür sorgen, dass sich die im Markt agierenden Akteure nur über eine entsprechende Angebotsexzellenz dauerhaft behaupten können. Im Mittelpunkt steht die Stärkung der eigenen Kernkompetenzen mit dem Ziel, sich wirksam von der Konkurrenz abzuheben und eine eigene, unverwechselbare Wettbewerbsposition einzunehmen. Die zunehmenden Ansprüche der Nachfrager weisen einmal mehr auf die Dringlichkeit hin, ein einzigartiges Angebot zu schaffen. Kunden verlangen die stetige Verfügbarkeit der nachgefragten Artikel am erwarteten Ort, in der gewünschten Quantität und Qualität, unabhängig davon, zu welcher Zeit und an welchem Tag ein Kauf

vorgenommen wird. Die tatsächliche Produktverfügbarkeit ist somit zu einer wichtigen Quelle der Erfolgssicherung sowohl im Konsumgüterbereich als auch für Industriegüterhersteller geworden und gilt nicht umsonst als „conditio sine qua non“ für das Zustandekommen einer Transaktion [HEGE09, S. 3].

Gleichzeitig verpflichtet sich ein immer größer werdender und wachsender Teil der Unternehmen heute dem Postulat einer wertorientierten Unternehmensführung, in dem nur Maßnahmen und Konzepte realisiert werden, die langfristig den Unternehmenswert steigern. Seit der Veröffentlichung von Rappaport aus dem Jahr 1986 [RAPP86, S. 1-6] wird der Gedanke der wertorientierten Unternehmensführung unter dem Begriff „Shareholder Value“ in der Wissenschaft diskutiert. Gemäß diesem Postulat haben auch die Bestandsverantwortlichen ihre Entscheidungen so zu treffen, dass der Unternehmenswert gesteigert und damit die Existenz des Unternehmens langfristig gesichert wird [WILD05, S. 502]. Damit eng verbunden ist einerseits der Fragenkomplex, welcher Wertbeitrag durch die Logistik erbracht wird und durch welche Investitionen in Logistik und Bestände sich dieser positiv beeinflussen lässt [WILD04, S. 3]. Andererseits werden aktuell von den Unternehmen insbesondere im Bereich der Bestands- und Lagerkosten die größten Kostensenkungspotenziale in der Zukunft gesehen [WEBE10, S. 64]. Diese Potenziale beruhen nicht zuletzt auf der Bedeutung und der Existenz von Fertigwarenbeständen im Rahmen des Asset- und Working-Capital-Managements, deren Kapitalbindungskosten sich auf jährlich bis zu 20% des Bestandswertes belaufen und in Unternehmen des Maschinenbaus ca. zwei Prozent der Gesamtkosten eines Unternehmens ausmachen können [REIN97, S. 37-39]. Vor diesem Hintergrund liegt bislang das Hauptaugenmerk der Literatur zum Bestandsmanagement im Aufzeigen von Handlungsansätzen zur gezielten Beeinflussung und Senkung von Beständen [WILD10, S. 154].

Dabei kann ein guter Lieferservice als Ausdruck der Verfügbarkeit von Produkten zu einer Umsatzsteigerung führen, die wiederum eine positive Wirkung auf den Unternehmenswert haben kann. So konnte beispielsweise modellhaft aufgezeigt werden, dass ein Unternehmen mit einer 50% variablen Kostenstruktur, vergleichbar einem Produzenten mit einem hohen Anteil an direkten Herstellkosten, bei einer Umsatzsteigerung von 1% in einer Periode seinen Marktwert um fast 15% steigern konnte [LOSB05, S. 244]. Dass die Bedeutung einer hohen Lieferbereitschaft noch nicht allen Marktakteuren klar ist, zeigt sich bei einem Blick auf verschiedene Studien zur Wa-

renverfügbarkeit im Einzelhandel. Hiernach sind durchschnittlich 5 – 10% der untersuchten Waren nicht im Regal verfügbar. Dabei ist die Erkenntnis nicht neu, dass in der Reduktion von leeren Regalen ein erhebliches Optimierungspotenzial für Handel und Hersteller liegt [HEGE09, S. 4]. Verschiedene Untersuchungen zeigen speziell die Nichtverfügbarkeit von Artikeln als ein bedeutendes Ärgernis für Käufer, nicht nur im Einzelhandel [LIEB06, S. 30]. Solche Bestandslücken, auch als Fehlmengen oder Stockouts bezeichnet, erweisen sich damit als ein wesentlicher Faktor für das Entstehen von Kundenunzufriedenheit. Als direkte Folge werden geplante Käufe von den Konsumenten abgebrochen [HEGE09, S. 8] oder Kunden werden in wiederholten Fällen sogar ganz zur Konkurrenz abwandern. Es kann davon ausgegangen werden, dass Kunden ihr Einkaufsverhalten einmalig oder sogar auf Dauer ändern, wenn sie das Fehlen von Produkten wahrnehmen. So belegte eine US-Studie aus dem Konsumgüterumfeld, dass 18,7% der potenziellen Käufer den Kaufvorgang am Regal abbrechen und weitere 47,9% das gewünschte Produkt in einem anderen Geschäft bezogen, sobald sie die mangelnde Verfügbarkeit bemerkten [SCHA79, S. 66]. Schätzungen im Handel gehen von durchschnittlichen Umsatzrückgängen von ca. 4% aufgrund der Existenz von Regallücken aus [GRUE02, S. 43-44], andere Studien im Modeumfeld sprechen sogar von bis zu 12% Umsatzverlust [PERO02, S. 299]. Vor diesem Hintergrund fehlen bislang branchenübergreifende, wissenschaftliche Studien, die nicht zuletzt eine Unterscheidung zwischen Konsumgütern und Investitionsgütern vornehmen. Liegen Fehlmengen vor, ist eine exakte Kalkulation der finanziellen Einbußen auf Anbieterseite immer noch ein ungelöstes Problem [ANDE06, S. 1751], da die Modellierung und Quantifizierung der damit verbundenen Kosten, den sogenannten Fehlmengenkosten (Definition siehe Abschnitt 2.4.1), im Umfeld der Distributionslogistik bislang nur unzureichend gelöst sind. Insbesondere aufgrund der Quantifizierungsproblematik werden in der betrieblichen Praxis Fehlmengenkosten als kalkulatorische Größe nur sehr selten betrachtet. Dies führt häufig dazu, dass lediglich der Servicegrad als Ersatzziel verwendet wird [SCHW91, S. 66] und damit weitere Problemfelder eines wertorientierten Bestandsmanagements (z.B. Bestandskosten) entweder unbeleuchtet bleiben oder einzelne Parameter zur kostenoptimalen Bestimmung eines Servicegrades (z.B. Prozesskosten) erst gar nicht berücksichtigt werden.

Weber fasst diesen Konflikt wie folgt zusammen: „Diese Fülle von Problemen legt es – anders als im Rahmen ähnlicher Überlegungen für die Kapitalbindungskosten pos-

tuliert – nahe, auf einen standardmäßigen Ausweis von fehlmengenbedingten Erlös- einbußen zu verzichten. Nur dann, wenn der konzeptionelle Verwendungszweck der Kosteninformationen im Vordergrund steht, Fehlmengen eine erhebliche erfolgswirtschaftliche Bedeutung besitzen und diese nicht ausreichend über Aufzeichnung und Ausweis von Fehlmengensituationen und -umfang wiedergespiegelt werden kann, bietet sich die Aufnahme von Fehlmengenkosten als fester Bestandteil der Logistikkosten an“ [WEBE12, S. 176].

1.2 Ziel der Arbeit

Eine erste Zielsetzung besteht darin, einen wissenschaftlich fundierten und systematischen Rahmen für ein wertorientiertes Bestandsmanagement abzustecken und auszuwählen, innerhalb dessen qualitative Bestandteile von Bestandskosten und Fehlmengenkosten identifiziert, analysiert, quantifiziert und letztlich in einen hierarchischen Zusammenhang gebracht werden können. Ein inhaltlicher Schwerpunkt liegt dabei eindeutig auf einer Auseinandersetzung mit Fehlmengenkosten, welche nicht nur definiert und klassifiziert, sondern darüber hinaus auch auf Einflussgrößen und Ausprägungen diskutiert werden sollen. In diesem Zusammenhang verfolgt die Arbeit ebenso die Zielsetzung, die in der wissenschaftlichen Diskussion bekannten Modelle zur Quantifizierung von Fehlmengenkosten gegenüberzustellen und sie auf ihre Aussagekraft und Praktikabilität hin zu überprüfen.

Der Autor verfolgt des Weiteren das Ziel, die in der Literatur vorgefundene Abstraktion und Komplexität der verschiedenen Modelle im Rahmen der erforderlichen wissenschaftlichen Tiefe zu vereinfachen. Sowohl Wissenschaftler als auch erfahrene Praktiker sollen Anhaltspunkte gewinnen können, die zur Lösung konkreter praxisorientierter Problemstellungen in der Frage des Optimums zwischen Bestands- und Fehlmengenkosten beitragen. Zu diesem Zweck wurde ein realitätsbezogenes Distributionsmodell aus dem Bereich der Investitionsgüterindustrie weiterentwickelt, in der Absicht, Entscheidungsträgern in der betrieblichen Praxis unter Berücksichtigung bestimmter Modellannahmen und Rahmenbedingungen eine Hilfestellung bei der Festlegung kostenminimaler Lieferservicegrade und etwaiger Handlungsoptionen zu ermöglichen. Somit werden theoretische Erkenntnisse mit praxisnahen Fragestellungen zu einem integrierten Ansatz verknüpft, der es erlaubt, Handlungsspielräume hinsichtlich des Grades einzelner Parameter auszuloten.

Das Primärziel der vorliegenden Arbeit ist dabei die Definition einer wertoptimalen Bestandshöhe, die im Rahmen einer festzulegenden Lieferservicestrategie unter Berücksichtigung bestimmter Annahmen einen kostenminimalen Grad der Lieferbereitschaft gewährleistet. Für ein realitätsnahes, jedoch fiktives Beispiel aus der Investitionsgüterindustrie soll der optimale Lieferbereitschaftsgrad definiert und die Anwendbarkeit der allgemein abgelieferten Ergebnisse auf konkrete Entscheidungssituationen hervorgehoben werden. Die abgeleiteten Ergebnisse sollen dabei die hervorragende Bedeutung, die die Quantifizierung von Fehlmengenkosten und deren Gegenüberstellung mit den Kosten der Lagerhaltung zukommen, unterstreichen und für die Investitionsgüterindustrie eine neue gedankliche Basis darstellen.

Aus Sicht der Wirtschaftsinformatik besteht letztlich eine Zielstellung darin, die zunächst theoriegeleiteten Entscheidungsmodelle zur Quantifizierung von Fehlmengenkosten und deren Ausprägungen in eine programmierbare Grundlage für softwareunterstützte IT-Lösungen zu überführen. Logistik- und Bestandsverantwortliche könnten auf diese Weise mit Informationen und Entscheidungsvorschlägen in Form vorselektierter Alternativen in Bezug auf die Festlegung von kostenminimalen Lieferservicegraden unterstützt werden.

Die wesentlichsten Innovationen dieser Ausarbeitung bestehen darin, einen vollständigen Überblick auf die relevanten Parameter von Bestands- und Fehlmengenkosten einschließlich ihrer Strukturierung und Hierarchisierung im Kontext von Industriegütern zu erhalten und in der Analyse und Weiterentwicklung theoriegeleiteter Modelle mit einer anschließenden Verifizierung am Beispiel eines praxisnahen und nachvollziehbaren Distributionsmodells.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in sieben Kapitel gegliedert.

Einleitend werden Hintergründe und Problemstellungen erläutert, gefolgt von Zielsetzungen und einer graphischen Inhaltsübersicht. Abgerundet wird das erste Kapitel durch eine Grobanalyse der wissenschaftlichen Lücke.

Im zweiten Kapitel werden einige wichtige Grundlagen abgehandelt, ob und inwiefern existierende Konzepte des wertorientierten Bestandsmanagements die Problemstellung der vorliegenden Arbeit bereits abdecken können. Anschließend werden im Detail die Bestandskosten analysiert und auf ihre Relevanz und Vollständigkeit für die

Problemstellung der Arbeit hin überprüft. Im nächsten Schritt wird eine begriffliche Fundierung zunächst von Fehlmengen und im Anschluss von Fehlmengenkosten aus distributionspolitischer Perspektive vorgenommen. Die Fehlmengenkosten werden zunächst exakt identifiziert sowie deren Entstehungsgründe und Bestimmungsfaktoren genauestens beleuchtet.

In Kapitel drei wird ein geeignetes Modell geprüft, selektiert und definiert, wie eine Strukturierung und Hierarchisierung einzelner Parameter bei Bestands- und Fehlmengenkosten in ausgewählten, wertorientierten Ansätzen im Umfeld des Bestandsmanagements vorgenommen werden kann. Diese Parameter werden in ein ausgewähltes Ziel-Mittel-System integriert, mit der Absicht, einen hierarchisch strukturierten Überblick dieser Kostenparameter zu bilden und anschaulich zu visualisieren.

In Kapitel vier wird ein aktueller Abriss über existierende Ansätze zur Quantifizierung von Fehlmengenkosten sowie einzelner Fehlmengenkostenarten im spezifischen erfolgen. Mögliche Adaptionen existierender Modelle werden dabei hinsichtlich Übertragbarkeit auf die vorliegende Arbeit diskutiert, zusammengefasst und mit kritischem Blick gewürdigt.

Im fünften Kapitel werden am Beispiel eines ausgewählten, praxisnahen Distributionsmodells aus dem Investitionsgüterumfeld zunächst die erforderlichen Rahmenbedingungen festgelegt, die für die Quantifizierung und anschließende Berechnung erforderlich sind. Es wird insgesamt eine kostenoptimale Lieferservicestrategie entwickelt sowie Teilstrategien hinsichtlich Lieferbereitschaftsgrad, Liefermenge und Lieferzeit ausführlich diskutiert und definiert, in welche die gewonnenen Erkenntnisse von Kapitel zwei und vier miteinfließen.

In Kapitel sechs werden auf Basis des im vorherigen Kapitel entwickelten Entscheidungsmodells verschiedene Berechnungen zur Bestimmung eines kostenoptimalen Lieferservices durchgeführt.

Abgerundet wird die Arbeit in Kapitel sieben durch eine zusammenfassende Darstellung der herausgearbeiteten Feststellungen sowie durch einige ausgewählte Diskussionsanstöße, die sich für zukünftige Forschungsprojekte aus dieser Abhandlung ableiten lassen.

Ein Gesamtüberblick der Gliederung stellt Abbildung 1 dar.

1 Einleitung				
Hintergrund und Problemstellung	Ziel der Arbeit	Aufbau der Arbeit	Lückenanalyse	
2 Quantitative Analyse eines wertorientierten Bestandsmanagements				
Grundlagen	Bestandskosten	Fehlmengen	Fehlmengenkosten	Resümee und Lückenanalyse
3 Strukturierung und Hierarchisierung qualitativer Kostenparameter				
Selektion und Definition eines geeigneten Modells	Integration der Bestandskosten in das SCVD-Modell	Integration der Fehlmengenkosten in das SCVD-Modell		
4 Modelle zur Quantifizierung von Fehlmengenkosten aus Sicht der Distributionslogistik				
Stand der wissenschaftlichen Diskussion	Die Quantifizierung einzelner Fehlmengenkostenarten	Restriktionen in Mehrproduktunternehmen	Zusammenfassung und kritische Würdigung	
5 Quantitative Analyse eines kostenoptimalen Lieferservices am Beispiel eines ausgewählten Distributionsmodells der Investitionsgüterindustrie				
Rahmenbedingungen	Modellierung eines praxisnahen Modells	Bestimmung einer kostenoptimalen Lieferservicestrategie	Optimale Lieferzeit	
6 Praxisbeispiel				
Modellparameter und kostenoptimaler Servicegrad	Berechnung der Lieferzyklen			
7 Management Summary				

Abbildung 1: Gliederungsübersicht

An dieser Stelle sei auf folgende Formalien hingewiesen:

- Folgende Begrifflichkeiten werden synonym verwendet, obgleich dem Autor durchaus bewusst ist, dass sich streng genommen kontextbezogen verschiedene Interpretationsmöglichkeiten ergeben können. Hier wird bewusst eine gewisse semantische Unschärfe in Kauf genommen:

Lieferbereitschaftsgrad / Servicegrad

- Falls handelnde Personen Erwähnung finden (z.B. Mitarbeiter, Entscheider), beziehen sich diese selbstverständlich auf das männliche als auch auf das weibliche Geschlecht. Um den Lesefluss nicht unnötig zu stören, wurde daher ausdrücklich auf umständliche Wortgebilde verzichtet, die eine Berücksichtigung beider Geschlechter zum Ziel gehabt hätten.

1.4 Lückenanalyse

Einleitend wurde bereits darauf hingewiesen, dass bei der Konkretisierung und der Quantifizierung von Fehlmengenkosten aus einer distributionslogistischen Perspektive sowie der Wirkungsweisen von Fehlmengenkosten auf die Gestaltung des Lieferservices sowohl aus Sicht der Theorie als auch aus Sicht der praktischen Anwendung Defizite bestehen. Hieraus lassen sich folgende, wissenschaftlich relevante Lücken herausarbeiten:

- Logistische Leistungen in Form von Beständen sind nicht eindimensional zu betrachten. Vielmehr lassen sich diese durch die Dimensionen Kosten, Zeit und Lieferservicequalität abbilden.
- Zwischen Investitionen in Fertigwarenbestände und den zu erwarteten Umsatzsteigerungen durch einen verbesserten Lieferservice einerseits und der aus mit einem Lieferbereitschaftsgrad resultierender Bestandshöhe andererseits bestehen Wirkbeziehungen. Diese wurden weder in Theorie noch in der Praxis ausreichend analysiert.
- Die Identifikation und Zuordnung von Bestandskosten und Fehlmengenkosten zu den Leistungsbereichen ist zwar teilweise über das Rechnungswesen und das Controlling möglich, jedoch bislang nicht sinnvoll in eine Struktur und Hierarchie eingebunden.
- Fehlmengenkosten finden sich meist in unterschiedlichen Unternehmensbereichen wieder, was deren Transparenz und dynamische Interaktion mit anderen Ausprägungen von Logistikkosten erheblich erschwert.
- Es existiert kein umfängliches und nachvollziehbares Messkonzept, das die Werthaltigkeit von Fertigwarenbeständen unter Berücksichtigung von Lagerkosten und Kapitalbindungskosten modelliert und quantifiziert. Vorhandene Konzepte bilden lediglich Segmente der erforderlichen Perspektive ab.

2 Qualitative Analyse eines wertorientierten Bestandsmanagements

Nachfolgend sollen im Rahmen einer qualitativen Betrachtung eines wertorientierten Bestandsmanagements zuerst die Grundlagen kurz angeschnitten werden, bevor auf die in der Ausarbeitung relevanten Elemente Bestandskosten und Fehlmengenkosten näher eingegangen wird.

2.1 Grundlagen

2.1.1 Wertorientierung als Unternehmensziel

Wertorientierung bzw. Wertmanagement (Englisch: Value Based Management) bedeutet die Konzentration der Unternehmensführung auf die Maximierung des Unternehmenswertes [COPE02, S. 27]. Seit ihrem Aufkommen Mitte der 1980er Jahre hat sich die wertorientierte Unternehmenssteuerung zweifellos als eine der Dogmen der Unternehmensführung etabliert [COEN07, S. 3]. Die zunehmende Wertorientierung strategischer Managemententscheidungen resultiert dabei nicht nur aus den veränderten Rahmenbedingungen an den internationalen Finanzmärkten, bei denen Unternehmen vor dem Hintergrund der Vielzahl von Anlagealternativen potenzieller Investoren das ihnen zur Verfügung gestellte Kapital maximieren müssen, um Wettbewerbsvorteile gegenüber konkurrierenden Kapitalnachfragern zu erzielen [BÜHN96, S. 334], sondern auch aus dem international stetig wachsenden Anteil des durch institutionelle Investoren oder Privatinvestoren verwalteten Beteiligungskapitals [GÜNT96, S. 391f.].

Zwar besitzt die Wertorientierung eine hohe, zukünftig steigende Relevanz in der Unternehmenspraxis [GEGI06, S. 8f.], die Steigerung des Unternehmenswertes wird jedoch die Hauptzielsetzung deutscher Unternehmen bleiben. Insbesondere die Kapitalmärkte könnten Veränderungsdruck hin zu einer wertorientierten Unternehmenssteuerung erzeugen [MÜLL05, S. 84].

Wie lassen sich nun aber Werte im Management von Beständen im Vertriebskontext grundsätzlich generieren? Wertgenerierung hat – unabhängig von ihrem zugrunde gelegten Messkonzept – grundsätzlich drei wesentliche Stellhebel: Zum einen die Reduktion der Vermögenspositionen auf ein betriebsnotwendiges Maß, die Verringerung der unternehmensspezifisch aufzubringenden Fremd- und Eigenkapitalzinssätze und

schließlich die Erhöhung des Unternehmensgewinns bzw. des Cashflows. Im Sinne des erstgenannten Postulats beinhaltet dieser Grundsatz explizit, bei einer langfristig ausgelegten Maximierung des eigentümer- bzw. kapitalmarktgetriebenen Wertes auch die Zielsetzungen auf der Supply-Chain-Ebene zu berücksichtigen [ESSI08, S. 181] und damit nachgelagert auf Teilziele in Logistik- und Bestandsmanagement herunterzuberechnen. „Erst durch die Umsetzung auf operativer Ebene kann aber von einer wertorientierten Unternehmenssteuerung im eigentlichen Sinne gesprochen werden“ [HOFM07, S. 153].

Obwohl sich das Supply-Chain-Management von einer reinen Kostenfokussierung zu einem stärkeren Wertbezug entwickelt hat [DAVI04, S. 12], existiert bislang noch kein umfassender Ansatz für ein wertorientiertes Logistik- und Supply-Chain-Management [NEHE03, S. 43].

Dieser, bislang in der wissenschaftlichen Diskussion offenbar vernachlässigte Fokus der Wirkung von wertorientiertem Bestandsmanagement auf den Gesamterfolg eines Unternehmens ist dabei umso bemerkenswerter, da in verschiedenen Studien bereits nachgewiesen werden konnte, dass der Erfolg eines Unternehmens primär vom Unternehmenswert und im Rahmen dessen u.a. vom Reifegrad des logistischen Netzwerks abhängig ist [STRA08, S. 118]. Beispielsweise konnten 2001 Weber und Dehler unter Beweis stellen, dass Unternehmen, die eine hohe Logistikleistung erbringen, erheblich zur Zufriedenheit und zur Bindung bestehender Kunden beitragen und somit eine Steigerung des Unternehmensgewinns erzielen [WEBE01, S. 25]. Damit steigt die Bedeutung der Logistikleistung in der Wahrnehmung von Kunden. Effizientes Logistikmanagement leistet darüber hinaus einen entscheidenden Beitrag zur positiven Differenzierung des Unternehmens im Wettbewerb [WILD04, S. 70].

Die zentrale Fragestellung, wie Wertsteigerungen von Fertigwarenbeständen in der Distributionslogistik, insbesondere bei zufälliger Nachfrage, überhaupt gemessen werden können, bleibt darin zunächst unbeantwortet. Aus diesem Grund soll in den folgenden Ausführungen aufgezeigt werden, welche wertorientierten Konzepte bislang in Forschung und Praxis existieren und ob diese Ansätze gegebenenfalls auf die Problemstellung der vorliegenden Arbeit adaptiert werden können.

2.1.2 Wertorientierte Kennzahlensysteme

Bei wertorientierten Ansätzen handelt es sich in aller Regel um Rechensysteme, die aufbauend auf formelbasierten und verknüpften Kennzahlen letztlich den entsprechenden Wert eines Unternehmens berechnen [LIEB05, S. 17-19]. Die nachfolgende Tabelle 1 liefert eine Auswahl von Konzepten, die grundsätzlich auf wertorientierte Fragestellungen adaptierbar sind:

Tabelle 1: Wertorientierte Konzepte im Logistikmanagement, in Anlehnung an [LAMB00, S. 15]

Wertorientierte Konzepte für SCM und Logistikmanagement	
Total Cost Analysis	Betrachtet werden die Gesamtkosten aller Logistik-/SCM-Aktivitäten (Beschaffung, Transport, Lagerung, Abwicklung, Vertrieb etc.). Dabei fällt außer Betracht, welchen Wert sowohl für das Unternehmen als auch für Kunden geschöpft wird.
Strategic Profit Model	Gezeigt wird der (qualitative) Einfluss des Logistikmanagements bzw. SCM auf Umsatz, Kosten, Anlagevermögen und Bestände und wie dadurch eine höhere Kapitalrendite resultieren kann.
Shareholder Value (SHV)	Sog. Werttreiber („Value Drivers“) werden identifiziert: Logistik bzw. SCM beeinflusst Umsatzwachstum, operationelle Kosten, Effizienz des Anlage- und Umlaufvermögens. Der Shareholder-Value ist der kumulierte Barwert des durch das Unternehmen generierten zukünftigen Cashflows.
Economic Value Added (EVA)	Die EVA-Werttreiber sind analog zum Shareholder-Value. Es wird die wirtschaftliche Wertschöpfung (EVA) als Differenz zwischen Betriebsgewinn und Kapitalkosten für Fremd- und Eigenkapital berechnet.
Kausalmodell von Landeghem und Persoons (2001)	Der Einfluss von Best Practices auf Kennzahlen mehrerer Ebenen der Zielbereiche Flexibilität, Reaktionszeit, Qualität und Kapitalrendite wird anhand einer Baumstruktur aufgezeigt.

Nachfolgend sollen mit dem Strategic-Profit-Model und dem Economic-Value-Added-Konzept zwei Ansätze in komprimierter Form vorgestellt werden, die im Gegen-

die Ertragssituation eines Unternehmens ausüben, bleibt darin unbeantwortet. Auffallend liegt bei Beständen eine einseitige Betrachtung auf dem Kostenaspekt, womit die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen, z.B. durch eine erhöhte Lieferbereitschaft und damit eines verbesserten Kundenservices, mit dem Resultat einer Unternehmenswertsteigerung unbeachtet bleibt.

Das Economic-Value-Added-Konzept (kurz EVATM, zu Deutsch: ökonomischer Mehrwert) definiert sich als „the residual income that remains after operating profits cover a full and fair return on capital“ [STEW99, S. 742] und damit als Übergewinn eines Unternehmens, der über die Gesamtkosten hinaus (inklusive der Gesamtkosten für Eigen- und Fremdkapital) erwirtschaftet wird [HOST00, S. 19-21]. Als Instrument zur Messung des Unternehmenswertes findet EVA seit den 1990er Jahren bei einer Vielzahl internationaler Konzerne, u.a. Siemens, Coca Cola, Procter & Gamble, als ein Instrument zur Unternehmensführung breite Verwendung [LOSB05, S. 243] mit dem Ziel, Informationen darüber zu liefern, welche Strategien bzw. Investitionen wertsteigernd bzw. wertvernichtend sind [NOWA03, S. 135-136]. Der EVA-Ansatz als Residualgewinngröße [PFOH03, S. 29] basiert auf der Kritik an traditionellen unternehmerischen Zielgrößen [HAHN98, S. 71-72] und hat sich mittlerweile als ressourcenbetonte Mehrwertrechnung bei vielen Unternehmen durchgesetzt [SENN08, S. 26]. Nachfolgende Abbildung 3 veranschaulicht, dass sich Bestände (Inventory) grundsätzlich über das Umlaufvermögen (Working-Capital) sowie die Kapitalkosten (Capital-Charge) auf der Ausgabenseite direkt auf EVA auswirken, wengleich an dieser Stelle keine Unterscheidung zwischen Fertigwaren- und Halbfertigwarenbeständen notwendig ist:

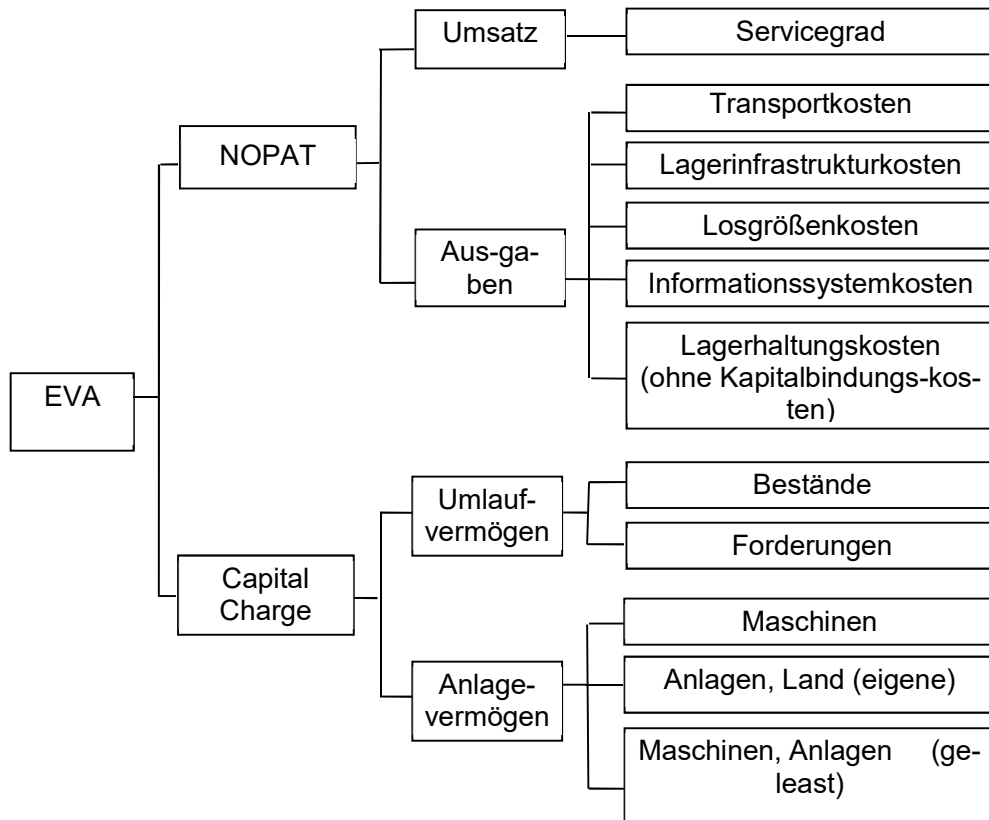


Abbildung 3: Economic-Value-Added-Konzept [LAMB00, S. 13]

Allgemein betrachtet verfolgt EVA in Bezug auf Logistik- und Bestandsmanagement das Ziel, alle Maßnahmen und Aktivitäten des Bestandsmanagements so auszubalancieren, dass Bestände und deren Höhe insgesamt zur Wertgenerierung beitragen. Das bedingt einerseits eine Optimierung der Kostenseite in Form von Kapitalkosten und operationeller Kosten sowie andererseits höhere Umsätze durch gesteigerten Kundennutzen dank besserer Liefertreue und verbesserter Verfügbarkeit. Nachfolgende Abbildung 4 verdeutlicht diese Zusammenhänge:

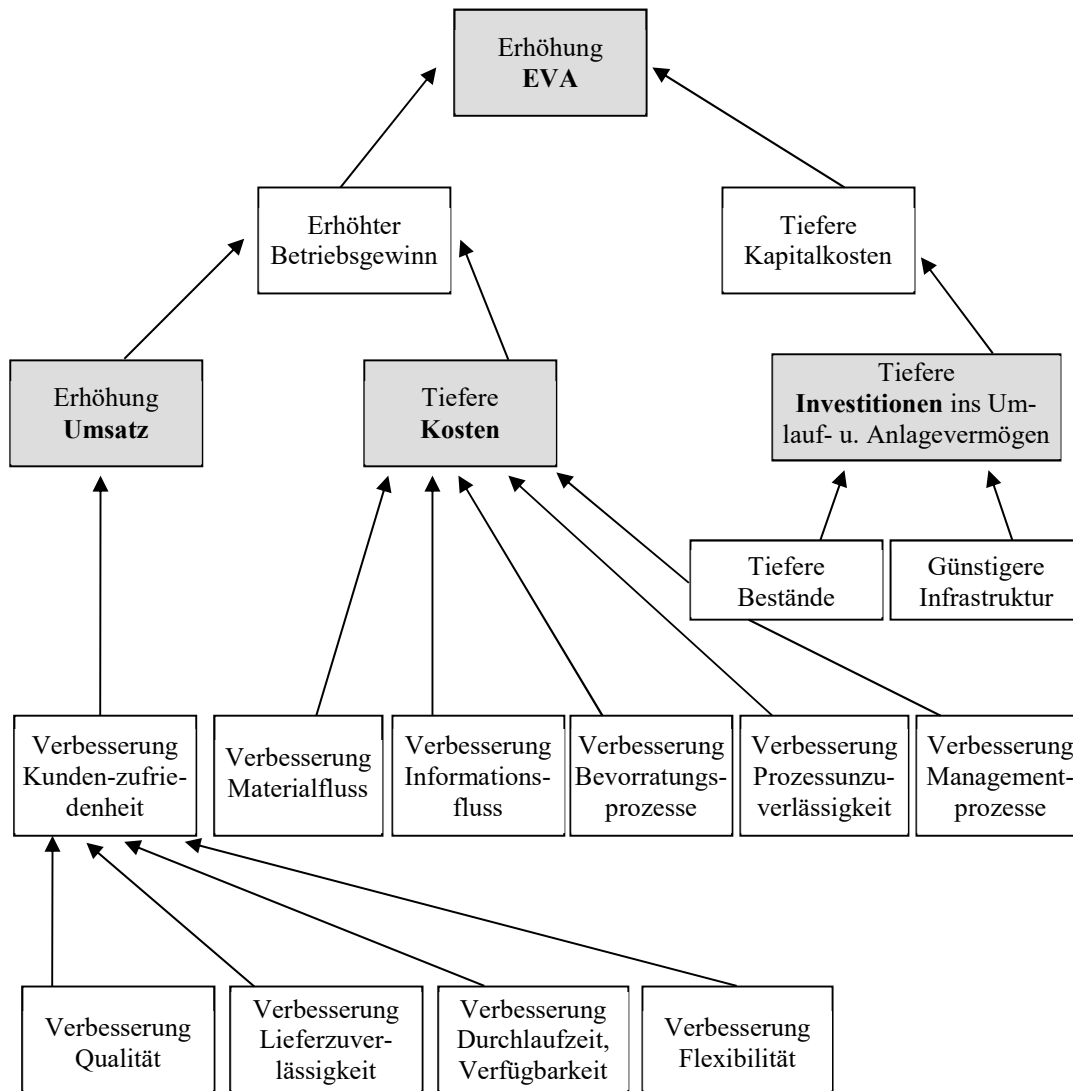


Abbildung 4: EVA-Beitrag zur Logistik [SENN08, S. 33]

Es ist erkennbar, dass auf der Umsatzseite der positive Einfluss von Logistik und Bestandsmanagement durch eine Erhöhung der Kundenzufriedenheit gewährleistet werden soll, was sich jedoch in der Praxis bedauerlicherweise nicht einfach quantifizieren lässt. Demgegenüber kann der Kostenblock als relativ transparent angesehen werden, da sich Kosten verschiedener Bereiche immer in der gleichen Basiseinheit darstellen lassen und sie damit uneingeschränkt aggregierbar und detaillierbar sind. Schließlich führen geringere Kosten des eingesetzten Kapitals zu einer EVA-Erhöhung, die auf Investitionen in Anlage- und Umlaufvermögen abzielen. Dabei rückt häufig der Abbau von Beständen an Fertigwaren und Halbfertigprodukten in den Mittelpunkt wertorientierter Diskussionen [SENN08, S. 32-34].

Der Vorteil des EVA-Konzeptes liegt darin begründet, dass mit Hilfe der EVA-Methode in einzelnen Unternehmensbereichen Entscheidungen über Strategien, Projekte und andere Vorhaben im Management von Beständen getroffen werden können. Dabei lässt sich EVA als Zielgröße verwenden und der Analyse, Ausarbeitung und Beurteilung von Alternativen zugrunde legen. Darüber hinaus lässt es sich als unproblematisch zu berechnendes und transparentes Konzept würdigen, das eine oberste Kennzahl umfasst und sich eng an das traditionelle Rechnungswesen anlehnt. Die erforderlichen Zahlen können für Außenstehende häufig dem Geschäftsbericht entnommen werden, sodass Vergleiche zwischen mehreren Unternehmen mit relativ geringem Aufwand möglich sind. Zusätzliche Vorteile gegenüber dem Strategic-Profit-Model liegen darin, dass sich EVA leicht mit anderen Führungsinformationssystemen verknüpfen lässt [SENN08, S. 35].

Abschließend beurteilt hat EVA den Vorteil, dass dessen Komponenten (Umsatz, Kosten, gebundenes Kapital) grundsätzlich isoliert und zudem auf unterschiedlich detaillierte Phasen des Wertschöpfungsprozesses bezogen werden können. Damit wird eine getrennte Betrachtung der Entwicklung von Kosten-, Umsatz- und Kapitalbindung ermöglicht, die für diverse Analysen aufbereitet werden kann. Als wichtige Einschränkung muss jedoch festgehalten werden, dass EVA zwar über Wirkungen berichtet, aber jenseits der beiden auf formalem Wege isolierten Komponenten (NOPAT, Kapitalkosten) nicht über deren Ursachen [OTTO02, S. 283]. An diesem konzeptionellen Nachteil setzt jedoch die vorliegende Arbeit an, die es sich unter anderem zum Ziel gesetzt hat, Ursachen und Wirkungsweisen von Bestands- und Fehlmengenkosten in Abhängigkeit eines gewünschten Lieferservicegrades analytisch zu beleuchten.

2.1.3 Definition, Aufgaben und Ziele des Bestandsmanagements

Das Management von Beständen, synonym zum Begriff „Bestandsmanagement“ zu verstehen, ist in einer ganzheitlichen Sichtweise als eine integrierte Betrachtung aller im Unternehmen vorhandenen Lagerbestände zu verstehen [PFOH04, S. 50], die, anders als die Logistikkonzeption, die flussorientierte Betrachtung von Logistikprozessen in den Mittelpunkt rückt, und welche die Klassifikation, Planung, Steuerung und Kontrolle von Beständen innerhalb dieser Logistikprozesse zum Ziel hat [STÖL04, S. 29]. Betrachtungsgegenstand des Bestandsmanagements sind demzufolge sämtliche

Vorräte an Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen sowie fertigen und unfertigen Erzeugnissen und er umfasst sowohl Lager-, Transport- als auch Bearbeitungsbestände. Eine Systematisierung von Beständen zeigt folgende Abbildung:

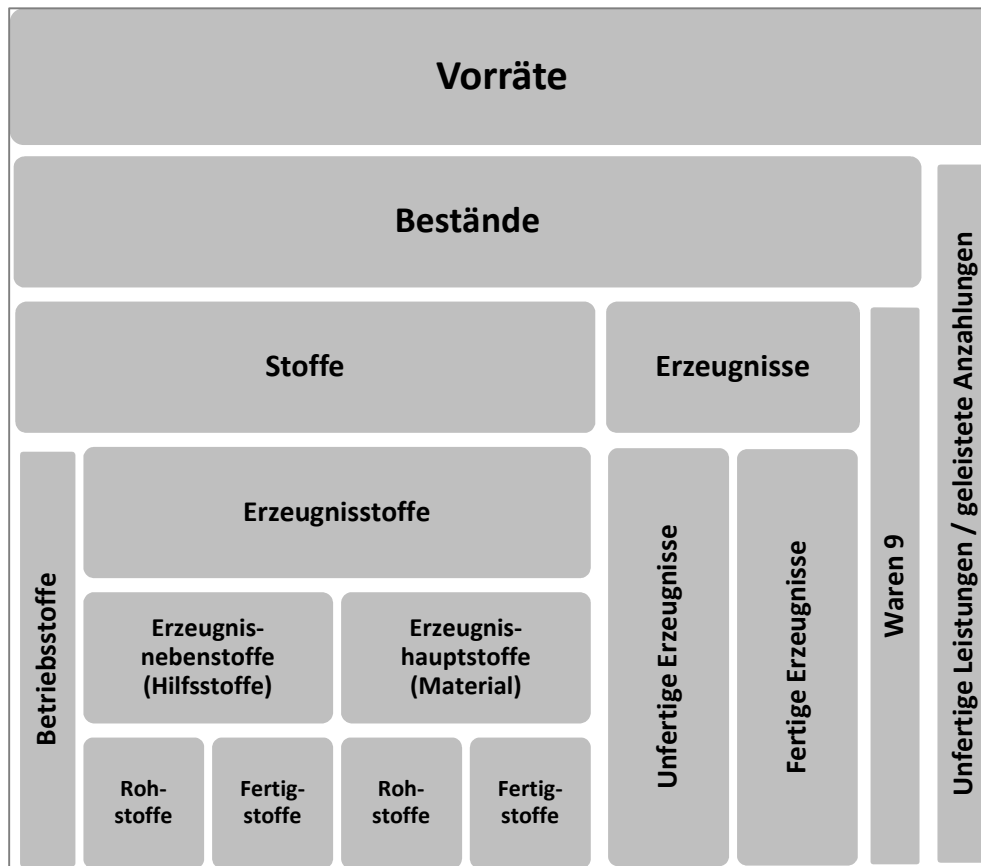


Abbildung 5: Begriffe Gliederung der Bestände [REIN97, S. 18]

Erstes Ziel des Bestandsmanagements ist die Versorgung der einzelnen Bedarfsträger mit dem benötigten Material bzw. die Minimierung von Fehlmengenkosten, soweit diese beeinflusst werden können. Zweites Ziel ist die Minimierung der Bestandskosten, die sich aus den Auswirkungen der Bestände auf die Kostensituation ableitet. Ein drittes Ziel des Bestandsmanagements liegt darin, eine ganzheitliche Planung und Kontrolle von Beständen zu erreichen, indem eine Koordination aller Teilbereiche eines Unternehmens und ein Interessensausgleich zwischen diesen Bereichen stattfinden [STÖL04, S. 30f.].

Grundlegend für das Management von Beständen ist die Überlegung, dass die Kapitalbindung im Umlaufvermögen ebenso eine Investition darstellt wie die Kapitalbindung im Anlagevermögen [PFOH04, S. 50]. Durch eine Absenkung der Kapitalbindung kann so durch eine größere Kapitalumschlagshäufigkeit eine Maximierung der Gesamtkapitalrentabilität entstehen, die stets auch eine Verbesserung der Eigenkapitalrentabilität zur Folge hat [REIN97, S. 21].

Das Bestandsmanagement strebt daher an, den Erlös aus der betrieblichen Leistungserstellung durch funktionsgerechte Bestandsvorhaltung oder geeignete Substitutionsmaßnahmen zu steigern. Konflikte zwischen den drei vorstehend genannten Zielsetzungen bei einzelnen Entscheidungen lassen sich durch Analyse der Auswirkungen auf das Basisziel der Maximierung der Gesamtkapitalrentabilität auflösen [REIN97, S. 22f.].

Aus den für das Bestandsmanagement relevanten Führungssystemen Unternehmenspolitik, Planung und Kontrolle resultieren die Aufgabenfelder der Bestandspolitik in Form einer langfristigen und kurzfristigen Bestandsplanung und -kontrolle sowie der Steuerung von Beständen [REIN97, S. 24]. Im Detail gliedern sich die Aufgaben des Bestandsmanagements in die folgenden Punkte, die gleichzeitig als Anforderungen an die Konzipierung eines Controlling-Systems für Bestände genannt werden können [REIN01, S. 15]:

- Vorgabe von Soll-Bestandswerten
- Ermittlung der Ist-Bestandssituation
- Durchführung von Soll-Ist-Vergleichen
- Verfolgung von Frühwarnindikatoren der Bestandsentwicklung
- Ableitung und Durchführung erforderlicher Maßnahmen zur Beeinflussung der Bestände

Für ein erfolgreiches Bestandsmanagement gibt es auf Grundlage der genannten Ausführungen eine Reihe von Voraussetzungen, die jedoch in den meisten Unternehmen erst unzureichend erfüllt sind [HART99, S. 32-34]:

- Koordination der Beschaffungs-, Fertigungs- und Vertriebslogistik
- Wahrnehmung von Controlling-Aufgaben im Bestandsmanagement
- Schaffung eines integrierten EDV-Systems mit dem Ziel einer Verbesserung der Informationssysteme
- Systematische Anwendung von Controlling-Methoden

Zusammenfassend kann man festhalten, dass das Bestandsmanagement weit über die Aufgabenstellung der reinen Lagerbewirtschaftung hinausgeht und sich auf einen ganzheitlichen Denkansatz erstreckt, der sowohl Aspekte des Konfliktmanagements als auch den Ausgleich zwischen konfliktären Bereichsinteressen entlang der gesamten logistischen Kette beinhaltet. Andererseits zeigt sich, dass über das Bestandsmanagement zwar ein wesentlicher Stellhebel zur Beeinflussung der logistischen Leistung erschlossen werden kann [REIN01, S. 55], ihre Einflussgrößen aber in aller Regel einzeln und unabhängig von den Wechselwirkungen zwischen Beständen behandelt [MILZ96, S. 37] und nicht in ein ganzheitliches Modell integriert werden. Hier besteht ein wesentliches Defizit der Literatur hinsichtlich der Anforderungen an ein nachhaltiges Bestandsmanagement [REIN01, S. 15].

2.1.4 Bestandsmanagement als Subfunktion der Unternehmensplanung

Im Folgenden soll ein kurzer Abriss über die Managementkomponente des Bestandsmanagements sowie dessen Einordnung in die Gesamtphilosophie eines Unternehmens vorgenommen werden.

In Bezug auf die Managementkomponente des Begriffs taucht in der wissenschaftlichen Diskussion immer wieder die Frage auf, welches der bekannten Managementsubsysteme wie Unternehmensphilosophie, Unternehmenspolitik, Planung, Führung, Organisation und Managemententwicklung für das Management von Beständen relevant sein können. Die Unternehmensphilosophie als oberstes Wertesystem enthält kaum direkte Überlegungen zu Beständen. Indirekt kann sie allerdings die Denkhaltung zu Beständen beeinflussen, zum Beispiel durch grundsätzliche Wertvorstellungen in Bezug auf Qualität, Service oder Kooperation. Im Rahmen der Unternehmenspolitik werden Entscheidungen getroffen, die für Bestände von Bedeutung sein können. Solche Entscheidungen können beispielsweise längerfristig anzustrebende Ziele oder die Festlegung der Verhaltensgrundsätze gegenüber Marktpartnern betreffen. Die für das Bestandsmanagement bezogene Ausprägung der Unternehmenspolitik ist die Bestandspolitik. Dazu gehören u.a. Entscheidungen über Bestandsorte, die Verankerung der Bestandsverantwortung im Unternehmen sowie die Standortplanung von Lagerhäusern. Für das Management von Beständen sind vor allem die Managementsubsysteme Unternehmenspolitik, Planung und Kontrolle als relevant zu bezeichnen, woraus sich die strategischen Aufgabenbereiche Bestandspolitik, Bestandsplanung und Bestandskontrolle für das Management von Beständen ableiten lassen [STÖL04, S. 29f.].

2.1.5 Kostenoptimaler Lieferservice als theoriebasiertes Lösungsaxiom

Nachfolgend soll das wichtigste Problem der vorliegenden Arbeit aus der wissenschaftlichen Perspektive heraus näher beleuchtet und beschrieben werden. Grundlage der Überlegungen ist die Tatsache, dass die im vorherigen Abschnitt erstgenannten Zielsetzungen des Bestandsmanagements, Versorgungssicherheit und Minimierung der Bestandskosten, sich grundsätzlich gegenläufig verhalten, da Bestandskosten eher durch niedrige Bestände, Fehlmengenkosten jedoch eher durch hohe Bestände vermieden werden können. Der Nutzen relativ hoher Bestände liegt darin begründet, kurze Lieferfristen bzw. eine hohe Verfügbarkeit zu garantieren und damit potenzielle Mehrumsätze zu generieren bzw. Umsatzverluste zu vermeiden, was sich prinzipiell positiv auf wertorientierte Kennziffern auswirkt. Auf der anderen Seite sind durch Bestände zwangsläufig höhere Kosten zu erwarten, was negative Folgen auf Dauer und Höhe der Kapitalbindung hat. Zusammenfassend ergibt sich damit hinsichtlich einer kostenoptimalen Sichtweise, die im Zusammenhang mit Fertigwarenbeständen von Bedeutung ist, ein sog. Trade-Off (Deutsch: Zielkonflikt) zwischen den Kosten, die durch Bestände verursacht werden, und den Kosten, die durch Fehlmengen entstehen. Folgende Skizze (Abbildung 6) verdeutlicht diese Problematik:

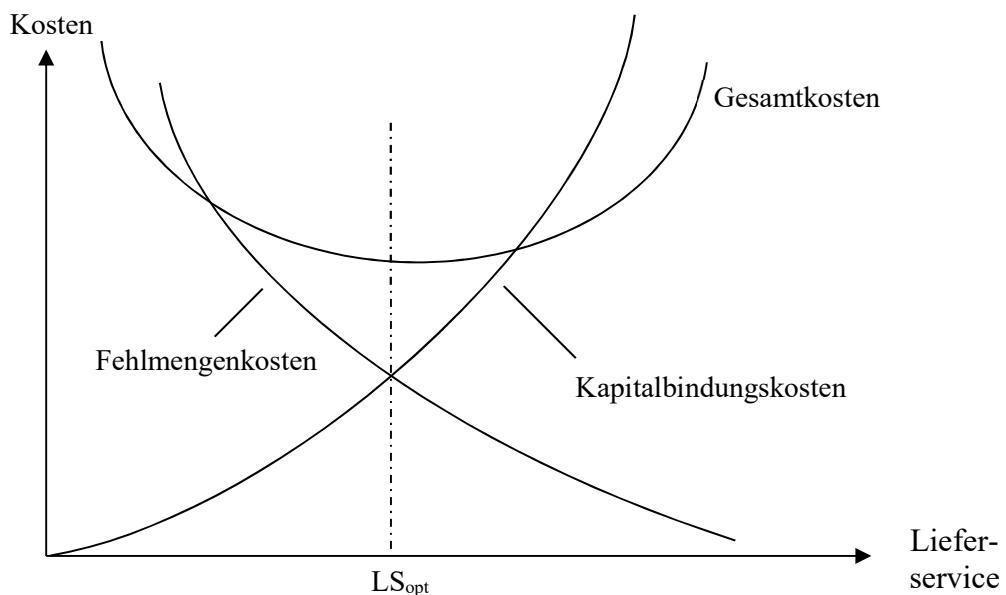


Abbildung 6: Modellhafte Bestimmung des optimalen Lieferservice

(eigene Darstellung in Anlehnung an [WUPP90, S. 30])

Diese beiden Ziele müssen an der Maxime ausgerichtet werden, die notwendige Versorgungssicherheit mit den minimalen Beständen durch einen funktionsübergreifenden Optimierungsansatz zu gewährleisten. Ein wertorientiertes Bestandsmanagement muss daher berücksichtigen, dass weder Bestands- noch Fehlmengenkosten vollständig zu vermeiden sind und Bestandssenkungen, und damit eine Kostenreduktion in einem Bereich, zu Fehlmengenkosten in einem anderen Bereich führen kann. Ein modernes Logistikmanagement und eine prozessorientierte Sichtweise tragen dazu bei, dass Bestandsmanagement als Teilbereich der Logistik zu verstehen und alle Unternehmensbereiche entlang der Wertschöpfungskette, in denen Bestände eine Rolle spielen, integriert zu betrachten [STÖL04, S. 31].

Das wertorientierte Bestandsmanagement nimmt demnach eine typische Querschnittsfunktion ein und alle Maßnahmen zur Festlegung eines bestimmten Lieferservicegrades müssen dahingehend aus wertorientierter Sicht so ausbalanciert werden, dass der Nutzen unter Berücksichtigung der Kostenseite ein Optimum erreicht.

2.2 Bestandskosten

Im diesem Abschnitt sollen die im Rahmen der Lagerhaltungstheorie relevanten Bestandskosten benannt und in komprimierter Form beschrieben werden. Es werden dabei ausdrücklich Kostenbestandteile wie Planungs- und Steuerungskosten, Bestellkosten und Kosten der prozessbasierten Informationsverarbeitung mitaufgenommen, obwohl sie gelegentlich bei wissenschaftlichen Arbeiten als vernachlässigbar gering bezeichnet und daher nicht in den betroffenen Modellen quantifiziert werden [WAHL99, S. 34].

2.2.1 Lagerhaltungskosten

In der wissenschaftlichen Diskussion unterscheidet eine Vielzahl von Autoren bei den Lagerhaltungskosten zwischen den Kosten, die für die Bereitstellung von Lagerungsmöglichkeiten anfallen (sog. Lagergebäudekosten), und den Kosten, die wegen der Warenlagerung entstehen (sog. Kosten aus Lagerbeständen). Diese Unterteilung soll für den weiteren Verlauf der Arbeit übernommen werden, da sie zwischen beiden Kostenarten übersichtlich zu trennen vermag [BRAN98, S. 100].

Des Weiteren sind Lagerhaltungskosten gegenüber den Beschaffungskosten abzugrenzen, die den Aktivitäten der Warenbeschaffung zuzuordnen sind [BRAN98, S. 93] und die nicht in direktem Zusammenhang mit planungs- und steuerungsrelevanten Prozessen und deren Aufwendungen im Kontext der Distributionslogistik stehen. Demnach beginnt die Lagerhaltung erst mit der physischen Anwesenheit der Ware im Regal, sodass entsprechende Kosten der Lagerhaltung auch erst ab diesem Zeitpunkt entstehen können. Einen umfassenden Überblick über die Einordnung von Lagerhaltungskosten verschiedener Autoren liefert ebenfalls Brandl [BRAN98, S. 100-102].

2.2.1.1 Lagergebäudekosten

Die Lagergebäudekosten können im Allgemeinen beinahe mit den Raumkosten gleichgesetzt werden. Verzichtet man darauf, zwischen Betriebs- und Raumkosten zu trennen, so lassen sich folgende Kosten zu den Lagergebäudekosten zählen [BRAN98, S. 103]:

- Kosten in Form von Abschreibungen auf Gebäude und Lagereinrichtungen bzw. Mietkosten
- Kosten für Beleuchtung, Heizung und Instandhaltung bzw. Unterhaltung des Lagergebäudes und der Lagertechnik einschließlich der Kosten für Verbrauchsmaterial, einschließlich Telefon-, Fax- und Internetkosten
- Versicherungskosten für Gebäude
- Verwaltungskosten, die in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Vorhandensein des Lagergebäudes entstehen (z.B. Geschäftsführung, Personalabteilung)
- Kosten für öffentliche Abgaben, sofern sie in unmittelbarem Zusammenhang mit der Lagerhaltung stehen z.B. Steuern, Beiträge oder Gebühren

Darüber hinaus verursachen Fertigwarenbestände Kosten für Zwischenlager- und Transporteinrichtungen sowie dazugehörige Arbeitsvorgänge. Das Spektrum für Zwischenlager reicht hierbei von Hallenflächen über einfache Regale bis hin zu automatisierten Lagern mit abgeschlossenen Behältern, Verwaltungsrechnern und Sicherheitseinrichtungen in Form von Wänden oder Zäunen [REIN97, S. 39f.].

2.2.1.2 Lagerbestandskosten

Bei den Kosten aus Lagerbeständen handelt es sich um Kostenbestandteile der Lagerhaltungskosten, die mit der Quantität der eingelagerten Ware schwanken oder keiner

Verwendung mehr zugeführt werden können. Es sollen für diese Abhandlung folgende Kostenkategorien unterschieden werden:

- Kosten für Schwund (z.B. Diebstahl, Fehlbuchungen), Verderb (z.B. Korrosion, Temperatureinwirkungen) und Veralterung der Ware
- Versicherungskosten für Vorräte
- Zinskosten des gebundenen Kapitals [BRAN98, S. 106]
- Ungängigkeit (z.B. aufgelaufene Bestände durch stornierte oder konstruktive Änderungen bedingte Aufträge, die sich zwar in einwandfreiem physischen Zustand befinden, jedoch auf absehbare Zeit nicht mehr in verkaufsfähige Produkte umgewandelt werden können) [REIN97, S. 41]

In der wissenschaftlichen Diskussion besteht zwar weitestgehend Einigkeit darüber, die Zinskosten für das in den Beständen gebundene Kapital den Lagerbestandskosten zuzurechnen, jedoch sollen die Kapitalbindungskosten aufgrund ihrer zentralen Bedeutung als eigene Kostenart ausführlicher diskutiert werden (siehe 2.2.2). Die richtige Zuordnung der Kapitalbindungs- zu den Lagerhaltungskosten soll dadurch jedoch nicht in Frage gestellt werden.

Wie der Auflistung zu entnehmen ist, kann der Wert der Vorräte als Bestandteil des Vermögens aufwandswirksam verloren gehen und muss daher den Lagerbestandskosten zugerechnet werden. Zu beachten ist, dass solche Kosten bei steigendem Volumen und zunehmender Verweildauer der Bestände im Verhältnis zum Bestandwert überproportional zunehmen [REIN97, S. 42].

Bei Beschädigung oder Veralterung der Ware reicht die Bandbreite des noch erzielbaren Verkaufspreises jedoch von einem Preis knapp unterhalb des ursprünglich angestrebten Verkaufspreises bis hin zur absoluten Unverkäuflichkeit des Artikels. Die jeweiligen Verlustansätze für die Kosten von Beschädigung und Veralterung können nach den folgenden Alternativen bestimmt werden [BRAN98, S. 106]:

- Man kann die Kostenhöhe daran messen, wie weit sich der erzielte Verkaufspreis dem geplanten Verkaufserlös annähert.
- Man kann den erzielten Verkaufspreis im Vergleich zum Wareneinstandspreis bewerten.

Die Alternative, welche die Kostenhöhe am geplanten Verkaufspreis ausrichtet, berücksichtigt dabei nicht realisierte Gewinne, was ähnlich wie beim bilanziellen Aktivierungsverbot nicht realisierter Gewinne gegen das Vorsichtsprinzip verstößt. Aus

diesem Grund sollte auf diesen Ansatz verzichtet und der Wareneinstandspreis (bzw. Wiederbeschaffungspreis) verwendet werden [BRAN98, S. 107].

Neben einer objektbezogenen Betrachtungsweise lassen sich Lagerhaltungskosten auch grundsätzlich in variable und fixe Einzel- und Gemeinkosten auflösen. Zu den variablen Einzelkosten lassen sich die Versicherungskosten sowie die Kosten für Wertminderungen durch Verderb, Schwund oder Alterung zählen [SIXT05, S. 37]. Sie sind damit synonym mit den Lagerbestandskosten – mit Ausnahme der Kapitalbindungskosten – zu verstehen. Demgegenüber können zu den fixen Gemeinkosten sowohl absolute fixe oder sprungfixe Versicherungs- und Verwaltungsgemeinkosten einschließlich der öffentlichen Abgaben gezahlt werden als auch fixe oder sprungfixe Raumkosten in Form von Abschreibungen oder Mieten für Gebäude und Lagerinventar [SIXT05, S. 37-38]. Die fixen Gemeinkostenarten sind somit synonym zu den Lagergebäudekosten zu betrachten.

2.2.2 Kapitalbindungskosten

Die zweite Komponente der Bestandskosten in Form der Kapitalbindungskosten ergibt sich aus dem wertmäßigen Aspekt der gelagerten Bestände in Form einer Verzinsung und Versicherung des im Lager gebundenen Vermögens [ARNO96, S. 28]. Der Kapitalbedarf der betreffenden Beschaffungs- und Absatzprozesse entsteht dadurch, dass die Zeitpunkte auseinanderfallen, zu denen Auszahlungen für die beschafften Güter geleistet werden müssen und zu denen die Einzahlungen der marktseitig abgesetzten Güter empfangen werden [BRAN98, S. 107]. Die gebundenen Mittel sind dahingehend kostenwirksam, dass der Lagerbestand entweder fremdfinanziert ist und somit Fremdkapitalzinsen gezahlt werden müssen, oder eine Eigenfinanzierung erfolgt, so dass kalkulatorische Eigenkapitalzinsen angesetzt werden [BLÖT81, S. 149].

Die Kosten des gebundenen Kapitals sind in ihrer Höhe vom Wert des jeweils gebundenen Kapitals, von der Dauer der Kapitalbindung und vom verwendeten Zinssatz abhängig. Sie haben in der Regel den größten Anteil an den gesamten Lagerhaltungskosten [SZER88, S. 178]. Kapitalbindungskosten sind für ein Unternehmen überaus bedeutsam, da sie überproportional ansteigen, wenn die Bestellmenge erhöht wird. Sie steigen dabei zum einen wegen des angehobenen gebundenen Kapitals an, zum anderen erhöht auch die verlängerte Kapitalbindungsdauer die Kosten. Im Hinblick auf eine wirklichkeitsnahe Kostenerfassung wäre das Mengengerüst der Kapitalbindung ideal-

erweise entsprechend der tatsächlichen Zahlungsströme zu erfassen, die von den Wertansätzen der Kostenrechnung und den Terminen der physischen Bestandsbewegungen abweichen.

Eine weitere Problematik der Abbildung der Kapitalkosten in einem sinnvollen Zinssatz besteht darin, dass keine Zuordnung von Kapitalpositionen zu einzelnen Vermögenpositionen besteht, sondern dass das Vermögen insgesamt von der Summe aus Eigen- und Fremdkapital gedeckt wird. Der Zinssatz sollte sich an den Fremdkapitalkosten orientieren, da Bestandsveränderungen üblicherweise keinen Anlass zur Veränderung des Eigenkapitals darstellen. Die Untergrenze stellt der Marktzins langfristiger Kredite dar, die Obergrenze der kurzfristige Marktzins, wobei im ersten Falle eine Veränderung der billigsten, im zweiten Falle der teuersten Fremdkapitalposition unterstellt ist [REIN97, S. 37f.].

Wie bereits angedeutet, besteht bei der Berechnung der Kapitalbindungskosten das Kernproblem darin, den „richtigen“ Zinssatz auszuwählen, da es in der Praxis eine Vielzahl von Refinanzierungsmöglichkeiten gibt. Diese können sein [BRAN98, S. 109]:

- tatsächlich bezahlte Fremdkapitalzinskosten
- kalkulatorische Eigenkapitalzinskosten
- tatsächlich bezahlte Fremdkapitalzinskosten, zuzüglich eines Aufschlages kalkulatorischer Eigenkapitalzinskosten oder
- Zinskosten auf das gebundene Kapital

Vor diesem Hintergrund lässt sich festhalten, dass der Zinssatz der Kapitalbindungskosten nur unternehmensspezifisch festgelegt werden kann und daher innerhalb eines Unternehmens auf die eigene Kapitalstruktur geachtet werden sollte [BRAN98, S. 111]. In aller Regel bewegt sich die Bandbreite der Zinssätze für das gebundene Kapital zwischen 8 - 10% p.a., in einzelnen Fällen kann sogar mit einem moderateren Zinssatz von 6% gerechnet werden. Aus Vereinfachungsgründen soll im Kapitel 6 dieser Arbeit mit einem festen Zinssatz von 8% für das gebundene Kapital gerechnet werden, welcher sich an einem Zinsniveau anlehnt, das für eine kurzfristige Aufnahme von Fremdkapital am Kapitalmarkt im langjährigen Mittel zu leisten wäre.

Die grundsätzliche Zielsetzung bei den Kapitalbindungskosten besteht darin, eine Minimierung der Kapitalbindung durch einen schnellen Materialdurchfluss, niedrige Sicherheitsbestände sowie eine optimal laufende Lagerbestandshaltung zu erreichen

[HÄRD99, S. 17]. Da in den Materialgemeinkosten auch die Zinsaufwendungen der Kapitalbindungskosten enthalten sind, ist es umso wichtiger, zum einen eine exakte Bestandsbewertung vorzunehmen, um das gebundene Kapital genau berechnen und damit den Kapitalbedarf richtig abschätzen zu können [TERH79, S. 76]. Andererseits soll deren Höhe durch eine anforderungsgerechte Bestandshaltung an Materialien so minimiert werden [HÄRD99, S. 21], dass keine negativen Auswirkungen auf die Höhe der in die Herstellkosten einfließenden Gemeinkostenzuschläge entstehen.

2.2.3 Planungs- und Steuerungskosten

Im Rahmen dieser Kostenkategorie sollen zunächst die mit der Planung von Beständen verbundenen Kosten auf ihre Relevanz hin untersucht werden. Es gelten die Annahmen, dass die Berücksichtigung von Beständen in der Produktionsplanung im Vergleich höhere Planungskosten entstehen lässt [REIN97, S. 43] und dieser höhere Aufwand aus Sicht der Distributionslogistik bei der Bestandsplanung nicht unterschlagen werden darf. In folgender Abbildung 7 sind die erforderlichen Planungsschritte bei einem herkömmlichen Produktionsplanungs- und Steuerungssystem (PPS) auf der linken Seite dargestellt, während auf der rechten Seite in einer idealtypischen, bestandslosen Produktion von Kleinserien sich das Produktionsprogramm ausschließlich aus den Mengen und Terminen der Kundenaufträge ergibt:

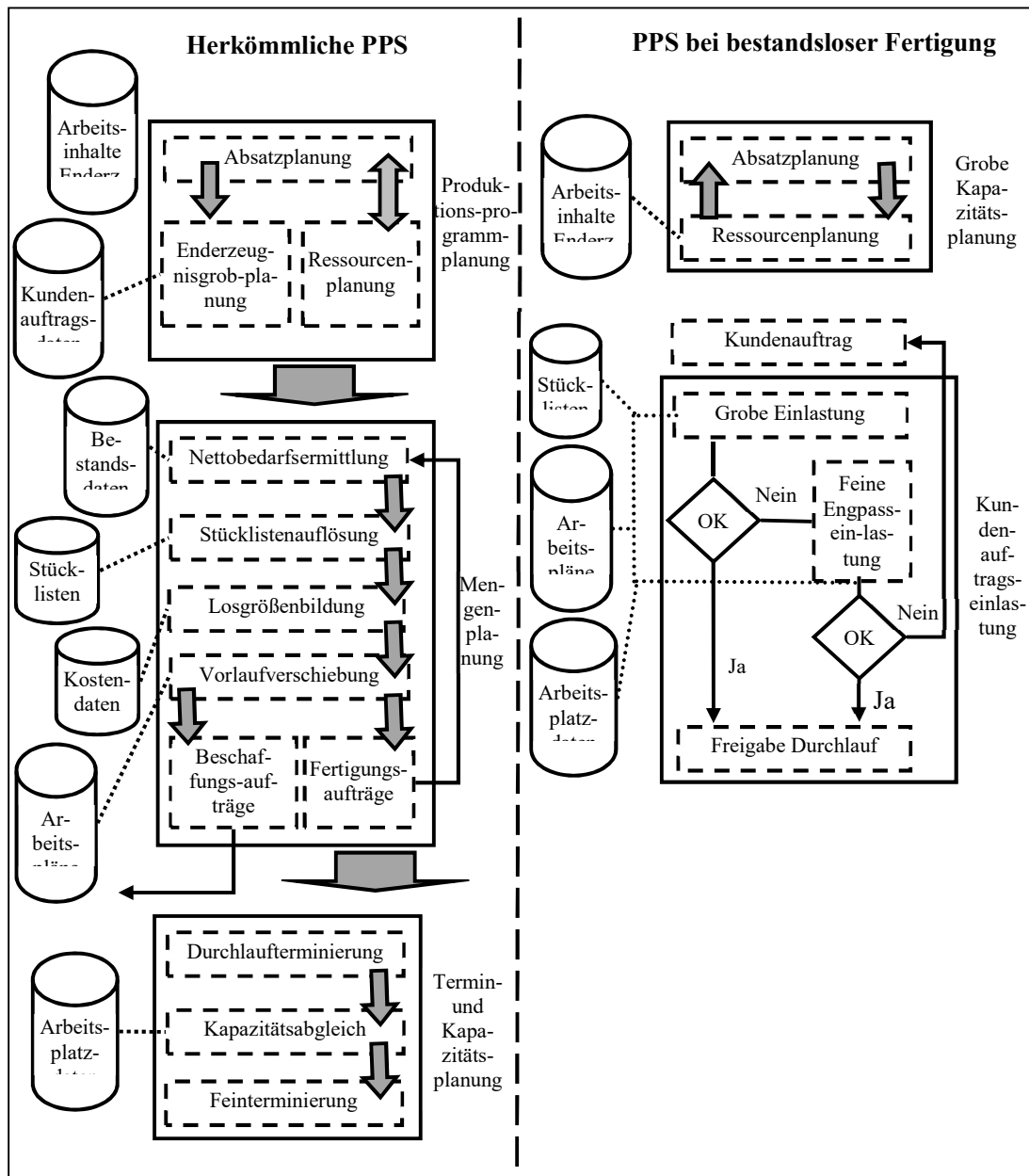


Abbildung 7: Planungsaufgaben bei herkömmlicher Produktionsplanung- und Steuerung (PPS) und bei bestandsloser Fertigung [REIN97, S. 43]

Der höhere Planungsaufwand durch Bestände schlägt sich in folgenden Zusatzaufgaben nieder [REIN97, S. 44]:

- Bestandsdatenverwaltung:** Die Bestände müssen zu jeder Zeit nach Art und Menge bekannt sein. Diese Informationen müssen dem PPS-System verfügbar gemacht werden.
- Nettobedarfsermittlung:** Sofern Bestände von Materialien, Halbfertigfabrikaten und Enderzeugnissen verfügbar sind, ist auf jeder Fertigungsstufe die bereitzustellende Menge an Erzeugnissen (Bruttobedarf) um den Lagerbestand

zu verringern, damit die zu erzeugende Menge (Nettobedarf) festgestellt werden kann.

- **Losgrößenbildung:** Die Nettobedarfe sind zu Losen zusammenzufassen, die geringere Stückzahlen ermöglichen. Voraussetzung hierzu ist eine Entkopplung der einzelnen Fertigungsstufen.
- **Produktionsprogrammplanung:** Durch die Entkopplung der Fertigung mit Hilfe von Enderzeugnisbeständen kann planerisch eine stetige Beschäftigung der Arbeitsplätze erreicht werden.
- **Prognosegestützte Absatzplanung:** Durch die Bildung von Losen ergibt sich eine Verlängerung der Durchlaufzeit für das Los selbst.

Bei der Höhe der Planungskosten ist zu berücksichtigen, dass diese als fix gegenüber Wert und Volumen der Bestände angesehen werden können und abhängig sind von der Ausprägung der Verfahren der PPS-Systeme, der technischen und personalen Ausstattung der entsprechenden funktionalen Einheiten und der Häufigkeit der Planung [REIN97, S. 45].

Neben den fixen Planungskosten fallen – vor dem Hintergrund einer firmen- oder bereichsinternen Diskussion über die Höhe des festzulegenden Lieferbereitschaftsgrades – auch Steuerungskosten an, die auf prozessualer Basis als Kosten der Anbahnung und Durchsetzung von gestaltungsmotivierten Entscheidungen angesehen werden können und sich demnach ausschließlich an der innenweltbezogenen Umwelt der Unternehmung ausrichten [KIEF03, S. 131]. Wird ein Lieferservicegrad beispielsweise ex-ante bestimmt, so sind diese Kosten als Kosten der Unternehmenssteuerung vor und in Konsequenz durch die Steuerungsentscheidung verursacht. Sie gehen dabei zu Lasten der Effektivität von Unternehmenssteuerung und ziehen weitere, ökonomische Kosten nach sich, die auf die mangelnde Entscheidungsbildung zurückzuführen sind [KIEF03, S. 143]. Ex-post-Steuerungskosten beinhalten demgegenüber die anfallenden, ökonomischen Kosten nach der Entscheidungsphase. Hierzu können sowohl programmspezifische Investitionskosten als auch Koordinationskosten gezählt werden, die als Opportunitätskosten durch Allokation und Motivation vorhandener Ressourcen im Implementierungsprozess anfallen [KIEF03, S. 150].

Im weiteren Verlauf der Arbeit soll auf eine weitere, wissenschaftliche Verfeinerung verzichtet und stattdessen aus Vereinfachungsgründen die faktische Existenz von Steuerungskosten in der innerbetrieblichen Diskussions- und Entscheidungsphase über die Höhe eines Lieferbereitschaftsgrades anerkannt werden.

2.2.4 Bestellkosten

Während die Beschaffungskosten alle bestellmengenabhängigen Kosten umfassen, die durch den Materialbezug entstehen, umfassen die Bestellkosten alle Kosten, die innerhalb des Unternehmens für die Materialbeschaffung bzw. Bestellabwicklung anfallen. Daher sind Bestellkosten von der Anzahl der Bestellungen abhängig und von der Beschaffungsmenge unabhängig [BIED08, S. 39].

Die gesamten Abwicklungskosten einer Bestellung umfassen [BIED08, S. 39]:

- **Einkaufskosten:** Diese umfassen die Kosten von der Bezugsquellenermittlung über die Entscheidungsvorbereitung, die Angebotslegung und -auswertung bis zum Vertragsabschluss.
- **Dispositionskosten:** Diese umfassen den zeitlichen Aufwand für die Bedarfs-, Bestands- und Bestellmengenrechnung sowie die Bestellüberwachung.
- **Zugangskosten:** Einen Abschluss findet die Bestellung mit dem Wareneingang, der Wareneingangskontrolle, dem Verbuchen der Zugänge, gegebenenfalls dem Rückversand, der Rechnungsprüfung und der Zahlung.

Damit wird deutlich, dass Bestellkosten in erster Linie Personalkosten der Beschaffung, Materialprüfung, Rechnungsprüfung und Buchhaltung beinhalten und damit in den unterschiedlichsten Bereichen des Unternehmens entstehen. Mit Hilfe der Prozesskostenrechnung lassen sich die Bestellkosten einschließlich der dazu notwendigen Sachkosten verursachungsgerecht erfassen. Die Prozesskostenrechnung hat gerade im administrativen Bereich ihre besondere Eignung zur verursachungsgerechten Kostenzuordnung. Die Kosten einer Bestellung werden ermittelt, indem die sich ergebende Periodenkostensumme durch die Anzahl der Bestellungen geteilt wird.

Zur Kalkulation einer Bestellung kann man von folgenden Durchschnittswerten ausgehen: Eine Minute Arbeitszeit kostet im Einkauf und der Logistik etwa 0,80 € bis 1,00 €. Bei wiederholten Bestellungen, das sind bekannte etablierte Artikel mit definierten Preisen und Lieferanten, liegen die Bestellkosten bei 50 € bis 100 €, während sie bei Erstbeschaffungen zwischen 300 € und 400 € liegen können. Für einfache automationsgestützte Bestellungen können als untere Grenze 5 € bis 7 € für Bestellkosten angesetzt werden. Der Durchschnittswert kann allerdings auch deutlich überschritten werden. Das ist insbesondere bei komplexen Reserveteilen, bei denen der Hersteller nicht mehr identifiziert werden kann der Fall und kommt beispielsweise durch die Erstellung von Konstruktionsunterlagen, Angebotseinholung und eine gegebenenfalls

notwendige Dienstreisetätigkeit zustande. Mit Hilfe des Minutenkostensatzes ist eine relativ fundierte Kostenschätzung möglich, weil alle Arten der gegebenenfalls notwendigen Sonderleistungen relativ exakt kalkuliert werden können. Der Vollständigkeit halber soll erwähnt werden, dass die Bestellkosten je Mengeneinheit ein Minimum erreichen, wenn die Bestellmenge maximiert wird [BIED08, S. 40].

Die Bestellkosten, d.h. bestellfixe Beschaffungskosten, bestimmen sich aus der Anzahl von Bestellvorgängen multipliziert mit einem Bestellkostensatz. Die Literatur differenziert dabei zwischen zwei Ansätzen [PLÜM10, S. 165]:

- Die bestellfixen Beschaffungskosten – in Form eines Bestellkostensatzes je Bestellvorgang – sind von der Anzahl der an der Versorgung des Abnehmers beteiligten Lieferanten unabhängig.
- Die bestellfixen Beschaffungskosten – in Form eines Bestellkostensatzes je Bestellvorgang – variieren mit der Anzahl der an der Versorgung des Abnehmers beteiligten Lieferanten.

Für den Rahmen der vorliegenden Arbeit soll die Annahme gelten, dass die Bestellkostensätze mit der Anzahl von beteiligten Lieferanten variieren.

Neben den bestellfixen Beschaffungskosten sind die variablen Bestellkosten zu berücksichtigen, die beide eine Funktion der Periode t und der Dispositionspolitik darstellen [WAHL99, S. 38]. Im Falle einer periodischen Lagerüberwachung ist zu beachten, dass die für eine Bestellung relevanten Daten erst am Ende der Periode t zur Verfügung stehen, sodass sich der Bestellzeitpunkt endfällig an der Periode t orientieren sollte und damit in der betrachteten Periode maximal eine Bestellung aufgegeben werden kann. Bei der für diese Abhandlung als Grundlage geltende, stochastische und mehrstufige Lagerhaltungstheorie gilt aus Gründen der Vereinfachung zu berücksichtigen, dass Rabatte und Faktorpreisvarianten im Bestellzyklus als vernachlässigbar angenommen werden, sodass sich im Fall der simultanen Planung von Losgrößen, Sicherheitsbeständen und Allokationsregeln die entscheidungsrelevanten Kosten einer Bestellung auf die fixen Bestellkosten reduzieren [WAHL99, S. 39].

2.2.5 Prozesskosten

Bei der Aufsplittung der mit den Beständen verbundenen Kosten sind im Rahmen der vorliegenden Abhandlung die direkt mit der Beschaffung und Lagerhaltung anfallen-

den Kosten (siehe Abschnitt 2.2.1 bis 2.2.4) zwingend von den Kosten der dafür notwendigen Prozesse zu trennen, da diese Aktivitäten nur mit Hilfe mehrerer Produktionsfaktoren (z.B. Personal, Betriebsmittel u.ä.) durchgeführt werden können [BRAN98, S. 97].

In einem gewöhnlichen Beschaffungsprozess sind mehrere Mitarbeiter eingebunden, die, häufig mehreren Abteilungen zugehörig, in dem Beschaffungsprozess mitwirken. Ziel sollte es sein, redundante Tätigkeiten durch fehlende inner- und zwischenbetriebliche Schnittstellen zu reduzieren, um durch einen ungehinderten Informationsfluss die Höhe der Prozesskosten zu begrenzen [THOM05, S. 102]. Schätzungen über die Höhe von Prozesskosten gehen von 100 € bis 150 € aus [HENT01, S. 33]. Für die Umsetzung einer Kostenrechnung für Prozesse der Informationsverarbeitung (IV) bietet sich grundsätzlich eine Prozesskostenrechnung an [REIC11, S. 457]. Sie ist als moderner, systematischer Ansatz zu verstehen, der die Kostentransparenz in den indirekten Leistungsbereichen erhöhen und einen effizienten Ressourcenverbrauch sicherstellen soll [LEID99, S. 53]. Des Weiteren setzt die Prozesskostenrechnung an der Beseitigung von Mängeln in der Behandlung von Gemeinkosten mit dem Ziel einer genaueren Kalkulationsgrundlage an [WEBE11, S. 152].

Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Prozesskostenrechnung war die Feststellung, dass mit der Zunahme fertigungsferner Gemeinkostenbereiche in Unternehmen mit den herkömmlichen, kostenstellen- und damit bereichsorientierten Rechnungssystemen in immer geringerem Maße eine verursachungsgerechte Verrechnung auf die Produkte möglich ist. In der Prozesskostenrechnung wird dagegen versucht, stellenübergreifende Prozesse zu definieren, und durch Aggregation der einzelnen, in den Bereichen anfallenden Teilprozesse mit Kosten zu bewerten (Prozesskostensätze). Dabei werden auch explizit Gemeinkostenbereiche miteinbezogen, wie beispielsweise Kosten in der Verwaltung, der Beschaffung und dem Vertrieb [PICO01, S. 537f.].

Ein Beispiel einer solchen Prozesskostenrechnung ist Tabelle 2 zu entnehmen. In die Prozesse der IV-Kostenstelle gehen insgesamt drei übergeordnete Kostenartengruppen ein. Die Kostenarten teilen sich in Hard- und Software jeweils mit der Bezugsgröße Rechenzeit sowie in die Kostenartengruppe Personal mit der Bezugsgröße Mannstunden [REIC11, S. 457].

Tabelle 2: Prozesskostenrechnung in der Informationsverarbeitung [REIC11, S. 457]

Kostenstelle: IV	
Teilprozess: Ausschließlich zum IV-Bereich gehörig	Maßgröße:
Software-Entwicklung	Mannmonate
Netzwerkbetrieb	Ø Zahl der Transaktionen
Wartung und Erweiterung	Zahl zu wartender bzw. erweiternder Systeme
Teilprozess: In den Funktionsbereichen	Maßgröße:
Stammdatenerfassung	Ø Zahl zu erfassender Datensätze
Nutzung von Standardsoftware	Ø Rechenzeit der Nutzung
Kostenstelle leiten	/

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Prozesskostenrechnung als Vollkostenrechnung alle erforderlichen Funktionen eines entscheidungsrelevanten Kostenrechnungssystems erfüllt, deren Leistungsfähigkeit sich insbesondere in gemeinkotenintensiven Unternehmensbereichen zeigt [REIC11, S. 140]. Bei diesem Ansatz muss lediglich die Perspektive der Beschäftigungsabhängigkeit als unbefriedigend gelöst bezeichnet werden. Im Rahmen der Implementierung der Prozesskostenrechnung für die Informationsverarbeitung muss berücksichtigt werden, dass in der Regel nicht die gesamte Struktur der anfallenden Kosten abgedeckt werden kann, da für eine tiefgehende Analyse die Kosten mit erheblichem Aufwand strukturiert und aufbereitet werden müssten [REIC11, S. 457].

2.2.6 Gesamtbetrachtung im Lagerkostensatz

Alle direkt und indirekt mit der Lagerhaltung verbundenen Kosten werden in aller Regel – im Sinne der Aufteilung in Lagergebäude- und Lagerbestandskosten – zu einem Lagerkostensatz zusammengefasst, der sowohl einen kalkulatorischen Zinssatz als auch den Lagerhaltungskostensatz je betrachteter Periode beinhaltet [PFOH10, S. 96]. Der Lagerkostensatz resultiert aus der Addition der Zinsen für das im Material durchschnittlich gebundenen Kapitals in % und den Lagerhaltungskosten für die während einer Periode auftretenden Kosten der Lagerhaltung [HÄRD99, S. 132]. Formell berechnet er sich wie folgt:

$$(2.1) LS = ZS + LHS$$

Es gilt: LS = Lagerkosten je Geldeinheit

ZS = Zinsen des gebundenen Kapitals je Periode

LHS = Lagerhaltungskosten je Periode

Für einen Lagerkostensatz gibt es in der Literatur verschiedene Werte, die sich zumeist in einer Gesamtspanne zwischen 12% und 35% bewegen. Eine genauere Aufschlüsselung über die einzelnen Bestandteile des Lagerkostensatzes findet sich beispielhaft in folgender Tabelle:

Tabelle 3: Aufschlüsselung des Lagerkostensatzes [HART99, S. 19]

Zinsen (gebundenes Kapital)	8 – 10%
Verlust, Bruch	2 – 5%
Lagerverwaltung	1 – 2%
Abschreibung	1,5 – 2%
Instandhaltung	1 – 2%
Entsorgung	1 – 2%
Steuern	1 – 2%
Versicherung	0,5 – 1%
Lagerkostensatz	16 – 26%

Sollten keine detaillierten Daten vorliegen, ist auf Basis der oben angegebenen Werte die Annahme eines durchschnittlichen Lagerkostensatzes von 20% bis 25% sinnvoll, womit das in den Vorräten gebundene Vermögen in vier bis fünf Jahren von den Lagerhaltungskosten aufgezehrt wird [SICK05, S. 39]. Bei der Berechnung des Lagerkostensatzes werden die fixen oder sprungfixen Anteile zur Vereinfachung proportionalisiert. Dazu werden die Kosten für die Betrachtungsperiode (meist ein Jahr) ermittelt und ihr Anteil am Gesamtwert der gelagerten Materialien bestimmt. Dieser Prozentsatz bestimmt den Aufschlag für die einzelnen Materialien bis zur Errechnung eines neuen Wertes.

Dass Werte in dieser Größenordnung sicherlich als realistisch bezeichnet werden können, zeigt eine andere Untersuchung für ein Unternehmen des Maschinenbaus, bei der

Kapitalbindungskosten von 10%, Risikokosten von 3% und Abschreibungen, Personal- und Sachkosten von 7%, also in der Summe 20% des Bestandswertes, ermittelt werden konnten. Damit entsprechen in diesem Unternehmen die Bestandskosten in etwa der Hälfte der Materialkosten [REIN97, S. 37].

2.3 Fehlmenge

Im folgenden Unterkapitel soll zunächst der für die Entstehung von Fehlmengenkosten relevante Begriff der Fehlmenge präzise herausgearbeitet werden, bevor im nächsten Schritt die verschiedenen Aspekte von Fehlmengenkosten, einschließlich deren Ausprägungen und Determinanten, eingehend beleuchtet werden sollen.

2.3.1 Definition

Zentrale Zielsetzung der Logistik ist es sicherzustellen, dass ein gegebener Bedarf an Gütern und/ oder Diensten in seiner mengenmäßigen, qualitativen, zeitlichen und räumlichen Dimension sowie der Art nach „richtig“, d.h. dem Anforderungsprofil des Bedarfsträgers entsprechend, befriedigt wird. Eine „falsche“ logistische Aufgabenerfüllung kann folglich prinzipiell zwei unterschiedliche Ursachen besitzen. Sie leitet sich zum einen aus einer unnötigen Überschreitung des Anforderungsprofils her, wenn beispielsweise im Beschaffungsbereich zu große Sicherheitsbestände lagern. Andererseits kann durch die Unterschreitung einzelner oder mehrerer Elemente des vom jeweiligen Nachfrager der Logistikleistung gesetzten Anforderungsrahmens die Nachfrage nicht in allen ihren Merkmalen vollständig gedeckt werden. Eine solche Situation wird als das Vorliegen einer Fehlmenge (Englisch „stock out“ oder auch „stock depletion“) bezeichnet [WEBE12, S. 170].

Die begriffliche Hervorhebung der Mengenkomponekte der Nachfrage kann dabei fälschlicherweise den Eindruck erwecken, Fehlmengen beschränkten sich allein auf im Bezug zum Bedarf zu wenig ausgelieferte Mengen. Fehlmengen liegen jedoch auch dann vor, wenn der Bedarf zwar quantitativ vollständig, jedoch terminlich zu spät/zu früh oder räumlich falsch gedeckt wird. Zwar tritt im Ergebnis zunächst beim Nachfrager insofern eine gleiche Situation ein, als er – am gewünschten Ort und zur gewünschten Zeit – nicht über die gewünschte Menge verfügt. Lieferterminverzögerungen lassen sich aber häufig durch den Nachfrager, ein falscher Anlieferungsort durch den Lieferanten wieder ausgleichen, so dass im Vergleich zur endgültig fehlenden

Menge sehr unterschiedliche erfolgswirtschaftliche Konsequenzen in Form von Fehlmengenkosten zu erwarten sind. Besteht die unzureichende logistische Aufgabenerfüllung schließlich darin, beispielsweise durch ein falsches Transportverfahren die Qualität der gelieferten Güter unzulässig zu vermindern, so sind mit diesen Fehlqualitäten möglicherweise überhaupt keine Fehlmengen verbunden. In diesen Fällen könnte der Nachfrager die Waren, zumeist unter Durchsetzung von Preisnachlässen, trotzdem abnehmen [WEBE12, S. 170].

Weiterhin nimmt das einschlägige Schrifttum auch inhaltlich in zweifacher Hinsicht Einengungen vor. Zum einen werden Fehlmengen zumeist als ein lagerwirtschaftliches Problem angesehen, in dem durch mangelnde Transportprozesse bedingte Fehlmengen vernachlässigt werden. Zum anderen diskutiert man das Auftreten von Fehlmengen und deren Konsequenzen schwerpunktmäßig als ein Problem der Distributionslogistik. Die Lieferbereitschaft als ein zentrales Element der Lieferservicestrategie eines Unternehmens kann aber originär auch Verfügbarkeitslücken von Gütern oder Diensten im Beschaffungs- und Produktionsbereich betreffen, die häufig in der Distribution gar nicht sichtbar sind. So beziehen beispielsweise Losgrößenplanungsmodelle anlaufbedingte Fehlmengen im Rahmen der Rüstkosten standardmäßig in die Optimierung mit ein und ganze Abteilungen befassen sich mit der Feststellung und Beseitigung von Qualitätsmängeln. Es ist daher stets erforderlich, das Gesamtsystem Unternehmung und die für die Entstehung von Fehlmengen und deren Kosten relevanten Prozesse zu betrachten, um dem Fehlmengenphänomen letztendlich umfassend gerecht zu werden [WEBE12, S. 171].

Im weiteren Verlauf der Arbeit (siehe Abschnitt 5.3.1) wird noch näher beschrieben, dass sich bei der Bestimmung einer kostenoptimalen Lieferservicepolitik die Lagerkosten den zu erwartenden Fehlmengenkosten gegenüberstehen, bei denen Fehlmengen in gewissem Ausmaß durchaus zulässig sind. Ihre maximale Höhe ist über die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Nachfrage bestimmbar, woraus sich problemlos eine Fehlmengewahrscheinlichkeitsverteilung ableiten lässt. Die möglicherweise auftretenden Fehlmengen werden von der Unternehmung bewusst in Kauf genommen. Sie sind das Ergebnis einer Optimierungsrechnung und können sogar stimulierende Wirkungen auf der Käuferseite verursachen. Solche geplanten Fehlmengenkosten sind demnach das Ergebnis einer unternehmerischen Entscheidung, wie z.B. die Kapazitätsdimensionierung der Produktionsstätten, die Festlegung von Fertigungsstandorten oder die Festlegung auf eine bestimmte Lagerhaltungspolitik [SCHM77, S. 25f.].

2.3.2 Reaktionsmöglichkeiten

Eine erste grundsätzliche Möglichkeit, auf eine Fehlmengensituation zu reagieren, besteht zunächst darin, den Mangel zu beseitigen. Wird beispielsweise ein zu exportierendes Produkt zu spät fertig gestellt, um es noch termingerecht auf dem Schiffsweg zum Kunden zu transportieren, lässt sich gegebenenfalls durch eine Auslieferung per Luftfracht eine Überschreitung des Lieferzeitpunkts vermeiden. Derartige vollständige Korrekturen sind immer dann möglich, wenn Unterschreitungen des Anforderungsprofils logistischer Leistungen frühzeitig erkannt werden und zugleich zusätzliche (z.B. Nachproduktion verdorbener Lagermengen) und/ oder veränderte, logistische Prozesse durchgeführt werden können. Sie lassen sich bezogen auf die Kunden als Nachfrager *ceteris paribus* umso leichter vornehmen, je früher die Fehlmengen im Leistungserstellungsprozess auftreten (siehe Abbildung 11). Wie das Beispiel mit der Nutzung von Luftfracht zeigt, müssen die Aktivitäten zur Beseitigung von Fehlmengensituationen keinesfalls immer in dem Unternehmensbereich ergriffen werden, in dem die Fehlmengen anfallen oder erstmals offenbar werden. Daher sind Anpassungsmaßnahmen in nachgelagerten Stufen der Leistungserstellung und -verwertung oder abgestimmte Aktivitäten in mehreren oder in allen Unternehmensbereichen ebenso möglich [WEBE12, S. 174].

Die zweite Reaktionsmöglichkeit auf eine konkrete Fehlmengensituation besteht darin, dass der logistische Aufgabenträger – bewusst oder gezwungenermaßen – die unzureichende logistische Aufgabenerfüllung nur zu einem Teil durch Anpassungsmaßnahmen ausgleicht oder sogar ganz auf derartige Korrekturen verzichtet. Anders als im zuvor diskutierten Fall resultiert hieraus zusätzlich zu den bzw. anstelle der Mehrkosten häufig auch eine Veränderung des Erlösanfalls. Art und Umfang dieser Veränderung hängen davon ab, wie die Endnachfrager der logistischen Leistungen, die Kunden, auf die Unterschreitung des Anforderungsrahmens reagieren. Dabei ist zu differenzieren, ob die erlösmäßigen Konsequenzen lediglich den einen von der Fehlmenge direkt betroffenen Auftrag tangieren, oder ob sie sich auf das gesamte Nachfrageverhalten eines oder sogar mehrerer Kunden bis hin zur gesamten Kundschaft auswirken. Akzeptiert der Kunde im Back-order-Fall dagegen die vorübergehende Fehlmengensituation vollständig, so treten in aller Regel keine Erlösverminderungen, im Grenzfall sogar Erlössteigerungen auf. Lange Lieferzeiten in der Automobilindustrie führen zuweilen dazu, dass der Kunde ein geordnetes Fahrzeug aufgrund zwischenzeitlicher

Preiserhöhungen unter Umständen zu einem erhöhten Entgelt abnehmen muss [WEBE12, S. 174f.].

2.3.3 Erfassungsprobleme

Während die fehlmengenbedingten Erlös- bzw. Erfolgsveränderungen – ebenso wie die aus Anpassungsmaßnahmen resultierenden Mehrkosten – zumindest ex-post prinzipiell hinreichend exakt quantifizierbar sind, wird man mit erheblichen Erfassungsproblemen konfrontiert, wenn von einer Fehlmengensituation Ausstrahlungseffekte auf künftige Geschäfte des Unternehmens ausgehen und wenn die Erlöse des von einer Fehlmenge betroffenen Auftrags mit den Erlösen anderer Aufträge verbunden sind. Die Literatur diskutiert derartige, zu zukünftigen Nachfrageverlusten führende Kaufverbundenheiten zumeist nur für den (einzelnen) Abnehmer des betrachteten Auftrags und spricht in diesem Fall von sogenannten Goodwill-Verlusten (siehe Abschnitt 2.4.3.4). Wie Abbildung 11 veranschaulicht, können aber Unternehmen – insbesondere solche, die auf Märkten mit hoher Markttransparenz agieren – auch einem Rückgang der Nachfrage anderer Kunden ausgesetzt sein. Die Quantifizierung solcher Nachfragewirkungen fällt in aller Regel sehr schwer. Befragungen der Kunden führen allenfalls zu ordinalen Aussagen und auch Experimente auf Teilmärkten oder Reklamationsanalysen sind in ihrer Aussagefähigkeit beschränkt. Bei einer Einbeziehung derartiger Fehlmengenkosten in Planungsmodelle muss deshalb stets die eingeschränkte Qualität der verwendeten Daten berücksichtigt werden [WEBE12, S. 175].

2.4 Fehlmengenkosten

2.4.1 Definition und Auswirkungen

Die aus einer konkreten Fehlmengensituation resultierenden Kosten werden als Fehlmengenkosten bezeichnet (Englisch: Stockout Costs), die dann anfallen, wenn ein auftretender Bedarf zeitlich und mengenmäßig nicht aus einem Vorrat gedeckt werden kann [HÄRD99, S. 124]. Fehlmengenkosten sind somit ein Sammelbegriff für erfolgswirtschaftliche Konsequenzen einer unzureichenden, logistischen Aufgabenerfüllung. Unterschiedliche Arten dieser Kosten leiten sich deshalb von unterschiedlichen Arten der von Fehlmengensituationen ausgelösten Erfolgswirkungen bzw. betroffenen Erfolgsvariablen ab. Um diese zu systematisieren, erweist sich die Differenzierung als sinnvoll, ob, inwieweit, in welchem Unternehmensbereich und wie der logistische

Aufgabenträger auf die Unterschreitung(en) des Anforderungsrahmens des Nachfragers reagiert bzw. reagieren kann [WEBE12, S. 171].

Die erfolgswirtschaftlichen Konsequenzen von Fehlmengenkosten auf ein Unternehmen können sehr vielschichtig sein. Vereinfacht bewirken Fehlmengenkosten: „Not having stock when a customer needs something. Aside from the lost opportunity for profit, we create extra work to keep track of back orders and we generate angry customers that may reduce our profits in the future” [MERC08, S. 73]. Demnach fallen für einen vollständigen Ausgleich der unzureichenden, logistischen Zielerfüllung zumeist zusätzliche Kosten der Abweichung vom üblichen Geschäftsbetrieb an. Solche Zusatzkosten können prinzipiell in allen Unternehmensbereichen anfallen und lassen sich nur dann bestimmen, wenn man exakte Kenntnis des üblichen bzw. normalen Kostenniveaus besitzt. Diese Daten zu gewinnen, kann zuweilen sehr leicht fallen, wenn beispielsweise zur Einhaltung eines Liefertermins ein normalerweise auf der Schiene transportiertes Gut auf dem teureren Luftweg ausgeliefert wird oder eine fehlmengenbedingt ausfallende Produktionsschicht am Wochenende nachgeholt wird. Ermittlungsprobleme treten aber z.B. dann auf, wenn Anpassungsmaßnahmen ergriffen werden, die mehrere Unternehmensbereiche umfassen oder mehrere Fehlmengensituationen gleichzeitig beseitigt werden müssen, wie beispielsweise zum Ausgleich von Streikausfällen [WEBE12, S. 174].

2.4.2 Differenzierung von Fehlmengenkosten

Im Folgenden sollen nun die beiden wesentlichen Differenzierungsmöglichkeiten von Fehlmengenkosten aufgeführt und für die weitere Betrachtung eine Form final festgelegt werden. Fehlmengenkosten lassen sich zunächst nach der Abhängigkeit ihrer Einflussgrößen differenzieren:

- **Mit der Zahl auftretender Fehlmengensituationen variierende Fehlmengenkosten:** Hierzu können z. B. Vertragsstrafen und entgehende Deckungsbeiträge von durch Terminverzögerungen verlorenen Aufträgen zählen
- **Mit dem Fehlmengenvolumen variierende Fehlmengenkosten:** Beispiele hierfür sind etwa Mehrkosten des Fremdbezugs von sonst selbst hergestellten Zwischenprodukten
- **Mit dem Fehlmengenvolumen und der Dauer der Fehlmengensituationen variierende Fehlmengenkosten:** Hierunter fallen z. B. Preisnachlässe, deren

Höhe mit dem Ausmaß der Terminüberschreitung zunimmt [WEBE12, S. 175f.]

Daneben kann eine inhaltliche Gliederung von Fehlmengenkosten nach betriebswirtschaftlichen Grundfunktionen vorgenommen werden. Weber unterscheidet dabei zwischen auftretenden Fehlmengenkosten der [WEBE12, S. 172f.]:

- Beschaffung
- Produktion
- Distribution

Fehlmengenkosten können des Weiteren in der Organisation und Verwaltung entstehen, die jedoch im Fokus der vorliegenden Arbeit nicht näher betrachtet werden sollen. Grundsätzlich gilt die Feststellung, dass Fehlmengenkosten in der Distribution Erlöse reduzieren, während Fehlmengenkosten in der Beschaffung, Produktion sowie Organisation und Verwaltung zusätzliche Kosten verursachen [GÄRT11, S. 26].

Empirischen Studien zufolge haben Fehlmengenkosten einen Anteil an den Logistikkosten von bis 24% [PRÜS11, S. 89] und weisen ein Kostensenkungspotenzial von ca. 50% auf [GÄRT11, S. 6]. Andere Quellen besagen, dass Fehlmengenkosten der Produktion den höchsten singulären Anteil besitzen, indem sie mit etwa 46% zu den durch Fehlmengenkosten verursachten Zusatzkosten beitragen [HEIL95, S. 118], was folgende Abbildung 8 verdeutlicht:

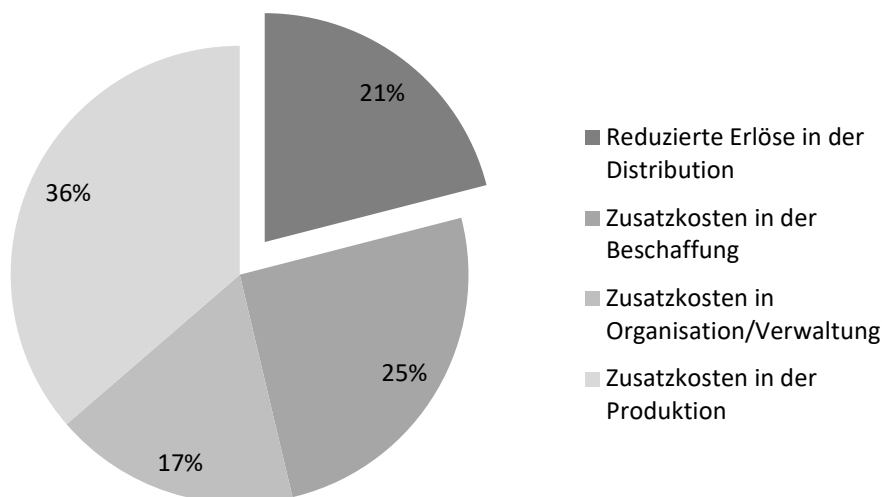


Abbildung 8: Umfang von Fehlmengenkosten nach Unternehmensbereichen [GÄRT11, S. 26]

Aufgrund der in der wissenschaftlichen Diskussion verbreiteten Aufteilung von Fehlmengenkosten nach betriebswirtschaftlichen Funktionen bzw. Unternehmensbereichen sowie einer einfacheren Zuordnung, soll im weiteren Verlauf der Diskussion diese Klassifikation beibehalten werden. Darauf aufbauend sollen nun nachfolgend die verschiedenen, perspektivischen Sichtweisen näher beleuchtet werden.

2.4.2.1 Materiallogistische Perspektive

Fehlmengenkosten aus Sicht der Materiallogistik entstehen dann, wenn das angeforderte Material zum Bedarfszeitpunkt in der Produktion nicht am gewünschten Ort in der gewünschten Menge und Qualität zur Verfügung steht. Eine gefährdete Materialbereitstellung gibt sehr häufig Anlass zu außergewöhnlichen Anstrengungen, um die Versorgung aufrecht zu erhalten. So werden teurere Transportmittel eingesetzt, Preiszuschläge für sofort verfügbare Ware gezahlt oder fehlerhafte Lieferungen nachgebessert, um die Produktion weiterlaufen zu lassen. Die Fehlmengenproblematik stellt sich nicht in allen Unternehmen gleich dar. Sie ist gravierend bei Fließbandfertigung und im Bereich der Markenartikelindustrie, während sie bei Unternehmen mit flexibler Fertigungssteuerung abnimmt [ARNO10, S. 9f.]. Sollten Fehlmengen in der Materialwirtschaft jedoch zu Ausfallkosten im Fertigungsprozess führen, so sind diese ebenfalls unter dem Begriff Fehlmengenkosten zu subsumieren [WEBE10, S. 187]. Vorab ist allerdings zu prüfen, ob durch Mängel in der Materialversorgung verursachte Lieferterminüberschreitungen nicht schon durch diverse produktionswirtschaftliche Anpassungsmaßnahmen, wie beispielsweise die Umstellung des Produktionsprogramms oder eine Erhöhung der Produktionsgeschwindigkeit, aufgefangen werden können [WEBE12, S. 171].

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass Fehlmengenkosten der Materiallogistik häufig von nicht geplanter Natur sind und als Ergebnis von Störungen im Produktionsablauf und/ oder des Transportvollzugs durch Angabe einer Wahrscheinlichkeitsverteilung nur sehr schwer zu quantifizieren sind [SCHM77, S. 26]. Aus diesen Gründen und einer Fokussierung auf Fehlmengenkosten der Distributionslogistik soll diese Kostenart im weiteren Verlauf der Arbeit nicht näher untersucht werden.

2.4.2.2 Fertigungslogistische Perspektive

Fehlmengenkosten aus Sicht der Fertigungslogistik bezeichnen den Aufwand in Folge fehlerbedingter Störungen im Produktionsprozess, der ohne die Störungen nicht angefallen wäre [EVER92, S. 13]. Als Störungen können nicht vorhersehbare Produktionsunterbrechungen, Störungen beim Transportvollzug (z.B. Unfälle, Beschädigungen der Ware beim Transport) sowie die Nichteinhaltung der vorgesehenen Lieferzeit vom Lieferanten eines Artikels verstanden werden, die zu einer Verminderung der geplanten Periodenlieferkapazität führen [BOGA88, S. 232-237].

Isoliert betrachtet verursachen Fehlmengen in der Produktion zwar keinen Schaden [KOLL78, S. 96]. Sie können jedoch zu Störungen im betrieblichen Ablauf führen, die von einer Unterbrechung der Produktion bis hin zu einem Stillstand der produktiven Prozesse reichen können [GUDE12, S. 122f.]. Aufgrund einer selten vorkommenden Substituierbarkeit der betroffenen Artikel können fehlmengenbedingte Störungen ebenso den Montageprozess gravierend einschränken [GÄRT11, S. 25]. Die folgende Abbildung zeigt einen Überblick über die Ursachen für Fehlmengen:

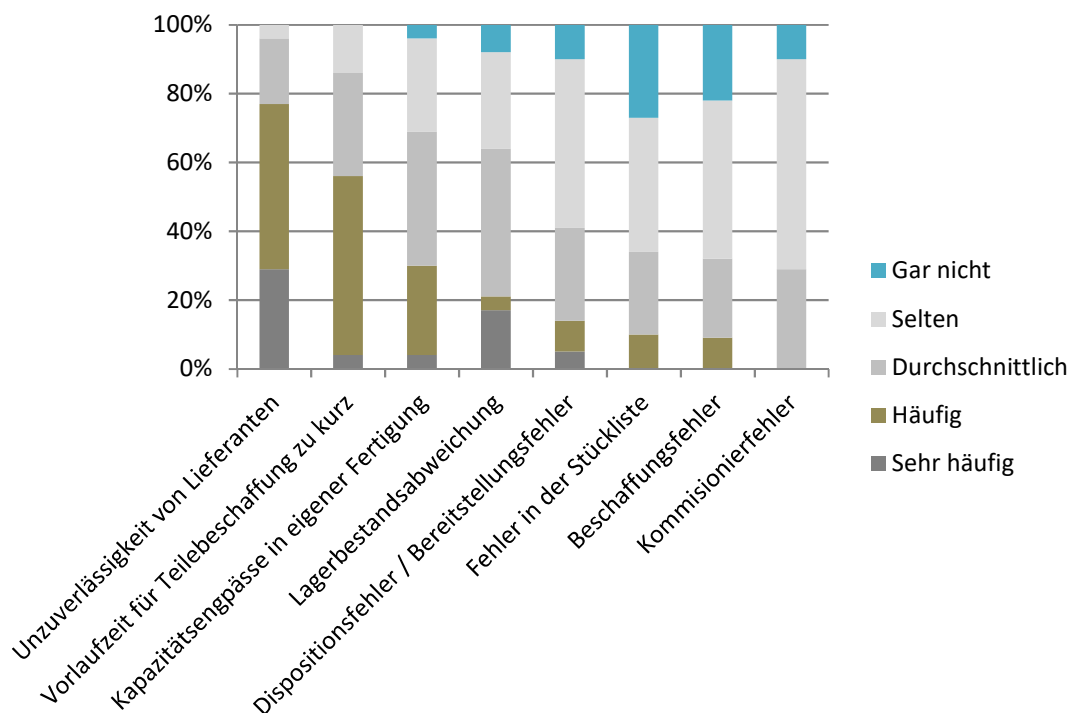


Abbildung 9: Ursachen für Fehlmengen nach Häufigkeit der Nennung [GÄRT11, S. 25]

In gleicher Weise wie fehlmengenbedingte Kosten in der Material- oder Distributionslogistik stellen Fehlmengenkosten im Herstellprozess Opportunitätskosten dar [BOTT78, S. 767], weil mit ihnen ein Güterverzehr zur Erstellung betrieblicher Leistungen in der negativen Form eines Nutzenentgangs verbunden ist [BRUN70, S. 140].

2.4.2.3 Distributionslogistische Perspektive

Die richtige Erfüllung der Nachfrage ist ein Qualitätsmerkmal der Lieferserviceleistungen der Unternehmung [PFOH72, S. 28]. Die Nachfrage kann dabei durch die folgenden drei Komponenten beschrieben werden:

- **Quantitative Komponente:** Sie gibt die Nachfragehöhe in Mengeneinheiten an.
- **Zeitliche Komponente:** Sie gibt den Zeitpunkt der auftretenden Nachfrage an.
- **Örtliche Komponente:** Sie lokalisiert den Ort innerhalb des logistischen Strukturnetzes, an dem die Nachfrage wirksam wird, der sog. Bedarfspunkt [SCHM77, S. 16].

In Bezug auf die quantitative Komponente muss jedoch die Frage gestellt werden, bei welchem Servicegrad sich ein Unternehmen positionieren sollte. Es gilt die Logistikkosten – gemessen durch den Servicegrad – und die durch die Höhe des Lieferservicegrades verursachten Kosten gegeneinander abzuwägen, da eine unendliche hohe Lieferkapazität angesichts begrenzter Produktions- und Lagerkapazitäten nicht ständig gewährleistet werden kann. Aus Sicht der Distributionslogistik resultiert die Existenz von Fehlmengen und damit nachgelagert von Fehlmengenkosten aus einer bewussten, unternehmerischen Entscheidung heraus, die sich rein an Kosten-Nutzen-Überlegungen orientieren sollte. In diesen Überlegungen spielt der Verlauf der Kundennachfrage, insbesondere wenn diese stochastische Natur ist, eine zentrale Rolle. Folgende Skizze (Abbildung 10) zeigt verschiedene Ausprägungen der Bedarfsermittlung:

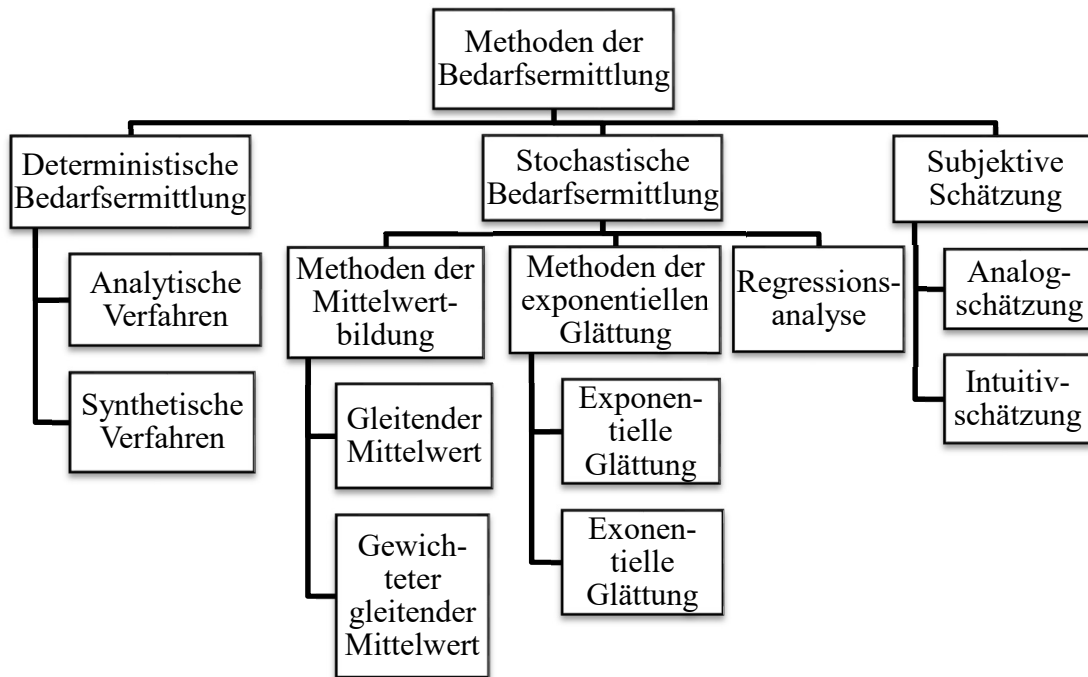


Abbildung 10: Methoden der Bedarfsermittlung [BIED08, S. 35]

Es wird deutlich, dass die Qualität der Lieferserviceleistungen der Unternehmung für Art und Höhe der Fehlmengenkosten von besonderer Bedeutung sind [SCHM77, S. 32]. Möglich ist auch die bewusste Entscheidung eines Unternehmens, für einen zum Absatz vorgesehenen Artikel keine Lagerhaltung vorzunehmen und eine Beschaffung des Artikels erst nach erfolgter Nachfrage bezüglich des Artikels einzuleiten. Das bedeutet, dass immer, wenn der Artikel nachgefragt wird, Fehlmengen auftreten, da die Nachfrage nicht durch den Lagerbestand gedeckt werden kann. Die bewerteten Folgen solcher geplanter Fehlmengen werden als Fehlmengenkosten der Distributionslogistik bezeichnet [HOFF90, S. 4].

Einen zusammenfassenden Überblick über Erscheinungsformen und Ursachen von Fehlmengenkosten aus distributionslogistischer Sicht zeigt Abbildung 11.

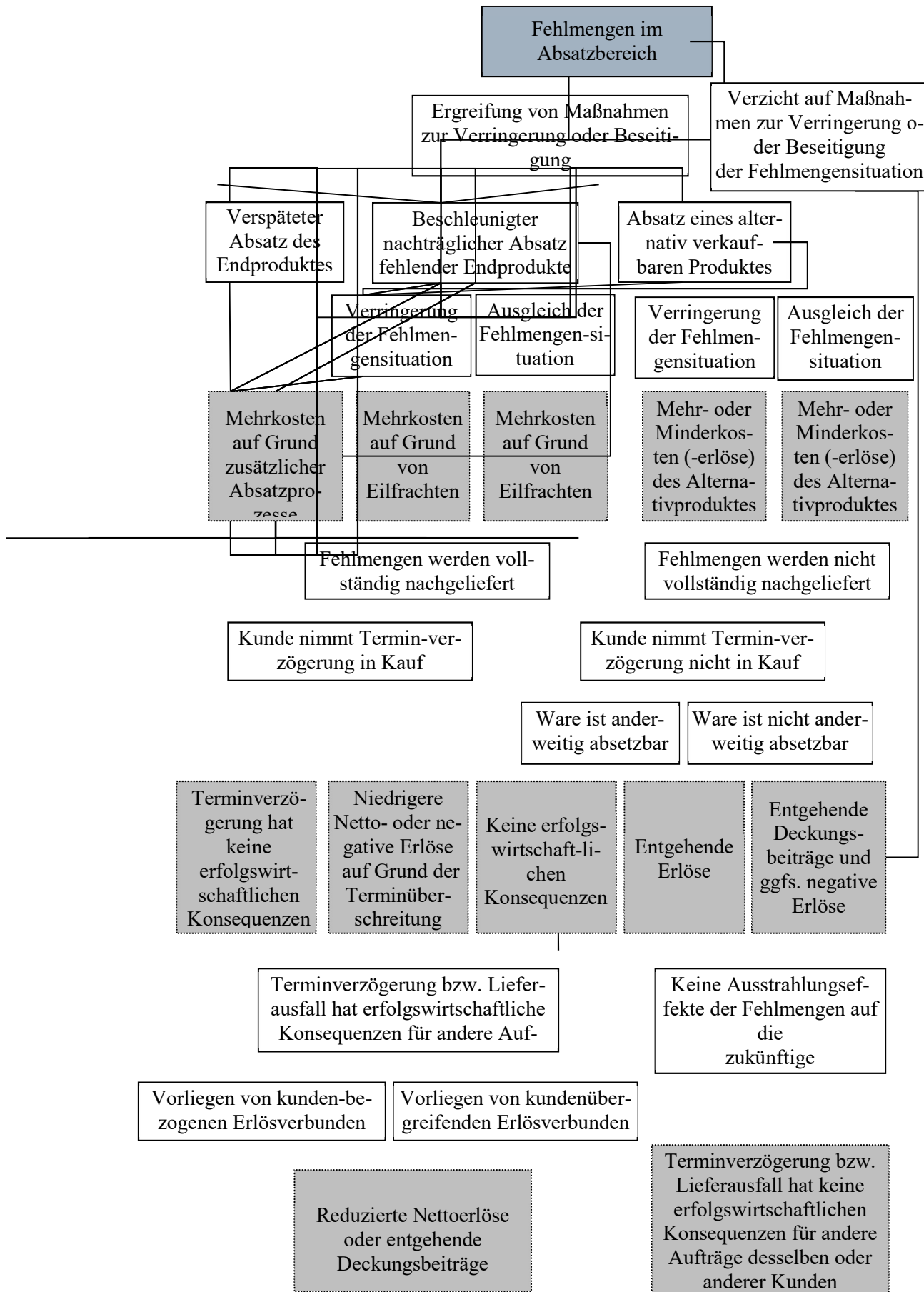


Abbildung 11: Fehlmengenkosten im Absatzbereich [WEBE12, S. 173]

Wie die Skizze (Abbildung 11) veranschaulicht, setzen sich Fehlmengenkosten aus sehr unterschiedlichen Bestandteilen zusammen, die wie folgt kategorisiert und in Abschnitt 2.4.3 näher beleuchtet werden sollen [SCHM77, S. 32]:

- Kosten der zusätzlichen unternehmerischen Aktivitäten
- Kosten reduzierter Erlöse
- Kosten eines verlorenen Auftrages
- Kosten der Goodwill-Verluste
- Kosten des verlorenen Kunden

2.4.2.4 Zusammenfassung

Um die verschiedenartigen Ausprägungen von Fehlmengenkosten aus den betreffenden Blickwinkeln heraus in ein Ordnungsschema zu überführen, soll an dieser Stelle ein Gesamtüberblick gegeben werden, der ungeplante Fehlmengenkosten direkter und indirekter Natur heruntergebrochen in zeitlicher und quantitativer Dimension zusammenfassend aufzeigt. Zu diesem Zweck wird folgende Klassifizierung vorgenommen:

- Mengenproportionale Fehlmengenkosten
- Mengen- und zeitproportionale Fehlmengenkosten
- Fixe Fehlmengenkosten
- Auftragsfixe Fehlmengenkosten

Die entsprechende grafische Übersicht (Abbildung 12) ist nachstehend zu finden.

Bei dieser Form der Einordnung ist nun zu überprüfen, ob die als mengen- und zeitmengen-proportional eingestuften Fehlmengenkostenarten auch abhängig von der Nachfragemenge pro Zeiteinheit sind. Eine solche Abhängigkeit der Kosten von der Nachfragemenge kann hier im Allgemeinen als nicht gegeben angenommen werden. Im Einzelfall mag eine derartige Abhängigkeit zwar existieren, jedoch erscheint eine allgemeingültige Aussage nicht möglich [ALSC81, S. 64].

Klassifizierungskriterien für ungeplante Fehlmengenkosten						
Indirekt (indirekte Kosten durch Anpassungs- und Vermeidungsmaßnahmen zum Auffangen von Fehlmengen)			Direkt (direkte Kosten entstehen unmittelbar, wenn Material nicht verfügbar ist)			
Zeit- und mengenabhängig			Zeitabhängig		Mengenabhängig	
In das Klassifizierungsschema einzuordnende Fehlmengenkostenarten						
Dispositionskosten für Artikelsuche und Umpfanung	Konventionalstrafen	Kapitalbindungskosten	Produktionsunterbrechungskosten		Leerkosten	Losgrößenabweichungskosten
	Eilbeschaffungskosten, höhere Einstandspreise, Eilfrachten		Entgangener Deckungsbeitrag, Schadensersatz	Stillstandskosten		
Beschreibung des Fehlmengenkostentreibers						
Kosten durch Abfedern von Fehlmenegenereignissen aufgrund von Eilbeschaffung und Umpfanungen	Kosten durch unmögliche Belieferung von Kunden	Kosten für fehlmengenbedingt liegende Zwischenerzeugnisse	Laufende sowie einmalige (zeitabhängige) Kosten für Maschinenstillsetzung	Kosten, die beim Maschinenausfall und Wiederanlauf entstehen	Opportunitätskosten für ungenutzte Produktionsfaktoren	Kosten durch verlorene Rüststände, oder höhere Rüststückkosten

Abbildung 12: Klassifizierung von Fehlmengenkosten [GÄRT11, S. 28]

2.4.3 Fehlmengenkostenarten aus Sicht der Distributionslogistik

2.4.3.1 Sondermaßnahmen

Die Abwehr einer drohenden Fehlmenge erfordert oft gesonderte, kostenintensive Anstrengungen, die zu zusätzlichen Kosten führen, welche von einem Hersteller oder Händler als Folge mangelnder Lieferbereitschaft zu tragen sind. Solche zusätzlichen direkten Kosten entstehen beispielsweise dadurch, dass das Material bei einem Lieferanten mit kürzerer Lieferzeit, aber höherem Preis bestellt werden muss, um die Fehlmenge zu vermeiden. Weitere Ursachen für das Auftreten solcher Fehlmengenkosten können das Verwenden höherwertiger Materialien zur Überbrückung der Störung sein oder der Einsatz spezieller Transportmittel, z.B. Eilfrachten [SCHU09, S. 658].

Ob und welche Sondermaßnahmen außerplanmäßig durchzuführen sind, hängt eng mit dem Konsumentenverhalten in einer Fehlmengensituation zusammen. Zunächst ist daher zu prüfen, inwieweit zusätzliche Aktivitäten auch Kosten verursachen. Hoffmann schlägt daher eine Einteilung in beschäftigungsabhängige und von der Beschäftigung unabhängige Kosten vor. Er argumentiert, dass Sondermaßnahmen als Folge mangelnder Lieferbereitschaft zusätzliche Kapazitäten betrieblicher Teilbereiche beanspruchen würden (z.B. zusätzliche Beratung und Bedienung). Da es sich bei Kapazitätskosten um beschäftigungsfixe Kosten handle, würden sie durch zusätzliche Aktivitäten nicht beeinflusst werden. Zu berücksichtigen sei, ob es durch derartige Aktivitäten zu Engpasssituationen in anderen Teilbereichen komme, die zu Opportunitätskosten, verstanden als bewerteter Nutzenentgang, führen können [HOFF90, S. 145].

Neben diesen, von der Beschäftigung unabhängigen Kosten entstehen einem Händler oder Hersteller im Rahmen seiner Umsatztätigkeit auch von der Beschäftigung abhängige Kosten, sog. leistungsabhängige oder variable Kosten. Bei der Durchführung außerordentlicher Maßnahmen als Folge mangelnder Lieferbereitschaft können variable Kosten entstehen, die bei der Bewertung dieser Folgen zu berücksichtigen sind. Wünscht ein Konsument bei einem Einkaufsvorgang mehrere Artikel zur sofortigen Lieferung, von denen jedoch ein Artikel aufgrund mangelnder Lieferbereitschaft fehlt, so ist neben der Zustellung der Artikel, für die Lieferbereitschaft herrscht, eine weitere Zustellung notwendig, wenn es später noch zu einer Befriedigung des Kunden bei erneut hergestellter Lieferbereitschaft des fehlenden Artikels kommt [HOFF90, S. 147f.].

Zusammenfassend lassen sich die Kosten für Sondermaßnahmen stichpunktartig wie folgt klassifizieren [STEI71, S. 30]:

- Zusatzkosten für ein schnelleres Transportmittel
- Zusatzkosten für teureren Fremdbezug der Güter
- Außerordentliche Kosten für Auftragsabwicklung und logistische Versandaktivitäten
- Zusatzkosten für Überstunden des Transport- und Lagerpersonals
- Rücknahmekosten bei verspäteter Lieferung

Kosten für Sondermaßnahmen können auch dann entstehen, wenn ein Unternehmen versucht, in zukünftigen Perioden Goodwill-Verlusten bereits im Vorfeld entgegenzuwirken. Solche Zusatzkosten können beispielsweise umfassen:

- Verstärkte Werbemaßnahmen
- Preispolitische Sondermaßnahmen wie beispielsweise Sonderangebote
- Häufigere Kundenbesuche durch Außendienstmitarbeiter

Diese ausgabenwirksamen Kosten haben Fehlmengenkostencharakter, da sie ihre Ursache in der Lieferunfähigkeit des Unternehmens haben. Sie sind jedoch nur dann vertretbar, wenn durch diese Aufwendungen die Kosten der Goodwill-Verluste mindestens ausgeglichen werden können [SCHM77, S. 43].

2.4.3.2 Reduzierte Erlöse

Ist es nicht möglich, die mit den Kunden vereinbarten Termine einzuhalten, können zusätzliche Mehrkosten in Form von Konventionalstrafen oder sonstiger erlösmindernder Zugeständnisse entstehen. Zu solchen Erlösschmälerungen zählen beispielsweise Sonderrabatte oder andere Formen von Preisnachlässen, die den Kunden für eine Terminüberschreitung entschädigen sollen [SCHU09, S. 658]. Denkbar in diesem Zusammenhang ist auch eine Staffelung solcher Erlösminderungen in Abhängigkeit des Wertes der nichtgelieferten Menge, was eine variable Betrachtung dieser Fehlmengenkostenart zur Folge hätte, die jedoch aus Komplexitätsgründen und des damit verbundenen Rechenaufwandes für den weiteren Verlauf dieser Arbeit ausgeblendet werden soll.

2.4.3.3 Auftragsverluste

Die Kosten eines Auftragsverlustes resultieren aus der Differenz zwischen wegfallenden Kosten in der Beschaffung, der Logistik, der Produktion und im Absatzbereich einerseits sowie entgehenden (Absatz-) Erlösen andererseits [WEBE10, S. 187]. Sie können aus Sicht der Kosten- und Leistungsrechnung vereinfacht als entgangene Deckungsbeiträge betrachtet werden. Diese Form von Fehlmengenkosten entsteht dann, wenn ein Kunde die Belieferung zum vereinbarten Liefer- oder Nachliefertermin zwar verlangt, eine Befriedigung des Kunden aber selbst durch Sondermaßnahmen (siehe Abschnitt 2.4.3.1) nicht möglich ist. In diesem Fall entstehen durch den Verlust des konkreten Auftrages (Englisch: lost sales case) Fehlmengenkosten als entgangener Gewinn des Auftrages, die in aller Regel mengenabhängig sind [SCHM77, S. 50]. Durch den Auftragsverlust wird die Möglichkeit von Teillieferungen ausgeschlossen, die dann grundsätzlich für das lieferunfähige Unternehmen von Interesse ist, sofern seine ersparten Lagerkosten größer als Kosten für Anreize wie beispielsweise Preisnachlässe sind, die dem Kunden diese Möglichkeit attraktiv erscheinen lassen.

Entgangene Deckungsbeiträge beziehen sich lediglich auf die aktuell nicht erfüllbare Nachfrage und treten nur im tatsächlichen Verlustfall auf. Im Allgemeinen wird dieser Deckungsbeitragsverlust über die Bewertung der Fehlmengen mit einem proportionalen Kostensatz in den Lagerhaltungsmodellen berücksichtigt. Trotzdem ergibt sich die Notwendigkeit einer Überprüfung der Abhängigkeit der mengenproportionalen Fehlmengenkosten von der mittleren Absatzmenge. Geht man von dem traditionellen Modell eines Produktlebenszyklus aus, so findet man in der Literatur die folgende Beziehung zwischen dem Deckungsbeitrag und der Absatzmenge im Zeitablauf (Abbildung 13):

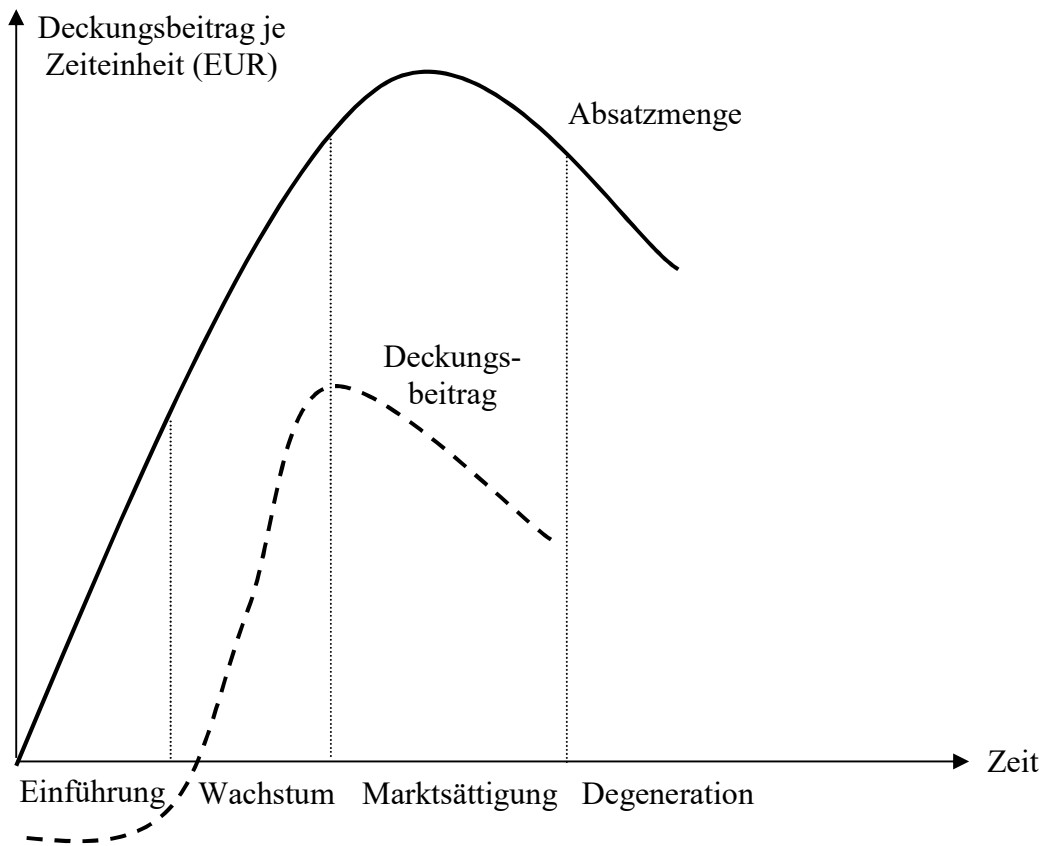


Abbildung 13: Abhängigkeit der erzielbaren Deckungsbeiträge vom Lebenszyklus eines Produktes [ALSC82, S. 267]

Das dargestellte Modell zeigt die Notwendigkeit einer differenzierten Betrachtung der entgehenden Deckungsbeiträge auf, wenn die Abhängigkeit zur Absatzmenge zu berücksichtigen ist. Bis zu dem Zeitpunkt, in dem das Produkt in die Phase der Marktsättigung eintritt, ist von ansteigenden Deckungsbeiträgen auszugehen, bei ansteigender Nachfrageintensität pro Zeiteinheit. Anschließend steigt dann zwar die Nachfrageintensität pro Zeiteinheit, jedoch sinken die Deckungsbeiträge bis zum Ende des Lebenszyklus pro Zeiteinheit, ab dem dann die beiden Komponenten sinken. Den letztgenannten Sachverhalt zeigt folgende Abbildung 14:

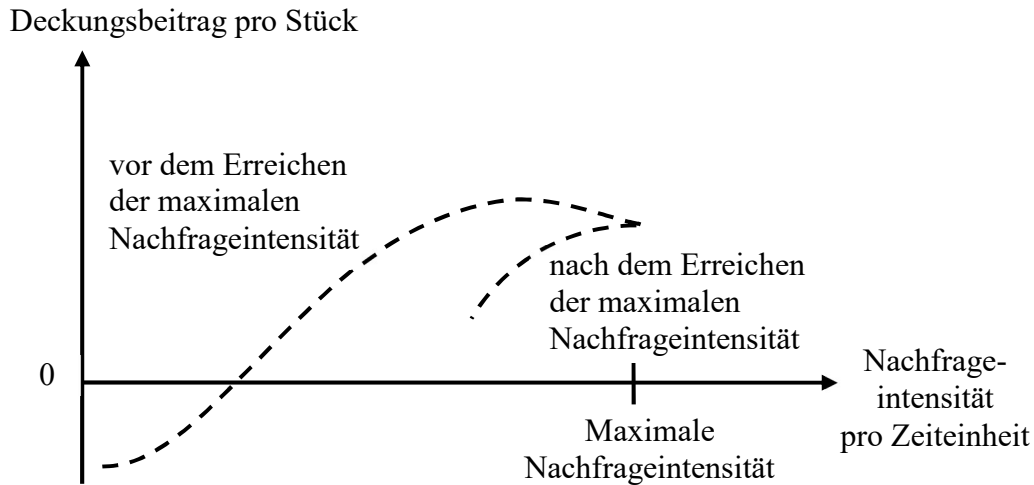


Abbildung 14: Entwicklung des Deckungsbeitrages in Abhängigkeit der Nachfrageintensität [ALSC82, S. 267]

Eine weitere Modellüberlegung im Zusammenhang mit variablen, von der Ausbringungsmenge abhängigen Deckungsbeiträgen betrifft die Integration von stückbezogenen Lagerhaltungskosten, die bei einer genauen Betrachtung in den variablen Stücklagerkosten enthalten sein müssten. Unter der Annahme, dass die verbleibenden Parameter konstant sind, sinken demzufolge die Stücklagerkosten bei einer ansteigenden Nachfrageintensität pro Zeiteinheit, womit sich ein ansteigender Deckungsbeitrag je Stück in Abhängigkeit der wachsenden Nachfrageintensität ergibt [ALSC82, S. 267]. Folgende Abbildung 15 veranschaulicht diesen Gedanken:

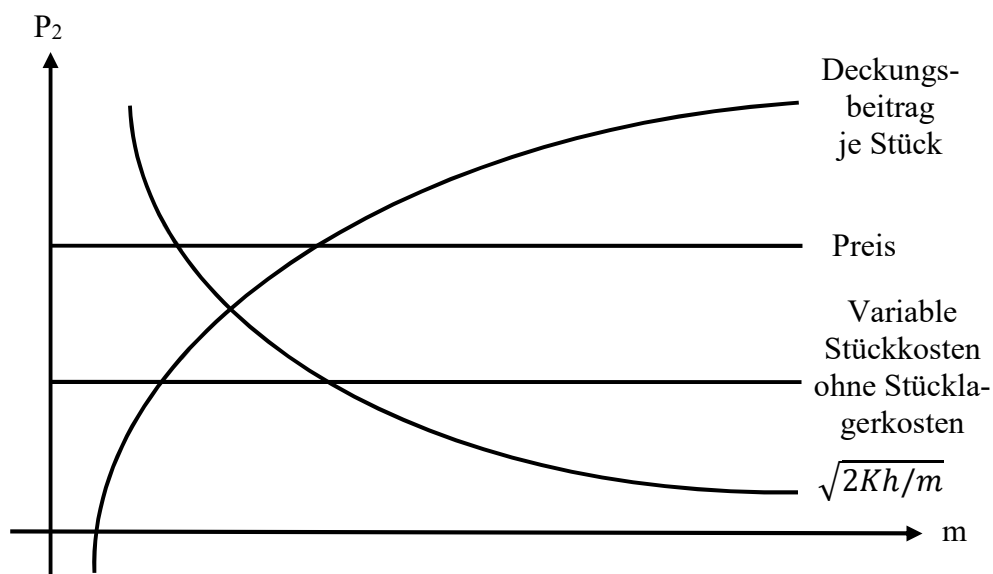


Abbildung 15: Entwicklung des Deckungsbeitrages unter Berücksichtigung von Stücklagerkosten [ALSC81, S. 63]

Es gilt:

- P_2 = Mengenproportionaler Fehlmengenkostensatz
- m = Mittlerer Jahresbedarf
- K = Fixe Bestellkosten (EUR/Stück)
- h = Lagerkostensatz (EUR/Stück pro Jahr)

Generell sind die Kosten entgangener Deckungsbeiträge als Opportunitätskosten zu betrachten [MÜNS66, S. 23] und sollten in Lagerhaltungsmodellen explizit Berücksichtigung finden, obgleich im Gegensatz zu Fixkosten des entgangenen Auftrages keine ausgabewirksamen Kosten damit verbunden sind. Problematisch an dieser Form von Fehlmengenkosten ist allerdings die Tatsache, dass sie als wirtschaftlich nachteilige Konsequenzen in unterschiedlichen Unternehmensbereichen anfallen, was eine Zuordnung auf den Logistikbereich und damit auf einen kundenspezifischen Auftragsprozess erheblich erschwert.

2.4.3.4 Goodwill-Verluste

Unter Goodwill-Verlusten versteht man ganz allgemein die Abneigung der Kunden, mit einer Firma, die nicht liefern konnte, weiterhin Geschäfte zu betreiben. Diese treten dann gewöhnlich auf, wenn die Lieferzuverlässigkeit für den Kunden von hoher Bedeutung ist. Allerdings bereitet eine kostentechnische Bewertung meist erhebliche Schwierigkeiten [SIXT05, S. 78], sodass eine Quantifizierung der Kosten aus Goodwill-Verlusten das schwierigste Problem bei der Fehlmengenkostenbestimmung darstellt [SCHM77, S. 32]. Andererseits hat der Goodwill-Verlust häufig eine weitaus größere Bedeutung für die Lagerhaltung als die tatsächlich anfallenden Kosten. Die Kosten, die für den Goodwill-Verlust einzusetzen sind, werden nicht fix, sondern zumindest bestellfix sein. Da jedoch der Goodwill-Verlust von der Höhe des Auftrages abhängig sein wird, ist es folgerichtig, diese Kosten zumindest proportional oder sogar zeitabhängig anzusetzen [ALSC82, S. 270]. Zu den Goodwill-Verlusten zählen auch Kosten für Imageverluste, die zwar nicht unmittelbar quantifizierbar sind, die jedoch auf lange Sicht zu Umsatzverlusten führen können [HÄRD99, S. 124].

2.4.3.5 Kundenverluste

Als Kundenverluste (Englisch: Lost Customer Loss) wird eine Fehlmengenkostenart bezeichnet, bei der ein Kunde seine gesamte Nachfrage in der Zukunft nicht mehr bei diesem Anbieter befriedigt, sondern unumkehrbar zu einem Wettbewerbsunternehmen

abwandert. Diese reelle Gefahr besteht dann, wenn ein Kunde ein- oder mehrfach nicht zum vereinbarten Termin beliefert wurde. Im Verhältnis zu anderen Fehlmengenkosten fallen Kundenverluste absolut betrachtet am höchsten aus, da entgangene Gewinne in Folgeperioden zugrunde gelegt werden, die in einzelnen Perioden bei termingerechten Belieferungen keine Zusatzkosten verursachen würden [SCHM77, S. 72].

2.4.4 Determinanten von Fehlmengenkosten

Im Folgenden sollen nun die in der wissenschaftlichen Diskussion bekannten Einflussgrößen auf Fehlmengenkosten aus Sicht der Distributionslogistik in komprimierter Form vorgestellt werden.

2.4.4.1 Die Art des Produktes

Im Kontext von Fehlmengen in der Distributionslogistik ist eine Unterscheidung zwischen Investitionsgütern und Konsumgütern notwendig. Während letztere in aller Regel durch eine Lagerproduktion für einen anonymen Markt vorproduziert werden, überwiegt bei den meisten Investitionsgütern die Auftragsfertigung [SCHM77, S. 37].

Folgende Typologien lassen sich bei Investitionsgütern bilden:

- **Make-to-Order (MTO) oder Built-to-order (BTO):** Bei dieser sogenannten reinen Auftragsfertigung beginnt der Produktionsprozess erst nach Erhalt eines Kundenauftrages [HERL12, S. 57], wenngleich Design und Engineering des Produktes bereits festgelegt wurden. Demzufolge bestimmen Markt und Kunde sowohl den Planungsprozess als auch das Bestandsmanagement [MERC08, S. 12] und im Extremfall kann die Lieferbereitschaft eines Anbieters zum Nachfragezeitpunkt sogar überhaupt keine Rolle spielen [SCHM77, S. 37].
- **Make-to-Stock [MTS]:** Bei dieser Lagerhaltungsstrategie erfolgt eine Serienproduktion zu großen Teilen unabhängig von konkreten Kundenaufträgen, sodass die Ermittlung des Absatzprogramms lediglich auf Basis von Nachfrageprognosen durchgeführt werden kann [DYCK10, S. 232].
- **Configure-to-order:** Bei dieser Strategie, die zwischen Make-to-stock und Make-to-order angesiedelt werden kann, wird der Großteil, gegebenenfalls

auch alle Einzelkomponenten, eines Produktes in Erwartung von Kundenaufträgen vorgehalten und bei Bestellung auftragsbezogen zusammengestellt [PIAS09, S. 15].

- **Engineering-to-order:** Bei diesem Ansatz hängen Planungs-, Beschaffungs- und Lagerhaltungsprozesse sehr stark von Ausmaß und Inhalt des der Fertigung vorgeschalteten Design- und Customization-Prozesses ab [MERC08, S. 13]. In diesem Fall kann die Lieferzeit gegenüber den anderen Konzepten die größte Zeit in Anspruch nehmen, da Design und Engineering der Komponenten in aller Regel erst nach Erhalt des Kundenauftrages fertiggestellt werden können [PIAS09, S. 15].

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Charakter des Produktes in aller Regel einen entscheidenden Einfluss sowohl auf die der Fertigung vorgeschalteten Prozesse, den eigentlichen Fertigungsprozess als auch auf die Planung von Fertigwarenbeständen ausübt.

2.4.4.2 Verbundwirkungen

Verbundwirkungen im Kontext des käuflichen Erwerbs von Gütern, im Folgenden als Einkaufsverbund bezeichnet, werden in diesem Zusammenhang verstanden als eine Beziehung zwischen Artikeln eines Sortiments, die durch den gemeinsamen Erwerb der Artikel durch einen Kunden entsteht [RIEB94, S. 130]. Die Bedeutung von Verbundkäufen, bei denen mehrere Artikel eines Sortiments erworben werden, wird in Bezug auf absatzpolitische Entscheidungen in der Literatur immer wieder hervorgehoben [ENGE76, S.77f.]. Die Kennzeichnung eines Einkaufsverbundes eines Artikels x mit anderen Artikeln des Sortiments y wird durch E_{xy} ausgedrückt, was die durchschnittliche Anzahl der Mengeneinheiten des Artikels x , die gemeinsam mit einer Mengeneinheit des Artikels y abgesetzt werden, bedeutet.

Als Grund für die Entstehung von Verbundkäufen kann das Streben von Kunden genannt werden, vor dem Besuch der Verkaufsstelle mehrere Käufe zu tätigen, was häufig mit dem Wunsch nach Einkaufsbequemlichkeit sowie der Minimierung der mit den vorgesehenen Käufen verbundenen Beschaffungskosten zusammenhängt. Darüber hinaus führen Käufe oftmals auch zum Verbundkauf, wenn zwischen den zu erwerbenden Artikeln eine Verwendungsverbundenheit komplementärer Art besteht, die gegenüber einer isolierten Verwendung eines Artikels einen zusätzlichen Nutzen bringt. Daneben können insbesondere bei der Beschaffung hochwertiger Artikel des

Industriegüterbereichs, die verwendungsmäßig verbunden sind, Risikoaspekte den gemeinsamen Erwerb bei einem Händler oder Hersteller nahelegen [HOFF90, S. 73]. Solche Aspekte umfassen beispielsweise die Durchführung von Reklamationen und Reparaturen, die Abwicklung von Garantieansprüchen oder auch eine umfangreiche Beratung vor dem Kauf.

Andererseits können Verbundkäufe oftmals nicht nur Artikel, deren Kauf geplant war, sondern auch Artikel, deren Kauf vor dem Aufsuchen eines Händlers nicht geplant war, umfassen. Solche ungeplanten Käufe können dadurch zu einem Verbundkauf führen, dass der Kauf eines Artikels den Erwerb eines weiteren Artikels oder mehrerer Artikel auslöst. Diese Beziehung kann auch als Urkauf für den erstmalig getätigten Kauf und als Folgekauf für den dadurch ausgelösten Kauf verdeutlicht werden. Ur- und Folgekäufe einerseits und geplante Käufe komplementär verwendungsmäßig verbundener Artikel andererseits weisen oft große Ähnlichkeit auf. Wesentlich für Aussagen zum Kundenverhalten in einer Fehlmengensituation ist, ob zwischen einem Artikel x und anderen, mit ihm einkaufsverbundenen Artikeln komplementäre Verwendungsgebundenheit besteht oder ob Artikel x mit anderen Artikeln lediglich einkaufsverbunden ist. Wird ein Konkurrenzanbieter zur Bedürfnisbefriedigung aufgesucht oder wird auf die Bedürfnisbefriedigung völlig verzichtet, so entfällt beim Händler der Urkauf bzw. der Kernartikel wird nicht bei ihm erworben. Diese Tatsache verhindert dann in aller Regel den Kauf anderer Artikel wie Folgekaufartikel und Ergänzungsartikel [HOFF90, S. 75-78].

Die vorstehenden Ausführungen verdeutlichen, dass negative Nachfragewirkungen auf sämtliche Produkte eines Anbietersortiments ausgehen können, obgleich der Anbieter in einem Mehrproduktunternehmen nur bei einem seiner Artikel vorübergehend lieferunfähig ist. Setzt sich das Sortiment des Anbieters aus komplementären Produkten zusammen, so wird mit starken negativen Nachfragewirkungen bei Lieferunfähigkeit zu rechnen sein [SCHM77, S. 38].

Bei einer Mehrproduktunternehmung sind vor diesem Hintergrund die folgenden Fälle zu unterscheiden [SCHM77, S. 31]:

- Der Kunde bestellt sämtliche angebotene Produkte zukünftig wieder.
- Der Kunde bestellt in Zukunft nur einen Teil der Gesamtnachfrage nach jenen Produkten, die nicht geliefert wurden. Die Nachfrage nach allen anderen Produkten verändert sich hingegen nicht.

- Der Kunde bestellt kein Produkt mehr, die Unternehmung verliert einen Kunden.

Die Quantifizierung solcher Kundenverluste erfordert deshalb eine genaue Kenntnis der Intensität des Nachfrageverbundes innerhalb des Anbietersortiments [SCHM77, S. 37]. Vor dem Hintergrund der geschilderten Komplexität bei Mehrproduktunternehmen soll im Verlauf der Arbeit, insbesondere im Kapitel vier und fünf, die Prämisse eines Einproduktunternehmens gewählt werden.

2.4.4.3 Distributionskanäle

Wird ein Gut über mehrere Handelsstufen (z.B. Großhandel, Einzelhandel) abgesetzt, so können theoretisch auf jeder Stufe Fehlmengen und deren Kosten auftreten. Welche Handelsstufe im Distributionskanal die entstehenden Fehlmengenkosten zugeordnet werden müssen, ist im Einzelfall zu analysieren. Es kann sogar ein Fehlmengengewinn entstehen, wenn ein Kunde das Produkt x im Handelsbetrieb H einkaufen möchte, dieses aber nicht verfügbar ist. Kauft er im gleichen Handelsbetrieb H das Produkt y, dieses aber zu einem höheren Deckungsbeitrag, erzielt der Händler den oben erwähnten Gewinn. Die möglichen Verhaltensweisen eines Kunden (siehe Abschnitt 2.3.2) determinieren also in entscheidender Weise, an welcher Stelle innerhalb eines Distributionskanals die Kosten der Fehlmengen zuzuordnen sind. In der Praxis dürfte es daher in aller Regel schwierig sein, die Zuordnung der Fehlmengenkosten exakt vorzunehmen [SCHM77, S. 39]. Im weiteren Gang der Arbeit soll deshalb lediglich von einer Distributionsstufe ausgegangen werden, um Schwierigkeiten bei der Zuordnung von Fehlmengenkosten zwischen den einzelnen Stufen zu vermeiden.

2.4.4.4 Wettbewerbsstrukturen

Die Struktur eines Marktes kann u.a. durch die Anzahl der Marktteilnehmer, sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite, charakterisiert werden. Während im Konsumgüterbereich üblicherweise von einem polypolistischen Angebot (viele Anbieter) gesprochen werden kann, denen in gleicher Weise eine hohe Anzahl von Nachfragern gegenübersteht, so findet man bei Investitionsgütern in aller Regel eine oligopolistische (wenige Anbieter), im Extremfall sogar eine monopolistische Anbieterstruktur (ein Anbieter) vor. Demzufolge ergeben sich aus den unterschiedlichen Anbieterstrukturen für den Nachfrager keine (Monopol), wenige (Oligopol) oder sehr viele Substitutionsmöglichkeiten (Polypol) bei Lieferunfähigkeit eines bestimmten

Anbieters. Mit zunehmender Substitutionsmöglichkeit der Anbieter durch den Nachfrager nimmt tendenziell die Höhe der Fehlmengenkosten für das lieferunfähige Unternehmen zu. Für die einzelnen Wettbewerber ergibt sich daraus die Notwendigkeit, vor allem bei oligopolistischen Anbieterstrukturen eine nachfragegerechte, qualitativ hochwertige Lieferservicepolitik sicherzustellen [SCHM77, S. 40].

2.4.4.5 Kundenverhalten

Die möglichen Verhaltensweisen von Kunden bei der Modellierung und Quantifizierung von Fehlmengenkosten (siehe Abschnitt 4.2) besitzen eine überragende Bedeutung und sollen daher in besonderer Weise herausgearbeitet werden. Zudem sind die bisherigen Ausführungen in der vorliegenden Arbeit noch unzureichend und als zu allgemein in Bezug auf die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten denkbarer Verhaltensweisen einzustufen. Im Folgenden sollen deshalb die wichtigsten Bestimmungsfaktoren des Kundenverhaltens kurz erörtert werden, die auf das durchschnittliche Verhalten bei mangelnder Lieferbereitschaft für einen Artikel abzielen [HOFF90, S. 54].

Es wird grundsätzlich zwischen zwei Kundenkategorien bzw. Reaktionsmöglichkeiten differenziert:

- **Geduldiger Kunde:** Dieser ist bereit, dem Unternehmen eine Nachlieferfrist zu gewähren (sog. Back-Order-Case), wobei nicht von einer unendlich langen Geduldsdauer ausgegangen werden kann, da diese durch den Bedarfszeitpunkt begrenzt wird. Ob Kunden bereit sind, auf eine nachträgliche Befriedigung zu warten, hängt auch davon ab, ob sie erwarten, dass der Nachlieferungszeitpunkt vor dem Bedarfszeitpunkt liegt [HOFF90, S. 128].
- **Ungeduldiger Kunde:** Dieser verlangt die Lieferung zum vereinbarten Liefertermin, d.h. eine Nachlieferung nach dem Liefertermin ist dabei nicht möglich. Kann die Unternehmung auch durch zusätzliche Aktivitäten diesen Kunden nicht beliefern, spricht man von einem Lost-Sales-Case. Der Kunde befriedigt dann seinen Bedarf bei der Konkurrenz [SCHM77, S. 29f.].

Ob ein Kunde als geduldig bzw. ungeduldig kategorisiert werden kann, hängt u.a. von der Dauer und Intensität des Entscheidungsprozesses ab, welcher dem Kauf vorgelagert war. Begutachtet ein Kunde das Sortiment eines Herstellers zunächst vor Ort oder trifft er spontan eine Kaufentscheidung, spricht man von einer offenen oder impulsiven Artikelwahl, die im Umfeld von Konsumgütern vorherrschend ist. Im Gegensatz dazu steht die sog. geschlossene Artikelwahl, der in aller Regel ein extensiver Entscheidungsprozess zugrunde liegt [WEIN81, S. 53f.]. Diese Vorgehensweise ist in aller Regel beim Kauf von hochwertigen Industriegütern zu beobachten. Tendenziell wird das Vorliegen einer planmäßig geschlossenen Artikelwahl dazu führen, dass der Erwerb eines Ersatzartikels statt des gewünschten Artikels wie auch der Verzicht auf die Befriedigung der Nachfrage unterbleiben. Dies ist umso sicherer, je aufwändiger der Entscheidungsprozess geartet war, welcher der vor dem Kaufvorgang erfolgten Konkretisierung zugrunde liegt [HOFF90, S. 59].

Einen zusammenfassenden Überblick über die wesentlichen Reaktionsmöglichkeiten von Kunden bei Out-of-Shelf-Situationen (Out-of-Shelf kann in diesem Kontext synonym zu Lieferunfähigkeit oder Stockout interpretiert werden) liefert die folgende Abbildung 16:

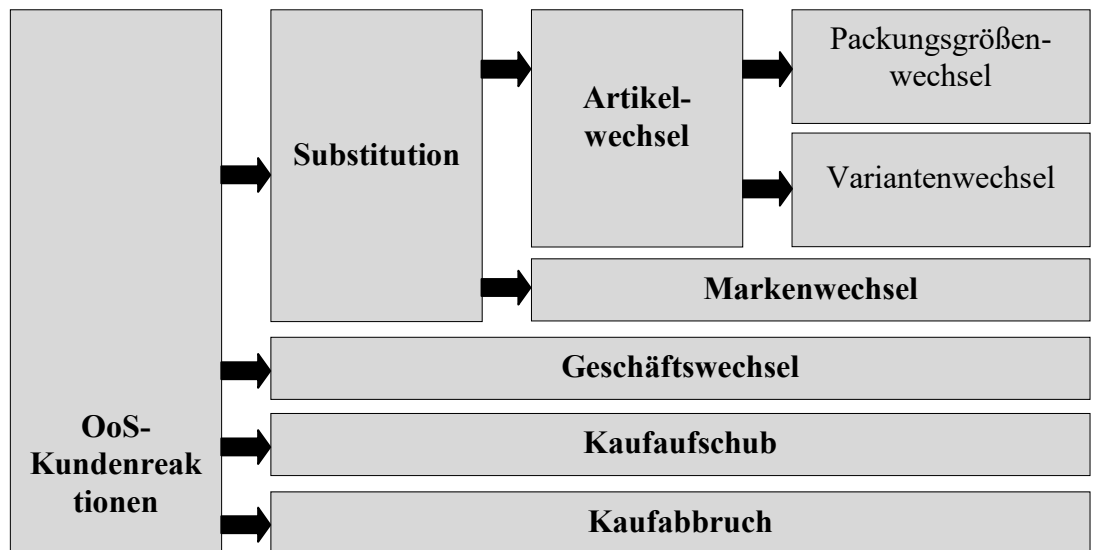


Abbildung 16: Übersicht zu sofortigen Kundenreaktionen bei Out-of-Shelf (OoS) [HEGE09, S. 38]

Aus bisherigen Forschungsarbeiten im Konsumgüterumfeld können mit Fokus auf die sofortigen Verhaltensreaktionen bei Out-of-Shelf-Situationen die Ergebnisse dahinge-

hend zusammengefasst werden, dass eine starke Varianz in den Prozentzahlen unmittelbar auffällt. Deren Ursachen sind in den divergenten OoS-Definitionen, einem verschiedenen Analysedesign, in regionalen Unterschieden im Kundenverhalten sowie in den untersuchten Produktkategorien und Betriebsstätten zu suchen [HEGE09, S. 39]. Einheitliche Aussagen zu Kundenreaktionen bei Out-of-Shelf-Situationen sind im Umfeld von Konsumgütern damit nicht möglich. Zu beachten ist, dass – unabhängig davon ob es sich um Konsum- oder Investitionsgüter handelt – im Zusammenhang mit der Quantifizierung von Fehlmengenkosten ausschließlich solche Nachfragewirkungen von Interesse sind, die von einer Nichtlieferung (Lost-Sales-Case) ausgehen können. Wird ein geduldiger Kunde zum Nachliefertermin beliefert, so wird – sofern es sich lediglich um einzelne Fälle handelt – zunächst von keiner negativen Nachfragewirkung für nachfolgende Lieferperioden ausgegangen [SCHM77, S. 30].

Grundsätzlich sind folgende Verhaltensweisen eines Kunden nach einer Nichtlieferung unter der Prämisse einer Einproduktunternehmung zu unterscheiden:

- Der Kunde verändert sein Nachfrageverhalten in der Zukunft nicht. Der Kunde bleibt trotz mehrfacher Nachlieferungen geduldig.
- Der Kunde bestellt lediglich den lieferfähigen Teil seiner zukünftigen Nachfrage bei diesem Anbieter und die Restnachfrage wird vollumfänglich bei der Konkurrenz befriedigt. Der Kunde ist ungeduldig.
- Die gesamte zukünftige Nachfrage wechselt zu Konkurrenzanbietern. Das Unternehmen verliert den ungeduldigen Kunden.

Negative Nachfragewirkungen in Form möglicher Nachfrageverluste in der Zukunft werden auch als Goodwill-Verluste bezeichnet [STAR62, S. 14], auf die im weiteren Verlauf dieser Abhandlung noch näher einzugehen sein wird (siehe Abschnitt 4.2.4).

2.4.4.6 Zeitbezogene Faktoren

Für das Verhalten in einer konkreten Fehlmengensituation ist die Beziehung zwischen Bedarfszeitpunkt, Nachfragezeitpunkt und Nachlieferungszeitpunkt von zentraler Bedeutung [HOFF90, S. 121]. Vor diesem Hintergrund soll der Faktor Zeit genauer untersucht werden. Zunächst soll eine Spezifizierung der Begriffe Liefer- und Auslieferungszeit vorgenommen werden.

Als Lieferzeit bezeichnet man jene Zeitdauer, die für eine nachfragegerechte Befriedigung der räumlich verteilten Kundennachfrage erforderlich ist [ENGE69, S. 35]. Sie

stellt die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt der Bestellung der Ware durch den Kunden und dem Zeitpunkt der Auslieferung des Gutes durch die Unternehmung am Ort der Kundennachfrage dar. Diese Zeitspanne setzt sich zusammen aus der Auftragsabwicklungszeit, die sämtliche Informationsaktivitäten zur reibungslosen Zustellung der Produkte umfasst, sowie der Lager-, Verlade- und Transportzeit, die alle Realgüteraktivitäten umfassen [JOHN73, S. 331]. Die Zeitdauer für Lager-, Verlade- und Transportaktivitäten, die zeitlich hintereinander erfolgen, soll mit Auslieferungszeit bezeichnet werden [HESS74, S. 43]. Für den Kunden ist jedoch nur die vereinbarte Lieferzeit von Interesse. Zum vertraglich festgelegten Liefertermin sind die nachgefragten Mengen beim Kunden auszuliefern, wodurch die Fehlmengenkostenproblematik unter einem anderen Aspekt zu betrachten ist [SCHM77, S. 27].

Sofern der Lagerbestand absinkt, kann der Bedarfszeitpunkt deterministisch und der Zeitpunkt bekannt sein, in dem der Lagerbestand null betragen wird. Demgegenüber kann der Bedarf an einem betreffenden Artikel eine Zufallsvariable sein (stochastischer Bedarf), die aber einem bestimmten Verteilungsgesetz gehorcht. Es können dann nur Wahrscheinlichkeitsangaben über den Zeitpunkt, zu dem der Lagerbestand Null betragen wird, gemacht werden. Diese können unter Umständen beim Endverbraucher auch über Erfahrungswerte abgeschätzt werden. Eine Bedarfsbefriedigung nach dem Bedarfszeitpunkt ist zwar grundsätzlich denkbar, jedoch entstehen dem Nachfrager für die Zeit zwischen dem angegebenen Bedarfszeitpunkt und dem Zeitpunkt der Befriedigung Kosten, die umso höher sind, je höher der Mangel vom Kunden bewertet wird. Es sind allerdings auch Bedarfsanlässe denkbar, deren Auftreten für den Kunden bedeutet, dass Artikel sofort benötigt werden [HOFF90, S. 123].

Auch die Festlegung des Nachfragezeitpunktes kann ein Teilproblem darstellen. Der Verbraucher kann vor der Alternative stehen, dass der Verwendungszweck gegeben und eine Entscheidung über den Nachfragezeitpunkt vor dem Bedarfszeitpunkt zu treffen ist. Für den Kunden ist zu beachten, dass er für die Zeitspanne zwischen dem Nachfrage- und Bedarfszeitpunkt den Artikel zu lagern hat, wodurch ihm Kosten entstehen, denen kein Nutzen durch die Verwendung des Artikels gegenübersteht. Er ist daher bestrebt, den Nachfragezeitpunkt möglichst nahe an den Bedarfszeitpunkt zu stellen und zusätzlich die ihm entstehenden Beschaffungskosten zu minimieren, weshalb er die Beschaffung mehrerer Artikel in einem Einkaufsvorgang vornimmt [HOFF90, S. 125f.].

Über den Nachlieferungszeitpunkt kann beim Verbraucher entweder Sicherheit oder Unsicherheit herrschen. Sicherheit kann dann vorliegen, wenn der Kunde über konkrete Einkaufserfahrungen beim Verkäufer verfügt, während Unsicherheit dann vorherrscht, wenn Rückfragen beim Verkaufspersonal kaum bzw. nicht möglich sind und keine bzw. mangelnde Einkaufserfahrungen bestehen. Die herrschende Unsicherheit kann Kunden veranlassen, von einem Warten auf nachträgliche Befriedigung abzusehen. Liegt zwischen dem Nachfragezeitpunkt, also dem Zeitpunkt der Konfrontation mit der Fehlmengensituation, und dem Bedarfszeitpunkt eine gewisse Zeitspanne, so kann es durchaus zum Warten auf nachträgliche Befriedigung bei Kunden kommen, bei denen Unsicherheit über den Nachlieferzeitpunkt herrscht [HOFF90, S. 128f.].

Ebenso kann eine nachträgliche Befriedigung bei erneut hergestellter Lieferbereitschaft auch nach dem Bedarfszeitpunkt erfolgen. Die Geduldsdauer von Konsumenten ist nicht durch einen Bedarfszeitpunkt begrenzt. Allerdings entstehen einem Verbraucher für die Zeit zwischen dem Bedarfszeitpunkt und der nachträglichen Befriedigung Kosten. Je höher diese Kosten zu bewerten sind, umso weniger wird er bereit sein, eine nach dem Bedarfszeitpunkt erfolgende Befriedigung hinzunehmen [HOFF90, S. 130]. Herrscht bei einem Kunden Sicherheit über den Nachlieferzeitpunkt, so kann er die Kosten, die ihm durch den Mangel entstehen, abschätzen, was sich positiv auf eine Befriedigung nach dem Bedarfszeitpunkt auswirkt. Bei Unsicherheit über den Nachlieferzeitpunkt dagegen wirkt sich das Warten negativ auf eine nachträgliche Befriedigung aus. Ebenso bestimmt auch die Dringlichkeit der Befriedigung, welches Verhalten der Kunde zeigt. Je dringlicher die Befriedigung ist, umso weniger wird er bereit sein, auf eine nachträgliche Befriedigung zu warten. Sicherheit über den Nachlieferzeitpunkt ermöglicht Kunden, die Kosten abzuschätzen und gegen Kosten abzuwägen, die durch andere Verhaltensweisen, etwa Aufsuchen eines Konkurrenzanbieters, entstehen [HOFF90, S. 131].

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für das Auftreten von Fehlmengenkosten aus einer zeitlichen Perspektive lediglich die Lieferunfähigkeit zum vereinbarten Liefertermin T_N (Nachfragezeitpunkt) + T_L (Lieferzeit) entscheidend ist. Kann die Unternehmung im Nachfragezeitpunkt T_N nicht liefern, so sind bei einer vereinbarten Lieferzeit von T_L (ZE) drei Szenarien unter der Prämisse einer einzelnen Lieferbeziehung zwischen Verkäufer und Kunde zu unterscheiden:

- I. Die Belieferung des Kunden ist zum vereinbarten Liefertermin $T_N + T_L$ ohne Sondermaßnahmen des Unternehmens möglich.

- II. Die Belieferung des Kunden ist nur durch Sondermaßnahmen möglich, z.B. Eilzustellung, Beschaffung bei der Konkurrenz (siehe Abschnitt 2.4.3.1).
- III. Die Belieferung zum Liefertermin ist auch durch Sondermaßnahmen unmöglich, wodurch zwangsläufig Fehlmengenkosten entstehen.

Berücksichtigt man die Lieferzeit bei der Bestimmung der Fehlmengenkosten, so ist zwischen der Lieferunfähigkeit im Nachfragezeitpunkt T_N und der Lieferunfähigkeit zum Liefertermin $T_N + T_L$ zu unterscheiden [SCHM77, S. 28].

2.5 Resümee und Lückenanalyse

Als Fazit der vorangegangenen Ausführungen lässt sich festhalten, dass sich Fehlmengenkosten aus sehr heterogenen Bestandteilen zusammensetzen, in unterschiedlichen Unternehmensbereichen anfallen, ihre Höhe von einer Vielzahl von Einflussgrößen abhängt, sie damit stets nur für den individuellen Einzelfall exakt bestimmbar sind und sie schließlich von unterschiedlichen „Verursachern“ (neben „fehlerhaften“ Logistikdispositionen beispielsweise auch von Anlagenausfällen) ausgelöst werden. Diese Komplexität ist sicher ein maßgeblicher Grund dafür, dass Fehlmengenkosten typischerweise nicht in der laufenden Kostenrechnung erfasst und ausgewiesen werden. Zur Beurteilung der Zweckmäßigkeit eines solchen Vorgehens muss man sich Klarheit darüber verschaffen, ob bzw. welche Bestandteile von Fehlmengenkosten im laufenden Rechnungswesen erfassbar sind. Wie bereits angesprochen, ergibt sich diesbezüglich ein sehr heterogenes Bild. Am unproblematischsten gelingt der Ausweis von Vertragsstrafen (negativen Erlösen) oder reduzierten Umsätzen (Erlösschmälerungen). Fehlmengenbedingte Mehrkosten im Beschaffungs-, Produktions-, Absatz- und Logistikbereich zu ermitteln, setzt die Kenntnis des optimalen Kostenniveaus voraus und kann deshalb Erfassungsprobleme hervorrufen. Dennoch fällt der Ausweis von Mehrkosten für Eilfrachten, Fremdbezug, Überstunden oder Zusatzschichten noch vergleichsweise leicht. Dagegen sind die Schwierigkeiten der Erfassung von Erfolgsminderungen aufgrund eines fehlmengenbedingten Nachfragerückgangs für eine laufende interne Rechnung prinzipiell nicht lösbar. Neben der grundsätzlichen Quantifizierungsproblematik bedürfte es zur Bereitstellung auch nur annähernd exakter Daten eines wirtschaftlich nicht tragbaren Erfassungsaufwands, da die zu ermittelnden Erfolgswirkungen von Kunde zu Kunde und von Zeitabschnitt zu Zeitabschnitt sehr unterschiedlich sein können und folglich laufend eine Vielzahl von Befragungen bzw. Tests durchgeführt werden müsste [WEBE12, S. 176].

In der theoretischen Diskussion herrscht seit vielen Jahren – wie die bisherigen Ausführungen verdeutlichen haben – weitestgehend Einigkeit darüber, aus welchen Merkmalen sich Bestands- und Fehlmengenkosten zusammensetzen und wie diese im Kontext einer Wertorientierung interagieren. Grundannahme dabei ist, dass im Logistikmanagement, dem übergreifenden Bestandsmanagement (siehe Abschnitt 2.1.3), die Aktivitäten so danach auszurichten sind, dass sie sowohl zum Unternehmenswert beitragen (Wertorientierung) als auch deren Leistung gemessen und systematisch verbessert (Leistungsorientierung) werden kann. Weiterhin müssen Strategien des Logistikmanagements konsequent entwickelt und umgesetzt werden (Strategieorientierung), mit der Zielsetzung, dass durch die Erfüllung der strategischen Teilziele die wertsteigernden Potenziale voll ausgeschöpft werden können und damit zum Unternehmenserfolg beitragen [SENN08, S.3]. Andere Autoren sprechen in diesem Zusammenhang auch von einer Verankerung des Wertbegriffs und der Wertbeitragsmessung im Rahmen eines wertorientierten Controllings [ESSI08, S. 178].

Auf der anderen Seite besteht in der wissenschaftlichen Diskussion Uneinigkeit darüber, ob Fehlmengenkosten in der Logistikkostenrechnung laufend und standardmäßig als gesonderte Kostenart überhaupt erfasst werden müssen. Sollten Fehlmengenkosten berücksichtigt werden, führt Weber zusammenfassend vier Konsequenzen ins Feld [WEBE10, S. 188]:

- In der Kostenrechnung würden auch Erlöse ausgewiesen, quasi nur mit umgekehrtem Vorzeichen.
- Eine Logistikkostenrechnung enthielte auch Kosten anderer Unternehmensbereiche, die entsprechend zu Logistikkosten undefiniert würden.
- Durch den Ausweis der erfolgswirtschaftlichen Konsequenzen nicht eingehaltener Liefertermine in der Logistikkostenrechnung würde die Logistik mit Kosten belastet, für deren Anfall sie häufig nicht primär verantwortlich ist.
- Fehlmengenkosten können nur fallweise, auf den Einzelfall bezogen, exakt bestimmt werden. Ein laufender Ausweis von Fehlmengenkosten könnte deshalb nur auf Durchschnittswerte zurückgreifen – Werte, die für einzelne Entscheidungen jedoch zumeist nur eingeschränkt brauchbar sind.

Fehlmengenkosten werden bisher in der einschlägigen Literatur nicht den Logistikkosten zugerechnet, obwohl sie als Konsequenz betriebswirtschaftlicher Entscheidungen einen logistischen Aufwand darstellen und ihre Vernachlässigung Fehlentscheidungen verursachen kann [GÄRT08, S. 838]. Alle vier oben genannten Argumente

würden nach Weber ebenfalls dafür sprechen, auf einen laufenden Ansatz von Fehlmengenkosten in einer Logistikkostenrechnung zu verzichten. Allenfalls sollte man den Weg beschreiten, bestimmte Standardsätze als Strafen für Fehlmengensituationen vorzusehen, die explizit nicht theoretisch exakt hergeleitet werden können, sondern denen bewusst eine Anreiz- bzw. Steuerungsfunktion zukommt. Unabhängig davon sollte man zum einen für Einzelentscheidungen die Methodik beherrschen, Fehlmengenkosten auf Basis von Fehlmengen zu ermitteln, und zum anderen die Fehlmengensituationen laufend festhalten [WEBE10, S. 188].

Aus den vorherigen Analysen kristallisieren sich zusammenfassend folgende theoriegeleiteten Lücken heraus:

- **Informationsdefizit:** Als eine der größten Hindernisse wird der Mangel an verwertbaren Modellen sichtbar, die praxisnahe Problemstellungen abdecken sollen und damit als unablässige Voraussetzung für eine erfolgreiche Quantifizierung von Fehlmengenkosten gelten. Da, wie bereits an anderer Stelle erwähnt, Mitglieder verschiedener Abteilungen eines Unternehmens zusammenarbeiten müssen, um die für die Ermittlung von Fehlmengenkosten relevanten Parameter zu identifizieren und zu quantifizieren, könnten viele Personen vor der Weitergabe von Kostendaten, Beständen und anderer vertraulicher Daten zurückschrecken. Einem nachvollziehbaren Nachweis des Nutzenbeitrages jedes Einzelnen kommt hier eine Schlüsselrolle zu und stärkt die notwendige Vertrauensbasis.
- **Informationsintegration:** Die Quantifizierung von Fehlmengenkosten zur kostenoptimalen Definition eines Lieferbereitschaftsgrades werden in der Regel nur für Einzelentscheidungen herangezogen, eine Integration und Verarbeitung in eine existierende IT-Landschaft findet dagegen bislang kaum oder nicht statt. Dieser Zustand stellt einen eklatanten Mangel des aus Sicht der Wirtschaftsinformatik unerlässlichen Verständnisses der zu betrachtenden und integrierenden Geschäftsprozesse dar [BÖHN05, S. 189].
- **Anwenderwissen:** Die bekannten Modellierungsansätze (siehe Abschnitt 4.1) stellen in aller Regel beträchtliche Anforderungen im Hinblick auf modelltheoretisches und methodisches Wissen des Benutzers. Hier besteht ein Bedarf nach vereinheitlichten und integrierbaren Lösungen, bei denen ein Nutzer bei der Konstruktion eines konkreten Anwendungsfalls durch abgeschlossene,

vorkonfigurierte Modellkomponenten geführt und damit in einem Ausmaß unterstützt wird, dass lediglich sein Fachwissen über die konkrete Problemstellung sowie logistische Grundkenntnisse über Vertriebs- und Distributionsverfahren ausreichen, um ein Modell zu entwerfen.

- **Komplexität:** Die Vielschichtigkeit von Bestands- und Fehlmengenkosten und die damit eingeschränkte Möglichkeit der Übertragbarkeit in ein Modell erhöhen wesentlich die Komplexität in der Entscheidungsfindung. Unter Berücksichtigung notwendiger Validierungs- und Verifizierungsarbeiten führt dies im Vergleich zu anderen Methoden zumeist zu einem unverhältnismäßig hohen Projektaufwand mit entsprechend hohen Kosten.
- **Interpretation:** Die aus den bisherigen Modellen gewonnenen Resultate werden im Allgemeinen nicht oder nur unzureichend auf die zugrunde liegende, ökonomische Problemstellung übertragen. Somit findet keine integrierte und automatisierte Kombination zwischen den Modellergebnissen und den Erfolgsfaktoren eines wertorientierten Bestandsmanagements statt.
- **Geltungsbereich:** In aller Regel gestatten die Modelle und deren Analyseergebnisse lediglich Aussagen über Bestandsoptimierungen eines einzelnen Unternehmens als eine selbständige Einheit, d.h. Mitglieder einer gesamten Lieferkette werden explizit nicht betrachtet und deren Einfluss auf den Gesamterfolg bzw. Misserfolg werden demzufolge nicht berücksichtigt. Übertragbar ist dieses Problem auf die Einbeziehung neuer Teilnehmer und deren Wirkungsweise auf das Lieferkonstrukt, was eine komplette Überarbeitung der Modellstruktur nach sich ziehen würde.
- **Integrationsaspekt:** Die bisher bekannten Modelle zur Quantifizierung von Fehlmengenkosten (siehe Abschnitt 4.1) zielen auf eine getrennte Betrachtung der Fehlmengenkosten aus Sicht der Material- oder Distributionslogistik, mit dem Ziel einer isolierten Kostenminimierung. Häufig stehen jedoch bereichsübergreifende Kostenaspekte im Vordergrund und gesamtunternehmensbezogene Zielkriterien, wie z.B. Auswirkungen auf den Return-on-Investment, finden dagegen in den Modellen keine Berücksichtigung. Ein integriertes Fehlmengenkostenkonzept, welches neben qualitativen Faktoren ebenso wertbezogene Parameter gleichermaßen beinhaltet, ist nicht bekannt.

- **Entscheidungsunterstützung:** Die bisher bekannten Modelle sind vielfach ungeeignet, Führungskräfte in ihrer Entscheidungsfindung, beispielsweise über die Höhe eines Lieferbereitschaftsgrades, zu unterstützen. Gründe hierfür sind insbesondere in den vorstehend genannten Problembereichen Informationsdefizit, Komplexität und Anwenderwissen zu suchen.

Unter Berücksichtigung der erwähnten Defizite liegt nun die Herausforderung für das nachfolgende dritte Kapitel in der Definition von Anforderungen sowie der Selektion eines geeigneten Modells, welches eine integrative und hierarchisch strukturierte Sichtweise auf distributionslogistisch motivierte Fehlmengenkosten zulässt. Danach sollen die bekannten Fehlmengenkostenparameter in das gewählte Modell überführt werden, mit dem Ziel, eine kausale Beziehung zwischen logistischen Zielen und deren übergeordneten Finanzziele einerseits sowie den Komponenten des Bestandsmanagements andererseits herzustellen und sichtbar zu machen. Da aber logistische Ziele eher selten finanziellen Charakter aufweisen, sind diese hinsichtlich ihres Einflusses auf die finanziell messbaren Resultate zu evaluieren [SENN08, S. 32].

Eine Durchsicht der Literatur zeigt allerdings, dass darüber, wie sich Fehlmengenkosten zusammensetzen, durchaus keine Einigkeit besteht. Die Bestandteile von Fehlmengenkosten aus dem Verlust von Absatz und Kosten durch Verlust der Gunst von Kunden stehen in engem Zusammenhang mit dem Verhalten von Kunden bei Konfrontation mit einer Fehlmengensituation bzw. mit dem zukünftigen Verhalten von Kunden gegenüber einer Unternehmung nach einer bei der ausliefernden Unternehmung erlebten Fehlmengensituation [HOFF90, S. 9]. In der betrieblichen Praxis besteht ein weiteres Problem darin, die einzelnen Anteile der Fehlmengenkosten in der Kostenrechnung für den Einzelfall exakt zu bestimmen und nachzuweisen [SIXT05, S. 78].

3 Strukturierung und Hierarchisierung qualitativer Kostenparameter

Ziel des folgenden Kapitels ist es, die im vorherigen Kapitel herausgearbeiteten Bestandteile von Bestands- und Fehlmengenkosten so zu strukturieren und hierarchisieren, dass ein Zusammenhang zwischen den Zielsetzungen eines wertorientierten Bestandsmanagements (siehe Abschnitt 2.1.3) durch eine logistische Leistungsfähigkeit sichtbar gemacht werden kann.

3.1 Selektion und Definition eines geeigneten Modells

3.1.1 Anforderungen an ein hierarchisches Zielsystem

Im Folgenden sollen nun die Anforderungen herausgearbeitet werden, mit denen die im Abschnitt 2.4.3 beschriebenen Kostenparameter von Fehlmengen, die im Kontext der vorliegenden Problemstellung von Relevanz sind, in eine nachvollziehbare Struktur und Hierarchie gebracht werden können. Die Anforderungen an ein hierarchisches Ziel-Mittel-System können wie folgt subsumiert werden:

- klare Unterscheidung zwischen Anforderungen (Zielen) und Lösungen (Mitteln) anhand eines logischen und strukturierten Designprozesses
- strukturierter Ansatz für eine Dekomposition übergeordneter Kostenbestandteile, der eine Operationalisierung und Konkretisierung über mehrere Detaillierungsebenen hinweg ermöglicht
- einfacheres Verständnis von Ursachen-Wirkungs-Beziehungen der einzelnen Kostenparameter
- einfache Visualisierung und Kommunikation der Offenlegung von Zusammenhängen

Nachfolgend soll nun ein Ansatz vorgestellt werden, der nach Auffassung des Autors die vorstehend beschriebenen Anforderungen vollumfänglich abdeckt.

3.1.2 Axiomatic Design

Die am Massachusetts Institute of Technology (MIT) entwickelte Methode des Axiomatic Design verfolgte ursprünglich das Ziel, das Design und die Entwicklung von Produkten, Systemen und Prozessen als eigenständige Disziplin auf eine wissenschaftliche Basis zu stellen, und alle Aktivitäten im Designumfeld durch eine theoretische Fundierung auf logische und rationale Prozesse und Instrumente zu unterstützen [SENN08, S. 46f.]. Designfragen sollen im Wechselspiel zwischen Zielen („Was soll erreicht werden“) und Mitteln („Wie soll es erreicht werden“) gelöst werden, wodurch eine konsequente Unterscheidung der beiden Parameter als die wichtigste Grundhaltung des Axiomatic Design (AD) sichtbar wird [SUHN90, S. 25]. Jede Domain kann

dabei als Sichtweise auf das gleiche Problem in der nachgelagerten Stufe verstanden werden. Diesen Sachverhalt illustriert folgende Abbildung 17:

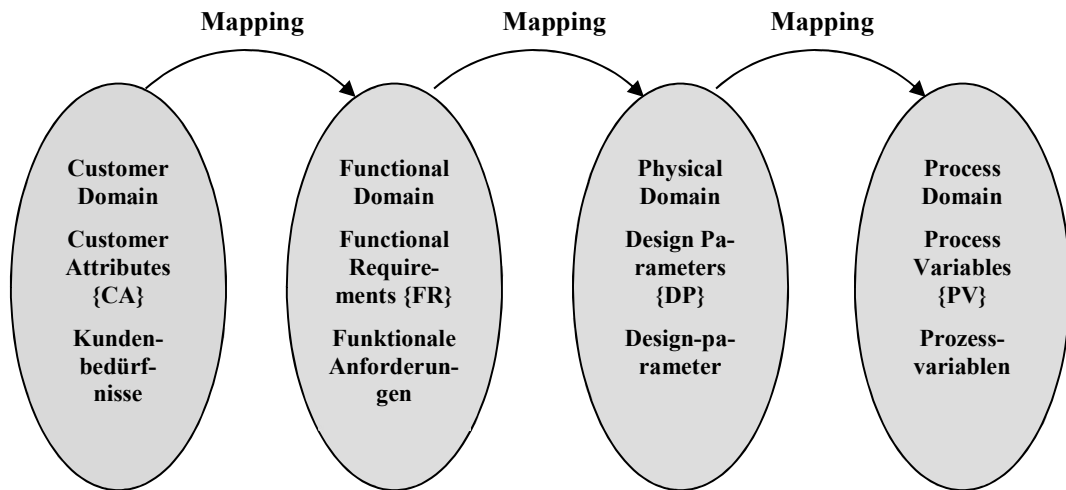


Abbildung 17: Domain-Konzept von Axiomatic Design [SUHN05, S. 21]

Zunächst steht im Axiomatic-Design-Prozess die Erfüllung der Kundenwünsche (sog. Customer Attributes, CAs), im Mittelpunkt, wobei jedes CA ein eigenes Kundenbedürfnis repräsentiert. Hieraus leiten sich anschließend die funktionalen Anforderungen (sog. Functional Requirements, FRs) ab, die eine Spezifizierung des Zielzustandes vornehmen. Die FRs stellen voneinander unabhängige Anforderungen dar, die den funktionalen Charakter eines Produktes, eines Systems o.ä. vollständig beschreiben sollen. Schließlich erfolgt in der Physical Domain unter Zuhilfenahme von Designparametern (sog. Design Parameters, DPs) die Definition der technischen Lösung, wie die Anforderungen der FRs am besten erfüllt werden können. Abgerundet wird das AD-Konzept durch die Bildung von Prozessvariablen (sog. Process Variables, PVs), welche die konkrete Umsetzung der bereits festgelegten Designparameter mithilfe von Prozessen, Ressourcen, Methoden etc. gewährleisten sollen [SUHN90, S. 128].

Zusammenfassend kann der Axiomatic-Ansatz als eine strukturierte Konzeption verstanden werden, die eine Dekomposition von Anforderungen bis hin zu operationellen Ebenen zulässt, indem strikt zwischen einzelnen Hierarchiestufen und nachgelagerten Zielen und Mitteln differenziert wird. Als allgemein anwendbare Methodik können mit Hilfe von Axiomatic Design Zusammenhänge im Umfeld von Produkten, Systemen und Prozessen analysiert werden. Axiomatic Design beinhaltet zwar eine Vielzahl

von Vorteilen, jedoch auch einige wenige Nachteile. Diese liegen in der anspruchsvollen Anwendbarkeit auf Objekte mit hohem Abstraktionsgrad sowie in einer notwendigen Einarbeitung in die Methodik, da verwendete Begriffe und Definitionen zu Verwirrungen führen können [SENN08, S. 57].

3.1.3 Supply Chain Valuedriver Decomposition

Aufbauend auf die vorstehend gemachten Ausführungen soll nun mit der sog. Supply Chain Valuedriver Decomposition (SCVD) ein generisches, hierarchisch strukturiertes Ziel-Mittel-System vorgestellt werden, das – ursprünglich zugeschnitten auf das Supply-Chain-Management – eine wissenschaftlich fundierte und systematische Anwendung der im Abschnitt 3.1.2 beschriebenen Methode des Axiomatic Design darstellt. Der von Sennheiser und Schnetzler [SENN08, S. 61-169] entwickelte Ansatz kann als Kausalmodell einerseits Ursachen-Wirkungsbeziehungen aufzeigen, auf der anderen Seite kann es als Zielsystem zur Erschließung von Erfolgspotenzialen und damit zur Steigerung des Unternehmenswertes durch ein wertorientiertes Bestandsmanagement genutzt werden.

Im Kontext des SCVD-Ansatzes betreffen Investitionen sowohl das Anlagevermögen (z.B. Infrastruktur) als auch das Umlaufvermögen (z.B. Lager, Bestände). Der Kapitaleinsatz soll möglichst gering sein, um die Kapitalkosten tief zu halten. Analog müssen Bestände, die aus Sicht des Kunden keinen Mehrwert schaffen, eliminiert bzw. auf ein notwendiges Maß reduziert werden [SENN08, S. 79], um einen hohen EVA zu erreichen. Eine Zielsetzung der Distributionslogistik besteht darin, dem Kunden möglichst kurze Lieferzeiten anbieten zu können. Im folgenden Beispiel (Abbildung 18) wird aufgezeigt, wie im Rahmen des MAKE-Prozesses durch kurze Antwortzeiten der einzelnen Produktionsfaktoren (Fertigungs-) Kapazitäten, Informationen und Material dieses Ziel unterstützt werden kann:

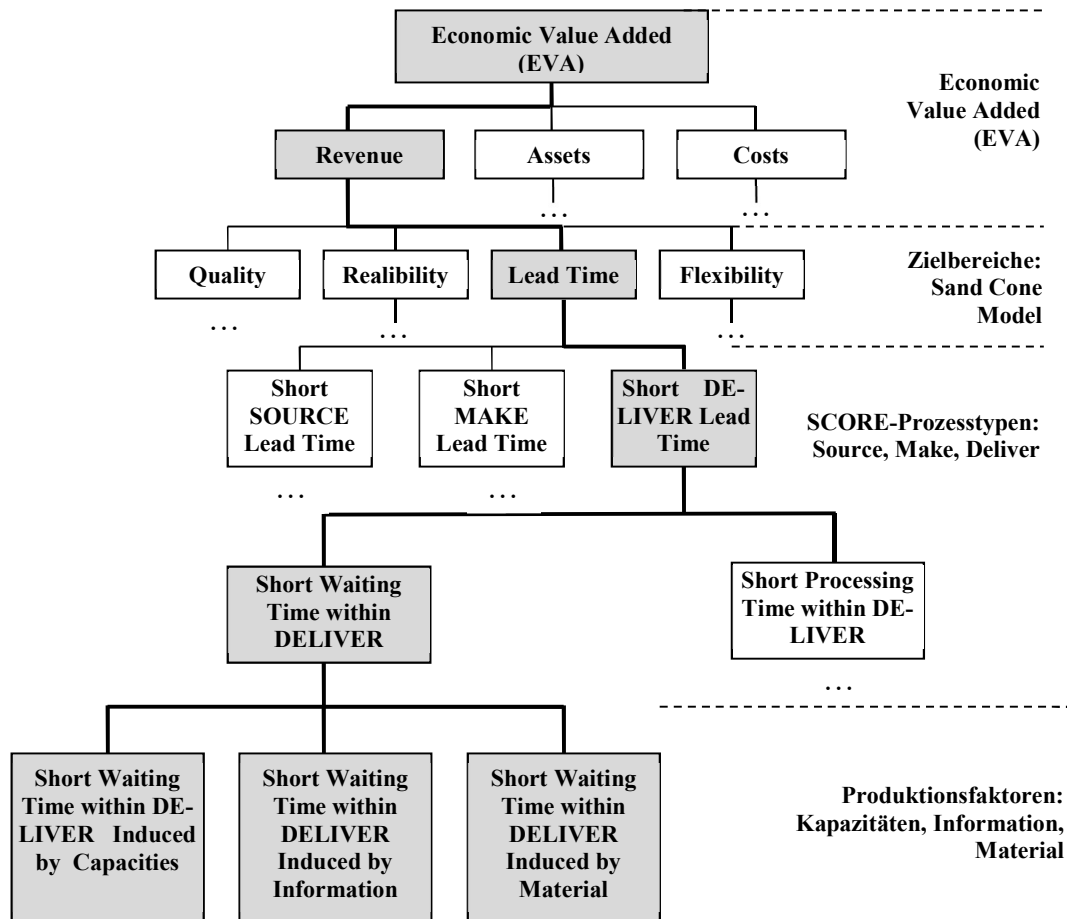


Abbildung 18: Strukturierung der SCVD hinsichtlich Lieferzeitoptimierung (eigene Darstellung in Anlehnung an [SENN08, S. 62])

Der oberste Bereich basiert auf dem Economic-Value-Added-Prinzip (siehe Abschnitt 2.1.2), der die oberste Zielhierarchie in Form der Wertbeitragssteigerung durch möglichst hohe Umsätze (Revenues) abbildet. Weiterhin erfolgt auf der nachfolgenden, horizontalen Ebene eine Gliederung in die Zielbereiche wie Qualität, Lieferzuverlässigkeit, Lieferdurchlaufzeit, Flexibilität, Investitionen und operationelle Kosten. Die SCORE-Prozesstypen SOURCE, MAKE und DELIVER bestimmen die nächste Untergliederung. Auf der untersten Ebene schließlich erfolgt eine systematische Einteilung nach den Produktionsfaktoren bzw. Ressourcen Material (z.B. Rohmaterial, Komponenten), Information (z.B. Informationsfluss) und Kapazitäten (z.B. Betriebsmittel). Über den Material- und Informationsfluss sind die SCORE-Prozesstypen miteinander verknüpft. Zusammenfassend können die Merkmale des SCVD wie folgt benannt werden [SENN08, S. 64]:

- Das SCVD dient als breit angelegtes Konzept der Wertorientierung, das den Einfluss von Logistikmanagement auf den Unternehmenswert als Werttreiber offen legt.
- Als Exzellenz-Modell soll das SCVD die optimale Ausgestaltung der Logistik beschreiben.
- Unter Einbeziehung der SCORE-Prozesstypen soll die Einordnung und Anknüpfung der FR-DP-Paare (siehe Abschnitt 3.1.2) bezüglich der Geschäftsprozesse erleichtert werden.

Zur Vervollständigung sei noch darauf hingewiesen, dass die Integration von Kostenparametern in die SCVD grundsätzlich möglich ist, da diese eine kohärente Zielhierarchie abbildet. Die Zuordnung relevanter Kennzahlen erlaubt demnach eine Vervollständigung der Struktur der bestehenden SCVD, die eine Auswahl mehrstufig kohärenter Kennzahlen mit der Selektion von Zielprioritäten in der SCVD miteinander verknüpft [SENN08, S. 195]. Dabei kann sowohl die Leistungsseite (Dekomposition eines hohen Umsatzes) als auch die Kosten- und Investitionsseite einem Satz von Werten zugeordnet werden. Für die Umsatzseite kann das beispielhaft wie folgt skizziert werden (Abbildung 19):

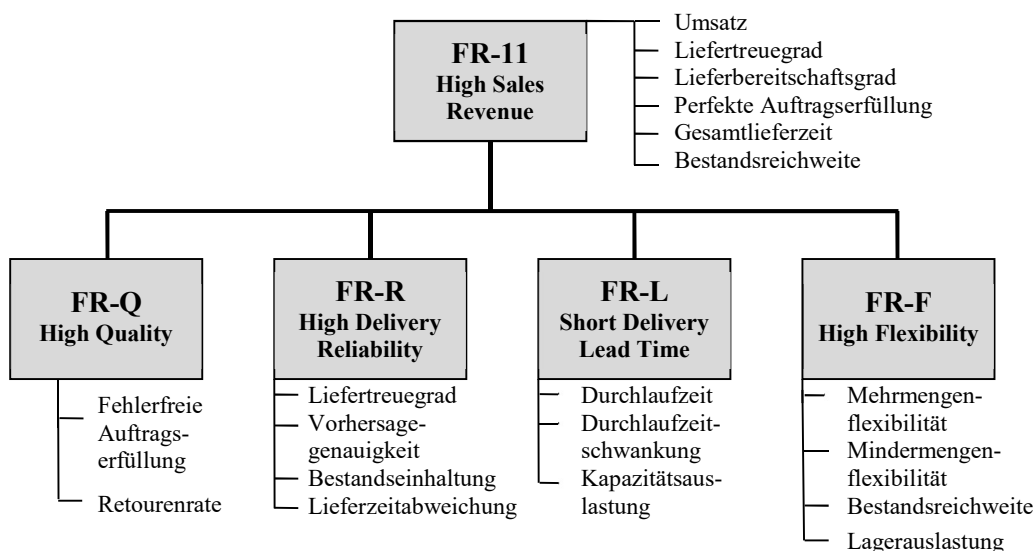


Abbildung 19: Kennzahlen im Umsatzast des SCVD [SENN08, S. 197]

Der Illustration ist zu entnehmen, dass ein ausreichend hohes Maß an Lieferbereitschaft (Servicegrad) neben einem gleichbleibend hohen Qualitäts-, Flexibilitäts- und

Liefertreueniveau grundsätzlich zu erhöhten Umsätzen führt. Auf die Bedeutung des Servicegrades wird in Abschnitt 5.1.4 noch näher eingegangen.

3.1.4 Übertragbarkeit der SCVD auf vorliegende Problemstellungen

In den nachfolgenden Ausführungen soll nun geprüft werden, ob und in welcher Form der SCVD auf die Fragestellungen dieser Ausarbeitung adaptiert werden kann. Dazu wird ein Rahmen definiert, der eine größtmögliche Granularität der Bestandteile von Bestandskosten und Fehlmengenkosten vornimmt, mit dem Ziel, einerseits eine verbesserte Transparenz dieser Parameter zu erreichen und andererseits diese in eine Hierarchie zu überführen, um daraus Ansatzpunkte für deren Beeinflussung und mögliche Interaktionen ableiten zu können.

Eine grundsätzliche Überlegung dieser Sichtweise besteht darin, dass für die Sicherstellung eines hohen Lieferbereitschaftsgrades in Form eines angemessenen Lagerbestandsniveaus einschließlich der damit verbundenen Kosten der Lagerhaltung entsprechende Investitionen notwendig sind. Um diese Investitionen möglichst gering zu halten, muss – analog zu der grundsätzlichen Systematik des SCVD – auf allen Ebenen Verschwendung reduziert werden, indem Rationalisierungspotenziale in allen Zielbereichen MAKE, SOURCE and DELIVER ausgeschöpft werden. Folgender Ausschnitt der Dekomposition von Investitionen im MAKE-Bereich (Abbildung 20) liegt dabei den folgenden Ausführungen zugrunde:

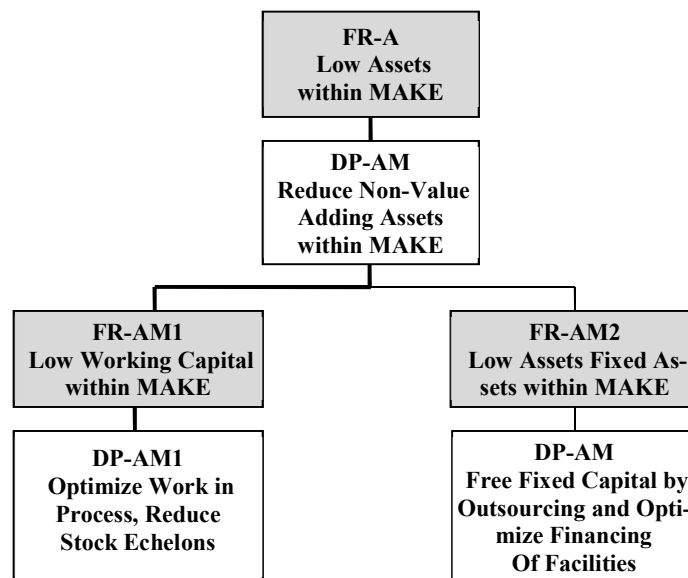


Abbildung 20: Dekomposition der Investitionen im MAKE
(eigene Darstellung in Anlehnung an [SENN08, S. 150])

Ausgehend von diesem Basiskonzept des SCVD auf der FR-A-Ebene sind nun zur qualitativen und hierarchischen Einordnung von relevanten Parametern der Bestands- und Fehlmengenkosten im Hauptzielbereich „Low Assets within Make Costs“ alle Kostenarten zu finden, deren Struktur und Hierarchie in den folgenden Ausführungen dekomponiert und konkretisiert werden sollen.

3.2 Integration der Bestandskosten in das SCVD-Modell

Die Dekomposition der Bestandskosten findet im Kostenast FR-A (Low Assets, siehe Abbildung 21) statt und kann grundsätzlich wie alle anderen SCVD-Bereiche in die Unterziele SOURCE, MAKE und DELIVER heruntergebrochen werden. Für die weitere Dekomposition werden nur noch die jeweiligen Bestandskosten betrachtet, d.h. diejenigen Kosten, die durch Aktivitäten in unmittelbarem Zusammenhang mit der Existenz von Fertigwarenbeständen entstehen. Folgende Skizze (Abbildung 21) zeigt die Grundstruktur der Bestandskosten und deren Einflussgrößen gemäß dem SCVD-Konzept:

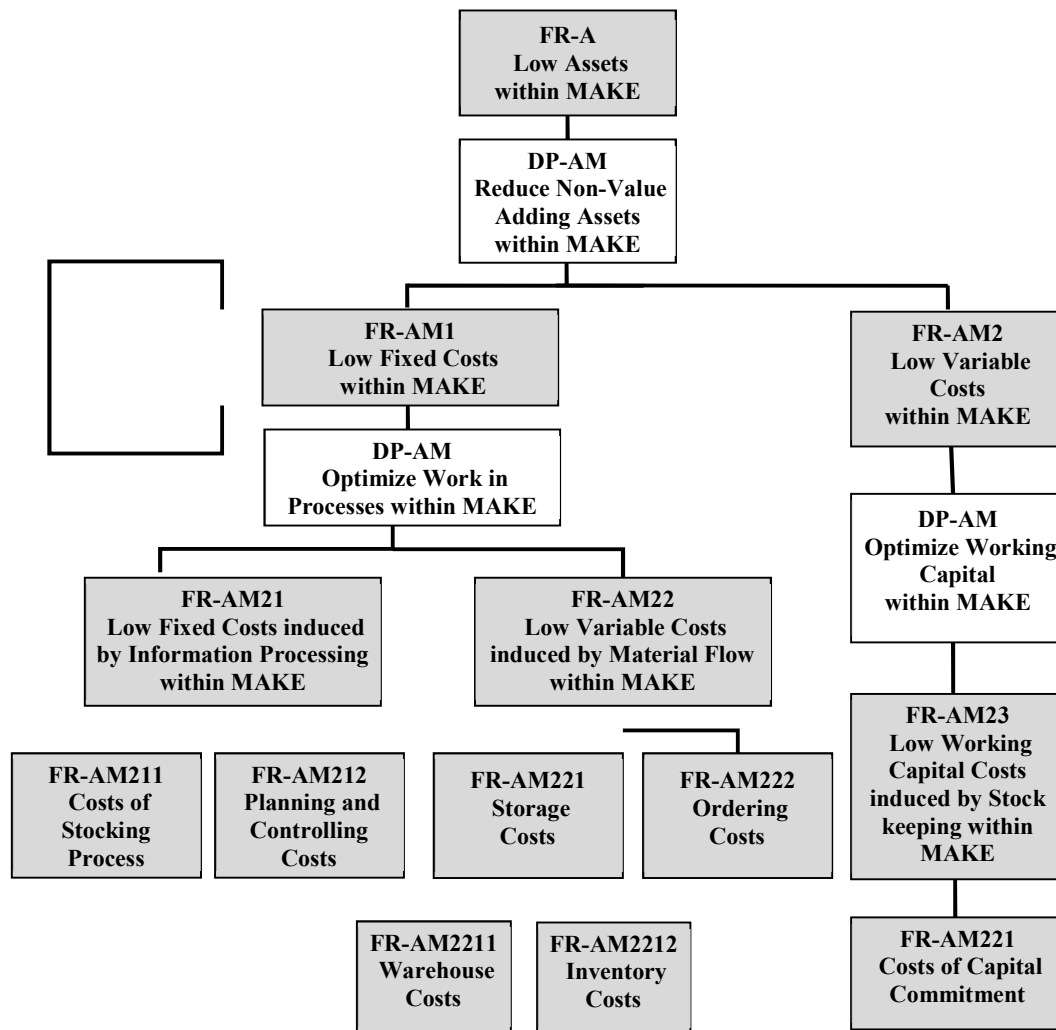


Abbildung 21: Dekomposition der Bestandskosten im MAKE (FR-A)

Abschließend sei noch erwähnt, dass auf eine weitere Detaillierung der Handlungsempfehlungen (Design Parameters, DP) zu den jeweiligen Kostenparametern nicht näher eingegangen werden soll.

3.3 Integration der Fehlmengenkosten in das SCVD-Modell

Die im Rahmen eines wertorientierten Bestandsmanagements zu berücksichtigenden Fehlmengenkosten fallen im Kostenast Low Operation Costs (FR-C) und dort im Zielbereich DELIVER (FR-CD) an, da Fehlmengenkosten als kalkulatorische Kosten aus rein distributionslogistischer Perspektive betrachtet werden. Bei der Dekomposition von Fehlmengenkosten im DELIVER soll lediglich unterschieden werden, ob diese Kosten Auswirkungen auf die zukünftige Nachfrage von Kunden ausüben. Für die

vorliegende Problemstellung sollen daher die im Abschnitt 2.4.3 detaillierten Fehlmengenkosten folgendermaßen kategorisiert werden:

I. Kosten ohne Nachfragewirkungen:

- Sondermaßnahmen
- Reduzierte Erlöse
- Auftragsverluste

II. Kosten mit Nachfragewirkungen:

- Goodwill-Verluste
- Kundenverluste

Folgende Skizze (Abbildung 22) zeigt die Grundstruktur der Fehlmengenkosten und deren Einflussgrößen gemäß dem SCVD-Konzept:

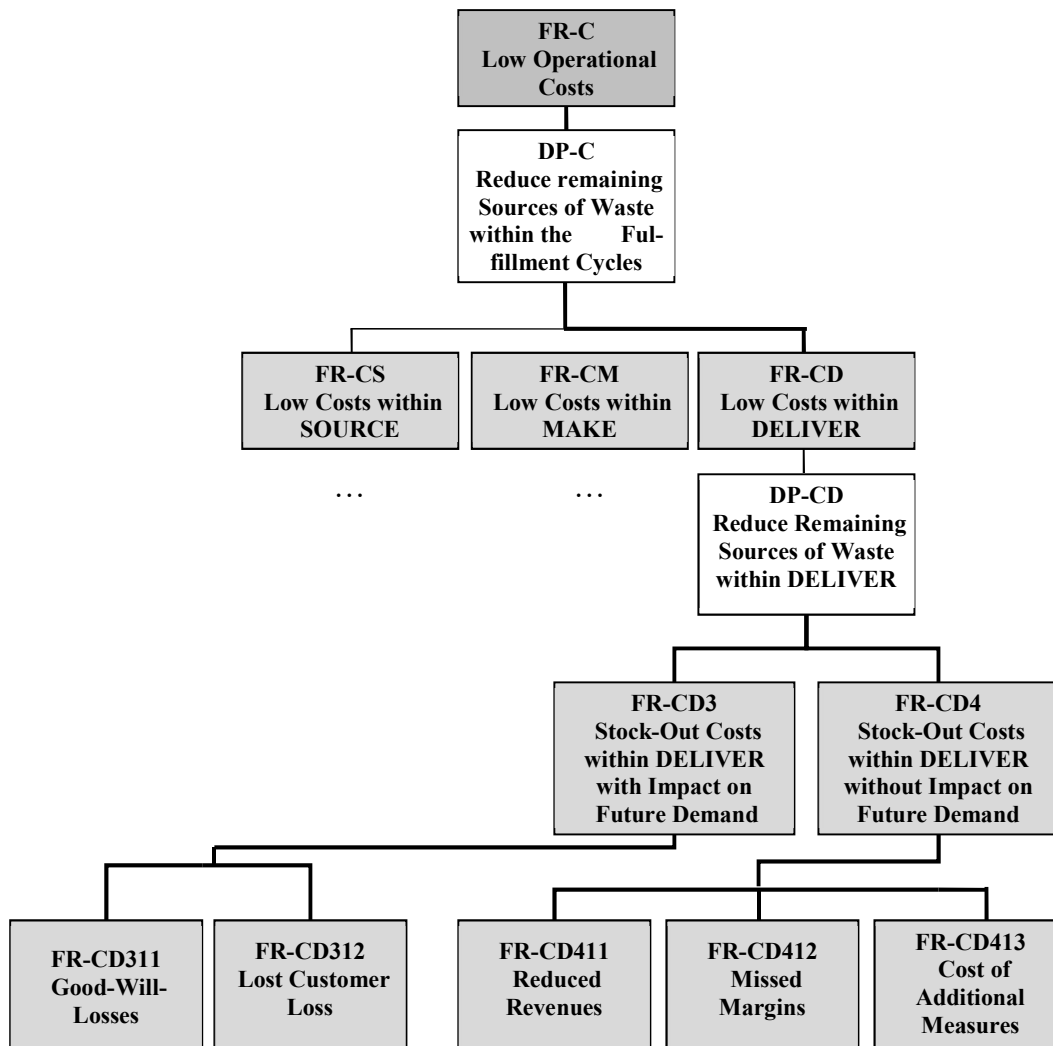


Abbildung 22: Dekomposition der Fehlmengenkosten im Deliver, FR-CD (eigene Darstellung in Anlehnung an [SENN08, S. 166])

Auf eine weitere Detaillierung der Handlungsempfehlungen zu den einzelnen Fehlmengenkosten soll ebenfalls an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden.

4 Modelle zur Quantifizierung von Fehlmengenkosten aus Sicht der Distributionslogistik

4.1 Stand der wissenschaftlichen Diskussion

Im Folgenden sollen die für die Distributionslogistik relevanten Modelle und Aufsätze kurz vorgestellt werden und in eine Gesamtübersicht gebracht werden (siehe Tabelle 4). Die Entwicklungsgeschichte mit eindeutig distributionslogistischem Bezug begann mit den Beiträgen von Eilon und Schwartz Mitte der 60er Jahre vergleichsweise spät und die wissenschaftlichen Veröffentlichungen seit dieser Zeit halten sich in sehr überschaubarem Rahmen. Die einzelnen Beiträge der Autoren werden den relevanten Fehlmengenkostenarten zugeordnet, soweit diese darin zumindest Erwähnung fanden. Zudem werden die Kernerkenntnisse in prägnanter Form beschrieben.

Tabelle 4: Literaturübersicht zu Fehlmengenkosten aus Sicht der Distributionslogistik

Autor	Fehlmengenkostenart					Kurzbeschreibung
	SOC ₁	SOC ₂	SOC ₃	SOC ₄	SOC ₅	
Alscher/ Schneider [ALSC81]	☑	☑	☑	☑	☒	Die Fehlmengenkosten sind i. Allg. abhängig von der Absatzmenge und müssen so festgelegt werden, dass Restriktionen eingehalten werden können; dadurch ergibt sich eine Präferenz für die Festlegung eines Lieferbereitschaftsgrades gegenüber der Ermittlung von Fehlmengenkosten.
Chang/ Niland [CHAN67]	☒	☒	☒	☑	☒	Die Höhe von Fehlmengenkosten nimmt in Abhängigkeit der Anzahl von Fehlmengensituationen und Nichtbelieferungen einen asymptotischen Verlauf und ist endlich.
Eilon [EILO65]	☒	☒	☑	☑	☒	Eine lineare Beziehung zwischen Lieferbereitschaftsgrad und dem Nachfrageerwartungswert wird unterstellt; ebenso bekannte Kundenreaktionen bei Nichtlieferung.

Autor	Fehlmengenkostenart					Kurzbeschreibung
	SOC ₁	SOC ₂	SOC ₃	SOC ₄	SOC ₅	
Gudehus [GUDE12]	☒	☑	☑	☒	☒	Als bekannt vorausgesetzte Fehlmengenkosten bilden zusammen mit sog. Sicherheitskosten die Risikokosten; diese hängen vom Grad der Lieferfähigkeit ab.
Reichmann [REIC11]	☒	☒	☒	☒	☒	Bekannte, nicht detaillierte Fehlmengenkosten sinken bei steigender Lieferbereitschaft; Kosten für Sicherheitsbestände dienen zur Risikobegrenzung fehlender Lieferbereitschaft.
Schmid [SCHM77]	☑	☑	☑	☑	☑	Die Fehlmengenkostenfunktion nimmt einen asymptotischen statt eines linearen Verlaufes ein.
Schwartz [SCHW65]	☒	☒	☑	☑	☑	Die zukünftige Nachfrageintensität leitet sich aus individuellen Enttäuschungsfaktoren und anderen Verhaltensdeterminanten bei Nichtlieferung ab; diese üben einen entscheidenden Einfluss auf Goodwill-Verluste in allen zukünftigen Nachfrageperioden aus.
Wahl [WAHL99]	☒	☒	☒	☑	☒	Mit steigendem Kundenservicelevel und einem funktionalen Verlauf des Sicherheitsbestandes lässt sich ein überproportionaler Anstieg des Fehlmengenkostensatzes feststellen.
Botta [BOTT78]	☒	☒	☒	☒	☒	Dem Entstehen von Fehlmengen aus der Fertigung und damit Fehlmengenkosten kann durch die Berücksichtigung eines Bestellmengenkorrekturfaktors entgegengewirkt werden.

Es gelten:

- SOC₁ = Kosten der Sondermaßnahmen
- SOC₂ = Kosten reduzierter Erlöse
- SOC₃ = Kosten des Auftragsverlustes
- SOC₄ = Kosten des Goodwill-Verlustes
- SOC₅ = Kundenverluste

Es fällt auf, dass sich mit Ausnahme von Schmid keiner der Autoren vollumfänglich mit allen relevanten Fehlmengenkostenarten (siehe Abschnitt 2.4.3) auseinandersetzt. In der Summe kann man daher sicher den Schmid'schen Ansatz als den

mit der umfassendsten Problembeschreibung interpretieren. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass in der wissenschaftlichen Diskussion keine Einigkeit darüber besteht, welche Fehlmengenkostenarten generell zu berücksichtigen sind. Dies impliziert letztlich eine unzureichende Kenntnis über die Höhe der Fehlmengenkosten und damit den Verlauf der Fehlmengenkostenfunktion.

4.1.1 Das Modell von Eilon

Eilon beschreibt in seinem bereits 1965 entwickelten Ansatz gewinnoptimale Verhaltensweisen bei der Beschaffung von verderblichen Konsumgütern, die auf folgenden Prämissen aufbauen [EILO65, S. 66-70]:

- die Nachfrage entspricht stets einer Standardnormalverteilung; sie bleibt im Falle von Lieferverzügen gleich
- die Kosten einer Nichtbelieferung – Eilon spricht von „Cost-of-Runout“ – sind in der Vorperiode zwar nicht exakt bekannt, jedoch wird ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen der Verärgerung der Kunden und der Nachfrage in der Folgeperiode, dem sog. Nachfrageerwartungswert, vorausgesetzt
- die Höhe des Nachfrageerwartungswertes hängt vom Anteil der in der Vorperiode ordnungsgemäß ausgelieferten Menge ab

Eilon beschreibt nun drei Lösungsansätze, von denen lediglich die ersten beiden anhand konkreter Beispiele rechnerisch erläutert werden [EILO65, S. 65]:

- die Rückwirkungen von Fehlmengen auf das Nachfrageniveau und darauf aufbauend das Gewinnmaximum bei einmaliger Auffüllung des Lagers pro Periode
- der Lagerbestand wird innerhalb einer Periode vollständig aufgefüllt, woraus zwar Zusatzkosten, jedoch keine Fehlmengen und damit Fehlmengenkosten entstehen
- es werden aufgrund der Höhe der zu erwartenden Zusatzkosten lediglich in begrenztem Umfang Lagerergänzungen zugelassen, sodass Fehlmengen und damit verbundene Fehlmengenkosten entstehen können, die wiederum einen Einfluss auf den Nachfrageerwartungswert der nachfolgenden Periode ausüben

Beim ersten Lösungsansatz verweist Eilon auf eine lineare Beziehung zwischen dem Servicegrad SL_t (siehe Abschnitt 5.1.4), definiert als dem Verhältnis der termingemäß ausgelieferten Bedarfsanforderungen x_t zur Gesamtzahl der Bedarfsanforderungen X_t je Periode t [REIC11, S. 370] und dem Nachfrageerwartungswert $(\mu)_{t+1}$ der Folgeperiode. Es wird dabei unterstellt, dass die Kundenreaktionen bei Nichtlieferung ex-ante bekannt sind. Der erwartete Rückgang der Nachfrage ergibt sich demnach aus der Differenz zwischen einem maximalen Lieferbereitschaftsgrad (beispielsweise 100%) und die in der Betrachtungsperiode nachgefragte Menge. Es gilt somit:

$$(4.1) \Delta (\mu)_{t+1} = (\mu)_{\max} - (\mu)_{t+1} \quad \text{für } t = 1, \dots, T$$

Es gilt: μ_{t+1} = Nachfrageerwartungswert in der Folgeperiode

μ_{\max} = Maximaler Nachfrageerwartungswert in der Vorperiode

Die lineare Veränderung des Nachfrageerwartungswertes in der Vorperiode entspricht damit faktisch einer Verschiebung des Nachfrageniveaus für jede zu betrachtende Folgeperiode. Für eine mögliche Absenkung der Nachfrage in t_{+1} ergeben sich folgende Goodwill-Verluste SOC_3 , bewertet mit dem Gewinn pro Mengeneinheit (g) im Zeitpunkt t_0 :

$$(4.2) SOC_{3,t} = g \Delta (\mu)_{t+1} \quad \text{für } t = 1, \dots, T$$

Beim zweiten Lösungsansatz berechnet der Autor verschiedene Kostenalternativen, wie ein Gewinnmaximum erreicht werden kann unter Berücksichtigung der Häufigkeit von Nachlieferungen, der Höhe des Anfangsbestandes sowie der Höhe der nachzuliefernden Mengen bis zur Erreichung des gewünschten Lieferbereitschaftsgrades in der jeweiligen Betrachtungsperiode. Folgendes Ergebnis (Abbildung 23) lässt sich hieraus ableiten:

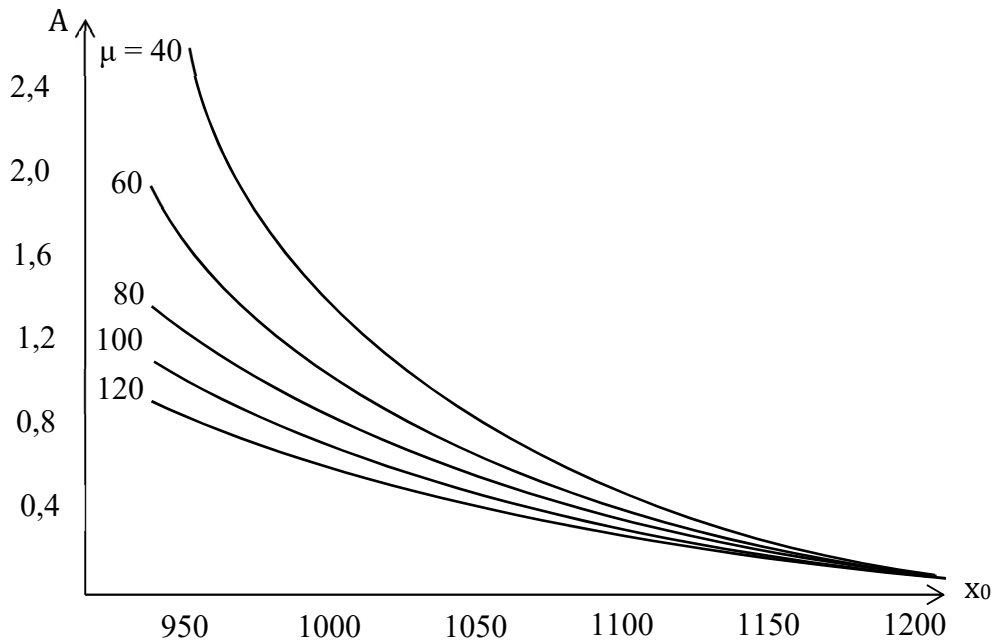


Abbildung 23: Gesamthöhe der Zusatzkosten bei Nachlieferungen in Abhängigkeit der nachgefragten Mengen [EILO65, S. 74]

Es gilt: A = Zusatzkosten (Gesamt) je Nachlieferung

x_0 = Lageranfangsbestand

μ = Nachfragemenge je Periode t

Zusammenfassend stellt die Erwartungswertbetrachtung von Eilon zwar ein sinnvoller Ausgangspunkt bei der Quantifizierung von Goodwill-Verlusten dar [SCHM77, S. 58], jedoch ist dieser Ansatz mit einigen Annahmen unterlegt, die für die Problemstellung der vorliegenden Arbeit als nicht ausreichend realitätsnah charakterisiert werden müssen.

4.1.2 Die Modelle von Schwartz

Schwartz entwickelte Mitte der 60er Jahre ein umfassendes Lagerhaltungskonzept, in dem – ähnlich dem Eilon'schen Ansatz – eine funktionale Verknüpfung zwischen dem angestrebten Lieferbereitschaftsgrad bei zulässigen Fehlmengen und dessen Wirkungen auf die zukünftige Nachfrage hergestellt wird. Er unterscheidet dabei grundsätzlich zwischen einem deterministischen Nachfrageverlauf [SCHW65, S. 26-50] und einem stochastischem Nachfrageverlauf [SCHW65, S. 87-109] innerhalb einer Lieferperiode.

Grundlage beider Konzepte ist zum einen die Berücksichtigung eines sog. Disappointment-Factors, der auch als individueller Enttäuschungs- oder Verärgerungsfaktor interpretiert werden kann und welcher den zukünftigen Nachfrageumfang in entscheidender Weise beeinflusst [SCHW65, S. 45-47]. Dieser Faktor (β) tritt in solchen Fällen auf, in denen der Kundenbedarf nicht zeitgerecht, nicht mengengerecht oder vollumfänglich nicht zur gewünschten Zeit (t) erfüllt werden konnte. Er bildet sich wie folgt:

$$(4.3) \beta_t = \frac{L_t}{M_t}$$

Es gilt: L_t = Fehlmenge in Periode t

M_t : Nachfragemenge in Periode t

Andererseits geht Schwartz in beiden Ansätzen zunächst von geduldfähigen Kunden aus [SCHW65, S. 88], die eine nachträgliche Belieferung im Grunde akzeptieren – man spricht von „backlogged orders“ – und dadurch keine Goodwill-Verluste (siehe Abschnitt 2.4.3.4) entstehen lassen. Zwischen dem Lieferbereitschaftsgrad (SL) zum Zeitpunkt t und dem Disappointment Factor (β) lässt sich demnach folgende Beziehung ableiten:

$$(4.4) SL_t = (1 - \beta_t) \cdot 100$$

Im Folgenden soll auf eine Detaillierung des deterministischen Konzeptes verzichtet werden, da im weiteren Verlauf einschließlich des Praxisbeispiels (siehe Kapitel sechs) lediglich stochastische Nachfrageverläufe von Interesse sind und diese für die Problemstellung der Arbeit als mehr realitätsbezogen eingestuft werden können.

Folgende Prämissen liegen dem Stochastikmodell zugrunde [SCHW65, S. 87-94]:

- Ein Unternehmen verfolgt eine langfristig angelegte Lagerhaltungspolitik, in der Fehlmengen (L_t) prinzipiell zulässig sind und sequentiell den Bestellmengen je Lieferperiode (M_t) gegenübergestellt werden.
- Die jeweilige Nachfrage je Kunde Y_{tk} zum Zeitpunkt t (im Folgenden „Bestellpunktnachfrage“ genannt) ist eine Zufallsvariable, die der bekannten Wahrscheinlichkeitsverteilung (f_{tk}) mit dem Erwartungswert (μ_{tk}) folgt und stochastisch voneinander unabhängig ist.

- Die Gesamtnachfrageintensität des Unternehmens ergibt sich aus der Zufallsvariablen Y_t mit der bekannten Wahrscheinlichkeitsverteilung (f_t) und dem bekannten Erwartungswert (μ_t).
- Kunden dieses Unternehmens wurden in früheren Perioden einmalig oder mehrfach mit Lieferverzögerungen konfrontiert. Diese Verärgerung hat eine Nachfragereduzierung bei diesem Unternehmen in zukünftigen Perioden zur Folge. Die Nachfrageintensität wird sich jedoch aufgrund der Marktgegebenheiten (z.B. hohe Wechselkosten; siehe Abschnitt 5.1.6) ab einem bestimmten Verärgerungsgrad wieder festigen, wodurch sich je betrachteter Lieferperiode ein durchschnittlicher Enttäuschungsfaktor von α_t als Quotient der Fehlmenge (L) zur Liefermenge (M) bestimmen lässt:

$$(4.5) \alpha_t = \frac{L}{M}$$

Analog zur Betrachtungsperiode $t = 0$ gilt für die Vorperiode v :

$$(4.6) L = \sum_{t=-t}^{t=-1} \frac{L_t}{v} \quad \text{und} \quad M = \sum_{t=-t}^{t=-1} \frac{M_t}{v}$$

- Die Nachfrageintensität in zukünftigen Perioden (λ_{t+j}) leitet sich aus der Funktion des Enttäuschungsfaktors $f(\beta_t)$ ab [SCHW65, S. 90f.]. Es gilt:

$$(4.7) \lambda_{t+j} = f(\beta_t) \quad \text{für } j = 1, \dots, J$$

Für die Bestimmung der Variablen f , die den Zusammenhang zwischen dem Enttäuschungsfaktor (β_t) und der Nachfrageintensität in den Folgeperioden (λ_{t+j}) darstellt, gelten die folgenden Zusatzannahmen:

- Sofern ein Kunde nach der letzten Nachlieferung in den Folgeperioden stets rechtzeitig zum vereinbarten Termin beliefert wurde, verringert jeder verärgerte Kunde seine Nachfrageintensität bei einem Wettbewerbsanbieter. Als Folge davon wird er nach einer gewissen Zeitdauer beim Erstanbieter zu seiner ursprünglichen Nachfrageintensität zurückkehren. Diese Nachfrageverringering kann durch eine exponentiell fallende Funktion ausgedrückt werden, die auch als exponentiell fallende Vergessensperiode bezeichnet wird (Abbildung 24):

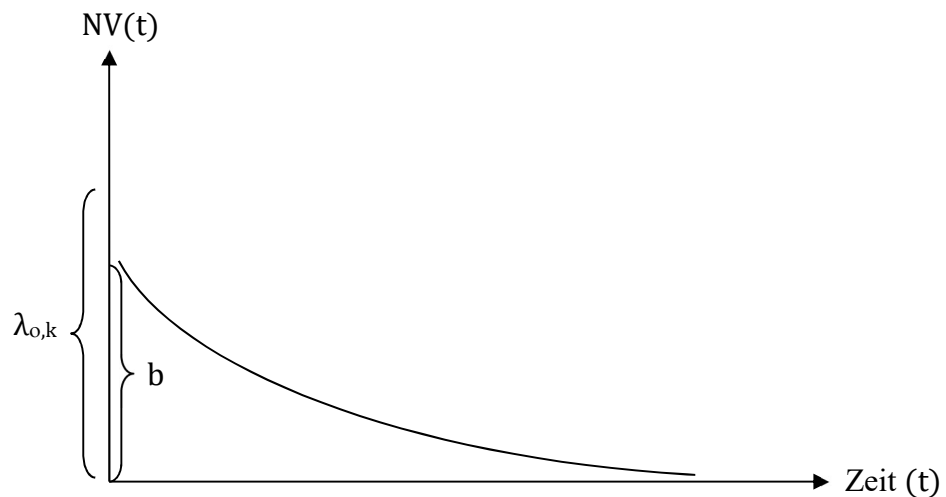


Abbildung 24: Die exponentiell fallende Nachfrageverringering im Zeitablauf [SCHM77, S. 61]

Es gilt: $\lambda_{0,k}$ = Nachfrageintensität des Kunden k in der Vorperiode $t = 0$
(ohne Verärgerung)

b = Vergessensperiode

$NV(t)$ = Nachfrageverringering im Zeitraum t

- Für alle betrachteten Kunden gilt analog zu Abbildung 24 dieselbe Funktion der Nachfrageabsenkung. Es wird dabei angenommen, dass die individuellen Reaktionen der Kunden bei Nichtlieferung bzw. nicht zeit- oder mengenrechter Lieferung stochastisch voneinander unabhängig sind, kognitive Erinnerungsfaktoren wie bspw. Markentreue, Lern- und Erinnerungsvermögen u.ä. berücksichtigt werden, sowie die Vergessenheitsperiode unendlich lang ist [SCHW65, S. 111-117]. Es gilt:

$$(4.8) \quad NV_k(t) = be^{-at} \quad \text{für } k = 1, \dots, K$$

$$NV_k(0) = b_k$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} NV_k(t) = 0$$

Es gilt: $NV_k(t)$ = Nachfrageverringering des Kunden k in Periode t

b = Vergessensperiode

e/a = Kognitive Erinnerungsfaktoren

- Die Gesamtmenge (N_k) ist endlich, die ein Kunde nach einer Enttäuschung nicht mehr kauft. (N_k) ist die zukünftige Mengenreduktion, wenn eine Mengeneinheit nicht rechtzeitig geliefert werden konnte. Es gilt:

$$(4.9) \quad N_k = \int_0^{\infty} b_k e^{-a_k t} dt = \frac{b_k}{a_k} \quad \text{für } k = 1, \dots, K$$

$$N_k = \sum_{k=1}^K \quad N_k = \sum_{k=1}^K \frac{b_k}{a_k}$$

Es gilt: $N_k(t)$ = Gesamtmenge, die Kunde k nach einer Verärgerung in der Folgeperiode t nicht mehr kauft

b = Vergessensperiode

e/a = Kognitive Erinnerungsfaktoren

d_t = Verhaltensdeterminante

- Der durchschnittliche Erwartungswert der Gesamtnachfrage eines Lagerzyklus lässt sich wie folgt ableiten [SCHW65, S. 91]:

$$(4.10) \quad \mu = \frac{\mu_0}{1 + \alpha \cdot N} \quad \text{mit } N = K \cdot \frac{b}{a}$$

Es gilt: μ = Nachfrageerwartungswert (Gesamt) in Betrachtungsperiode

μ_0 = Nachfrageerwartungswert (Gesamt) in Betrachtungsperiode ohne Verärgerung

α = Enttäuschungsfaktor

N = Nachfragemenge in Betrachtungsperiode

Auf Basis aller oben genannten Prämissen leitet Schwartz die Berechnung von Goodwill-Verlusten ab, woraus sich in der Zusammenfassung folgende Gleichungen ergeben [SCHM77, S. 67f.]:

- I. Der erwartete, durchschnittliche Goodwill-Verlust pro Lagerzyklus beträgt:

$$(4.11) \quad \Delta \mu = \mu_0 - \mu = \frac{\mu_0 \cdot \alpha \cdot N}{1 + \alpha \cdot N}$$

- II. Unter der Annahme, dass in der Vorperiode v der Kunde k auf Lieferungen warten musste, jedoch in den zukünftigen Perioden $t = 0, \dots$ stets ohne Verzug beliefert wird, gilt für den Nachfrageerwartungswert (μ_k) der Periode t :

$$(4.12) \quad \mu_{tk} = \mu_{0tk} - be^{-at} \quad \text{für } k = 1, \dots, K$$

$$\text{für } t = 0, \dots, T$$

III. Der erwartete Goodwill-Verlust in Periode t beträgt dann:

$$(4.13) \quad \text{GWV}_{kt} = \mu_{0tk} - \mu_{kt} = be^{-at}$$

IV. Der erwartete Goodwill-Verlust für T Betrachtungsperioden gilt analog:

$$(4.14) \quad \text{GWL}_{kT} = \sum_{t=0}^T (\mu_{0kt} - \mu_{kt})$$

$$(4.15) \quad \text{GWL}_T = \sum_{t=0}^T \sum_{k=1}^K (\mu_{0kt} - \mu_{kt})$$

V. Die Kosten des Goodwillverlustes ergeben sich demnach wie folgt:

$$(4.16) \quad \text{SOC}_{4T} = \text{GWL}_T \cdot g$$

mit: g = Gewinn pro Mengeneinheit

Zusammenfassend hat Schwartz durch seine beiden Modelle das Konzept von Eilon um einige wichtige, realitätsbezogene Parameter modifiziert bzw. ergänzt und damit letztlich eine wegweisende Grundlage für die Quantifizierung von Goodwill-Verlusten in der wissenschaftlichen Fehlmengendiskussion geschaffen.

4.1.3 Das Modell von Chang und Niland

Während der Fokus in den beiden vorangegangenen Modellen von Eilon und Schwartz auf der Quantifizierung einzelner Fehlmengenkostenarten lag, mit dem Ziel, die Höhe konkreter Fehlmengenkosten in Abhängigkeit bestimmter Fehlmengenkombinationen abzuschätzen, diente der 1967 veröffentlichte Ansatz von Chang und Niland in erster Linie dazu, auf Basis eines zu erwartenden Kostenwertes bei Nicht- bzw. nicht ausreichender Liefererfüllung kostenminimale Sicherheitsbestände in einem Auslieferungslager zu definieren. Als praxisbezogenes Beispiel wurde hierzu eine US-amerikanische Metallwarengroßhandlung herangezogen, bei der auf Basis empirischer Kundenbefragungen das individuelle Nachfrageverhalten bei Nichtbelieferung simuliert und berechnet wird. Dazu wurden konkrete Entscheidungsbäume skizziert und darin sog. bedingte Wahrscheinlichkeiten abgeschätzt, inwieweit sich konkrete Fehlmengensituationen ergeben

und welche Kostenwirkungen diese verschiedenen Alternativen verursachen könnten.

Folgende Abbildung 25 zeigt diesen Zusammenhang:

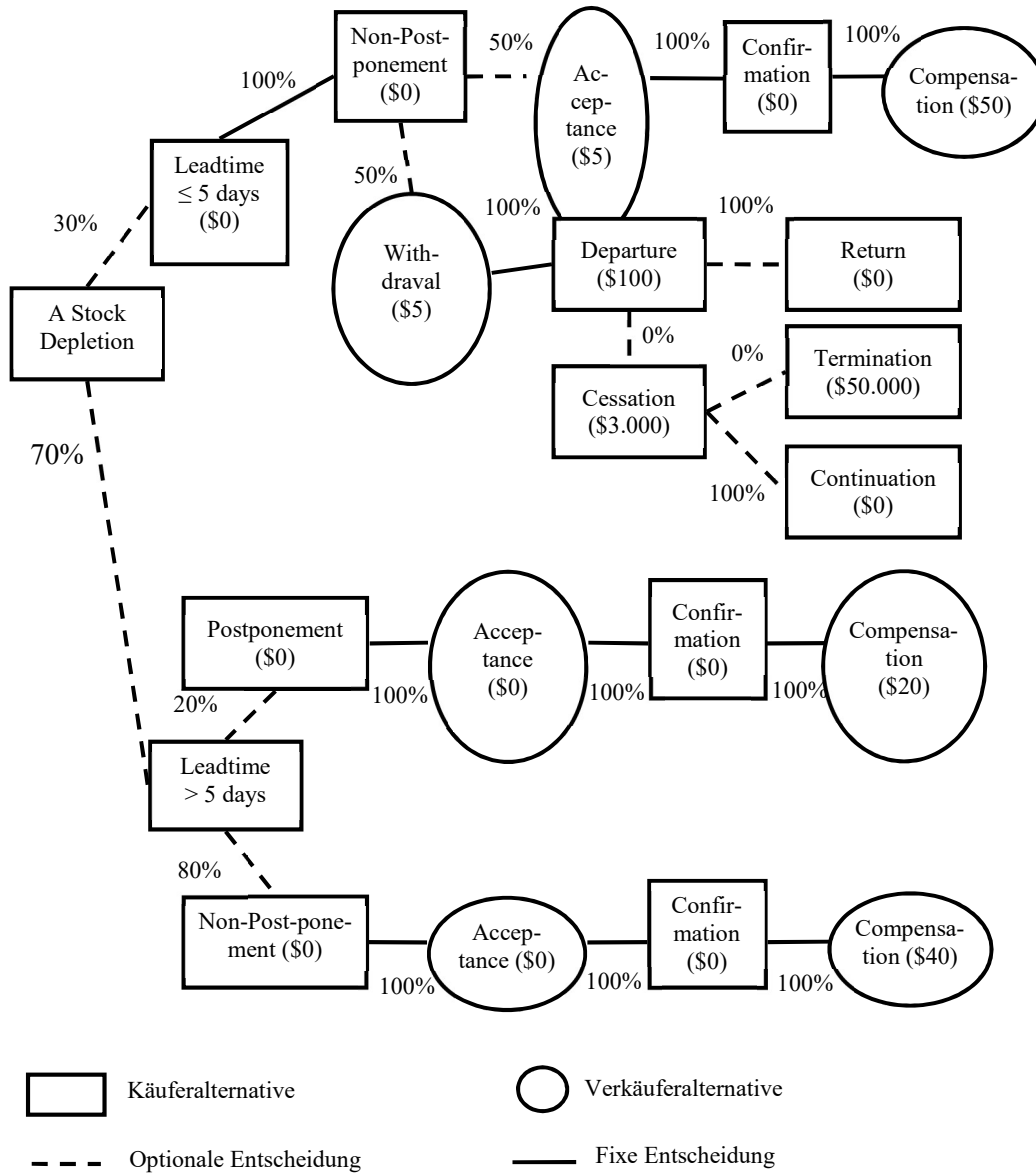


Abbildung 25: A Diagram of conditional probabilities and conditional Consequences associated with stock-out example with no proceeding departures [CHAN67, S. 433]

Die Autoren gehen bei der Bestimmung der jeweiligen Fehlmengenkostensätze von folgenden Prämissen aus [CHAN67, S. 427-432]:

- I. Es wird lediglich ein Produkt in einer Lieferperiode betrachtet, innerhalb dessen Nichtlieferungen zu einem Kunden, einmalig oder mehrfach, zu

verzeichnen war. In der Vorperiode fielen Goodwill-Verluste entweder nicht oder maximal in zwei Fällen an.

- II. Mit der Häufigkeit von Nichtlieferungen in der betrachteten Periode sinkt die Nachfragebereitschaft des Kunden, seine zukünftigen Bedarfe ebenfalls bei dieser Großhandlung zu befriedigen. Diese abnehmende Kaufbereitschaft lässt sich durch eine Verringerung dieser bedingten Wahrscheinlichkeiten quantifizieren.
- III. Die Anzahl von Nichtlieferungen in einer Betrachtungsperiode ist limitiert.
- IV. Je größer ein zeitlicher Abstand zwischen den Nichtlieferungen liegt bzw. je länger eine oder mehrere Nichtlieferungen zurückliegen, desto weniger wird sich der Kunde daran erinnern.
- V. Die Vergessensperiode ist in ihrer zeitlichen Dauer stets konstant. Die Zahl der Nichtlieferungen übt keinen Einfluss auf die Dauer der Vergessensperiode aus.
- VI. Die Angaben zu bedingten Wahrscheinlichkeiten sowie zur Häufigkeit und Limitierung von Nichtlieferungen beruhen auf Durchschnittswerten aller befragten Kunden, bei denen im Voraus sowohl Höhe als auch die zeitliche Verteilung der Nachfrage nicht bekannt sind.

Im Ergebnis stellen die Autoren eine Gesamtkostenübersicht vor, in der die Anzahl der Nichtlieferungen während der Vergessenheitsperiode (Stock-outs; j) der Anzahl der Fehlmengensituationen während der Vergessensperiode (Departures; i) gegenübergestellt wird. Folgendes Bild (Tabelle 5) ergibt sich:

Tabelle 5: Übersicht über Gesamtkosten bei Fehlmengensituationen und Nichtlieferungen [CHAN67, S. 444]

	Zero departure (i = 0)	One departure (i = 1)	Two departures (i = 2)
1st Stock-out	\$50.00	\$100.00	\$400.00
2nd Stock-out	\$57.50	\$145.00	\$640.00
3rd Stock-out	\$70.63	\$219.25	\$844.00
4th Stock-out	\$92.98	\$313.05	\$1,017.44
5th Stock-out	\$125.95	\$418.60	\$1,164.80
6th Stock-out	\$169.82	\$530.57	\$1,200.08
7th Stock-out	\$223.88	\$644.47	\$1,396.64
8th Stock-out	\$287.07	\$757.26	\$1,487.04
21st Stock-out	\$1,297,54	\$1,707.40	\$1,937.02
51st Stock-out	\$1,976.40	\$1,995.27	\$1,999.52
101st Stock-out	\$2,000.00	\$2,000.00	\$2,000.00

Es gilt:
$$K_{bj} = \sum_{i=0}^{m-b-1} C_{i+b} p \left(\frac{i}{j} - 1 \right) + C_m \sum_{i=m-b}^{j-1} p \left(\frac{i}{j} - 1 \right) \quad \text{bei } (j > m)$$

mit: i = Anzahl der Fehlmengensituationen

m = Anzahl der Fehlmengensituationen während der Vergessensperiode

j = Anzahl der Nichtlieferungen

n = Maximale Anzahl der Nichtlieferungen während der Vergessensperiode

K_{bj} = Erwartete Kosten bei b -Fehlmengensituationen und j -Nichtlieferungen

C_i = Erwartete Kosten bei Fehlmengensituation $i = 1$

C_m = Erwartete Kosten bei einer Anzahl von m -Fehlmengensituationen

$p(i/j)$ = Binominale Wahrscheinlichkeit bei i -Fehlmengen und j -Nichtlieferungen

Die Werte in der Tabelle 5 zeigen, dass die Höhe der Fehlmengenkosten mit der Anzahl der aufgetretenen i -Fehlmengensituationen exponentiell ansteigt und die Funktion in Abhängigkeit der maximalen Anzahl von 101 j -Nichtlieferungen einen asymptotischen Verlauf nimmt.

In der Zusammenfassung kann man den Ansatz von Chang und Niland als eine weitere, durchaus wertvolle Grundlage zur Beschreibung und Ermittlung eines unternehmensindividuellen Fehlmengenkostensatzes interpretieren, der allerdings

– ähnlich dem Modell von Eilon – etliche Einschränkungen grundsätzlicher Natur hinsichtlich der Übertragbarkeit auf praxisnahe Problemstellungen aufweist.

4.1.4 Das Modell von Alscher und Schneider

In dem Artikel von Alscher/Schneider aus dem Jahr 1982 wird auf die grundsätzliche Möglichkeit verwiesen, aufgrund der vielfältigen Schwierigkeiten bei der Bestimmung von Fehlmengenkosten (siehe Abschnitt 2.4) einen gewissen Lieferbereitschaftsgrad als Restriktion vorzugeben. Sie argumentieren, dass in der betrieblichen Praxis eher dazu geneigt wird, sich auf eine Prozentzahl für einen Lieferbereitschaftsgrad festzulegen, als die Kosten für das Auftreten von Fehlmengen zu ermitteln [ALSC82, S. 259]. Um diese Ersatzmöglichkeit zu untermauern, untersuchen die Verfasser Vorgehensweisen bei der Bestimmung der jeweiligen Strategie, analysieren mögliche Zusammenhänge und stellen den jeweils unterschiedlich abhängigen Fehlmengenkosten die entsprechende Form von Lieferbereitschaft gegenüber. Sie differenzieren dabei folgende Servicegrade [ALSC82, S. 258]:

- I. **Fixe Fehlmengenkosten – α -Servicegrad (FMK_{fix}):** Dieser tritt dann auf, wenn ein Unternehmen komplett lieferunfähig wird, unabhängig davon, wie hoch die unbefriedigte Nachfrage tatsächlich war. Sollte beispielsweise ein Lager in 10 von 50 Bestellzyklen lieferunfähig sein, so beträgt die Lieferbereitschaft $40/50 = 0,8$. Die Lieferbereitschaft beträgt demnach 80% und die Fehlmengenkosten errechnen sich aus $FMK_{fix} \cdot 10$.
- II. **Mengenproportionale Fehlmengenkosten – β -Servicegrad (FMK_{prop}):** Hier wird angenommen, dass sich die Höhe der Fehlmengenkosten proportional zur Höhe der Fehlmenge (FM) verhält, die Berechnung also

$$(4.17) \sum FMK_{prop} = FM \cdot FMK_{prop}$$

lautet. Die Fehlmenge β wird durch das Verhältnis der mittleren Fehlmenge je Periode zum mittleren Bedarf je Periode ermittelt.

- III. **Mengen- und zeitproportionale Fehlmengenkosten – γ -Servicegrad (FMK_{prop,t}).** Hierbei gilt die Annahme, dass Fehlmengenkosten proportional zur Höhe von Fehlmengen und der zeitlichen Dauer der Lieferunfähigkeit entstehen. Dieser Servicegrad errechnet sich wie folgt:

$$(4.18) \gamma = \frac{\text{Mittlere, kumulierte Fehlmenge je Periode}}{\text{Nachfrage in einer Periode}}$$

Weiterhin unterscheiden Alscher/Schneider die Wirkungsweisen der oben genannten Lieferbereitschaftsarten auf deterministische und stochastische Nachfrageverläufe und greifen bei der im Kontext der vorliegenden Arbeit relevanten, stochastischen Nachfrage als Kernannahme auf den sog. Back-Order-Fall (siehe Abschnitt 2.4.4.5) zurück, also der grundsätzlichen Bereitschaft der Kunden, eine Wartezeit bis zur vollständigen Belieferung in Kauf zu nehmen.

Die Verfasser kommen abschließend zum Ergebnis, dass Fehlmengenkosten zwar in hohem Maße von der Nachfrageintensität abhängen, deren Ermittlung jedoch ex-ante die verschiedenen Kostenwirkungen von Fehlmengen in der Praxis nicht zufriedenstellend abbilden können. Stattdessen halten sie es für zielführender, Servicegradrestriktionen vorzugeben, die besser geeignet seien, die in der praktischen Lagerhaltung anzustrebende Maximierung der Lieferbereitschaft unter Kapazitäts- und Kapitalrestriktionen zu erreichen [ALSC82, S. 271].

4.1.5 Das Modell von Gudehus

Gudehus definiert in seinem erstmals 2002 veröffentlichten Modell eine kostenminimale Lieferfähigkeit über sog. Risikokosten, die sich aus der Summe von Sicherheitskosten und effektiver Fehlmengenkosten je Stück zusammensetzt. Demnach gilt:

$$(4.19) k_{\text{risk}}(\eta) = k_{\text{sich}}(\eta) + (1 - \eta) \cdot k_{\text{fehl}} \quad [\text{EUR/VE}]$$

Es gilt: $k_{\text{risk}}(\eta)$ = Risikokosten bei η Lieferfähigkeit

$k_{\text{sich}}(\eta)$ = Sicherheitskosten bei η Lieferfähigkeit

k_{fehl} = Fehlmengenkosten bei Wahrscheinlichkeit $(1 - \eta)$

VE = Verbrauchseinheit

Die Sicherheitsstückkosten errechnen sich wie folgt:

$$(4.20) k_{\text{sich}}(\eta) = (k_{\text{LP}} / C_{\text{LE}} + C_{\text{VE, ZL}}) \cdot m_{\text{sich}}(\eta) / \lambda \quad [\text{EUR/VE}]$$

Es gilt: $k_{\text{sich}}(\eta)$ = Sicherheitskosten bei η Lieferfähigkeit

k_{LP} = Kosten je Lagerplatz

C_{LE} = Kapazität der zur Nachschublieferrung und Einlagerung verwendeten Ladeinheiten [LE]

$C_{VE, ZL}$ = Kapazität je Verbrauchseinheit [VE] und Lagerort [ZL]

m_{sich} = Sicherheitsbestand

$(\eta) / \lambda$ = Grad der Lieferfähigkeit bei λ Verbrauch

Grafisch stellt sich dieser Zusammenhang wie folgt dar (Abbildung 26):

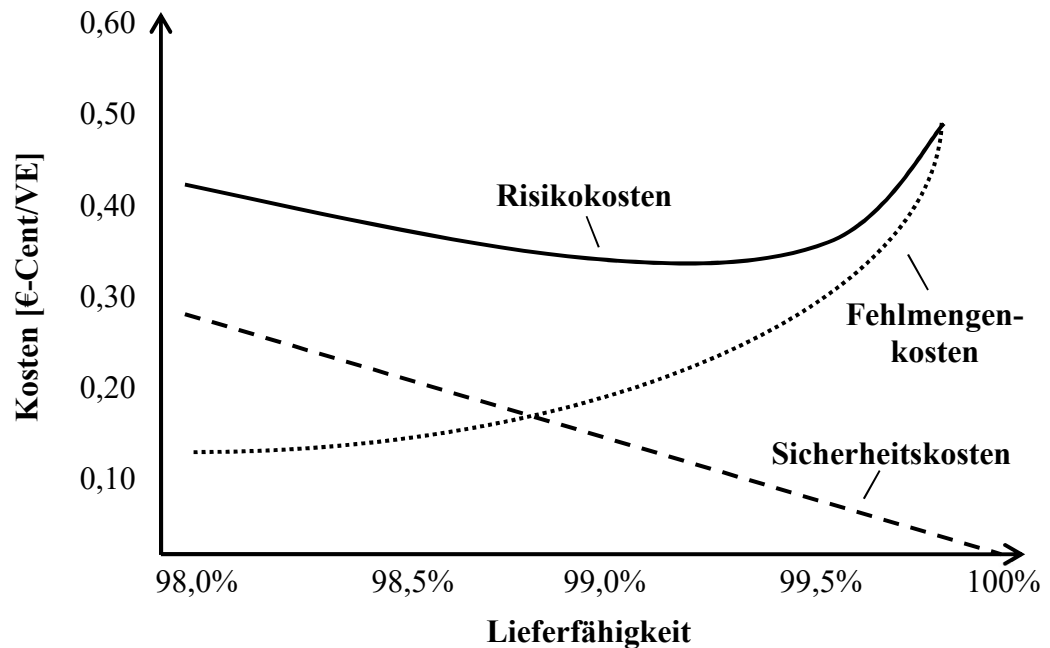


Abbildung 26: Abhängigkeit der Risikokosten von der Lieferfähigkeit [GUDE12, S. 122]

Wie zu ersehen ist, steigen die Sicherheitskosten mit Annäherung an eine 100%ige Lieferfähigkeit η überproportional an und sinken umgekehrt proportional mit der Wurzel des Verbrauchs λ [GUDE12, S. 121]. Es wird angenommen, dass die den Sicherheitskosten gegenüberstehenden Fehlmengenkosten bekannt sind und sich zusammensetzen aus:

- entgangenen Gewinnen oder fehlenden Deckungsbeiträgen
- Kosten der Produktionsunterbrechung und Wartezeiten wegen fehlenden Materials u.ä.
- Stillstandskosten
- Lieferverzugsstrafen, Pönalen etc.

Gudehus spricht sogar abschließend von der Möglichkeit, die Fehlmengenkosten k_{fehl} je Stück zu kalkulieren, zumindest aber abschätzen zu können [GUDE07, S. 362].

4.1.6 Das Modell von Reichmann

Reichmann nähert sich in seinem Modell dem Grundgedanken von Gudehus (siehe Abschnitt 4.1.5) weitestgehend an, indem er einen kostenoptimalen Lieferbereitschaftsgrad über den Vergleich möglicher Fehlmengenkosten mit den Lagerhaltungskosten eines zusätzlichen Sicherheitsbestandes ermittelt [REIC11, S. 370]. Die Unterschiede zu Gudehus sind dabei lediglich sprachlicher Natur, denn die bei Gudehus genannten Risikokosten definiert der Verfasser als Gesamtkosten und die Sicherheitskosten bezeichnet er als Lagerkosten des Sicherheitsbestandes. Die Gesamtkosten ergeben sich aus dem Erwartungswert der Lagerkosten aus dem Niveau des Sicherheitsbestandes einerseits sowie einer linear verlaufenden Funktion von Fehlmengenkosten in Abhängigkeit des Lieferbereitschaftsgrades andererseits. Es gilt:

$$(4.21) K_{\text{gesamt}} = K_{\text{SB}} + K_{\text{fehl}} (1 - \text{LB})$$

mit: K_{gesamt} = Gesamtkosten [GE]

K_{SB} = Lagerkosten des Sicherheitsbestandes [GE]

K_{fehl} = Fehlmengenkosten [GE]

LB = Lieferbereitschaftsgrad [%]

Die Abbildung 27 auf der Folgeseite veranschaulicht diesen Ansatz.

Reichmann argumentiert, dass der Algorithmus zur Ermittlung des optimalen Lieferbereitschaftsgrades nur unter den Prämissen gültig ist, dass mit steigendem Lieferbereitschaftsgrad die Fehlmengenkosten tendenziell abnehmen und die Kosten für zusätzliche, zur Sicherheit zu haltende Lagermengen ansteigen. Mit diesen Annahmen impliziert der Verfasser, dass zwar der servicegradabhängige Funktionsverlauf von Fehlmengenkosten als linear fallende Funktion des Servicegrades gesehen wird, er aber auf deren Berechnung nicht näher eingeht. Es sei originäre Aufgabe des Controllings, u.a. Daten zur Ermittlung zukünftiger Bedarfsmengen sowie entsprechender Fehlmengenkosten bereitzustellen [REIC11, S. 370].

In der Summe ist der Reichmann'sche Ansatz von der Idee als weitgehend identisch mit dem von Gudehus zu bezeichnen, der mit Ausnahme veränderter Begrifflichkeiten keine neuen Erkenntnisse, insbesondere zum Verlauf der Fehlmengenkostenfunktion, zu bieten hat.

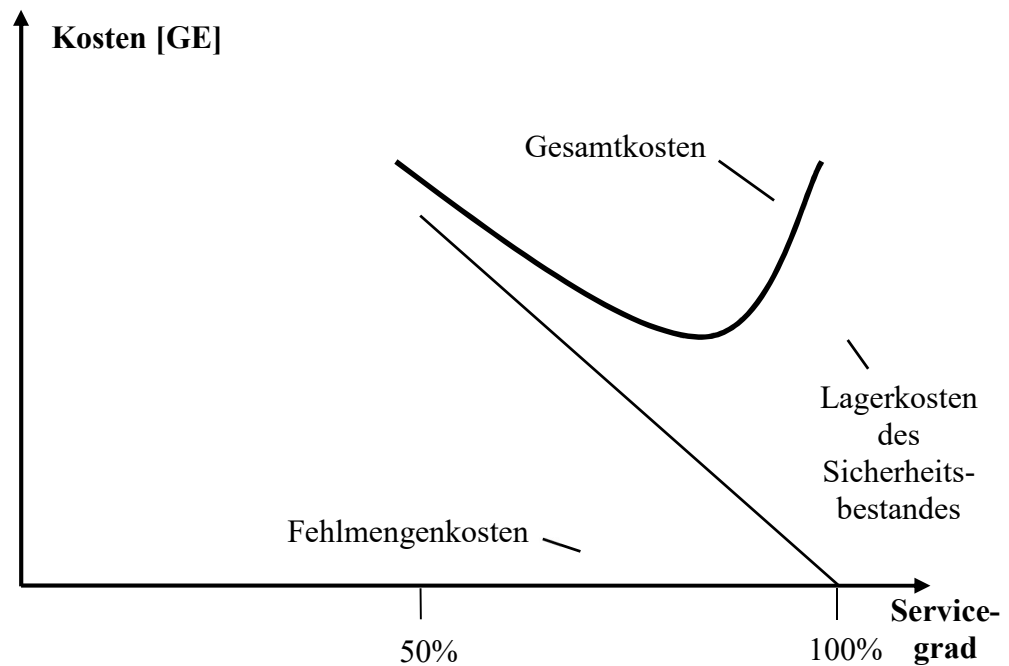


Abbildung 27: Die Bestimmung des optimalen Lieferbereitschaftsgrades [REIC11, S. 371]

4.1.7 Das Modell von Schmid

Schmid beschreibt in seinem 1977 entwickelten Modell funktionale Wirkungszusammenhänge zwischen dem angestrebten Lieferbereitschaftsgrad auf der einen Seite und dem Fehlmengenkostensatz auf der anderen Seite. Er analysiert dabei zunächst im Detail Begriff und Ausprägungen von Fehlmengenkosten, ihre Ursachen und Determinanten aus Sicht eines Konsumgüterherstellers und quantifiziert abschließend verschiedene Fehlmengenkostenarten anhand bekannter Modelle. Diese sind [SCHM77, S. 42-77]:

- Kosten der zusätzlichen unternehmerischen Aktivitäten
- Kosten eines entgangenen Auftrages
- Kosten der Goodwill-Verluste
- Kosten des verlorenen Kunden

Schmid geht dabei als bislang einziger Verfasser nicht von einem linearen Funktionsverlauf von Fehlmengenkosten aus, sondern von einer asymptotischen Annäherung an den maximalen Servicegrad. Vereinfachend lässt sich dieser Zusammenhang wie nachstehend abbilden (Abbildung 28):

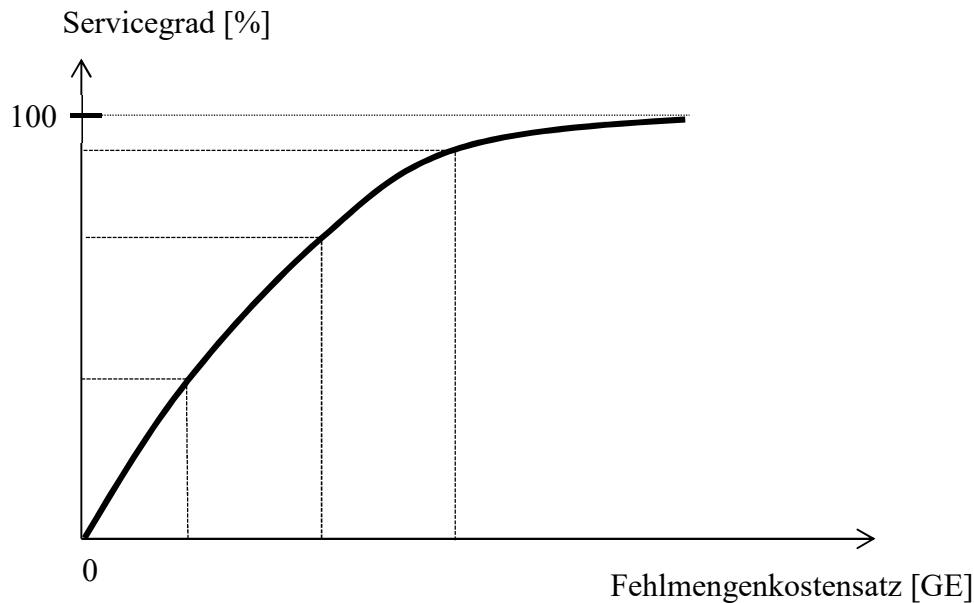


Abbildung 28: Qualitativer Wirkzusammenhang von Servicegrad und Fehlmengenkostensatz [GÄRT11, S. 34]

Anhand eines beispielhaften, jedoch sehr realitätsbezogenen Distributionsmodells, diskutiert und fixiert der Autor abschließend eine sog. optimale Lieferservicestrategie bei temporärer Lieferunfähigkeit als Ergebnis einer kostenoptimalen Lieferbereitschafts- und Liefermengenstrategie unter Berücksichtigung verschiedenster Prämissen, u.a. fest vorgegebener Lieferzeiten.

Als Resümee der Schmid'schen Ausarbeitung bleibt festzuhalten, dass er – im Wesentlichen aufbauend auf den mathematisch hergeleiteten Erkenntnissen von Eilon (siehe Abschnitt 4.1.1) und Schwartz (siehe Abschnitt 4.1.2) – eine richtungweisende Neuorientierung bei der modellgeleiteten Quantifizierung von Fehlmengenkosten und deren Ausprägungen vorgenommen und diese in nachvollziehbare, praxisnahe Lösungen für einen breiteren Anwenderkreis erschlossen hat.

4.1.8 Das Modell von Wahl

In seiner Dissertation aus dem Jahr 1999 beschäftigt sich Wahl zunächst mit Grundlagen und Bedeutung der physischen Distribution und gängiger Lagerhaltungssysteme als Teilaufgabe der Logistik, bevor er ein eigen entwickeltes Modell namens „DISANALYZE“ zur Bestandssteuerung in Distributionssystemen mit

dezentraler Disposition vorstellt. Dieses Modell soll drei Anforderungen abdecken [WAHL99, S. 4]:

- Zulassung von Teillieferungen
- Optimierung systemweiter Kosten
- Herleitung eines robusten Schätzmodells für bedeutsame Performancegrößen

Als erforderliche Modellgröße definiert und modelliert „DISANALYZE“ die ausgegebenen Logistikkosten einschließlich der Fehlmengenkosten, die sich aus sog. Vermeidungskosten (z.B. höhere Kosten für Eilbestellungen) sowie Folgekosten (z.B. Goodwill-Verluste) zusammensetzen [WAHL99, S. 30]. Wahl berücksichtigt dabei stochastische Kundennachfragen und unterscheidet zwischen zwei prinzipiellen Verhaltensweisen beim Auftreten von Fehlmengen [WAHL99, S. 140]:

- **Fall mit Vormerkung:** Jeder nicht oder teilweise befriedigte Kunde akzeptiert den nächstmöglichen Liefertermin und lässt sich vormerken.
- **Fall mit Umsatzverlust:** Jeder nicht oder voll befriedigbare Kunde verzichtet auf das mögliche Geschäft und geht einmalig oder dauerhaft als Kunde verloren.

Für die Modellierung mit „DISANALYZE“ gelten jedoch folgende Restriktionen [WAHL99, S. 40]:

- I. es wird lediglich der Fall mit Vormerkung einbezogen; Kosten durch Goodwill-Verluste u.ä. finden keine Berücksichtigung
- II. es wird von einer linearen Fehlmengenkostenfunktion ausgegangen

Der Verfasser errechnet die durchschnittlichen Fehlmengenkosten pro Basisperiode (C_j^b) wie folgt:

$$(4.22) \quad C_j^b(S_{i2}, S_j) = b_j^v \cdot \bar{B}_j(S_{i2}, S_j)$$

mit: C_j^b = Variable Fehlmengenkosten je Basisperiode

S_{i2} = Index für Standort i mit bestellgrenzorientiertem Bestellzyklus

S_j = Index für Standorte j mit bestellgrenzorientierten Bestellzyklen

b_j^v = Fehlmengenkostensatz für Standort $j = 1, \dots, n$ (GE/ [ME/ZE])

\bar{B}_j = Fehlmenge für Standort $j = 1, \dots, n$ (ME)

Im Rahmen eines sog. Optimierungsmodells, bei dem ein operativ-taktisches Standardproblem der mehrstufigen Lagerhaltung betrachtet wird, stellt Wahl abschließend ein heuristisches Verfahren zur Approximation von proportionalen Fehlmengenkostensätzen vor und testet diese exemplarisch an ausgewählten Problemstellungen. Ausgangspunkt dieses Schätzverfahrens ist ein Kostenminimierungsproblem mit Vorgabe eines standortspezifischen Servicegrades, der zu kostenminimalen Bestellgrenzen und einer im Optimum beobachtbare, standortbezogene, durchschnittliche Fehlmenge führen soll. Unter Zuhilfenahme eines sog. Strafkostensatzes, welcher Abweichungen von der prognostizierten, kostenminimalen Fehlmenge in modellhafter Weise bestrafen soll, formuliert der Verfasser letztlich die zentrale Hypothese, dass analog zum funktionalen Verlauf des Sicherheitsbestandes in Servicemodellen ein überproportionaler Anstieg des Fehlmengenkostensatzes zu beobachten ist. Er bestätigt schließlich diese Hypothese anhand numerischer Studienergebnisse sowohl unter der Annahme eines bei jeweils 0.70 beginnenden Serviceniveaus des α -Servicegrades oder β -Servicegrades als auch unter Berücksichtigung verschiedener Inputparameter wie Bestellintervalle, Lieferzeit, erwartete Kundennachfrage oder Variationskoeffizient der Kundennachfrage und deren Kombinationsmöglichkeiten auf die Höhe der impliziten Fehlmengenkosten [WAHL99, S. 252-254].

Wahl kommt abschließend zur Erkenntnis, dass „in der betrieblichen Realität die Schätzung von Fehlmengenkostensätzen i. Allg. ein kompliziertes Unterfangen darstellt“ und sich daher solche Schätzverfahren eignen, die durch Variation des Serviceniveaus oder auch der Servicedefinitionen dem Anwender einen Einblick in Höhe und Sensitivität der theoretischen Fehlmengenkostensätze eröffnen [WAHL99, S. 255].

4.1.9 Das Modell von Botta

In den bisherigen Ausführungen wurde auf die Detaillierung, Parametrisierung und Quantifizierung der verschiedenen Formen von Fehlmengenkosten eingegangen. Im Folgenden soll nun ein mengenoptimales Lagerhaltungsmodell vorgestellt werden, welches erlaubt, den Grad der Servicebereitschaft beim Auftreten von Fehlmengen zu optimieren. Dieses Modell nach Botta leitet sich aus dem Grundmodell der optimalen Bestellmenge ab, welche die Existenz von Fehlmengen und

damit Fehlmengenkosten ausschließt [ZWEH73, S. 8]. Bisherige Ergebnisse haben verdeutlicht, dass bekannte Fehlmengenmodelle unter dem Aspekt der Bedarfsdeckung bzw. der Herbeiführung eines bestimmten Serviceniveaus aus betriebswirtschaftlicher Sicht als wenig sinnvoll bezeichnet werden können [KIRS73, S. 293].

Im Folgenden soll nun versucht werden, ein Lagerhaltungsmodell zu entwickeln, welches das Auftreten von Fehlmengen und Fehlmengenkosten in einer der betrieblichen Realität angemesseneren Form berücksichtigt. Zunächst sei davon ausgegangen, dass externe, vom Lager nicht beeinflussbare Umstände zum Auftreten von Fehlmengen im Lager führen können. Unter dieser Annahme wird weniger angeliefert und eingelagert als bestellt ist. Die Differenz zwischen der bestellten Menge L_B und des aufgrund der geringeren Liefer- oder Einlagerungsmenge geringeren Lageranfangsbestandes L_E ergibt sich die Fehlmenge f_M . Wird K_{FM5} auf L_B bezogen, so ergibt sich der Fehlmengenanteil s wie folgt:

$$(4.23) \quad s = \frac{L_B - L_E}{L_B}$$

Es gilt: s = Externer Fehlmengenanteil

L_B = Bestellmenge

L_E = Lageranfangsbestand

Ist das Auftreten von Fehlmengen sicher, so kann das Entstehen von Fehlmengen im Lager von vornherein dadurch verhindert werden, dass der Fehlmengenanteil s bei der Bestellung durch einen entsprechend dimensionierten Bestellmengenkorrekturfaktor m berücksichtigt wird [BOTT78, S. 766].

Ist der Fehlmengenanteil s dagegen bei der Bestellung nicht oder nicht ausreichend berücksichtigt, so übersteigt der am Lager wirksame Bedarf die verfügbare Menge. In diesem Fall treten zwischen zwei Lagerzugängen Fehlmengen im Umfang f_M auf. Auftretende Fehlmengen verursachen Kosten. Diese ergeben sich als mathematisches Produkt des Fehlmengenkostenbeitrages k_{FM} pro Mengen- und Zeiteinheit und der durchschnittlich während des Betrachtungszeitraums bestehenden Fehlmenge wie folgt [BOTT78, S. 766]:

$$(4.24) \quad c = \frac{f_M}{2} \cdot k_{FM}$$

Es gilt: c = Fehlmengenkosten (Gesamt)

f_M = Fehlmengen in Mengeneinheiten, die zwischen zwei Lagerzugängen auftreten

k_{FM} = Fehlmengenkosten pro Mengen- und Zeiteinheit

Diese Fehlmengenkosten sind jedoch Opportunitätskosten. Ihrem Entstehen ist aber gerade durch eine geeignete Lagerhaltungspolitik insoweit entgegenzuwirken, dass die Mehrkosten der Lagerhaltung, die aus einer gegenüber dem Grundmodell veränderten Bestellmengenpolitik resultieren, von den Opportunitätskosteneinsparungen kompensiert werden [BOTT78, S. 767].

Im Gegensatz zur 100%-igen Bedarfsdeckung ist durchaus auch denkbar, dass als Ziel einer optimalen Lagerhaltungspolitik eine geringere Bedarfsdeckung angestrebt wird. In diesem Fall sind Fehlmengen innerbetrieblich erwünscht, z.B. aus Kostengründen. Fehlmengen werden dann bewusst herbeigeführt, selbst wenn extern die Liefermenge mit der Bestellmenge übereinstimmt. Es sind verschiedene Möglichkeiten denkbar, Fehlmengen über die Zeit zu verteilen. Da dabei Kosten in unterschiedlicher Höhe entstehen, stellt sich die Frage nach der optimalen Verteilung der Fehlmenge im Hinblick auf die Lagerhaltungspolitik. Die Verteilung ist die günstigste, welche die geringsten Kosten verursacht. Vor diesem Hintergrund soll ein optimaler, lagerinterner Fehlmengenanteil \bar{g} für die günstigste Lagerhaltungsvariante und die diesem bei verschiedenen Lagermengen zuzuordnenden Lagerhaltungskosten und Bestellmengen berechnet werden [BOTT78, S. 769].

Es soll nun versucht werden, den lagerinternen Fehlmengenanteil \bar{g} so zu bestimmen, dass unabhängig von dem externen Fehlmengenanteil s eine lagerinterne Optimierung der Bedarfsdeckung möglich wird. Der sich hierbei ergebende, optimale interne Fehlmengenanteil \bar{g} würde einen Ausgleich der Grenzlagerkosten und der Fehlmengenkosten bewirken [BOTT78, S. 779]. Er errechnet sich wie folgt:

$$(4.25) \quad \bar{g} = \frac{1}{k_{FM}} \sqrt{\frac{2 \cdot K_f \cdot k_L}{R \cdot T}}$$

Es gilt: k_{FM} = Fehlmengenkosten

K_f = Bestellfixe Kosten pro Bestellung

k_L = Kosten der Lagerhaltung in EUR pro Mengeneinheit und Tag

R = Bedarf in Mengeneinheiten pro Periode

T = Dauer der Periode in Tage

Für obiges Zahlenbeispiel berechnet sich der optimale Fehlmengenteil \bar{g} zu $\bar{g} = 0,00625$. Dieses Ergebnis besagt, dass die für Fehlmengen und Lagerhaltung insgesamt entstehenden Kosten dann minimiert sind, wenn durch geeignete Lagerdisposition intern eine Fehlmenge von 0,625% des Periodenbedarfs herbeigeführt wird. Es konnte damit nachgewiesen werden, dass es aus Kostengründen zweckmäßiger ist, den Bedarf im vorliegenden Fall nicht zu 100% zu decken [BOTT78, S. 780].

4.2 Die Quantifizierung einzelner Fehlmengenkostenarten

Nachstehend erfolgt nun eine Quantifizierung der in Abschnitt 2.4.3 beschriebenen Ausprägungen von Fehlmengenkosten. Zu diesem Zweck werden die für die Problemstellung der vorliegenden Arbeit relevanten Fehlmengenkostenarten möglichst detailliert getrennt voneinander betrachtet.

4.2.1 Kosten der Sondermaßnahmen

Die Kosten für Sondermaßnahmen, im Folgenden mit C_{SOC_1} bezeichnet, können sowohl fixer als auch variabler Natur sein, sofern eine nachträgliche Belieferung durch eine zusätzliche unternehmerische Aktivität erfolgt. Die Quantifizierung von Fixkosten erfolgt durch einen bestimmten Betrag je Sondermaßnahme j ($j = 1, \dots, \bar{j}$) und ist in ihrer Höhe lediglich von der Art der Maßnahme abhängig. Die gesamten Fixkosten $C_{SOC_1,t,fix}$ in der betrachteten Periode t erhält man durch Multiplikation des Fixkostensatzes $SOC_{1,jt}$ mit der Anzahl der mit Zusatzmaßnahmen j bedienten Kundenaufträge n_{jt} und anschließender Summierung über alle j . Somit ergibt sich:

(4.26) Sind Sondermaßnahmen notwendig, dann gilt:

$$C_{SOC_1,t,fix} = \sum_{j=1}^{\bar{j}} SOC_{1,jt} \cdot n_{jt}$$

(4.27) Sind keine Sondermaßnahmen notwendig, dann gilt:

$$C_{SOC_1,t,fix} = 0$$

Von variablen Fehlmengenkosten für Sondermaßnahmen spricht man, wenn diese von der Höhe der Fehlmengen, dem Nachfragezeitpunkt oder der Auslieferungszeit abhängen. Aus diesen Gründen können sie in mengenabhängige, zeitabhängige oder mengen- und zeitabhängige Fehlmengenkosten wie folgt differenziert werden:

$$(4.28) \quad C_{SOC_1,t,var} = \begin{cases} f(w_t) \\ g(t_N, t_L) \\ h(w_t, t_N, t_L) \end{cases}$$

Es gilt: $C_{SOC_1,t,var}$: Gesamte variable Kosten für Sondermaßnahmen

w_t : Fehlmenge in Perioden t

t_N : Nachfragezeitpunkt

t_L : Auslieferungszeitpunkt

$f/g/h$: Funktionen

Als Beispiele für mengenabhängige Fehlmengenkosten können Zusatzkosten für einen teureren Fremdbezug (z.B. bei einem anderen Hersteller oder Händler) der Fehlmenge sein, während zu den zeitabhängigen Fehlmengenkosten zusätzliche Transportkosten (siehe Abschnitt 5.1.5), insbesondere Eil-, Sonder- oder Zusatztransporte (z.B. Luftfracht, Kurierdienste), zu zählen sind. Solche Zusatzkosten haben eine Verkürzung der Transportzeit zum Ziel, falls ungeplante Verzögerungen (z.B. in der Fertigung) auftraten, wodurch der ursprünglich zugesagte Liefertermin nicht mehr erreichbar ist. Die Kombination aus mengen- und zeitabhängigen Fehlmengenkosten kann dann auftreten, wenn neben einer Fremdbeschaffung ein schnellerer Transport für eine termingerechte Belieferung zwingend erforderlich ist. Fixe und variable Fehlmengenkosten, die aus zusätzlichen Aktivitäten resultieren, sind Zusatzkosten, deren Quantifizierung durch den Vergleich der Kosten bei Belieferung mit und ohne Zusatzmaßnahme mit geringem, rechentechnischem Aufwand vorgenommen werden kann [SCHM77, S. 50].

4.2.2 Kosten reduzierter Erlöse

Solche Kosten, die eine Erlösschmälerung als Folge mangelnder Lieferfähigkeit abdecken, sollen zumindest die zeitliche Dauer der Lieferunfähigkeit modellhaft berücksichtigen, was zudem den Nutzen einer hypothetischen Modellierung über die Höhe solche Kosten (z.B. Konventionalstrafen) erzeugen würde. Grundvoraussetzung für eine solche Annahme ist jedoch, dass sich die Fehlzeit des betreffenden Artikels (z.B. durch eine verzögerte Montage in der Produktion) in voller Höhe auf den Lieferverzug aus Sicht der Distributionslogistik auswirkt. Vereinfacht lassen sich diese Fehlmengenkosten $C_{SOC_2,t,u}$ bezogen auf Periode t , durch den Kostensatz $SOC_{2,z}$ des Artikels z und die Fehlzeit FZ dieses nichtgelieferten Artikels, wie folgt ausdrücken:

$$(4.29) \quad C_{SOC_2,t,z} = SOC_{2,z} \cdot FZ$$

4.2.3 Kosten des Auftragsverlustes

Diese Ausprägung von Fehlmengenkosten, im Folgenden als C_{SOC_3} bezeichnet, können einerseits Fixkostencharakter $C_{SOC_3,fix}$, beispielsweise durch pauschalen Schadensersatz bei Nichtbelieferung, andererseits aber auch variablen Charakter $C_{SOC_3,var}$ aufweisen. Die Kosten lassen sich somit formell darstellen durch

$$(4.30) \quad C_{SOC_3,t} = C_{SOC_3,fix} + C_{SOC_3,var}(w_t)$$

und $(4.31) \quad C_{SOC_3}(w_t) = (p - k_H - k_D) \cdot w_t$

wobei gilt: p = Verkaufspreise je Stück

k_H = Herstellkosten je Stück

k_D = Kosten der physischen Produktdistribution je Stück

w_t = Fehlmenge in Periode t

Auf Basis der oben genannten Formel wird ein linearer Zusammenhang zwischen der Höhe dieser Fehlmengenkostenart und der Fehlmenge vorausgesetzt [SCHM77, S. 51]. Diese Linearität unterstellt jedoch, dass sich die Verärgerung der Kunden nicht auf die Reduktion der Nachfrage in zukünftigen Perioden auswirkt, was jedoch bezweifelt werden darf. Deshalb sei an dieser Stelle auf einen konvexen Verlauf der Fehlmengenkostenfunktion verwiesen, der unterstellt, dass

der entgangene Gewinn (Synonym zum entgangenen Deckungsbeitrag) je Mengeneinheit mit dem Umfang der Fehlmengen überproportional zunimmt [HOCH69, S. 13]. Das bedeutet, dass verärgerte Kunden in zukünftigen Perioden ihre Nachfrage bei diesem Unternehmen verringern. Die folgende Grafik (Abbildung 29) verdeutlicht dies:

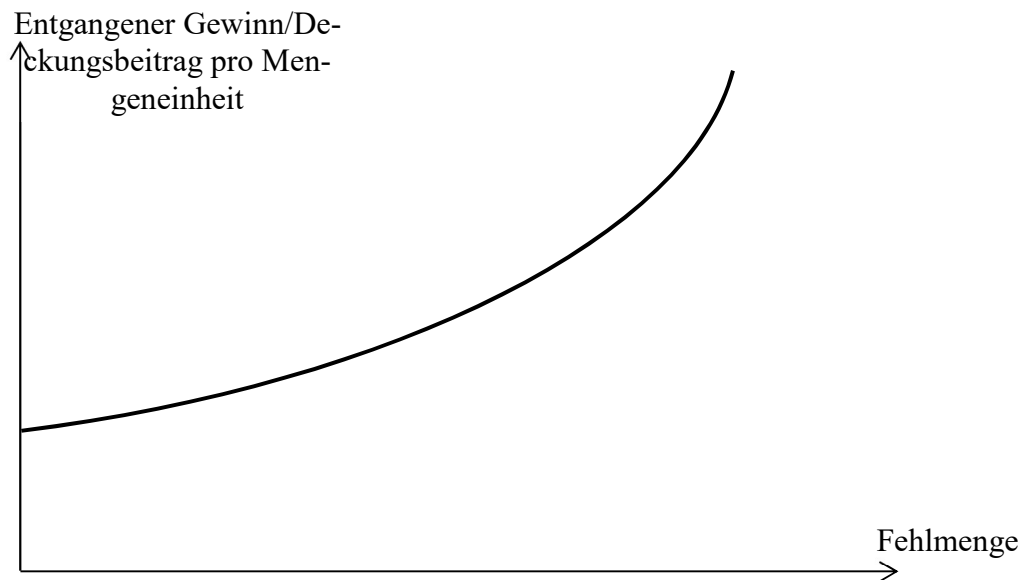


Abbildung 29: Konvexer Verlauf des entgangenen Gewinns pro Mengeneinheit [SCHM77, S. 52]

Das Problem der Quantifizierung der Kosten bei Goodwill-Verlusten als separaten Kostenbestandteil wird ausführlich im folgenden Abschnitt 4.2.4 diskutiert.

4.2.4 Kosten des Goodwill-Verlustes

Die Kosten der Goodwill-Verluste resultieren aus Nachfrageverlusten, die sich als Folge von Nichtlieferungen (lost sales case) und damit als Umsatz- und Gewinneinbußen zukünftiger Perioden ergeben. Notwendig ist eine Unterscheidung dieser Fehlmengenkostenart in folgende zwei Problemfelder [SCHM77, S. 53]:

- Quantifizierung des zukünftigen Nachfrageverlustes [ME]
- Bewertung des zukünftigen Nachfrageverlustes [GE]

Zeichnet sich ein Markt durch eine oligopolistische Struktur aus, in dem wenige Anbieter einer Vielzahl von Nachfragern gegenüberstehen, so kann die Gesamtnachfrage eines Unternehmens zum Zeitpunkt t aus der Summe der einzelnen

Kundennachfragen $y_{k,t}$ ($k = 1, \dots, K$), welche stochastisch voneinander unabhängig sein können, gebildet und eine Normalverteilung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion zugrunde gelegt werden [SCHW67, S. 76]. Skizzenhaft lässt sich folgender Verlauf einer solchen normalverteilten Nachfrage darstellen (Abbildung 30):

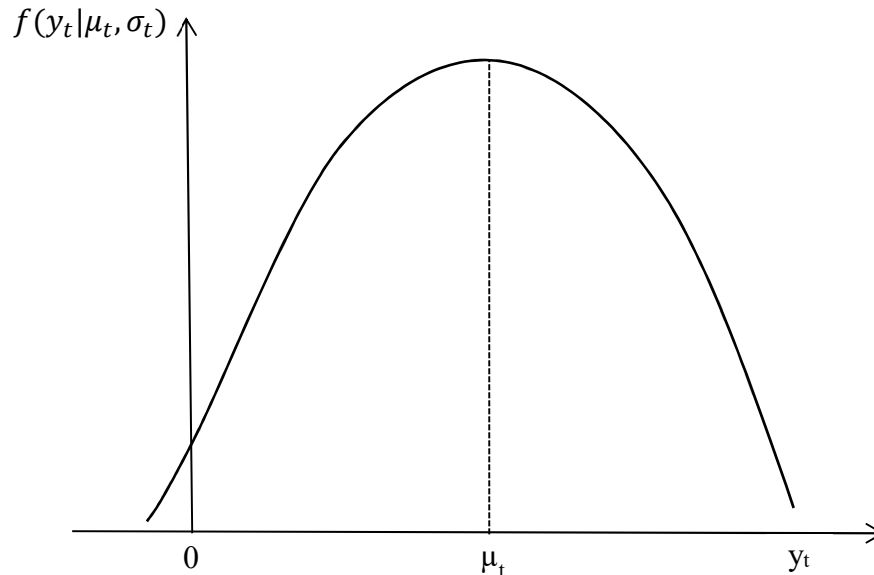


Abbildung 30: Dichtefunktion der normalverteilten Nachfrage [SCHM77, S. 55]

Es gilt: μ_t = Nachfrageerwartungswerte [Mengeinheit/Periode]

σ_t = Standardabweichung

In Zusammenhang mit der Quantifizierung von Goodwill-Verlusten sei an der Stelle auf die Ansätze von Eilon (siehe Abschnitt 4.1.1) und Schwartz (siehe Abschnitt 4.1.2) verwiesen. In besonderem Maße muss dabei das Schwartz'sche Modell herausgehoben werden, welches aufgrund einer Fülle von realitätsnahen Annahmen (z.B. Berücksichtigung eines Enttäuschungsfaktors) und des erforderlichen Konkretisierungsgrades die Gleichungen (4.11) bis (4.16) nun als Grundlage für die weiterführenden Berechnungen einschließlich des Praxisbeispiels dieser Arbeit dienen soll.

4.2.5 Kosten des verlorenen Kunden

Die Kosten durch den Verlust eines Kunden sind im Vergleich zu den bisher ausgeführten Fehlmengenkostenarten am höchsten, da die gesamten Gewinne in zukünftigen Perioden betrachtet werden. Zu beachten ist, dass diese Kosten in den einzelnen Perioden nicht ausgabewirksam sind, sondern lediglich kalkulatorischen Charakter aufweisen. Eine Quantifizierung der in Abschnitt 2.4.3.5 kurz beschriebenen Fehlmengenkostenart, die als C_{SOC_4} definiert werden soll, ist bei stochastischer Nachfrage nur durch Bildung eines Kostenerwartungswertes möglich [SCHM77, S. 72], zu dem folgende Daten zur Verfügung stehen sollten:

$f_k(y_t)$ = Wahrscheinlichkeitsverteilung der Nachfrage des k -ten Kunden in Periode t

$E_k(Y_t)$ = Nachfrageerwartungswert der Wahrscheinlichkeitsverteilung $f_k(y_t)$

T = Planungszeitraum

t_0 = Periode der Nichtbelieferung

g = Gewinn pro Mengeneinheit (konstant)

z = Kalkulationszinsfuß

Findet in der Periode t_0 die Nichtbelieferung statt und stellt der Kunde k auf Grund dieser seine Nachfrage in den folgenden Perioden ein, so entstehen in den jeweiligen Perioden $t > t_0$ die folgenden Fehlmengenkosten $C'_{SOC_4,t}(k)$:

$$(4.32) C'_{SOC_4,t_0+1}(k) = E_k(Y_1) \cdot g$$

$$C'_{SOC_4,t_0+2}(k) = E_k(Y_2) \cdot g + E_k(Y_1) \cdot g \cdot z$$

⋮

$$C'_{SOC_4,t_0+T}(k) = E_k(Y_T) \cdot g + E_k(Y_{T-1}) \cdot g \cdot z + \dots + E_k(Y_1) \cdot g \cdot (1+z)^{T-2} \cdot z$$

Insgesamt sind nach T Perioden folgende Kosten entstanden:

$$(4.33) C_{SOC_4,t_0+T}(k) = E_k(Y_T) \cdot g + E_k(Y_{T-1}) \cdot g \cdot (1+z) + \dots + E_k(Y_1) \cdot g \cdot (1+z)^{T-1}$$

Zum Zeitpunkt t_0 ergibt sich somit durch Diskontierung der Barwert dieser Kosten

$$(4.34) \quad C_{SOC_4, t_0}(k) = \frac{1}{(1+z)^T} \cdot C_{SOC_4, t_0+T}(k)$$

und ist der Erwartungswert der Nachfrage unabhängig von der Periode, d.h. $E_k(Y_t) = E_k(Y)$ für alle $t = 1, \dots, T$, so gilt für den Barwert

$$(4.35) \quad C_{SOC_4, t_0}(k) = \frac{1}{(1+z)^T} \cdot E_k(Y) \cdot [1 + (1+z) + \dots + (1+z)^{T-1}] \cdot g$$

$$= E_k(Y) \cdot g \cdot \frac{(1+z)^T - 1}{(1+z)^T z}$$

Sind die Verteilungen der Wahrscheinlichkeit der einzelnen Kundennachfragen unbekannt, so können mit Hilfe einer Kundenbestellstatistik die durchschnittlichen Kosten eines abgewanderten Kunden ermittelt werden. Sofern B_k die durchschnittliche Bestellmenge des Kunden k in den Vergangenheitsperioden repräsentiert, so gilt für den Barwert [SCHM77, S. 75]:

$$(4.36) \quad C_{SOC_4, t_0}(k) = B_k \cdot g \cdot \frac{(1+z)^T - 1}{(1+z)^T z}$$

Im Folgenden werden nun einige Annahmen diskutiert und skizzenhaft dargestellt, um herauszufinden inwieweit verschiedene Einflüsse die Wahrscheinlichkeit $W_k(VK)$ des endgültigen Abwanderns eines Kunden B_k zu einem Wettbewerbsanbieter nach einer Nichtbelieferung im Zeitpunkt t_0 beeinflussen können [SCHM77, S. 75-77]:

- I. **Anzahl der Nichtbelieferungen $z_{NL,k}$ in vergangenen Lieferperioden**
(Abbildung 31):

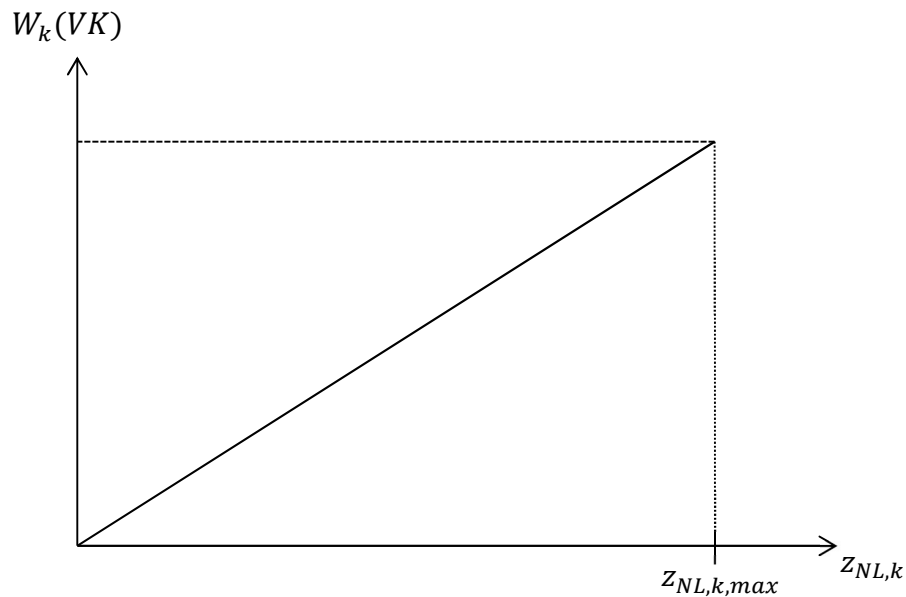


Abbildung 31: Zusammenhang zwischen der Wahrscheinlichkeit des Verlustes eines Kunden und der Zahl der Nichtlieferungen in der Vergangenheit [SCHM77, S. 75]

In Abhängigkeit der maximalen Toleranzgrenze an Nichtlieferungen

$z_{NL,k,max}$ ergibt sich:

$$(4.37) \quad W_k(VK) = \frac{1}{z_{NL,k,max}} \cdot z_{NL,k} \quad \text{für} \quad 0 \leq z_{NL,k} \leq z_{NL,k,max}$$

- II. **Substituierbarkeit des Anbieters:** Hier greift Schmid ebenfalls auf eine lineare Darstellung dieser Funktion zurück, indem er zwischen den Werten 0 und 1 auf der Abszisse die maximalen Ausprägungen der Marktstruktur auf die Wettbewerbssituation eines Kunden B_k angibt. Die Berechnung hierzu lautet:

$$(4.38) \quad W_k(VK) = a_k \cdot s \quad \text{für} \quad 0 \leq s \leq 1 \quad \text{und} \quad a_k \geq 0$$

Es gilt: a_k = Einflussmöglichkeit a des Kunden B_k

s = Substitutionsgrad

wobei: $s = 0$: Monopolitische Marktstruktur

$s = 1$: Polypolitische Marktstruktur

- III. **Dringlichkeit der Nachfrage:** Bei dieser Einflussmöglichkeit wird in gleicher Weise von einem linearen Funktionsverlauf ausgegangen, weshalb auf eine graphische Darstellung verzichtet wird, die Berechnung jedoch wie folgt vorgestellt werden soll:

$$(4.39) \quad W_k(VK) = b_k \cdot d_k \quad \text{für } 0 \leq d_k \leq 1 \text{ und } b_k \geq 0$$

Es gilt: b_k = Einflussmöglichkeit b des Kunden B_k

d_k = Dringlichkeit der Nachfrage

wobei: $d_k = 0$: kein dringender Bedarf, der Kunde ist geduldig und wird auf die Lieferung warten

$d_k = 1$: dringender Bedarf, der unbedingt befriedigt werden muss

Schmid spricht nun von der Möglichkeit, die Marktform s als Konstante \bar{s} vorzugeben und die verbleibenden Parameter $z_{NL,k}$ sowie d_k als Hauptdeterminanten für die Wahrscheinlichkeit eines verlorenen Kunden zu benennen. Bei additiver Verknüpfung der einzelnen Parameter und unter der Annahme einer identischen Bedeutung aller drei Einflussgrößen aus Sicht des Kunden B_k ergibt sich folgende Funktion [SCHM77, S. 77]:

$$(4.40) \quad W_k(VK, z_{NL,k}, d_k, \bar{s}) = \begin{cases} b_k \cdot d_k + \frac{1}{z_{NL,k \max}} \cdot z_{NL,k} + \bar{s} \cdot a_k & \text{falls } b_k \cdot d_k + \frac{1}{z_{NL,k \max}} \cdot z_{NL,k} + \bar{s} \cdot a_k < 1 \\ 1 & \text{falls } b_k \cdot d_k + \frac{1}{z_{NL,k \max}} \cdot z_{NL,k} + \bar{s} \cdot a_k \geq 1 \end{cases}$$

Die Vielzahl der Möglichkeiten zur Verknüpfung der einzelnen Parameter, eine oftmals mangelnde Kenntnis über die Wahrscheinlichkeitsdeterminanten sowie ihre jeweilige Bedeutung für den Kunden B_k machen eine unternehmensspezifische Betrachtung dieser Funktion zwingend erforderlich, im besten Falle untermauert durch empirische Befragungen und Verhaltensanalysen des betroffenen Kundenkreises.

4.3 Restriktionen in Mehrproduktunternehmen

Die in Abschnitt 4.1 beschriebenen Modelle zu Fehlmengenkosten und deren Möglichkeiten zur Quantifizierung (siehe Abschnitt 4.2) beruhen zumeist auf vereinfachenden, der Komplexität und des damit verbundenen Rechenaufwandes geschuldeten Prämissen. Bereits die Modelle von Eilon, Chang/Niland und Schwartz fokussierten sich aus diesen Gründen lediglich auf ein Einproduktunternehmen, zumeist im Umfeld der Konsumgüterindustrie oder einer Großhandlung. Vor diesem Hintergrund sollen nun an dieser Stelle einige Anmerkungen hinsichtlich der Problematik zur Fehlmengenkostenbestimmung in Unternehmen mit einem breitem Produktportfolio hinzugefügt werden.

Für die Kunden eines Sortimentsanbieters ergeben sich theoretisch folgende Kombinationsmöglichkeiten in jeder bestellpunktspezifischen Nachfragesituation:

$$(4.41) \sum_{\varepsilon=1}^{\bar{\varepsilon}} \binom{\bar{\varepsilon}}{\varepsilon} = 2^{\bar{\varepsilon}}$$

Es gilt: $\bar{\varepsilon}$ = Anzahl von Produkttypen

In den bisherigen Ausführungen wurde deutlich gemacht, dass sich Fehlmengenkosten als Konsequenz einer Fehlmengensituation (siehe Abschnitt 2.3) lediglich auf ein einzelnes Produkt bezogen haben, unter der Annahme, dass ein Unternehmen durchaus mehrere Produkte in seinem Sortiment anbieten kann. Mögliche Interaktionen einer konkreten Fehlmengensituation von Produkt x zum Zeitpunkt $t = 0$ mit Produkt y oder den Produkten y ($y \rightarrow \lim. \infty$) zum Zeitpunkt $t = 0$ wurden bis dato bewusst ausgeklammert.

In der betrieblichen Realität ist jedoch die Kundenbestellung eines einzelnen Produktes bei einem Sortimentsanbieter sicher als Ausnahme zu bezeichnen, nicht zuletzt aufgrund der angestrebten Minimierung von Bestellkosten (siehe Abschnitt 2.2.4). Es stellt sich die Frage, wie sich eine Fehlmengensituation bei Produkt x auf die zeitgleiche Nachfrage anderer Produkte beim gleichen Anbieter auswirkt. Solche Verbundwirkungen spielen in der Praxis sicher eine nicht zu unterschätzende Rolle, weshalb der Gedanke einer bestellungs- bzw. auftragsfixen Betrachtung bei der Quantifizierung von Fehlmengenkostenarten weiterverfolgt werden sollte. Betrachtet man nun einen Sortimentsanbieter, welcher in einem

Segment über beispielsweise fünf Produkte verfügt, so sind in Analogie zu Gleichung (4.41) insgesamt 32 Nachfragekombinationen zum Zeitpunkt t möglich, wobei die Nachfragehöhe zunächst nicht näher beachtet werden soll.

Diese Nachfragekombinationen lassen sich in Form der Vektoren in Tabelle 6 bildlich veranschaulichen.

Tabelle 6: Nachfragekombinationsmöglichkeiten einer Mehrproduktunternehmung (5 Produktarten)

Vektorenübersicht		
$(0, 0, 0, 0, 0)_t$	$(y_{P1}, 0, 0, y_{P4}, 0)_t$	$(0, y_{P2}, y_{P3}, 0, y_{P5})_t$
$(y_{P1}, 0, 0, 0, 0)_t$	$(y_{P1}, 0, y_{P3}, 0, 0)_t$	$(0, y_{P2}, 0, y_{P4}, y_{P5})_t$
$(y_{P1}, y_{P2}, 0, 0, 0)_t$	$(y_{P1}, y_{P2}, 0, 0, y_{P5})_t$	$(0, y_{P2}, 0, 0, y_{P5})_t$
$(y_{P1}, y_{P2}, y_{P3}, 0, 0)_t$	$(y_{P1}, y_{P2}, 0, y_{P4}, 0)_t$	$(0, y_{P2}, 0, y_{P4}, 0)_t$
$(y_{P1}, y_{P2}, y_{P3}, y_{P4}, 0)_t$	$(y_{P1}, y_{P2}, 0, y_{P4}, y_{P5})_t$	$(0, y_{P2}, 0, 0, 0)_t$
$(y_{P1}, y_{P2}, y_{P3}, y_{P4}, y_{P5})_t$	$(y_{P1}, 0, 0, y_{P4}, y_{P5})_t$	$(0, 0, y_{P3}, y_{P4}, 0)_t$
$(0, y_{P2}, y_{P3}, y_{P4}, y_{P5})_t$	$(y_{P1}, 0, y_{P3}, y_{P4}, y_{P5})_t$	$(0, 0, y_{P3}, 0, y_{P5})_t$
$(0, 0, y_{P3}, y_{P4}, y_{P5})_t$	$(y_{P1}, 0, y_{P3}, y_{P4}, 0)_t$	$(0, 0, y_{P3}, 0, 0)_t$
$(0, 0, 0, y_{P4}, y_{P5})_t$	$(y_{P1}, 0, y_{P3}, 0, y_{P5})_t$	$(0, 0, 0, y_{P4}, 0)_t$
$(0, 0, 0, 0, y_{P5})_t$	$(0, y_{P2}, y_{P3}, y_{P4}, 0)_t$	$(y_{P1}, y_{P2}, y_{P3}, 0, y_{P5})_t$
$(y_{P1}, 0, 0, 0, y_{P5})_t$	$(0, y_{P2}, y_{P3}, 0, 0)_t$	

Weiterhin soll die Annahme gelten, dass in Anlehnung an den Kundenwunsch alle Produkte zum selben Zeitpunkt $t = 1$ angefordert werden und analog sofort verfügbar sein sollten. Sind einzelne Produkte aus der Sortimentsbestellung jedoch nicht unmittelbar erhältlich, so besteht die Möglichkeit einer Nachlieferung unter der Voraussetzung, dass der Kunde dieser Konstellation zustimmt und damit keine Goodwill-Verluste zu beklagen sind. In solchen Fällen ist eine sequentiell gelagerte Auslieferung einzelner, zum Zeitpunkt $t = 1$ nicht verfügbarer Produkte erforderlich, welche die Möglichkeit einer Aufgliederung einer Bestelltransaktion in mehrere, zeitlich nachgelagerte Einzelbestelltransaktionen bietet. Durch diese Vorgehensweise ergibt sich der Vorzug einer individuellen Betrachtung der Quantifizierung von Fehlmengenkosten auf Einzelproduktebene in Kombination mit der Möglichkeit der Addition einzelnen Fehlmengenkostensituationen.

Gilt die Annahme, dass der Sortimentsanbieter bei jeder seiner fünf Produkte oder einer bestimmten Nachfragekombination zum gewünschten Zeitpunkt $t = 1$ lieferunfähig ist, so muss aus Sicht des Anbieters eine Gesamtbetrachtung hinsichtlich des Kundenverhaltens gewählt werden, die sich aus der Summe von Einzelbetrachtungen der entstandenen Fehlmengenkosten unter dem Ausschluss möglicher Verbundwirkungen zusammensetzt. Für einen Kunden ist es letztlich unerheblich, welches Produkt aus einer spezifischen Nachfragekombination nicht lieferbar ist. In diesen Fällen ist für den Anbieter das gesamte Spektrum von Fehlmengenkosten, angefangen von Zusatzkosten bis hin zu Kosten für verlorene Kunden, in Erwägung zu ziehen. In diesem Kontext soll auf die Möglichkeit von Teillieferungen für geduldige Kunden hingewiesen werden. Hierbei wird zumindest ein Teil des Kundenbedarfs unmittelbar befriedigt, was sich positiv auf einzelne Fehlmengenkostenarten (z.B. Kosten für Sondermaßnahmen) auswirken kann.

Aus den obigen Ausführungen konnte herausgearbeitet werden, dass sich bei einer überschaubaren Anzahl von $\bar{\epsilon}$ - Produkttypen eines Sortimentanbieters der damit verbundene Rechenaufwand in akzeptablen Grenzen hält. Mit zunehmendem $\bar{\epsilon}$ muss allerdings zweifelsfrei festgestellt werden, dass der rechnerische Aufwand für die Quantifizierung einzelner Fehlmengenkostenarten sowie einer möglichen Berücksichtigung verschiedener Nachfragekonstellationen sicher als nicht mehr vertretbar erscheint. Spezifische Sortimentsanalysen können einen wertvollen Beitrag leisten, um herauszufinden für welche Produkte aus einem Sortiment die höchsten Nachfragemengen vorliegen, welche Produkte die höchsten Deckungsbeiträge erwirtschaften oder den längsten Produktlebenszyklus erwarten lassen [KRIP75, S. 52-53]. Außerdem können empirische Kundenbefragungen, Wettbewerbs- oder Marktanalysen zu Präferenzen hinsichtlich bestimmter Produkte Aufschluss geben. Ziel solcher Analysen muss eine Gegenüberstellung von einzelnen Produkten eines Sortiments sein, die deutlich macht, bei welchen Produkten aus ökonomischer Sicht noch am ehesten Fehlmengenkosten in Kauf genommen werden können [SCHM77, S. 94-96].

Ein weiterer Aspekt soll an dieser Stelle etwas näher beleuchtet werden, der ebenfalls in diesem Kontext von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist – der Nachfrageverbund. Ein Nachfrageverbund liegt dann vor, wenn seitens eines Nachfra-

gers das Verlangen besteht, einen möglichst hohen Teil seiner Nachfrage bei lediglich einem Anbieter durch eine Kauftransaktion zu befriedigen [ENGE76, S. 81-84]. Gründe für dieses, insbesondere in der Investitionsgüterbranche recht häufig vorzufindende Verhalten sind einerseits auf der Kostenseite zu suchen, wo u.a. Informationsbeschaffungs-, Prozess- und Auftragsabwicklungskosten zu nennen sind. Auf der anderen Seite werden Investitionsgüter beim Kunden häufig für eine identische Anwendung (z.B. Maschinen, Windkraftanlagen) benötigt, sodass es für ihn aus vielerlei, meist kommerziell getriebenen Gründen (z.B. Rabatte, Boni) oder sogar aus rechtlichen Überlegungen (z.B. Gewährleistung, Risikominimierung) heraus mit vielen Vorteilen verbunden ist, bei nur einem Anbieter seine kompletten Bedarfe nachzufragen. Durch eine gezielte Sortimentsanalyse, die solche Verbundeffekte mit ins Kalkül zieht, und durch eine Berechnung bzw. Abschätzung von Fehlmengenkosten, können wertvolle Daten gewonnen werden, die es den Unternehmen ermöglichen, ein marktgerechtes Produktsortiment und eine kostenoptimale Lieferservicepolitik (siehe Abschnitt 5.3) zu definieren.

Eine weitere Einschränkung bei der Ermittlung von Fehlmengenkosten bei Mehrproduktunternehmen betrifft die zeitliche Wahrscheinlichkeitsverteilung der Nachfrage, insbesondere dann, wenn Verbundbeziehungen zwischen einzelnen Produkten zu beobachten und konkrete Nachfragemengen nur mit hohen Abweichungen prognostizierbar sind. Aus theoretischer Sicht lässt sich die Nachfrage des Kunden B_k zum Zeitpunkt t durch eine $\bar{\varepsilon}$ -dimensionale Wahrscheinlichkeitsverteilung wie folgt ermitteln [SCHM77, S. 98]:

$$(4.42) f_{kt} = (y_{P_1}, \dots, y_{P_{\bar{\varepsilon}}})$$

Massiv erschwert werden die Probleme der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Nachfrage zusätzlich noch in solchen Fällen, in denen die Möglichkeit einer Substitution, vereinfacht formuliert, von Produkt a durch Produkt b besteht. Sind sogar mehrere Produkte eines Sortiments (untereinander) substituierbar, kann die Komplexität derart zunehmen, dass eine Standardisierung von Rechenergebnissen durch den immensen zeitlichen und programmiertechnischen Aufwand faktisch nicht mehr möglich ist. In solchen Fällen sind sicherlich die Grenzen der Möglichkeiten zur Bestimmung von Fehlmengenkosten erreicht.

Im Ergebnis der oben genannten Ausführungen lassen sich die konzeptuellen Einschränkungen bei der Quantifizierung von Fehlmengenkosten bei Mehrprodukt- gegenüber Einzelproduktunternehmen wie folgt zusammenfassen:

- Auftragsorientierte Quantifizierung der Fehlmengenkosten aufgrund der Nachfragekombinationsmöglichkeiten
- Zusätzliche Annahmen über das Abnehmerverhalten bei lieferunfähigen Nachfragekombinationen
- Produkt- und kundenspezifische Sortimentsanalysen
- Berücksichtigung von Nachfrageverbundeffekten
- Quantifizierung von mehrdimensionalen Wahrscheinlichkeitsverteilungen im Zeitablauf

4.4 Zusammenfassung und kritische Würdigung

Eilon und Schwartz waren die ersten Verfasser, die eine Quantifizierung von Goodwill-Verlusten bei stochastischer Nachfrage auf Basis kundenindividueller Kostenerwartungswerte modellhaft entwickelt haben. Diese Kostenerwartungswerte lassen sich im Vergleich zu anderen Fehlmengenkostenarten nur dann realitätsnah abschätzen, sofern verlässliche Daten über die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Nachfrage sowie des Kundenverhaltens bei Lieferunfähigkeit des Unternehmens vorliegen.

Basis beider Ansätze ist die Annahme, dass der Enttäuschungsfaktor maßgeblichen Einfluss auf den Erwartungswert der Nachfrage in einer Folgeperiode (Eilon) bzw. in allen zukünftigen Perioden (Schwartz) ausübt. Im Kontext der vorliegenden Arbeit ist die Schwartz'sche Annahme einer unendlichen Vergessensperiode als wesentlich aussagekräftiger zu bezeichnen, als die Annahme einer periodenbezogenen, endlichen Vergessensperiode wie bei Eilon. In der Praxis ist jedoch die Hypothese über die Länge der Vergessensperiode von vielerlei Faktoren abhängig (z.B. Anzahl der Marktteilnehmer, Marktstruktur, Markentreue, Dauer der Nachlieferzeit), sodass eine exakte Prognose über die Dauer der Vergessensperiode, selbst auf Basis empirischer Daten, faktisch nicht oder nur kaum möglich ist. Des Weiteren sind beim Eilon'schen Ansatz die Prämissen sehr kritisch zu hinterfragen, die auf der einen Seite unterstellen, dass sich der Lieferbe-

reitschaftsgrad lediglich auf eine vom Unternehmen festzulegende Periode bezieht und die nachgefragte Menge noch in derselben Periode t ausgeliefert werden muss, und andererseits, dass sich die Zusatzkosten je Lagerauffüllung, unabhängig von der Höhe der wiederaufgefüllten Menge, nicht verändern [EILO65, S. 72].

Zusammenfassend bleibt positiv festzuhalten, dass sowohl Eilon als auch Schwartz als zentralen Einflussfaktor den zeitlichen Aspekt sowie eine Konstanz und Kongruenz im Verhalten der enttäuschten Kunden im Zeitablauf berücksichtigen. Schwartz geht jedoch im Rahmen seiner Dissertation auf die Möglichkeit der Überlagerung von Vergessensperioden ein. Hieraus entstehen zwar kompliziertere Rechenmodelle bei der Bestimmung der Periodennachfrageerwartungswerte, insgesamt ergeben sich dadurch realitätsnähere Lagerhaltungsmodelle und –strategien. Diese lassen sich durch einen funktionalen Zusammenhang zwischen dem Nachfrageerwartungswert einer Periode und dem Lieferbereitschaftsgrad der Vorperiode bzw. dem Enttäuschungsfaktor abbilden. Von zentraler Bedeutung bleibt die Forderung nach einer umfassenden Kenntnis der bedarfspunktspezifischen Verhaltensweisen, welche die Höhe der Goodwill-Verluste bestimmt, da eine Festlegung der bedarfspunktspezifischen Liefermengenstrategie erst nach Umsetzung der zufälligen Bedarfspunktnachfrage erfolgt [SCHM77, S. 70].

Im Vergleich zu Eilon und Schwartz unterliegen dem Konzept von Chang und Niland im Wesentlichen folgende Restriktionen:

- I. Die Prämissen sind im Kern durch die Modelle von Schwartz und Eilon bereits abgedeckt. Hierzu ist insbesondere die Annahme abnehmender Kaufbereitschaft bei zunehmender Häufigkeit von Nichtbelieferungen zu zählen, die der Theorie der Vergessensperiode von Schwartz entspricht.
- II. Die Annahme einer konstanten und endlichen Vergessensperiode ist, selbst bei mehrfachen Nichtbelieferungen, unter vielerlei Gesichtspunkten als unrealistisch zu bezeichnen.
- III. Die empirische Analyse des Kundenverhaltens bei Nichtlieferung bezieht sich lediglich auf ein Erzeugnis der Metallwarengroßhandlung. Positive Wirkungen auf die Kaufbereitschaft und die Vergessenheitsperiode von Kunden bleiben unberücksichtigt, sofern andere Artikel aus der Großhandlung sofort verfügbar sind und ebenfalls abgesetzt werden können.

- IV. Die Prämisse, dass nur ein Kunde als Abnehmer dieses Artikels in Frage kommt, führt zu der hohen Wahrscheinlichkeit, dass ein Kunde mehrfach von Nichtlieferungen betroffen sein kann. Würden mehrere Kunden diesen Artikel nachfragen, wäre diese Wahrscheinlichkeit wesentlich geringer und Präferenzen hinsichtlich bestimmter Kunden könnten daraus gebildet werden.
- V. Der mit der Entwicklung und Berechnung der erforderlichen Entscheidungsbäume verbundene Rechenaufwand ist von ausgeprägter Komplexität und mit erheblichem zeitlichem Aufwand verbunden.

Aufgrund dieser Einschränkungen muss das Konzept von Chang und Niland aus Praxissicht als wenig realitätsnah und als nicht relevant für die Problemstellung der vorliegenden Arbeit charakterisiert werden.

Die Ansätze von Reichmann und Gudehus werden dem zu behandelnden Thema ebenfalls nicht gerecht. Reichmann geht in seinen Prämissen zwar von der Abnahme der Fehlmengenkosten bei steigender Lieferbereitschaft – Gudehus spricht stattdessen von Risikokosten – und von steigenden Lagerhaltungskosten für einen Sicherheitsbestand aus, die bereits in den Annahmen von Alscher/Schneider für ein Fertigwarenlager in einem polypolistischen Marktumfeld enthalten sind. Beide Verfasser gehen jedoch nicht auf eine notwendige Berechnung bzw. Validierung ihrer Annahmen ein. Reichmann verweist lediglich darauf, dass das Controlling die Daten für zukünftige Bedarfsmengen und Fehlmengenkosten bereitzustellen hat, während Gudehus unter der Prämisse bekannter Fehlmengenkosten die Bestimmung des Minimums der Risikokosten durch eine kostenoptimale Lieferfähigkeit ermitteln lassen will, die er zwar im Einzelfall als umständlich bezeichnet, dadurch aber eine meist recht willkürliche Festlegung der Lieferfähigkeit durch den Vertrieb oder die Unternehmensleitung objektiviert werden könne.

Beim Entwurf von Alscher/Schneider ist zum einen kritisch die Kernannahme eines mengenproportionalen Fehlmengenkostensatzes bei allen drei betrachteten Servicegraden zu hinterfragen. Andererseits deckt die Annahme, dass Bestellungen nur dann aufgegeben werden sollen, sofern der disponible Lagerbestand auf einen bestimmten Bestellpunkt gefallen ist [ALSC82, S. 262], nicht eine Kernforderung der vorliegenden Arbeit ab, die berücksichtigt, dass innerhalb eines Lieferzyklus ständig stochastischer Bedarf auftreten kann. Außerdem soll angenom-

men werden, dass die Nachfragevarianz begrenzt sein soll und sporadische Bedarfe von der Betrachtung ausgeschlossen werden. Zur Grundsatzkritik, generell Lieferbereitschaftsgrade ggü. erlaubten Fehlmengenkosten vorzugeben, bleibt entgegenzuhalten, dass durch diese Sichtweise das Problem der Ermittlung von Fehlmengenkosten lediglich abgewälzt, aber nicht zufriedenstellend gelöst werden kann. Positiv bleibt zu vermerken, dass die beiden Verfasser die Entwicklung von Deckungsbeiträgen in Abhängigkeit des Lebenszyklusses sowie der Nachfrageintensität thematisieren sowie positiven Wirkungen auf den Deckungsbeitrag bei der Berücksichtigung von Lagerkosten in die variablen Kosten miteinfließen lassen. Außerdem sind die Denkanstöße Pro/ Contra Fehlmengenkostenermittlung zu Lieferbereitschaftsgradvorgabe als eine durchaus hilfreiche Ergänzung der Diskussion zu verstehen.

Im Konzept von Schmid bleibt einschränkend festzuhalten, dass er sich bei seinen Modellen auf Grundzüge der Konsumgüterbranche stützt, u.a. ein Einproduktunternehmen betrachtet und lediglich eine Standardnormalverteilung der Nachfrage voraussetzt. Weiterhin sind restriktiv bestimmte Modellannahmen wie z.B. identische entgangene Gewinne je Mengeneinheit und die gleichbleibende Lagerkapazitäten des logistischen Strukturnetzes [SCHM77, S. 164] sowie fehlende Kosten für Kapitalbindungskosten zu sehen. Würdigend muss erwähnt werden, dass Schmid als einziger Verfasser die Wirkungen unterschiedlich hoher Kosten von Goodwill-Verlusten auf den optimalen Lieferbereitschaftsgrad je Auslieferungslager diskutiert, rechnerisch ermittelt und tabellarisch darstellt.

Im Ansatz von Wahl ist – ähnlich wie bei Alscher/Schneider – die Annahme linear verlaufender Fehlmengenkostenfunktionen als unrealistisch zu bezeichnen. Wahl gelingt zwar im Rahmen seines Optimierungsmodells diese Linearität grundsätzlich zu widerlegen, er geht jedoch nicht auf eine notwendige, inhaltliche Detaillierung sowie den möglichen Beitrag einzelner Fehlmengenkostenarten zu dessen Gesamthöhe ein. Das größte Defizit in dem Wahl'schen Modell ist darin zu sehen, dass er einzelne Formen von Fehlmengenkosten nicht isoliert voneinander betrachtet und sie ggfs. singular quantifiziert, sondern diese lediglich aus einer Gesamtperspektive heraus beleuchtet. Auf der anderen Seite bleibt die zweifelsfreie Belegung der Hypothese ansteigender Fehlmengenkostensätze sowohl bei den in der Praxis geläufigsten Servicegraden (α -Servicegrades oder β -Servicegrades) als auch unter Berücksichtigung verschiedener, wichtiger Inputparameter und deren

Wirkungsweisen auf die Fehlmengenkostenhöhe als wichtige und bislang wissenschaftlich nicht belegte Erkenntnis festzuhalten.

Botta liefert mit seinem Ansatz, einen Bestellmengenkorrekturfaktor in der Disposition zu berücksichtigen, einen wertvollen Beitrag, fehlmengenbedingte Kosten der Fertigung in den Blickpunkt zu rücken, da alle anderen Verfasser bislang diese Thematik aus Sicht der Distributionslogistik aus ihren Betrachtungen ausgeblendet haben. Es bleibt jedoch die Aufgabe zu lösen, dass Fehlmengen in vielen Fällen nicht vorhersehbar sind und daher die Berücksichtigung eines solchen Korrekturfaktors mit einem Unsicherheitsfaktor belegt ist, der im ungünstigen Fall zu einer Erhöhung der Lagerbestände führen kann, sollten über mehrere Perioden hinweg keine Fehlmengen anfallen.

Betrachtet man die Vorzüge und Defizite aller ausgeführten Konzepte, so bleibt zusammenfassend festzuhalten, dass die Erkenntnisse von Schmid hinsichtlich des nachgewiesenen, konvexen Verlaufs der Fehlmengenkostenfunktion und bei Schwartz hinsichtlich der Berücksichtigung eines Enttäuschungsfaktors und dessen Wirkung auf zukünftige Nachfrageintensitäten als wertvollste Beiträge zur Lösung der vorliegenden Problemstellung angesehen werden können. Die Beiträge von Schmid und Schwartz eröffnen darüber hinaus die Möglichkeit, anhand von Berechnungen und Simulationen komplexe Risikoanalysen durchzuführen, mit der Zielsetzung, ob und inwieweit Änderungen einzelner Parameter (z.B. Herstellkosten, Bedarfsschwankungen, Transportkosten) eines einzelnen Kunden sich insgesamt auf die Fehlmengenkostensätze der gesamten Bedarfsperiode bzw. des Distributionskanals modellhaft auswirken. Break-Even-Werte könnten so ermittelt werden, in dem beispielsweise Investitionen in Bestände unter Berücksichtigung einer spezifischen Umschlagshäufigkeit auf deren finanziellen Nutzen hin untersucht werden.

5 Quantitative Analyse eines kostenoptimalen Lieferservices am Beispiel eines ausgewählten Distributionsmodells der Investitionsgüterindustrie

Nachdem im vorherigen Kapitel 4 die Modelle zur Quantifizierung von Fehlmengenkosten analysiert und die für die vorliegende Ausarbeitung relevanten Fehlmengenkosten herausgearbeitet wurden, soll nun in dem folgenden Abschnitt 5.1 die quantitative Betrachtung einer kostenoptimalen Lieferservicestrategie für ein fiktives Unternehmen der Investitionsgüterindustrie festgelegt werden. Dazu werden in einem ersten Schritt die notwendigen, theoretisch fundierten Rahmenbedingungen diskutiert.

5.1 Rahmenbedingungen

5.1.1 Investitionsgüter

Im Kontext des vorliegenden Modells soll in komprimierter Form zunächst ein kurzer Abriss über die Typologie von Investitionsgütern gegeben und anschließend eine begriffliche Präzisierung des hier beschriebenen Gutes vorgenommen werden. Bereits Ende der 60er Jahre wurde folgende Warentypologien entwickelt, nach denen Investitionsgüter als Güter mit einer langfristigen Verwendungsdauer bezeichnet und zu Produktionszwecken beschafft werden [NOCH95, S. 3], was Tabelle 7 veranschaulicht:

Tabelle 7: Gütersystematik nach Verwendungszweck und Verwendungsdauer [EICH90, S. 19]

Verwendungs- zweck Verwendungs- dauer	Konsumtiv	Produktiv
Kurzfristig	Konsumgut	Produktionsgut
Langfristig	Gebrauchsgut	Investitionsgut

Eine weitere Verfeinerung nimmt Backhaus vor, indem er Investitionsgüter in Produktgeschäft, Zuliefergeschäft, Systemgeschäft und Anlagengeschäft klassifiziert [BACK07, S. 202-203]. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll daher das betrachtete Investitionsgut als ein klassisches Zuliefergeschäft eines Anbieters verstanden werden, bei welchem Erstausrüsterkunden das Gut als Komponente weitgehend unverändert einbauen [OBER09, S. 19]. Ein wesentliches Merkmal des Zuliefergeschäftes ist die in aller Regel enge Vernetzung der Entwicklungsabteilung des Zulieferers mit dem Erstausrüster, um Komponenten speziell und gemäß genauer Vorgaben des Abnehmers zu entwickeln.

Viele Investitionsgüter sind aufgrund ihrer Komplexität und verbunden mit der Tatsache, dass sie nicht täglich beschafft werden, in aller Regel erklärungsbedürftig. Dies bedingt zum einen, dass erklärungsbedürftige Investitionsgüter im Allgemeinen mit einem hohen Investitionsvolumen verbunden sind, was gleichzeitig ein hohes Investitionsrisiko darstellt. Das bedeutet, dass Fehlentscheidungen in Form von Fehlinvestitionen einen hohen betriebswirtschaftlichen Schaden verursachen können [MAAS13, S. 1]. Andererseits ist auf der Käuferseite das Konzept des sog. Buying-Centers charakteristisch für das Zuliefergeschäft. Bei einem Buying-Center setzen sich die Kaufentscheider aus verschiedenen Abteilungen zusammen (z.B. Forschung & Entwicklung, Einkauf, Geschäftsleitung). Die dadurch bedingten Entscheidungszeiträume von durchschnittlich 14 Wochen bei Neuanschaffungen sind daher nicht verwunderlich [THIE82, S. 17].

5.1.2 Ersatzteilmarkt

Neben einem OEM-Absatzmarkt (OEM: Original Equipment Manufacturer) besteht i.d.R. ein Ersatzteilmarkt für auszutauschende Teile, der auch als MRO-Markt (MRO: Maintenance, Repair, Operations) bezeichnet wird. Bei der Bedienung des Ersatzteilmarktes geht es dabei um die Vermarktung von Zulieferprodukten auf den nachgelagerten Endverbrauchermarkt, wobei hier die Belieferung mit Originalteilen bei Reparaturen bzw. Austausch bestehender Endprodukte im Vordergrund steht. Obwohl der OEM- und MRO-Markt teilweise voneinander abhängen, sind bei der Bearbeitung des Ersatzteilmarktes grundsätzlich andere Marktbedingungen zu beachten, da es sich bei Ersatzteilmärkten in aller Regel um

anonyme Märkte handelt [BACK10, S. 493], die häufig über ein- bis mehrstufige Handelskanäle bedient werden.

Das Bedarfsverhältnis zwischen OEM- und MRO-Bedarf hängt im Wesentlichen von Art und Intensität der Beanspruchung des Gutes während der Nutzungsdauer ab. Im Großanlagenbau kann in einigen Fällen ein bis zu fünffach höherer Ersatzteilbedarf im Verhältnis zum Erstausrüstungsbedarf gegenüberstehen. Die Begründung liegt darin, dass solche Güter (z.B. Maschinenelemente wie Wälzlager) in aller Regel für eine Mehrfachnutzung vorgesehen sind, die an die Gesamtnutzungsdauer einer Anlage angelehnt sind.

Bei der Quantifizierung der Kosten eines verlorenen Kunden muss darauf geachtet werden, dass sie sich nicht nur auf den Reingewinn der stochastischen Nachfrage bezieht, sondern in gleicher Weise die zu erwartende Ersatzteilmachfrage im gleichen Zeitraum mitberücksichtigt. Als Fazit kann festgehalten werden, dass die Einbeziehung eines Ersatzteilmachfaktors eine wichtige Weiterentwicklung bei der Fehlmengenkostenbetrachtung auf Einzelkundenebene im Falle von Goodwill-Verlusten oder endgültigem Kundenverlust darstellt.

5.1.3 Kapitalbindungskosten

An anderer Stelle der Arbeit (siehe Abschnitt 2.2.2) wurde bereits mehrfach auf eine zentrale Zielsetzung des wertorientierten Bestandsmanagements hingewiesen, die eine Reduktion von Fertigwarenbeständen auf ein Niveau fordert, auf dem einerseits eine bestimmte Lieferbereitschaft aufrechterhalten werden kann, auf der anderen Seite aber auch ein möglichst geringes Bestandsniveau angestrebt wird, um die mit der Lagerhaltung zwangsläufig anfallenden Kosten der Kapitalbindung möglichst niedrig zu halten. Aus Sicht der Fertigungslogistik betreffen solche Kapitalbindungskosten für beschaffte Artikel nicht den fehlenden Artikel selbst, sondern alle anderen Artikel eines Montageauftrages, die aufgrund des fehlenden Artikels nicht weiterbearbeitet werden können. Die Konsequenz einer fehlmengenbedingten Verzögerung der Lieferung eines Produktes an den Kunden besteht darin, dass sich auch der mit vereinbartem Liefertermin korrespondierende Zahlungstermin des Kunden für das herzustellende Produkt verschiebt. Zu bewerten ist hinausgehend über den Wert der Artikel (Materialkosten) die eingebrachte

Wertschöpfung (Fertigungskosten) einschließlich Gemeinkostenzuschlägen in Form der Herstellkosten [GÄRT11, S. 44].

Aus distributionslogistischer Perspektive werden Kapitalbindungskosten durch Multiplikation des Kapitalbindungskostensatzes mit den mittleren Herstellkosten des betrachteten Produktes ermittelt, womit gilt:

$$(5.1) K_{ij} = k_{ij} \cdot C_M$$

Es gilt: K_{ij} = Kapitalbindungskosten (GE)

k_{ij} = Auf Bezugsperiode normierter Kapitalbindungskostensatz
(1/ZE)

C_M = Herstellkosten (ME)

In der wissenschaftlichen Diskussion werden die Kapitalbindungskosten den Bestandskosten zugeordnet, worüber grundsätzlich Einigkeit besteht, unabhängig davon, ob Fertigwaren-, Halbfertigwaren oder Rohmaterialien betroffen sind. Aus Sicht der Distributionslogistik jedoch werden Kapitalbindungskosten in den bisher bekannten Modellen (siehe Abschnitt 4.1) nicht berücksichtigt, was aus folgenden Überlegungen heraus kritisch zu hinterfragen ist:

- Bei stochastischer Nachfrage werden im Falle einer Bedarfsunterdeckung in den betrachteten Perioden Fehlmengenkosten ermittelt, die den Bestandskosten mit dem Ziel einer kostenoptimalen Definition eines Lieferbereitschaftsgrades gegenübergestellt werden.
- Im Falle einer Bedarfsüberdeckung bei ebenfalls stochastischem Nachfrageverlauf in den betrachteten Nachfrageperioden fallen zwangsläufig Kapitalbindungskosten an, die bislang modelltheoretisch jedoch keine Berücksichtigung fanden.

Konsequenz hieraus ist, dass Kapitalbindungskosten in Bestandskosten integriert werden müssen, aber auch kostentechnisch in solchen Fällen berücksichtigt werden müssen, sollte beispielsweise der am Ende einer Betrachtungsperiode verfügbare Lagerbestand größer als die Nachfrage in derselben Periode sein. Bei dieser Konstellation wirken Kapitalbindungskosten erlösschmälernd. Diese wissenschaftliche Lücke muss daher geschlossen werden, um eine ausreichende Berücksichtigung der Kapitalbindungskosten in den Bestandskosten zu gewährleisten. Daher sollen die oben genannten Überlegungen in die Modellierung des Praxisbeispiels (siehe Abschnitt 5.2) miteinfließen.

5.1.4 Servicegrad

Bevor auf den Servicegrad und seine Bedeutung für die Zielsetzung des vorliegenden Kapitels näher eingegangen wird, soll zunächst eine präzise begriffliche Einordnung in die Problemstellung der Arbeit vorgenommen werden. Aus Sicht der Distributionslogistik gibt der Servicegrad an, welcher Anteil der aus einem Lager abgerufenen Waren sofort und in vollem Umfang bereitgestellt werden kann [GÄRT11, S. 14]. Er stellt somit den Quotienten aus der um kumulierte Fehlmengenkosten reduzierten Bedarfsanforderungen und der Gesamtzahl der Bedarfsanforderungen einer Bezugsperiode dar, was formell wie folgt ausgedrückt werden kann [REIC11, S. 370]:

$$(5.2) \text{ Servicegrad} = \frac{\text{Anzahl termingemäß ausgelieferter Bedarfsanforderungen}}{\text{Gesamtzahl der Bedarfsanforderungen}} \cdot 100$$

Im Rahmen einer weiteren, begrifflichen Verfeinerung soll bereits an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass der Begriff des Servicegrades als einheitliche Ausgangsgröße an der Schnittstelle zwischen Lagerlogistik und Produktionslogistik verwendet werden soll und zudem synonym zum Begriff des Lieferbereitschaftsgrades zu verstehen ist. Aufgrund dieser Betrachtung wird auf eine weitere Detaillierung, beispielsweise hinsichtlich eines gewichteten Servicegrades, welcher die Gewichtung von Lagerentnahmeaufträgen mit ihren jeweiligen Mengen ausdrückt, verzichtet, da diese in der wissenschaftlichen Diskussion einen fertigungs- bzw. materiallogistischen Bezug herstellen. In diesem Fall sei auf die Arbeit von Lutz [LUTZ00, S. 46-70] verwiesen. Des Weiteren ist der Servicegrad auf der einen Seite vom Begriff der Lieferfähigkeit abzugrenzen, der die Fähigkeit ausdrückt, einen gewünschten Liefertermin zusagen zu können und andererseits vom Begriff der Liefertreue, der seinerseits die Verfügbarkeit von Material in den drei Dimensionen Termin-, Mengen- und Artikelqualität als hochaggregierte Kennziffer misst [GÄRT11, S. 14].

Die Kennzahl Servicegrad kann zum einen als Plangröße ermittelt und zum anderen als Kontrollgröße für zukünftige logistische Prozesse festgelegt werden. Wird der Servicegrad ex-ante bestimmt, so wird gleichzeitig über die Höhe entsprechender Lagerkosten, die Höhe von Sicherheitsbeständen sowie die Eintrittswahrscheinlichkeit von Fehlmengen implizit entschieden [SZER88, S. 20]. Kann ein Servicegrad, bspw. aus marktpolitischen Gründen, nicht beeinflusst werden, so

muss es das Ziel sein, den vorgegebenen Servicegrad zu minimalen Kosten zu realisieren. Ist hingegen der Servicegrad für den Bereich der Unternehmenslogistik eine beeinflussbare bzw. veränderbare Größe, so ist es das Ziel, den optimalen Servicegrad zu ermitteln [REIC11, S. 370]. Eine Erhöhung des Servicegrades durch ein höheres Bestandsniveau ist auf den ersten Blick als eine wesentliche Zielsetzung des Bestandsmanagements aus absatzpolitischer Sicht zu verstehen, die aber konträr zum übergeordneten Ziel der Bestandssenkung bzw. Reduzierung der Kapitalbindung zu interpretieren ist [SIXT05, S. 77].

In der Praxis wird der Servicegrad häufig als eine Managemententscheidung festgelegt, wobei folgende Aspekte berücksichtigt werden [SIXT05, S. 78f.]:

- Verbrauchsstruktur des Artikels
- Lieferantenstruktur des Artikels
- Lagerfähigkeit des Artikels
- Bedeutung des Artikels für die Fertigung bzw. den Absatz
- Kosten des Servicegrades

Häufig versuchen Unternehmen mangels Kenntnis über die Nachfrageverteilung und Fehlmengen(kosten), die Kosten eines zu bestimmenden Servicegrades über die Höhe eines dafür notwendigen Sicherheitslagers abzubilden. Dass diese Schlussfolgerung sehr kritisch zu hinterfragen ist, wird in Abbildung 32 gezeigt:

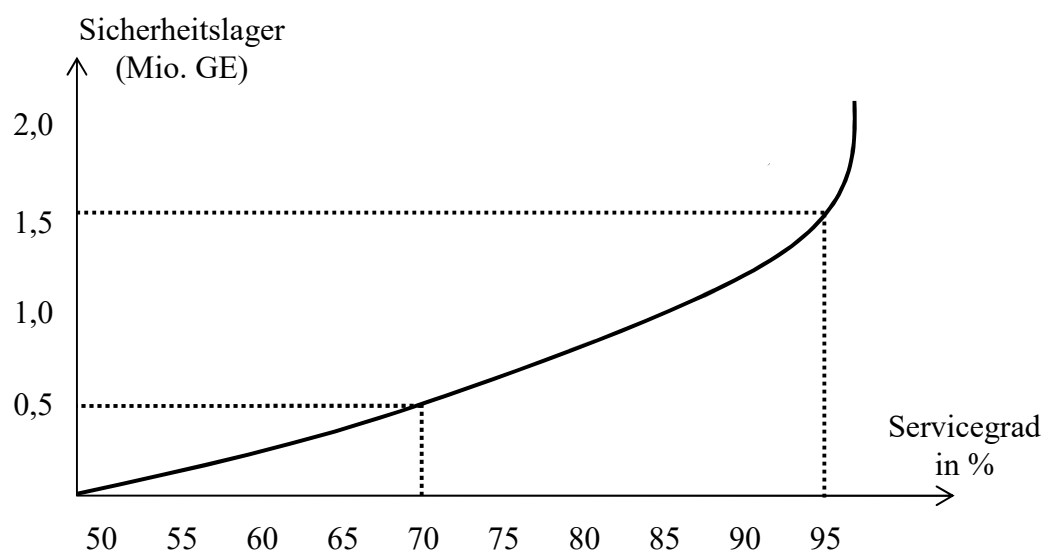


Abbildung 32: Sicherheitslager in Abhängigkeit vom Servicegrad
[KRAL08, S.646]

Sie zeigt auf, dass die Lagerhaltungskosten bei hohem Servicegrad exponentiell ansteigen. Wie der o.g. Funktionsverlauf verdeutlicht, ist ein Sicherheitslager bei einem Servicegrad von 95% auf Einzelartikelebene mehr als dreimal so groß ist als bei einem Servicegrad von lediglich 70% [KRAL08, S. 646]. Diese isolierte Sichtweise auf die Höhe des Servicegrades ohne Berücksichtigung der damit verbundenen Kosten greift jedoch zu kurz. Bei der Bestimmung eines kostenminimalen Servicegrades unter Einbeziehung von Fehlmengenkosten ergibt sich ein veränderter (erhöhter) Verlauf der Logistikkostenfunktion, was folgende Skizze (Abbildung 33) anzeigt:

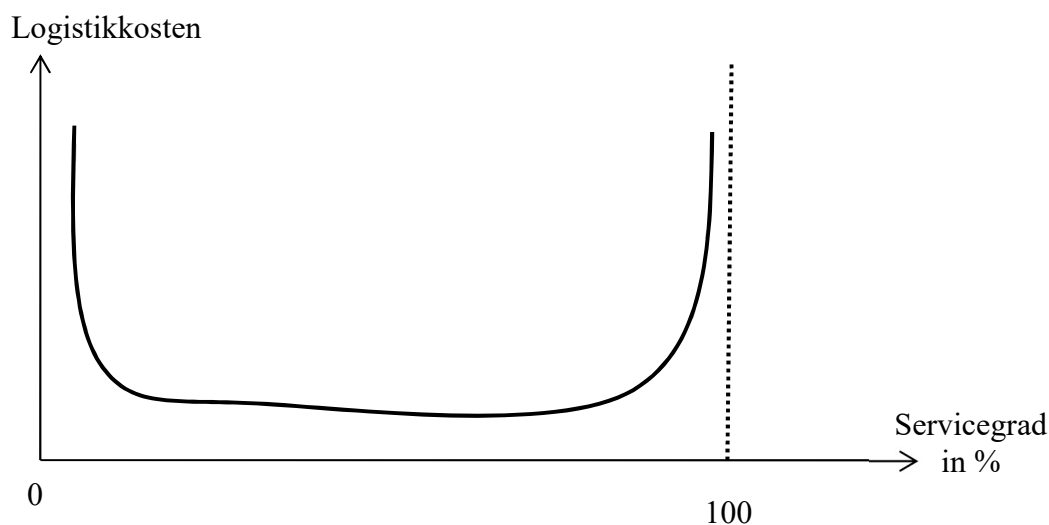


Abbildung 33: Wirkung von Fehlmengen auf den einzustellenden Servicegrad [GÄRT08, S. 838]

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Festlegung eines gewünschten Servicegrades für die verschiedenen Artikel in einem iterativen Prozess durch das Materialmanagement in Abstimmung mit dem Vertrieb vorgenommen werden sollte, indem stets die zusätzlichen Kosten für eine Erhöhung des Servicegrades aufgezeigt werden [SIXT05, S. 70].

5.1.5 Transportkosten

Im Rahmen der Festlegung einer Lieferservicestrategie nehmen die zu erwartenden Kosten eines bestimmten Servicegrades eine zentrale Rolle ein. Wird ein logistisches Strukturnetz als gegeben antizipiert, bspw. hinsichtlich Anzahl und Orte

der Zentrallager, so sind folgende Bestandteile von Lieferservicekosten zu berücksichtigen [WITT74, S. 128]:

- Lagerkosten
- Fehlmengenkosten
- Transportkosten

Nachdem die Quantifizierung von Fehlmengenkosten bereits an anderer Stelle dieser Abhandlung diskutiert wurde (siehe Abschnitt 4.2), ist die Minimierung der Transportkosten eine zentrale Zielsetzung quantitativer Transportmodelle [SCHM77, S. 10]. In aller Regel sind Transportkosten vergleichsweise einfach zu quantifizieren [HESS74, S. 129], da in den klassischen Transportmodellen ein deterministischer Nachfrageverlauf unterstellt wird, in dem eine Belieferung erst nach Realisierung der Kundennachfrage erfolgt. Treten jedoch während der Wiederbeschaffungszeit trotzdem Fehlmengen auf und muss die Lieferzeit unbedingt eingehalten werden, so ist deren Einhaltung nur noch durch eine Verkürzung der Transportwege und schnellere Transportmittel bestimmt [POTH70, S. 50].

Im Beispiel der folgenden Skizze (Abbildung 34) treten im Wiederbeschaffungszeitraum $t_5 - t_8$ (3 Zeiteinheiten) Fehlmengen auf. Will man nun die vereinbarte Lieferzeit von vier Zeiteinheiten für Aufträge, die während der Fehlmengendauer von $t_5 - t_7$ eintrafen, zum Kunden hin unbedingt einhalten, so ist die Einhaltung des vereinbarten Liefertermins ausschließlich durch schnelleren und damit teureren Transport möglich, was sich direkt auf die Höhe der Transportkosten auswirkt. Hieraus leitet Schmid eine Abhängigkeit zwischen Auslieferungszeit und Höhe der Fehlmengenkosten für schnelleren Transport ab, die tendenziell umso höher ist, je früher die Nachfrage innerhalb der Fehlmengendauer auftritt oder je kürzer die noch zur Verfügung stehende Auslieferungszeit ist [SCHM77, S. 47-49].

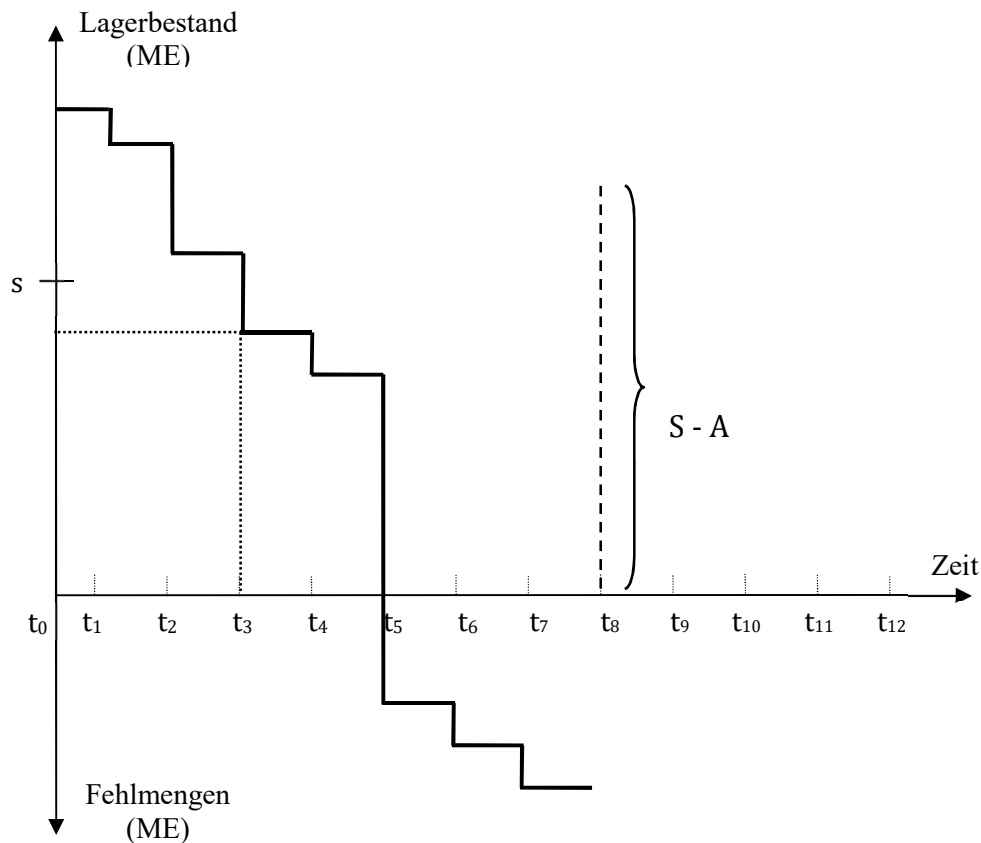


Abbildung 34: (s-S)-Bestellstrategie mit Fehlmengen während der Wiederauffüllzeit [SCHM77, S. 47]

Es gilt: S = Lagerbestand zum Zeitpunkt t_0

s = Meldemenge (Kunde)

A = Lagerbestand unmittelbar nach Unterschreiten der Meldemenge im Zeitpunkt t_3

$S - A$ = Bestellmenge im Zeitpunkt t_3

Im gewählten Distributionsmodell (siehe Abschnitt 5.2) wird u.a. antizipiert, dass die Transportkosten von den Produktionsstätten zu den Zentrallagern und von den Zentrallagern zu den Kunden proportional zur transportierten Menge und im Betrachtungszeitraum konstant sind. Des Weiteren wird angenommen, dass das logistische Struktturnetz die Existenz von Werks- und Zentrallagern vorsieht, die entsprechende Lagerkapazitäten vorhalten, um die Belieferung der Kunden schnellstmöglich sicherzustellen. Die Frage nach der kostenoptimalen Gestaltung solcher Netze ist im Rahmen des übergeordneten Logistikmanagements zu tref-

fen, da die Höhe der Transportkosten – unabhängig des Auftretens von Fehlmen- gen – bei einer direkten Belieferung der Kunden über ein Werkslager kostentech- nisch anders zu bewerten ist, als eine indirekte Belieferung über ein Zentrallager [IHDE01, S. 315]. Abbildung 35 zeigt diesen Zusammenhang.

Ogleich diese restriktiven Annahmen in der betrieblichen Praxis kritisch zu hin- terfragen sind, so liegt der Betrachtungsfokus in dieser Arbeit darauf, eine linear programmierbare und – mit rechentechnisch vertretbarem Aufwand – einfach zu ermittelnde Lösung des Transportproblems mithilfe mathematischer Optimie- rungsverfahren zu erreichen. Zur Lösung des klassischen Transportproblems zäh- len die Simplex-Verfahren [JÁND67, S. 25-32], die sog. Branch-and-Bound- so- wie Branch-and-Cut-Verfahren [DOMS10, S. 6-20], die sich jedoch teilweise als wenig effizient erwiesen haben [DOMS07, S. 99]. Aus diesem Grund soll auf die Möglichkeiten spezieller Algorithmen zurückgegriffen werden, die eine zuverlässige Lösung des beschriebenen Transportproblems liefern [DOMS07, S. 102].

Zur Lösung des Transportproblems soll in dieser Arbeit zunächst auf die Vo- gel'sche Approximationsmethode zurückgegriffen werden, die zu den gebräuch- lichsten und kostengünstigsten Verfahren zählt und einer optimalen Lösung be- reits sehr nahe kommt [KADL68, S. 21]. Die gewonnenen Ergebnisse sollen schließlich durch die sog. modifizierte Distributionsmethode, die zu den exakten Methoden zählt, überprüft und gegebenenfalls verbessert werden [KADL68, S. 33].

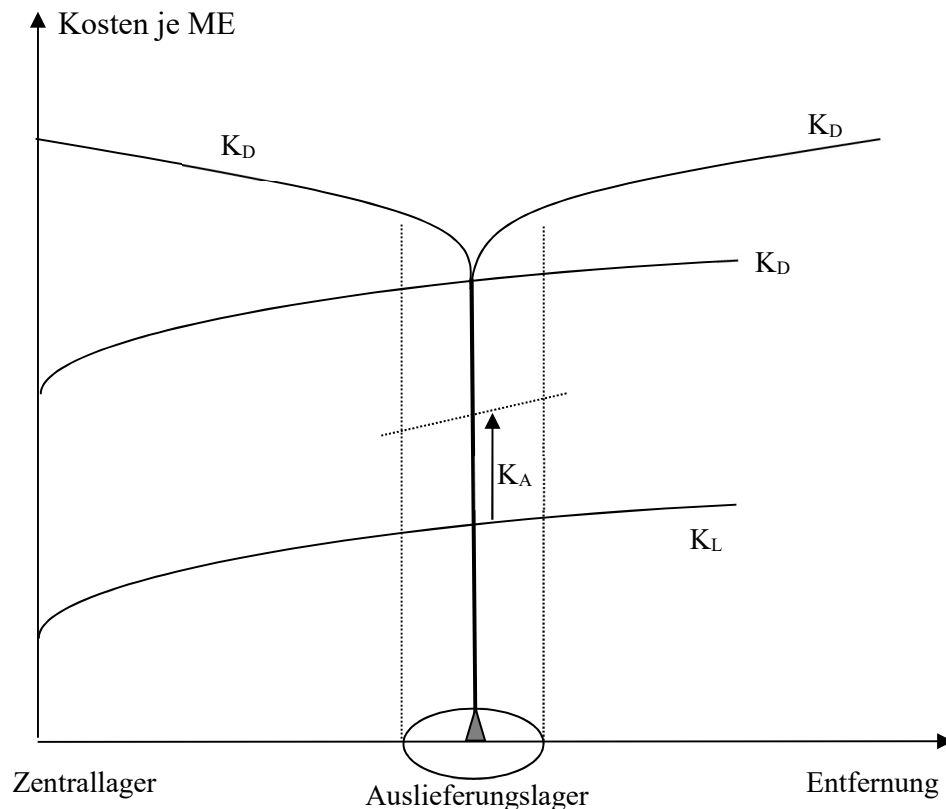


Abbildung 35: Transportkosten bei direkter und indirekter Warenverteilung
[IHDE01, S. 315]

Es gilt: K_L = Transportkosten im Ladungsverkehr (Lagerbeschickung)

K_D = Transportkosten im Stückgutverkehr (Direktbelieferung)

K_A = Zusätzliche Kosten des Auslieferungslagers

5.1.6 Wechselkosten

In vielen Sektoren der Investitionsgüterindustrie ist zu beobachten, dass vor der eigentlichen Kaufentscheidung ein umfassender Selektionsprozess unter Berücksichtigung vieler, objektiver und subjektiver Einflussgrößen seitens des Käufers stattfindet, mit dem Ziel, eine Vielzahl künftiger, meist technisch begründeter Risiken in der geplanten Nutzungsdauer dieses Produktes im Vorfeld weitestgehend auszuschließen. Davon können Güter wie beispielsweise spezifische Maschinenelemente betroffen sein, die aufgrund technischer Rahmenbedingungen in vielen Fällen einen beträchtlichen Einfluss auf die geplante Nutzungsdauer einer Anlage (z.B. Papiermaschine, Windkraftanlage) ausüben können. Dem Erwerb solcher

Komponenten geht daher in aller Regel ein zeit- und kostenintensiver Entwicklungs- und Selektionsprozess voraus, bis es nach der Lieferung von Prototypen und Vorserien zu einer Serienfertigung kommt. Treten während des Entwicklungsprozesses Störungen auf, so kann ein Zulieferwechsel bereits in diesem Zeitraum große technische Risiken für den Anlagenbauer beinhalten. Diese Risiken können einen möglichen kommerziellen Nutzen (z.B. Preisvorteil, kontrahierungspolitische Bedingungen) nicht nur zunichte machen, sondern diesen bei weitem übersteigen. Als Folge dieses ressourcenintensiven Auswahlprozesses unter verschiedenen Anbietern kann sich daher ein Nachfrager in seinem zukünftigen Bedarfsverhalten an einen spezifischen Anbieter binden, da die Kosten eines Wechsels zu einem Konkurrenten beträchtliche Ausmaße annehmen können (z.B. Entwicklungskosten durch Neuberechnung, Neukonstruktion). Diese Kosten werden im Allgemeinen als Wechselkosten bezeichnet, die als die wahrgenommenen, ökonomischen und psychologischen Kosten eines Anbieterwechsels definiert werden können [JONE02, S. 441] und als eine wesentliche Determinante der Kundenbindung gelten [BLUT08, S. 26].

Aus Sicht der Distributionslogistik rücken Wechselkosten dann ins Blickfeld, wenn auf Anbieterseite trotz Nachliefermöglichkeit in zunehmendem Maße Nichtbelieferungen auftreten, welche die Wahrscheinlichkeit eines endgültigen Kundenverlustes erhöhen. In diesen Fällen kann man im Hinblick auf Wechselkosten im Normalfall folgenden Funktionsverlauf (Abbildung 36) unterstellen:

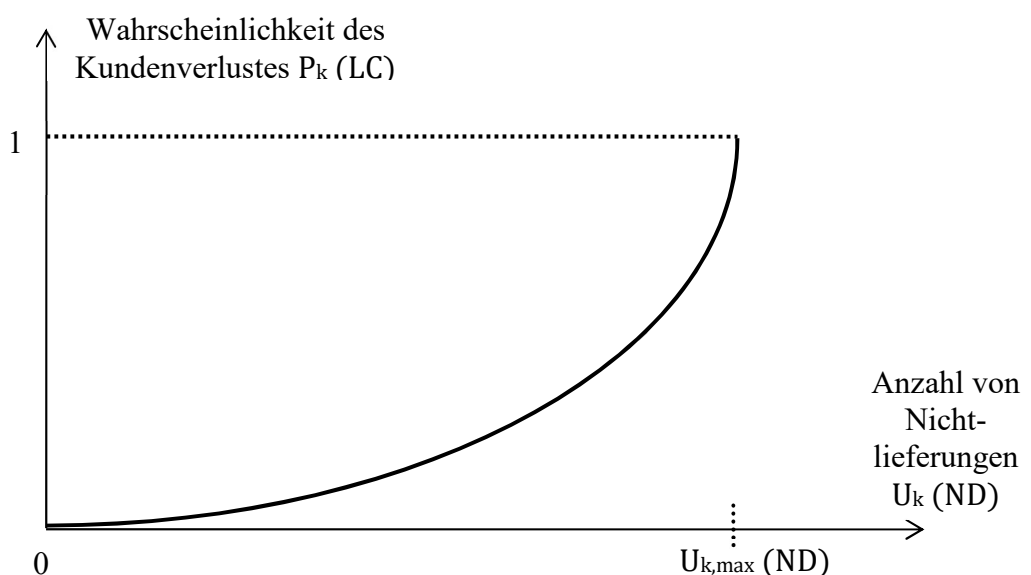


Abbildung 36: Wahrscheinlichkeit eines Kundenverlustes bei durchschnittlichen Wechselkosten

Sind die Wechselkosten für einen Kunden jedoch vergleichsweise hoch, so kann vereinfachend folgender Funktionsverlauf (Abbildung 37) unterstellt werden:

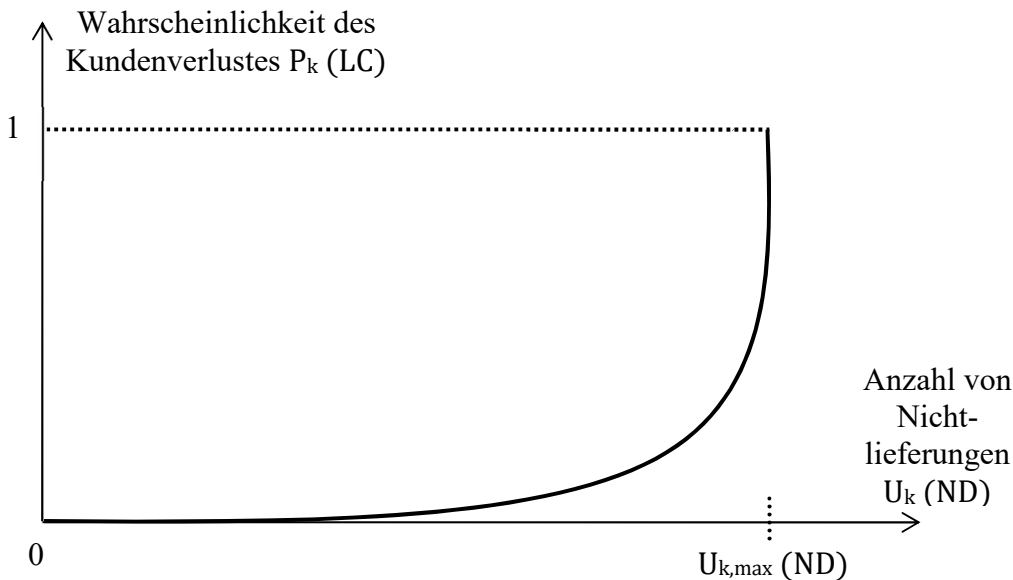


Abbildung 37: Wahrscheinlichkeit eines Kundenverlustes bei hohen Wechselkosten

Aufgrund der Problematik bei der Modellierung und Quantifizierung von Wechselkosten soll im Rahmen dieser Arbeit vereinfachend von durchschnittlichen Wechselkosten ausgegangen werden.

5.2 Modellierung eines praxisnahen Modells

In diesem Abschnitt wird ein praxisnahes Modell zur Bestimmung einer kostenoptimalen Lieferservicestrategie in Anlehnung an die Erkenntnisse von Schmid aus dem Jahr 1977 [SCHM77, S. 100-108] mit einigen Modifikationen vorgestellt. Die Parameter und Prämissen werden auf die spezifischen Anforderungen der Investitionsgüterindustrie hin neu entwickelt bzw. modifiziert.

- I. Der Planungszeitraum/ Betrachtungszeitraum besteht aus T gleichlangen Perioden, welche mit t bezeichnet werden, d.h. $t = 1, \dots, T$.

- II. Der Betrachtungszeitraum T ist in L gleichlange Lieferzyklen unterteilt ($l = 1, \dots, L$). Jeder Lieferzyklus besteht dabei aus R Perioden, die mit t_{rl} bezeichnet werden, wobei $r = 1, \dots, R$. Somit ergibt sich die Beziehung

$$(5.3) L = \frac{T}{R}$$

- III. Das betrachtete Unternehmen ist ein Investitionsgüterproduzent, welcher lediglich ein Investitionsgut fertigt. Die mittleren Herstellkosten werden mit k_p und der Kaufpreis mit p bezeichnet. Logistische oder vertriebsrelevante Hindernisse, die im Planungszeitraum den Absatz des Produktes im Markt behindern oder ausschließen könnten, bestehen dabei nicht. Das Investitionsgut besitzt eine mittlere Lebensdauer von d Lieferzyklen.

- IV. Das logistische Strukturnetz des betrachteten Unternehmens ist vorgegeben und im gesamten Betrachtungszeitraum konstant. Die Standorte und Anzahl der beteiligten Fertigungsstätten, Werks- und Zentrallager sowie der Bestellpunkte sind bekannt und eine Änderung in der Zuordnung zwischen diesen ist im gesamten Betrachtungszeitraum nicht vorgesehen.

- i. Es existieren I Fertigungsstätten F_i ($i = 1, \dots, I$), welche jeweils ein Werkslager FW_i am Standort besitzen. Jede Fertigungsstätte F_i produziert mit einer Wahrscheinlichkeit von q_i Ausschuss und hat das Ziel eine Nachfrage mit einer Wahrscheinlichkeit von s_i vollständig zu befriedigen. Die optimale Produktionskapazität $\pi_{o,il}$ im Lieferzyklus l wird am Anfang des Lieferzyklus nach einer optimalen Produktionsmengenstrategie bestimmt (siehe Abschnitt 5.3.2). Die tatsächlich vorhandene Menge berechnet sich durch $\pi_{il} = \pi_{o,il} - \rho_{il} + RB_{i(l-1)}$, wobei ρ_{il} den tatsächlich produzierte Ausschuss und $RB_{i(l-1)}$ den Restbestand aus dem vorangegangenen Lieferzyklus bezeichnet. Die produzierten Mengeneinheiten werden im zugehörigen Werkslager FW_i gelagert, welches in jedem Lieferzyklus eine hinreichend große Kapazität besitzt.
- ii. Es existieren J Zentrallager ZL_j ($j = 1, \dots, J$), welche jeweils eine für die Lageranfangsbestände hinreichend große Lagerkapazität besitzen. Jedes Zentrallager ist genau einer der Fertigungsstätten

zugeordnet. Die Indexmenge aller der Fertigungsstätten F_i zugeordneten Zentrallager wird dabei mit $J(i)$ bezeichnet und hat die Mächtigkeit $|J(i)|$.

- iii. Es existieren K Bestellpunkte/ Kunden B_k ($k = 1, \dots, K$). Jeder Bestellpunkt ist genau einem der Zentrallager zugeordnet. Die Indexmenge aller dem Zentrallager ZL_j zugeordneten Bestellpunkte wird dabei mit $K(j)$ bezeichnet und hat die Mächtigkeit $|K(j)|$.

V. Am Anfang jeder Periode t_{rl} geben die Bestellpunkte eine Nachfrage auf, die an die ihnen zugeordneten Zentrallager gerichtet ist. Es gelten dabei folgende Annahmen:

- i. Die Nachfragen $Y_{k,t_{rl}}$ sind Zufallsvariablen, die je einer Normalverteilung mit bekanntem Erwartungswert $\mu_{k,t_{rl}}$ und bekannter Varianz $\sigma_{k,t_{rl}}^2$ gehorchen. Sie sind in jeder Periode t_{rl} voneinander unabhängig. Es gelten folgende Bedingungen:

- i.1 Die Verteilungsfunktion $f_{k,t_{rl}}$ der normalverteilten Nachfrage des Bestellpunkts B_k ist gegeben durch

$$(5.4) \quad f_{k,t_{rl}}(y) = \frac{1}{\sigma_{k,t_{rl}}\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \frac{(y-\mu_{k,t_{rl}})^2}{\sigma_{k,t_{rl}}^2}}.$$

- i.2 Während eines Lieferzyklus l sind die Parameter der normalverteilten Nachfragen eines Bestellpunktes B_k konstant, d.h. es gilt:

$$(5.5) \quad \mu_{k,t_{1l}} = \mu_{k,t_{2l}} = \dots = \mu_{k,t_{Rl}} := \mu_{kl}$$

$$(5.6) \quad \sigma_{k,t_{1l}}^2 = \sigma_{k,t_{2l}}^2 = \dots = \sigma_{k,t_{Rl}}^2 := \sigma_{kl}^2$$

Somit gilt für die Verteilungsfunktionen

$$(5.7) \quad f_{k,t_{1l}} = f_{k,t_{2l}} = \dots = f_{k,t_{Rl}} := f_{kl}.$$

- i.3 Die maximale Nachfrage eines Bestellpunktes B_k im Lieferzyklus l ist durch den Erwartungswert $\mu_{o,k}$ und die Varianz $\sigma_{o,k} \leq \frac{\mu_{o,k}}{2}$ gegeben. Sie bleiben während des gesamten Betrachtungszeitraums konstant.

- i.4 Der Erwartungswert $\mu_{k(l+1)}$ des Bestellpunktes B_k im Lieferzyklus $l + 1$ wird durch die Anzahl der nichtgelieferten Mengeneinheiten y'_{kl} im vorangegangenen Lieferzyklus l beeinflusst. Es gilt:

$$(5.8) \quad \mu_{k(l+1)} = \mu_{o,k} - e_k \cdot y'_{kl}$$

- i.5 Die Varianz $\sigma_{k(l+1)}^2$ bleibt von allen Einflüssen des vorangegangenen Lieferzyklus l unberührt und ist für $\mu_{k(l+1)} \geq 2 \cdot \sigma_{o,k}$ gleich der Varianz bei maximaler Nachfrage, d.h.

$$(5.9) \quad \sigma_{k(l+1)}^2 = \sigma_{o,k}^2.$$

Ist $\mu_{k(l+1)} < 2 \cdot \sigma_{o,k}$ so wird $\sigma_{k(l+1)} = \frac{\mu_{k(l+1)}}{2}$ gesetzt.

- ii. Die tatsächliche Nachfrage von B_k in Periode t_{rl} wird mit $y_{k,t_{rl},s}$ bezeichnet. Ist $y_{k,t_{rl},s} < 0$, so wird $y_{k,t_{rl},s} = 0$ gesetzt.
- iii. Die Ersatzbedarfsnachfrage von B_k in Periode t_{rl} wird mit $y_{k,t_{rl},e}$ bezeichnet und ergibt sich durch

$$(5.10) \quad y_{k,t_{rl},e} = \begin{cases} x_{t_{r(l-d)}+t_L(j),k} & \text{falls } r \neq r' \\ x_{t_{r(l-d)}+t_L(j),k} + x_{t_{r'(l-d)},k} & \text{falls } r = r' \end{cases}$$

wobei $x_{t_{r(l-d)}+t_L(j),k}$ die tatsächlich an B_k von Zentrallager ZL_j ausgelieferte Menge und $x_{t_{r'(l-d)},k}$ die gesamte an B_k nachgelieferte Menge bezeichnet.

- iv. Die Gesamtnachfrage von B_k in Periode t_{rl} wird mit $y_{k,t_{rl}}$ bezeichnet und ergibt sich durch

$$(5.11) \quad y_{k,t_{rl}} = y_{k,t_{rl},s} + y_{k,t_{rl},e}$$

- v. Die Gesamtnachfrage von B_k im Lieferzyklus l wird mit y_{kl} bezeichnet und ergibt sich durch

$$(5.12) \quad y_{kl} = \sum_{r=1}^R y_{k,t_{rl}}$$

- vi. Die in Periode t_{rl} bei Zentrallager ZL_j eingehende Nachfrage $y_{j,t_{rl}}$ erhält man durch

$$(5.13) \quad y_{j,t_{rl}} = \sum_{k \in K(j)} y_{k,t_{rl}}$$

- vii. Die im gesamten Lieferzyklus l bei Zentrallager ZL_j eingehende Nachfrage y_{jl} berechnet sich durch

$$(5.14) \quad y_{jl} = \sum_{r=1}^R y_{j,t_{rl}} = \sum_{r=1}^R \sum_{k \in K(j)} y_{k,t_{rl}}$$

VI. Die in Periode t_{rl} bei Zentrallager ZL_j angeforderten Nachfragen werden bei Lieferfähigkeit von ZL_j sofort (in selber Periode) an den anfordernden Bestellpunkt B_k ausgeliefert. Die Lieferzeit von den Zentrallagern ZL_j zu den Bestellpunkten ist für jedes Zentrallager fixiert und beträgt unabhängig vom Bestellpunkt $t_L(j)$ Perioden. Sie ändert sich während des gesamten Betrachtungszeitraums nicht. Kann ein Bestellpunkt B_k auf Grund von Lieferunfähigkeit des ihm zugeordneten Zentrallagers ZL_j nicht zum vereinbarten Liefertermin $t_{rl} + t_L(j)$ beliefert werden, so wird ein Nachliefertermin $t_{r'l+1}$ in der Folgeperiode $l + 1$ bestimmt, zu dem B_k von einem anderen Zentrallager aus beliefert werden kann. Ist keine Nachlieferung möglich, so geht die Nachfrage unwiderruflich verloren. Es gelten folgende Bezeichnungen:

- i. Der Lagerbestand des Zentrallagers ZL_j zu Beginn eines Lieferzyklus l wird mit AB_{jl} bezeichnet.
- ii. Die vom Zentrallager ZL_j an Bestellpunkt B_k in Periode $t_{rl} + t_L(j)$ auszuliefernde Menge entspricht der in Periode t_{rl} von B_k nachgefragten Menge $y_{k,t_{rl}}$.
- iii. Die vom Zentrallager ZL_j an Bestellpunkt B_k in Periode $t_{rl} + t_L(j)$ tatsächlich ausgelieferte Menge wird mit $x_{t_{rl}+t_L(j),k}$ bezeichnet. Sie wird sofort (am Ende von Periode t_{rl}) vom noch vorhandenen Lagerbestand abgezogen.
- iv. Ein Zentrallager ZL_j wird in der Periode t_{r^*l} eines Lieferzyklus l genau dann lieferunfähig, wenn die Gesamtnachfrage $y_{j,t_{r^*l}}$ in dieser Periode den noch vorhandenen Lagerbestand erstmalig überschreitet, d.h. es gilt:

$$(5.15) \quad y_{j,t_{r^*l}} > AB_{jl} - \sum_{r=1}^{r^*-1} y_{j,t_{rl}} \quad \text{und}$$

$$y_{j,t_{r^*-1},l} \leq AB_{jl} - \sum_{r=1}^{r^*-2} y_{j,t_{rl}}$$

wobei $y_{j,t_{r^*},l}^* = AB_{jl} - \sum_{r=1}^{r^*-1} y_{j,t_{rl}}$ den noch vorhandenen Lagerbestand bezeichnet.

v. Der Restbestand des in Periode t_{r^*l} lieferunfähig gewordenen Zentrallagers ZL_j wird nach einer optimalen Liefermengenstrategie an die anfordernden Bestellpunkte aufgeteilt (siehe Abschnitt 5.3.3.1).

vi. Der Endbestand EB'_{jl} jedes nicht lieferunfähig gewordenen Zentrallagers ZL_j am Ende des Lieferzyklus l berechnet sich durch

$$(5.16) \quad EB'_{jl} = AB_{jl} - y_{jl}$$

Für den Endbestand eines lieferunfähig gewordenen Zentrallagers gilt:

$$EB'_{jl} = 0.$$

vii. Die an den Bestellpunkt B_k zum vereinbarten Nachliefertermin $t_{r'l+1}$ nachzuliefernde Menge wird mit $NLM_{k,t_{r'l+1}}$ bezeichnet und entspricht allen in Periode l vom zugeordneten, lieferunfähig gewordenen Zentrallager ZL_j nicht befriedigten Nachfragen von B_k , d.h.

$$(5.17) \quad NLM_{k,t_{r'l+1}} = y_{k,t_{r^*l}} - x_{t_{r^*l}+t_L(j),k} + \sum_{r=r^*+1}^R y_{k,t_{rl}}$$

viii. Die Gesamtnachliefermenge des von ZL_j in Lieferzyklus l nicht befriedigten Nachfragen wird mit $NLM_{j,t_{r'l+1}}$ bezeichnet und wird wie folgt berechnet:

$$(5.18) \quad NLM_{j,t_{r'l+1}} = \sum_{k \in K(j)} NLM_{k,t_{r'l+1}}$$

Damit ergibt sich die im gesamten Lieferzyklus l unbefriedigte Nachfrage zu

$$(5.19) \quad NLM_{t_{r'l+1}} = \sum_{j=1}^J NLM_{j,t_{r'l+1}}$$

ix. Am Ende eines Lieferzyklus l werden die Restbestände EB'_{jl} der Zentrallager nach einer optimalen Liefermengenstrategie auf die

unbefriedigten Bestellpunkte B_k aufgeteilt (siehe Abschnitt 5.3.3.2). Die von Zentrallager ZL_j an Bestellpunkt B_k zum Nachliefertermin $t_{r'l+1}$ nachgelieferte Menge wird dabei mit $x_{t_{r'(l+1)},jk}$ bezeichnet. Die gesamte nachgelieferte Menge $x_{t_{r'(l+1)},k}$ an den Bestellpunkt B_k ergibt sich durch

$$(5.20) \quad x_{t_{r'(l+1)},k} = \sum_{j=1}^J x_{t_{r'(l+1)},jk}$$

- x. Die gesamte Liefermenge an Bestellpunkt B_k im Lieferzyklus l inklusive aller im Folgezyklus $l + 1$ nachgelieferten Mengen wird mit x_{kl} bezeichnet und berechnet sich durch

$$(5.21) \quad x_{kl} = \sum_{r=1}^{r^*} x_{t_{rl}+t_L(j),k} + \sum_{j=1}^J x_{t_{r'(l+1)},jk}$$

- xi. Die im Lieferzyklus l verlorene Nachfrage y'_{kl} des Bestellpunktes B_k ergibt sich durch

$$(5.22) \quad y'_{kl} = y_{kl} - x_{kl}$$

- xii. Die Endbestände EB_{jl} der Zentrallager nach allen Nachlieferungen ergeben sich durch

$$(5.23) \quad EB_{jl} = EB'_{jl} - \sum_{k=1}^K x_{t_{r'(l+1)},jk}$$

VII. Am Ende eines Lieferzyklus l geben die Zentrallager eine Bestellung an die zugeordneten Fertigungsstätten ab. Die Lieferzeit zwischen den Fertigungsstätten und den Zentrallagern ist vernachlässigbar klein, so dass die von der Fertigungsstätte ausgelieferte Menge sofort zu Beginn des nächsten Lieferzyklus $l + 1$ dem Zentrallager zur Verfügung steht. Es gelten folgende Annahmen:

- i. Die Bestellmenge von Zentrallager ZL_j an die zugehörige Fertigungsstätte F_i beträgt M_{jl} und hat das Ziel der vollständigen Auffüllung zum Lageranfangsbestand $AB_{j(l+1)}$, d.h.

$$(5.24) \quad M_{jl} = AB_{j(l+1)} - EB_{jl}.$$

Die gesamte bei Fertigungsstätte F_i eingehende Nachfrage ergibt sich somit durch

$$(5.25) \quad M_{il} = \sum_{j \in J(i)} M_{jl}$$

- ii. Auf Grund von fertigungsspezifischen Restriktionen (z.B. Ausschuss durch Fehler im Produktionsprozess) können in einer Fertigungsstätte F_i Fehlmengen $Q_{il} = M_{il} - \pi_{il} > 0$ auftreten, die nach einer optimalen Fehlmengenstrategie auf die bestellenden Zentrallager ZL_j aufgeteilt werden (siehe Abschnitt 5.3.2). Die von F_i zu ZL_j gehörige Fehlmenge wird mit Q'_{jl} bezeichnet. Somit berechnet sich die tatsächlich gelieferte Menge x_{jl} durch

$$(5.26) \quad x_{jl} = M_{jl} - Q'_{jl}.$$

Der Restbestand RB_{il} der Fertigungsstätte ergibt sich durch

$$(5.27) \quad RB_{il} = \begin{cases} \pi_{il} - M_{il} & \text{falls } Q_{il} \leq 0 \\ 0 & \text{falls } Q_{il} > 0 \end{cases}$$

VIII. Während eines Lieferzyklus fallen Transport-, Lager- und Fehlmengenkosten an. Dabei gelten folgende Zusammenhänge:

- i. Art, Anzahl und Kapazitäten der Transportmittel von den Fertigungsstätten F_i zu den Zentrallagern ZL_j und von den Zentrallagern ZL_j zu den Bestellpunkten B_k sind über den gesamten Planungszeitraum fest vorgegeben. Die jeweiligen Transportkosten sind proportional zur transportierten Menge. Die zugehörigen Transportkostensätze bleiben während des gesamten Betrachtungszeitraums konstant und werden mit a_{ij} bzw. a_{jk} bezeichnet. Die gesamten Transportkosten bezüglich eines Zentrallagers werden mit A_{jl} bezeichnet.
- ii. Die Lagerkosten $C_{L,jl}$ des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l beinhalten alle mit der Lagerhaltung verbundenen Kostenarten und werden am Ende eines Lieferzyklus l in ihrer Höhe ermittelt. Die jeweiligen Kostensätze werden ex-ante festgelegt und gelten im gesamten Betrachtungszeitraum als konstant. Dabei gelten folgende Annahmen:
- ii.1 Die Planungs- und Steuerungskosten $C_{s,j}$ sowie die Prozesskosten $C_{p,j}$ sind in jedem Lieferzyklus konstant.

ii.2 Die Bestellkosten $C_{o,jl}$ im Lieferzyklus l sind proportional zur gesamten nachgefragten Menge. Der zugehörige Kostensatz wird mit $c_{o,j}$ bezeichnet.

ii.3 Die Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten $C_{w,jl}$ bzw. $C_{k,jl}$ im Lieferzyklus l sind proportional zur Summe der gelagerten Produkte über alle Perioden des Lieferzyklus. Die zugehörigen Kostensätze werden mit $c_{w,j}$ bzw. $c_{k,j}$ bezeichnet.

ii.4 Somit ergeben sich die Lagerkosten zu:

$$(5.28) \quad C_{L,jl} = C_{s,j} + C_{p,j} + C_{o,jl} + C_{w,jl} + C_{k,jl}$$

iii. Je nach Art der Fehlmengen ergeben sich folgende Fehlmengenkostensätze bzw. Fehlmengenkosten:

iii.1 Der Fehlmengenkostensatz des verlorenen Auftrages $SOC_{3,kj}$ bezüglich des Bestellpunktes B_k errechnet sich aus dem stückbezogenen Kaufpreis p abzüglich der Herstellkosten k_p , sowie der notwendigen Transportkostensätze a_{ij} und a_{jk} :

$$(5.29) \quad SOC_{3,kj} = p - k_p - a_{ij} - a_{jk}$$

Ist der Bestellpunkt B_k dem Zentrallager ZL_j zugeordnet so setzt man: $SOC_{3,k} = SOC_{3,kj}$.

Die Kosten des verlorenen Auftrages $C_{SOC_{3,k,l}}$ im Lieferzyklus l sind proportional zur in diesem Zyklus nicht befriedigten Nachfrage, d.h.

$$(5.30) \quad C_{SOC_{3,k,l}} = y'_{kl} \cdot SOC_{3,k}$$

iii.2 Der Fehlmengenkostensatz der Goodwill-Verluste $SOC_{4,k}$ bezüglich des Bestellpunktes B_k ist proportional zur pro Periode t_{rl} erwarteten verlorenen Nachfrage e_k und wird wertmäßig mit dem entgangenen Gewinn des verlorenen Auftrages $SOC_{3,k}$ angesetzt. Auf eine Diskontierung wird verzichtet und somit ergibt sich:

$$(5.31) \quad SOC_{4,k} = R \cdot e_k \cdot SOC_{3,k}$$

Die Kosten der im Lieferzyklus $l + 1$ neu hinzukommenden Goodwill-Verluste $C_{SOC_{4,k}(l+1)}$ sind proportional zur im vorherigen Lieferzyklus l nicht befriedigten Nachfrage, d.h.

$$(5.32) \quad C_{SOC_{4,k}(l+1)} = \gamma'_{kl} \cdot SOC_{4,k}$$

Im Anschluss an die Modellierung werden noch einige Bedingungen bezüglich des zeitlichen Ablaufs eines Zyklus aufgeführt:

(B1) Zu Beginn des Lieferzyklus l wird der optimale Lageranfangsbestand $AB_{o,jl}$ anhand eines kostenoptimalen Servicegrads bestimmt (siehe Abschnitt 5.3.1). Damit ergibt sich der tatsächliche Lageranfangsbestand durch

$$(5.33) \quad AB_{jl} = AB_{o,jl} - Q_{jl}$$

(B2) Nach der Bestimmung des tatsächlichen Lageranfangsbestandes kann die optimale Menge der im Lieferzyklus l von den Fertigungsstätten zu produzierenden Gütern mit Hilfe einer optimalen Produktionsmengenstrategie bestimmt werden (siehe Abschnitt 5.3.2).

(B3) Die Nachfrage eines Bestellpunktes wird dem Anfang der Periode t_{rl} zugeordnet.

(B4) Die Belieferung der Bestellpunkte erfolgt am Ende der Periode t_{rl} . Hat ein Zentrallager hinreichend Lagerbestand, so werden alle ihm zugeordneten Bestellpunkte in voller Höhe beliefert, und die nachgefragte Menge wird vom aktuellen Lagerbestand abgezogen. Ist das Zentrallager lieferunfähig, so wird der komplette Restbestand sofort auf die Bestellpunkte mit Hilfe einer Liefermengenstrategie aufgeteilt (siehe Abschnitt 5.3.3.1).

(B5) Am Ende der letzten Periode des Lieferzyklus werden die Restbestände der Zentrallager auf die unbefriedigten Bestellpunkte mit Hilfe einer Liefermengenstrategie aufgeteilt (siehe Abschnitt 5.3.3.2).

Abschließend sei noch darauf hingewiesen, dass die Bereitstellung kostenoptimaler Lagerkapazitäten einschließlich Lagerflächen – abhängig von der Höhe der zu erwartenden Gesamtnachfrage – in den betreffenden Zentral- und Werkslagern ein eigenes Forschungsgebiet darstellt, welches aus Komplexitäts- und Vereinfachungsgründen in diesem Modell nicht näher betrachtet werden soll.

Nachdem nun die Präzisierung der einzelnen Modellparameter abgeschlossen wurde, soll im nächsten Abschnitt 5.3 eine kostenoptimale Lieferservicestrategie bestimmt werden.

5.3 Bestimmung einer kostenoptimalen Lieferservicestrategie

Der Lieferservice eines Unternehmens besteht grundsätzlich aus den Komponenten Lieferbereitschaft (Service), Produktionsmenge, Liefermenge sowie Lieferzeit und drückt als messbare Größe im Zusammenspiel der Komponenten ein bestimmtes Maß an Kundenservice aus. „Je schneller und zuverlässiger der Kunde über bestellte Ware verfügen kann, desto stärker wird seine Entscheidung für diesen Lieferanten von zeitlichen und räumlichen Präferenzen geprägt werden“ [POTH70, S. 46].

Aus kostentechnischer Sicht ist vor dem Hintergrund des beschriebenen Modells jene Lieferservicestrategie als optimal zu bezeichnen, die in einem Planungszeitraum die nachfragegerechte Befriedigung der kundenspezifischen Nachfrage in Bezug auf die vier eben genannten Aspekte zu den geringsten Lieferservicekosten sicherstellt. Da die Lieferzeit im vorgestellten Modell keinen Einfluss auf die Lieferservicekosten hat (siehe Abschnitt 5.3.1), kann dieser Aspekt in dieser Arbeit vernachlässigt werden. Die kostenoptimale Lieferservicestrategie ist in diesem Zusammenhang eine Kombination aus kostenoptimalem Servicegrad (inklusive optimaler Lageranfangsbestände), optimaler Produktionsmengenstrategie (inklusive Fehlmengenstrategie) und optimaler Liefermengenstrategie, die im Folgenden einer näheren Analyse unterzogen werden.

5.3.1 Kostenoptimaler Servicegrad und optimale Lageranfangsbestände

Die wichtigste Aufgabe der Lieferbereitschaft besteht darin, den jeweiligen Lageranfangsbestand der Zentrallager in jedem Lieferzyklus zu bestimmen [SCHM77, S.108].

Angemerkt sei, dass die bislang in der Literatur bekannten Ansätze zur Bestimmung eines kostenoptimalen Servicegrades unzureichend sind. In der Regel wird auf die Problematik zur Bestimmung von Fehlmengenkosten hingewiesen und folglich ein willkürlicher Servicegrad bestimmt. Mit diesem wird anschließend ein lagerkostenminimaler Lageranfangsbestand ermittelt. Das Problem der Bestimmung von Fehlmengenkosten wird dabei nur umgangen, denn durch die Vorgabe eines bestimmten Servicegrades werden Fehlmengen und deren Kosten implizit unterstellt. Darüber hinaus ist kritisch anzumerken, dass marktbezogene Einflussgrößen zur Bestimmung eines Servicegrades keine Berücksichtigung finden, was die praktische Aussagekraft dieser Vorgehensweise grundsätzlich in Frage stellt [SCHM77, S. 113].

Zunächst soll nun der kostenoptimale Servicegrad des vorliegenden Modells bestimmt werden. Da im Modell jedes Zentrallager einer spezifischen Fertigungsstätte und jeder Bestellpunkt einem spezifischen Zentrallager zugeordnet ist, kann der kostenoptimale Servicegrad isoliert für jedes Zentrallager bestimmt werden. Der Servicegrad SG_{jl} des Zentrallagers ZL_j repräsentiert die Wahrscheinlichkeit, dass alle Nachfragen y_{jl} an dieses Zentrallager im Lieferzyklus l befriedigt werden können. Zu beachten ist, dass die Bestimmung des Servicegrades stets vor der Realisierung der stochastisch verlaufenden Nachfrage im Betrachtungszeitraum zu treffen ist. Liegt der Servicegrad SG_{jl} vor, so kann in einem zweiten Schritt für jedes Zentrallager der optimale Lageranfangsbestand $AB_{o,jl}$ errechnet werden.

Um nun den optimalen Servicegrad SG_{jl} des Zentrallagers ZL_j im Lieferzyklus l zu bestimmen, müssen die anfallenden Lagerkosten $C_{L,jl}$, die Kosten des verlorenen Auftrages $C_{SOC_{3,j,l}}$, sowie die im Folgezyklus anfallenden Kosten der Goodwill-Verluste $C_{SOC_{4,j,(l+1)}}$, bzgl. des Zentrallagers ZL_j minimiert werden. Daraus ergibt sich die zu minimierende Kostenerwartungsfunktion:

$$(5.34) \quad K_{LS} = C_{L,jl} + C_{SOC_{3,j,l}} + C_{SOC_{4,j,(l+1)}}$$

Da zu Beginn eines Lieferzyklus l nicht bekannt ist, welche Höhe die stochastische Nachfrage der Bestellpunkte in Periode t_{rl} hat, ist auch der momentane Lagerbestand in dieser Periode und somit auch die exakten Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten $C_{w,jl}$ bzw. $C_{k,jl}$ sowie die exakten Bestellkosten $C_{o,jl}$ nicht bekannt. Aus diesem Grund werden die erwarteten Lagerkosten in Abhängigkeit des Lageranfangsbestandes $AB_{o,jl}$ bestimmt. Für die Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten wird ein durchschnittlicher Lagerbestand von $\frac{AB_{o,jl}}{2}$ pro Periode angenommen, und somit erhält man:

$$(5.35) \quad C_{w,jl} = \frac{R \cdot AB_{o,jl}}{2} \cdot c_{w,j}$$

$$(5.36) \quad C_{k,jl} = \frac{R \cdot AB_{o,jl}}{2} \cdot c_{k,j}$$

Die Planungs- und Steuerungskosten $C_{s,j}$, die Prozesskosten $C_{p,j}$ sowie die Bestellkosten $C_{o,jl}$ sind unabhängig vom Lageranfangsbestand. Damit ergeben sich die erwarteten Lagerkosten zu:

$$(5.37) \quad C_{L,jl}(AB_{o,jl}) = \frac{R \cdot AB_{o,jl}}{2} \cdot (c_{w,j} + c_{k,j}) + C_{s,j} + C_{p,j} + C_{o,jl}$$

Die Kosten $C_{SOC_{3,j,l}}$ und $C_{SOC_{4,j,(l+1)}}$ berechnen sich theoretisch wie folgt:

$$(5.38) \quad C_{SOC_{3,j,l}} = \sum_{k \in K(j)} C_{SOC_{3,k,l}} = \sum_{k \in K(j)} y'_{kl} \cdot SOC_{3,k}$$

$$(5.39) \quad C_{SOC_{4,j,(l+1)}} = \sum_{k \in K(j)} C_{SOC_{4,k,(l+1)}} = \sum_{k \in K(j)} y'_{kl} \cdot SOC_{4,k}$$

Da jedoch zu Beginn eines Lieferzyklus l neben den eingehenden Nachfragen auch nicht bekannt ist, welche Bestellpunkte bei temporärer Lieferunfähigkeit der Zentrallager nicht bedient werden können und welche Bestellpunkte Nachlieferungen erhalten, kann keine Aussage über die verlorene Nachfrage y'_{kl} getroffen werden. Deshalb muss zur Bestimmung der Kosten des verlorenen Auftrages sowie der Kosten der Goodwill-Verluste auf die zu erwartende verlorene Nachfrage $y'_{jl,erw}$ bzgl. eines Zentrallagers ZL_j , die abhängig vom Lageranfangsbestand $AB_{o,jl}$ ist, zurückgegriffen werden, in der Nachlieferungen nicht berücksichtigt werden. Des Weiteren werden zentrallagerbezogene Fehlmengenkostensätze benötigt, die sich durch Bildung eines Durchschnittswerts ergeben:

$$(5.40) \quad SOC_{3,j} = \frac{1}{|K(j)|} \sum_{k \in K(j)} SOC_{3,k}$$

$$(5.41) \quad SOC_{4,j} = \frac{1}{|K(j)|} \sum_{k \in K(j)} SOC_{4,k}$$

Somit berechnen sich die Kosten $C_{SOC_{3,j,l}}$ und $C_{SOC_{4,j,l+1}}$ nun durch

$$(5.42) \quad C_{SOC_{3,j,l}} = y'_{j,l,erw} \cdot SOC_{3,j}$$

$$(5.43) \quad C_{SOC_{4,j,l+1}} = y'_{j,l,erw} \cdot SOC_{4,j}$$

Um die zu erwartende verlorene Nachfrage $y'_{j,l,erw}$ zu bestimmen, wird zunächst die Nachfrageverteilung $f_{j,t_{rl}}$ für die in Periode t_{rl} bei Zentrallager ZL_j auftretende stochastische Nachfrage $Y_{j,t_{rl}} = \sum_{k \in K(j)} Y_{k,t_{rl}}$ bestimmt, um daraus im nächsten Schritt die Nachfrageverteilung f_{jl} für die in einem vollständigen Lieferzyklus l auftretende Nachfrage $Y_{jl} = \sum_{r=1}^R Y_{j,t_{rl}}$ des Zentrallagers ZL_j zu erhalten. Damit kann schließlich die zu erwartende verlorene Nachfrage bestimmt werden.

Da alle Nachfragen $Y_{k,t_{rl}}$ normalverteilte Zufallsvariablen sind, ist auch $Y_{j,t_{rl}}$ eine normalverteilte Zufallsvariable, deren Erwartungswert $\mu_{j,t_{rl}}$ und Varianz $\sigma_{j,t_{rl}}^2$ sich additiv wie folgt berechnen lassen [SCHM77, S. 114]:

$$(5.44) \quad \mu_{j,t_{1l}} = \mu_{j,t_{2l}} = \dots = \mu_{j,t_{Rl}} = \sum_{k \in K(j)} \mu_{kl}$$

$$(5.45) \quad \sigma_{j,t_{1l}}^2 = \sigma_{j,t_{2l}}^2 = \dots = \sigma_{j,t_{Rl}}^2 = \sum_{k \in K(j)} \sigma_{kl}^2$$

Bei maximaler Nachfrage aller zugeordneten Bestellpunkte gilt für die Parameter der Verteilungen:

$$(5.46) \quad \mu_{o,j} = \sum_{k \in K(j)} \mu_{o,k}$$

$$(5.47) \quad \sigma_{o,j}^2 = \sum_{k \in K(j)} \sigma_{o,k}^2$$

Da auch die Zufallsvariablen $Y_{j,t_{rl}}$ voneinander unabhängig sind, kann wieder der Additionssatz für stochastisch voneinander unabhängige Zufallsvariablen verwendet werden und wegen der Gleichheit von Erwartungswerten und Varianzen während eines Lieferzyklus ergibt sich die Verteilungsfunktion f_{jl} zu [SCHM77, S. 114]:

$$(5.48) \quad f_{jl}(y) = \frac{1}{\sigma_{jl}\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \cdot \frac{(y-\mu_{jl})^2}{\sigma_{jl}^2}}$$

mit Erwartungswert

$$(5.49) \quad \mu_{jl} = \sum_{r=1}^R \mu_{j,t_{rl}} = R \cdot \mu_{j,t_{1l}} = R \cdot \sum_{k \in K(j)} \mu_{kl}$$

und Varianz

$$(5.50) \quad \sigma_{jl}^2 = \sum_{r=1}^R \sigma_{j,t_{rl}}^2 = R \cdot \sigma_{j,t_{1l}}^2 = R \cdot \sum_{k \in K(j)} \sigma_{kl}^2$$

Bei maximaler Nachfrage aller zugeordneten Bestellpunkte gilt für einen beliebigen Lieferzyklus l für die Parameter der Verteilungen:

$$(5.51) \quad \mu_{o,jl} = R \cdot \mu_{o,j}$$

$$(5.52) \quad \sigma_{o,jl}^2 = R \cdot \sigma_{o,j}^2$$

Die zu erwartende verlorene Nachfrage ergibt sich nun durch

$$(5.53) \quad y'_{jl,erw} = \int_{AB_{o,jl}-y_{jl,e}}^{\infty} (y + y_{jl,e} - AB_{o,jl}) \cdot f_{jl}(y) \cdot dy,$$

wobei $y_{jl,e} = \sum_{r=1}^R \sum_{k \in K(j)} y_{k,t_{rl,e}}$ die gesamte Ersatzbedarfsnachfrage im Lieferzyklus l an das Zentrallager ZL_j beschreibt.

Nun kann die zu minimierende Kostenerwartungsfunktion in Anlehnung an Schmid [SCHM77, S. 116] angegeben werden. Da konstante Terme bei einer Minimierung keine Rolle spielen, erhält man:

$$(5.54) \quad K_{LS}(AB_{o,jl}) = \frac{R \cdot AB_{o,jl}}{2} \cdot (c_{w,j} + c_{k,j}) + (SOC_{3,j} + SOC_{4,j}) \cdot \int_{AB_{o,jl}-y_{jl,e}}^{\infty} (y + y_{jl,e} - AB_{o,jl}) \cdot f_{jl}(y) \cdot dy$$

Die Abbildung 38 verdeutlicht schematisch den Zusammenhang. In der Kostenfunktion müssen die Kapitalbindungskosten berücksichtigt werden, da sich Fertigwarenbestände positiv auf die Höhe der Lagerhaltungskosten auswirken. Dagegen brauchen Transportkosten nicht berücksichtigt zu werden, da eine kostenminimale Allokation der einzelnen Kunden zu den Zentrallagern bereits in den Prämissen verankert wurde (siehe Abschnitt 5.2).

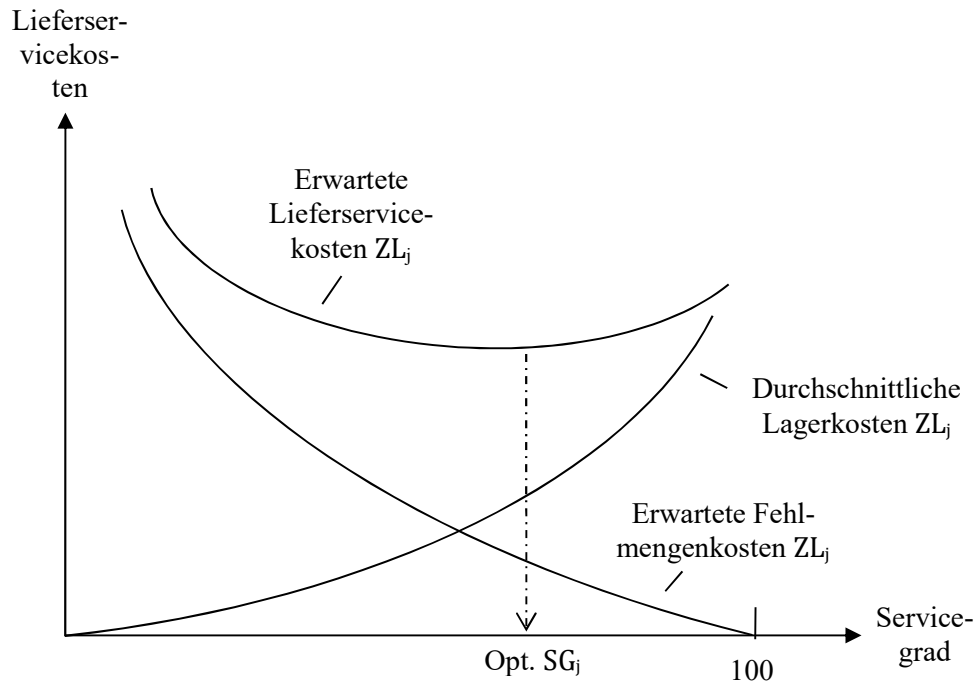


Abbildung 38: Zusammenhang zwischen Servicegrad, durchschnittlichen Lagerkosten und erwarteten Fehlmengenkosten [SCHM77, S. 117]

Als nächstes wird durch die Nullsetzung der Ableitung der Kostenerwartungsfunktion der kostenoptimale Servicegrad bzw. der kostenoptimale Lageranfangsbestand je Belieferungszyklus l ermittelt. Es gilt:

$$(5.55) \quad \frac{d K_{LS}(AB_{o,jl})}{d AB_{o,jl}} = \frac{R}{2} \cdot (c_{w,j} + c_{k,j}) - (SO_{3,j} + S_{4,j}) \cdot (1 - \Phi_{jl}(AB_{o,jl} - y_{jl,e})) = 0$$

$\Phi_{jl}(AB_{o,jl} - y_{jl,e})$ stimmt mit dem gesuchten kostenoptimalen Servicegrad SG_{jl} überein und ist die Wahrscheinlichkeit, dass die in Zyklus l an Zentrallager ZL_j auftretende Nachfrage von diesem Zentrallager bedient werden kann.

Nach Umstellung ergibt sich [in Anlehnung an SCHM77, S. 118]:

$$(5.56) \quad SG_{jl} = \Phi_{jl}(AB_{o,jl} - y_{jl,e}) = \begin{cases} 1 - \frac{R/2 \cdot (c_{w,j} + c_{k,j})}{SOC_{3,j} + SOC_{4,j}} & \text{für } SOC_{3,j} + SOC_{4,j} > \frac{R}{2} \cdot (c_{w,j} + c_{k,j}) \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

Die Bedingung $SOC_{3,j} + SOC_{4,j} > \frac{R}{2} \cdot (c_{w,j} + c_{k,j})$ ergibt sich dadurch, dass eine Wahrscheinlichkeit keine negativen Werte annehmen kann. Sie kann dahingehend interpretiert werden, dass in allen anderen Fällen die erwarteten Lagerhaltungskosten die zu erwartenden Verlustkosten bei Nichtlieferung übersteigen, sodass es wirtschaftlich nicht sinnvoll ist, aus diesem Zentrallager die Kundennachfragen zu bedienen.

Offensichtlich sind die kostenoptimalen Servicegrade unabhängig vom Lieferzyklus, d.h.

$$(5.57) \quad SG_{j1} = S_{j2} = \dots = S_{jL} := SG_j$$

und es gelten die folgenden Grenzwerte:

$$(5.58) \quad \lim_{SOC_{2,j} \rightarrow \infty} SG_j = \lim_{SOC_{3,j} \rightarrow \infty} SG_j = 1$$

$$(5.59) \quad \lim_{SOC_{2,j} \rightarrow 0} SG_j = \lim_{SOC_{3,j} \rightarrow 0} SG_j = 0$$

$$(5.60) \quad \lim_{h_j \rightarrow \infty} SG_j = 0$$

$$(5.61) \quad \lim_{h_j \rightarrow 0} SG_j = 1$$

Daraus wird ersichtlich, dass mit zu- bzw. abnehmenden Fehlmengenkostensätzen $SOC_{3,j}$ und $SOC_{4,j}$ der Servicegrad zu- bzw. abnimmt. Folgende Graphik (Abbildung 39) veranschaulicht diesen Zusammenhang vereinfacht:

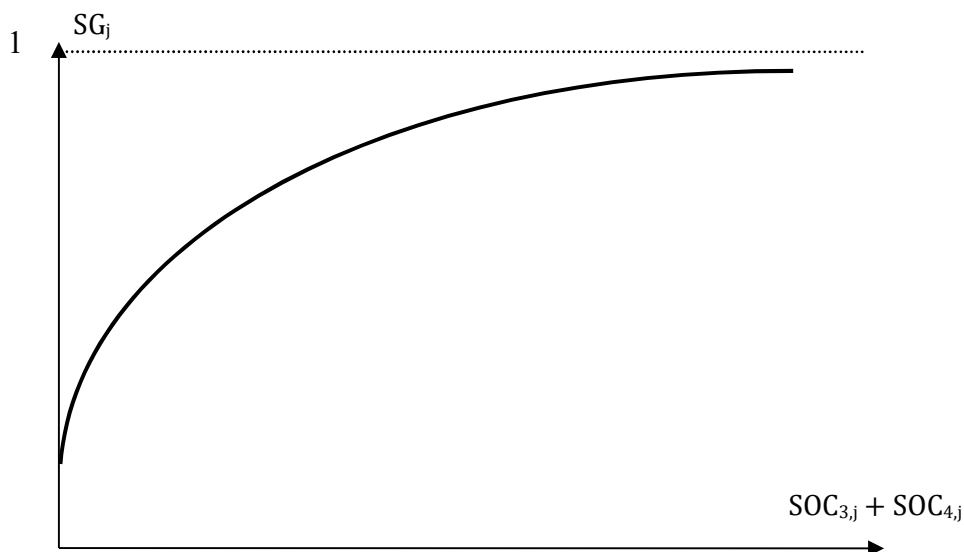


Abbildung 39: Zusammenhang zwischen Höhe der Fehlmengenkostensätze und

Servicegrad [SCHM77, S. 121]

Als wesentliche Gründe für die Veränderung eines zentrallagerbezogenen Fehlmengenkostensatzes können die Kosten für Goodwill-Verluste sowie des verlorenen Kunden identifiziert werden, deren Höhe im Vergleich zu den verbleibenden Fehlmengenkosten stochastischer Natur sind. Die beiden Kostenarten resultieren aus einer Veränderung im kundenspezifischen Verhalten, beispielsweise durch einen konvexen Verlauf der Vergessensperiode, und können vom Unternehmen durch eine veränderte Lieferservicestrategie direkt beeinflusst werden. Zu den wirksamsten Ansatzpunkten, diese Kosten in ihrer Höhe zu begrenzen, zählen eine Priorisierung in der Belieferung zu ausgewählten Kunden, sog. A-Kunden, beispielsweise anhand einer Kundenportfolioanalyse.

Aus der hergeleiteten Funktion $\Phi_{jl}(AB_{o,jl} - y_{jl,e})$ lässt sich nun mit Hilfe der standardisierten Normalverteilung $\Phi_{[0,1]}(\mu = 0, \sigma = 1)$ der kostenoptimale Lageranfangsbestand $AB_{o,jl}$ ableiten. $\Phi_{[0,1]}^{-1}$ entspricht dabei der Umkehrfunktion von $\Phi_{[0,1]}$ [SCHM77, S. 118]. Es gilt:

$$(5.62) \quad AB_{o,jl} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(SG_j) \cdot \sigma_{jl} + \mu_{jl} + y_{jl,e}$$

Die Parameter der Nachfrageverteilung f_{jl} und die Ersatzbedarfsnachfrage bestimmen dabei die Höhe des kostenoptimalen Lagerbestandes $AB_{o,jl}$.

Für eine optimale Lieferbereitschaftsstrategie über einen Planungszeitraum von T Perioden bzw. L Lieferzyklen wird davon ausgegangen, dass die Nachfrage aller Bestellpunkte im Lieferzyklus $l = 0$ zu den vereinbarten Bedingungen in voller Höhe befriedigt werden kann. Der dabei entstehende Ersatzbedarf wird im Weiteren nicht berücksichtigt. Damit lassen sich die Lageranfangsbestände $AB_{o,j1}$ im darauffolgenden Lieferzyklus $l = 1$ ermitteln [SCHM77, S. 119]:

$$(5.63) \quad AB_{o,j1} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(SG_j) \cdot \sqrt{R} \cdot \sigma_{o,j} + R \cdot \mu_{o,j}$$

Die Lageranfangsbestände aller anderen Lieferzyklen $l > 1$ können erst zu Beginn des jeweiligen Lieferzyklus l bestimmt werden, da der benötigte Erwartungswert μ_{jl} von den vorangegangenen Lieferzyklen abhängt:

$$(5.64) \quad \mu_{jl} = R \cdot \sum_{k \in K(j)} (\mu_{o,k} - e_k \cdot y'_{k(l-1)})$$

5.3.2 Optimale Produktionsmengen- und Fehlmengenstrategie

Da erfahrungsgemäß bei der Produktion der Güter in den Fertigungsstätten F_i mit einer Wahrscheinlichkeit von q_i Ausschuss entsteht, ist ein wichtiger Punkt der Lieferservicestrategie die Bestimmung einer optimalen Produktionsmenge, um die Nachfrage von den Zentrallagern am Ende dieses Lieferzyklus mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens s_i vollständig befriedigen zu können. Dazu wird nun zunächst die Nachfrage M_{jl} am Ende des Lieferzyklus l eines Zentrallagers ZL_j an die ihm zugeordnete Fertigungsstätte F_i bestimmt. Diese Nachfrage hängt vom Lagerendbestand im Lieferzyklus l , sowie vom optimalen Lageranfangsbestand des folgenden Lieferzyklus ab:

$$(5.65) \quad M_{jl} = AB_{o,j(l+1)} - EB_{jl}$$

Da zu Beginn des Lieferzyklus l nicht klar ist, wie die Nachfrage der Bestellpunkte und die Befriedigung dieser realisiert werden kann, muss auf die Bestimmung einer erwarteten Nachfrage $M_{jl,erw}$ zurückgegriffen werden. Zur Berechnung des erwarteten Lagerendbestands $EB'_{jl,erw}$ vor Realisierung der Nachlieferung wird von einer Nachfrage eines Bestellpunktes pro Periode in Höhe der Erwartungswerte μ_{kl} ausgegangen. Somit ergibt sich die Höhe der beim Zentrallager ZL_j erwarteten stochastischen Nachfrage als der Erwartungswert μ_{jl} , welcher im vorherigen Abschnitt 5.3.1 hergeleitet wurde.

$$(5.66) \quad EB'_{jl,erw} = \begin{cases} AB_{jl} - (\mu_{jl} + y_{jl,e}) & \text{für } AB_{o,jl} > \mu_{jl} + y_{jl,e} \\ 0 & \text{für } AB_{o,jl} \leq \mu_{jl} + y_{jl,e} \end{cases}$$

Die Aufteilung der Restbestände erwartungsmäßig lieferunfähig werdender Zentrallager und die Befriedigung der sich daraus ergebenden erwarteten zurückgestellten Nachfragen der Bestellpunkte werden mit Hilfe der im nächsten Unterkapitel vorgestellten optimalen Liefermengenstrategie auf die Zentrallager verteilt. Aus den erwarteten Nachliefermengen $x_{t'_{l+1},jk,erw}$ an die Bestellpunkte ergeben sich die erwarteten Lagerendbestände:

$$(5.67) \quad EB_{jl,erw} = EB'_{jl,erw} - \sum_{k=1}^K x_{t'_{l+1},jk,erw}$$

Zur Berechnung des erwarteten Lageranfangsbestands $AB_{o,j(l+1),erw}$ nach Gleichung (5.64) wird der Erwartungswert $\mu_{j(l+1)}$ der stochastischen Gesamtnachfrage, die beim Zentrallager eingeht, benötigt. Auch hier muss auf eine Schätzung zurückgegriffen werden, dem erwarteten Erwartungswert der stochastischen Nachfrage:

$$\begin{aligned}
 (5.68) \quad \mu_{j(l+1),erw} &= R \cdot \sum_{k \in K(j)} \mu_{k(l+1),erw} \\
 &= R \cdot \sum_{k \in K(j)} (\mu_{o,k} - e_k \cdot y'_{kl,erw}) \\
 &= R \cdot (\sum_{k \in K(j)} \mu_{o,k} - \sum_{k \in K(j)} e_k \cdot y'_{kl,erw})
 \end{aligned}$$

Da nur die gesamte erwartete verlorene Nachfrage $y'_{jl,erw}$ bekannt ist, wird der mittlere Enttäuschungsfaktor e_j des Zentrallagers ZL_j genutzt und man erhält

$$\begin{aligned}
 (5.69) \quad \mu_{j(l+1),erw} &= R \cdot (\sum_{k \in K(j)} \mu_{o,k} - \sum_{k \in K(j)} e_j \cdot y'_{kl,erw}) \\
 &= \mu_{o,jl} - e_j \cdot y'_{jl,erw}
 \end{aligned}$$

$$\text{mit } e_j = \frac{1}{|K(j)|} \sum_{k \in K(j)} e_k$$

Nun ergibt sich der erwartete Lageranfangsbestand $AB_{j(l+1),erw}$ durch

$$(5.70) \quad AB_{o,j(l+1),erw} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(SG_j) \cdot \sigma_{j(l+1),erw} + \mu_{j(l+1),erw} + y_{j(l+1)}$$

$$\text{mit } \sigma_{j(l+1),erw} = \begin{cases} \sigma_{o,j(l+1)} & \text{falls } \mu_{j(l+1),erw} \geq 2 \cdot \sigma_{o,j(l+1)} \\ \frac{\mu_{j(l+1),erw}}{2} & \text{falls } \mu_{j(l+1),erw} < 2 \cdot \sigma_{o,j(l+1)} \end{cases}$$

und die vom Zentrallager erwartete Nachfrage $M_{jl,erw}$ berechnet sich durch

$$(5.71) \quad M_{jl,erw} = AB_{o,j(l+1),erw} - EB_{jl,erw}$$

Mit Hilfe dieser erwarteten Nachfrage kann die in der Fertigungsstätte F_i erwartete Nachfrage $M_{il,erw}$ berechnet werden:

$$(5.72) \quad M_{il,erw} = \sum_{j \in J(i)} M_{jl,erw}$$

Um nun die optimale Produktionsmenge im Lieferzyklus l bestimmen zu können, muss die Wahrscheinlichkeit, mit welcher die erwartete Nachfrage bei vorgegebener Produktionsmenge n vollständig bedient wird, berechnet werden. Dazu wird die Binomialverteilung

$$(5.73) \quad P(k|p, n) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}$$

verwendet, wobei $p = 1 - q$ die Wahrscheinlichkeit ist, bei der ein Produkt fehlerfrei ist. $P(k|p, n)$ gibt die Wahrscheinlichkeit an, bei welcher genau k Produkte im Fertigungsprozess keinen Ausschuss bilden. Die Anzahl der fehlerfreien Produkte ist somit durch eine Zufallsvariable X gegeben, die dieser Binomialverteilung gehorcht.

Die Wahrscheinlichkeit, mit welcher die erwartete Nachfrage $M_{il,erw}$ vollständig bedient wird, ist gegeben durch

$$(5.74) \quad P(X \geq M_{il,erw} - RB_{i(l-1)}) = \sum_{k=M_{il,erw}-RB_{i(l-1)}}^n P(k|p_i, n),$$

wobei $RB_{i(l-1)}$ den Restbestand der Fertigungsstätte F_i im vorangegangenen Lieferzyklus bezeichnet.

Die optimale Produktionsmenge $\pi_{o,il}$ entspricht dann der minimalsten Produktionsmenge $n_{i,min}$, sodass

$$(5.75) \quad P(X \geq M_{il,erw} - RB_{i(l-1)}) \geq s_i$$

erfüllt ist.

Treten dennoch in der Fertigungsstätte F_i Fehlmengen Q_{il} auf, so muss entschieden werden, wie diese auf die zugeordneten Zentrallager verteilt werden. Da zum Entscheidungszeitpunkt nicht bekannt ist, wie hoch die Nachfrage an die Zentrallager im folgenden Lieferzyklus ist und welche Bestellpunkte auf Grund dieser Fehlmengen nicht vollständig beliefert werden können, wird als Entscheidungskriterium die Minimierung der entstehenden Fehlmengenkosten gewählt. Es müssen sowohl die Verluste des entgangenen Gewinns im Lieferzyklus l , als auch die auftretenden Goodwill-Verluste im folgenden Lieferzyklus berücksichtigt werden. Da die Fehlmengenkostensätze unabhängig vom Lieferzyklus sind, kann ein zentrallagerspezifischer Fehlmengenkostensatz bestimmt werden

$$(5.76) \quad SOC_j = SOC_{3,j} + SOC_{4,j}$$

mit dessen Hilfe die Zentrallager in eine Rangordnung gebracht werden können, die während des gesamten Betrachtungszeitraums konstant ist. Die gesamte Fehlmenge Q_{il} wird dann immer dem Zentrallager mit dem niedrigsten Fehlmengenkostensatz zugeteilt. Ist $\bar{j} \in J(i)$ der Index des Zentrallagers $ZL_{\bar{j}}$ mit dem niedrigsten Fehlmengenkostensatz $SOC_{\bar{j}}$, so gilt:

$$(5.77) \quad Q'_{jl} = \begin{cases} Q_{il} & \text{für } j = \bar{j} \\ 0 & \text{für } j \in J(i) \setminus \{\bar{j}\} \end{cases}$$

5.3.3 Optimale Liefermengenstrategie

Die Festlegung der kostenoptimalen Liefermengenstrategie erfordert die Lösung zweier Entscheidungsprobleme:

1. Wird ein Zentrallager ZL_j in der Periode t_{r^*l} lieferunfähig, so ist am Ende dieser Periode zu entscheiden, welche Bestellpunkte in welcher Höhe von ZL_j beliefert werden. Da nicht alle Bestellpunkte vollständig beliefert werden können, ist ein Entscheidungskriterium festzulegen, nach dem die Verteilung des noch vorhandenen Lagerbestandes an die nachfragenden Bestellpunkte erfolgt.
2. Sind am Ende des Lieferungszyklus l noch Lagerbestände vorhanden, so kann die zurückgestellte Nachfrage $NLM_{t_{r'l+1}}$ der lieferunfähigen Zentrallager bis zur Höhe der noch vorhandenen Lagerbestände zum Nachliefertermin $t_{r'l+1}$ befriedigt werden. Können nicht alle Bestellpunkte befriedigt werden, so ist ein Entscheidungskriterium festzulegen, nach dem die Verteilung der noch vorhandenen Lagerbestände an die nachfragenden Bestellpunkte erfolgt.

An dieser Stelle soll noch kurz auf das Problem von Warteschlangen eingegangen werden. In dem beschriebenen Distributionsmodell dienen die Zentrallager als Bedienungseinheiten, von denen aus stochastisch auftretender Bedarf an die dem Lager zugeordneten Kunden vereinbarungsgemäß zur Verfügung gestellt werden muss. Sind die Zentrallager nicht lieferfähig, so entstehen zwangsläufig Warteschlangen hinsichtlich unbefriedigter Kundennachfragen, zu deren Beschreibung,

Erklärung und Optimierung in der Vergangenheit verschiedenste Modelle entwickelt wurden. Hieraus entwickelte sich die sog. Warteschlangentheorie, ein Teilgebiet der Wahrscheinlichkeitstheorie, zu deren bekanntesten Vertretern die Arbeiten von Schassberger [SCHA73, S. 43-166] sowie Heller et al. [HELL78, S. 177-229] gehören. Während in den meisten Ausarbeitungen zur Warteschlangentheorie das Prinzip des zeitlichen Eintreffens der kundenspezifischen Nachfrage (sog. first-come-first-serve-Prinzip) bei der Priorisierung unterstellen, sollen dagegen bei der vorliegenden Abhandlung lediglich jene Parameter Anwendung finden, welche die Auswirkungen vorübergehender Lieferunfähigkeit für das betreffende Unternehmen aus reinen Kostenüberlegungen heraus minimieren. Aus diesem Grund soll auf eine nähere Betrachtung dieser Warteschlangenmodelle verzichtet werden [SCHM77, S. 128f.].

5.3.3.1 Optimale Liefermengenstrategie bei Lieferunfähigkeit

Da zum Entscheidungszeitpunkt, d.h. am Ende der Periode t_{r^*l} , nicht bekannt ist, ob am Ende des Lieferzyklus l die entstandenen unbefriedigten Nachfragen der betreffenden Bestellpunkte befriedigt werden können, wird als Entscheidungskriterium die Minimierung der erwarteten Fehlmengenkosten gewählt. Dabei müssen sowohl die im Lieferzyklus l anfallenden Verluste des entgangenen Gewinns bei Auftragsverlust, als auch die im folgenden Lieferzyklus $l + 1$ auftretenden Goodwill-Verluste in Betracht gezogen werden. Da die zugehörigen Fehlmengenkostensätze unabhängig vom Lieferzyklus sind, kann ein bestellpunktspezifischer Fehlmengenkostensatz festgesetzt werden:

$$(5.78) \quad SOC_k = SOC_{3,k} + SOC_{4,k}$$

Damit können die Bestellpunkte eines Zentrallagers in eine Rangordnung gebracht werden, die während des gesamten Betrachtungszeitraums konstant ist. Die Aufteilung des noch vorhandenen Lagerbestandes $y_{j,t_{r^*l}}^*$ an die betreffenden Bestellpunkte erfolgt dann anhand dieser Rangliste, beginnend beim Bestellpunkt mit dem höchsten Fehlmengenkostensatz, bis der noch vorhandene Lagerbestand aufgebraucht ist, d.h.

$$(5.79) \quad y_{j,t_{r^*l}}^* = \sum_{k \in K(j)} x_{t_{r^*l} + t_L(j),k}$$

Die Nachfrage des zuletzt belieferten Bestellpunktes kann dabei ganz oder nur teilweise befriedigt werden.

5.3.3.2 Optimale Liefermengenstrategie bei Nachlieferungen

Zum vereinbarten Nachliefertermin $t_{r'l+1}$ kann die im Lieferzyklus l zurückgestellte Nachfrage der betreffenden Bestellpunkte ganz oder in Teilen bedient werden. Die Restbestände in den Zentrallagern werden nach dem Kriterium minimaler Lieferservicekosten verteilt. Zu minimieren sind dabei die in Lieferzyklus l entgangenen Gewinne $C_{SOC_3,l}$, die in Lieferzyklus $l + 1$ erwarteten Fehlmengenkosten $C_{SOC_4,l+1}$, sowie die Lagerkosten $C_{L,l}$ der Lagerendbestände EB_{jl} . Die zu minimierende Liefermengenkostenfunktion ist somit durch

$$(5.80) \quad C_{SOC_3,l} + C_{SOC_4,l+1} + C_{L,l}$$

gegeben. Die jeweiligen Kosten berechnen sich wie folgt:

$$(5.81) \quad C_{SOC_3,l} = \sum_{k=1}^K NLM_{k,t_{r'l+1}} \cdot SOC_{3,k} - \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{t_{r'l+1},jk} \cdot SOC_{3,kj}$$

$$(5.82) \quad C_{SOC_4,l} = \sum_{k=1}^K (NLM_{k,t_{r'l+1}} - \sum_{j=1}^J x_{t_{r'l+1},jk}) \cdot SOC_{4,k}$$

$$(5.83) \quad C_{L,l} = \sum_{j=1}^J (EB'_{jl} - \sum_{k=1}^K x_{t_{r'l+1},jk}) \cdot (c_{w,j} + c_{k,j})$$

$SOC_{3,kj}$ bezeichnet den Fehlmengenkostensatz des entgangenen Gewinns eines verlorenen Auftrags, falls Bestellpunkt B_k von einem beliebigen Zentrallager ZL_j nicht beliefert wird, d.h.

$$(5.84) \quad SOC_{3,kj} = p - k_p - a_{ij} - a_{jk}.$$

Das folgende lineare Programm ist zu lösen:

$$\min C_{SOC_3,l} + C_{SOC_4,l+1} + C_{L,l}$$

unter den Nebenbedingungen:

$$(5.85) \quad \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{t_{r'l+1},jk} = \min\{\sum_{j=1}^J EB'_{jl}, NLM_{t_{r'l+1}}\}$$

$$\sum_{j=1}^J x_{t_{r'l+1},jk} \leq NLM_{k,t_{r'l+1}} \quad \text{für alle } k = 1, \dots, K$$

$$\sum_{k=1}^K x_{t_{r'l+1},jk} \leq EB'_{jl} \text{ für alle } j = 1, \dots, J$$

$$x_{t_{r'l+1},jk} \geq 0 \text{ für alle } j = 1, \dots, J \text{ und } k = 1, \dots, K$$

Es können drei Fälle unterschieden werden:

- I. Die Lagerendbestände entsprechen genau den nachzuliefernden Mengen:

$$(5.86) \sum_{j=1}^J EB'_{jl} = NLM_{t_{r'l+1}}$$

In diesem Fall fallen sowohl die Kosten der Goodwill-Verluste als auch die Lagerkosten weg, und es genügt die Zielfunktion

$$(5.87) \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{t_{r'l+1},jk} \cdot SOC_{3,kj}$$

zu maximieren.

- II. Die Lagerendbestände sind größer als die nachzuliefernden Mengen:

$$\sum_{j=1}^J EB'_{jl} > NLM_{t_{r'l+1}}$$

In diesem Fall existieren keine Goodwill-Verluste, wodurch es genügt, die Zielfunktion

$$(5.88) \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{t_{r'l+1},jk} \cdot SOC_{3,kj} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{t_{r'l+1},jk} \cdot (c_{w,j} + c_{k,j})$$

zu maximieren.

- III. Die Lagerendbestände sind kleiner als die nachzuliefernden Mengen:

$$\sum_{j=1}^J EB'_{jl} < NLM_{t_{r'l+1}}$$

In diesem Fall existieren keine Lagerkosten. Somit genügt es, die Zielfunktion

$$(5.89) \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{t_{r'l+1},jk} \cdot SOC_{3,kj} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K x_{t_{r'l+1},jk} \cdot SOC_{4,k}$$

zu maximieren.

Tritt letztgenannter Fall ein, so muss entschieden werden, wie die Fehlmengen kostenminimal auf die Zentrallager und Bestellpunkte zu verteilen sind. Zu dieser

Frage sei auf das LAD-Modell (LAD = Lagerausgleichsdistribution) von Schweiger verwiesen, in dem Fragen der Fehlmengenverteilung und Fehlmengenumverteilung wissenschaftlich behandelt werden, mit dem Ziel, Ungereimtheiten bei der Verteilung von Fehl- und Restmengen an spezielle Kunden aufgrund bestimmter Daten, z.B. Bestellzeitpunkt, zu unterbinden [SCHW91, S. 205-212].

5.4 Optimale Lieferzeit

Bei dem vorgestellten Distributionsmodell eines Investitionsgüterproduzenten wurde von einer fest vorgegebenen Lieferzeit $t_L(j)$ und einem fest vorgegebenem Nachliefertermin $t_{r'l}$ ausgegangen. Die Festsetzung eines Nachliefertermins hat im vorgestellten Modell keinen Einfluss auf das Nachfrageverhalten des Bestellpunktes B_k im Zeitablauf. Ein Bestellpunkt wird nur dann mit einem veränderten Verhalten reagieren, sofern selbst zum Nachliefertermin die Ware nicht abgerufen werden kann. Formell lässt sich die Nachlieferzeit $NZ(k)$ für eine vom Zentrallager ZL_j nachgelieferte Bestellung aus Periode $t_{r'l}$ des Bestellpunktes B_k wie folgt ausdrücken:

$$(5.90) \quad NZ(k) = t_{r'l} - (t_{r'l} + t_L(j))$$

Würde die stochastische Nachfrage jedoch vom Parameter Lieferzeit beeinflusst, so stellt die Bestimmung der optimalen Lieferzeit $t_{L,opt}(j)$ ein Entscheidungsproblem dar. Die optimale Lieferzeit ergibt sich dann durch Maximierung des erwarteten lieferzeitabhängigen Gewinns einer Periode bzw. eines Lieferzyklus. Kann die Lieferzeit lediglich durch eine Variation der Transportzeit von den Zentrallagern zu den Bestellpunkten erreicht werden, so ist ihre Bestimmung als langfristiges Entscheidungsproblem zu interpretieren, da sie als Restriktion bei der Wahl der Standorte, der Anzahl und Kapazitäten der Zentrallager sowie Art (z.B. LKW, Bahn, Flugzeug), Anzahl und Kapazitäten der Transportmittel, die kurzfristig nicht änderbar sind, zu berücksichtigen ist.

Eine schnelle Lieferzeit spielt vor allem für Investitionsgüter eine zentrale Rolle, während für Konsumgüter eher die durch den Servicegrad sichergestellte Lieferzuverlässigkeit hinsichtlich Liefermenge und Lieferzeit an Bedeutung gewinnt.

Im Rahmen einer optimalen Lieferservicestrategie ist der Parameter Lieferzeit für einen Investitionsgüterhersteller jedoch nur sehr bedingt einsetzbar, da entsprechende Maßnahmen, wie Direktbelieferung der Bestellpunkte oder Anmietung schnellerer Transportmittel, zu höheren Transportkosten führen, sodass eine kostenminimale Balance im Spannungsfeld zwischen erhöhten Transportkosten einerseits und erwarteten Goodwill-Verlusten andererseits zu suchen ist.

Die Quantifizierung der durch die Lieferzeit abhängigen Kosten und Nachfrage stellt eine eigene wissenschaftliche Disziplin dar, die schon seit den 1970er Jahren immer wieder Gegenstand wissenschaftlicher Diskussionen war und seitdem immer mehr Beachtung findet. An dieser Stelle sei auf die Arbeiten von Hessel-schwerdt [HESS74, S. 115-152] und Engels [ENGE69, S. 35-46] verwiesen, bei welchen die Lieferzeit als Kostenparameter der physischen Distribution bzw. als Parameter einer Absatzprognosefunktion diskutiert wird.

Dem Investitionsgüterhersteller stehen neben der Lieferzeitverkürzung jedoch noch eine ganze Reihe weiterer, marketing- und absatzpolitischer Instrumentarien zur Verfügung, um die Auswirkungen seiner Goodwill-Verluste abzumildern oder sogar in vollem Umfang auszugleichen. Dazu können folgende stichpunktartige Parameter des Marketing-Mix gezählt werden:

- **Preis- und kontrahierungspolitische Maßnahmen** (z.B. Rabatte, Sonderboni)
- **Kommunikationspolitische Maßnahmen** (z.B. Imagekampagne, Messen)
- **Distributionspolitische Maßnahmen** (z.B. Erweiterung des Händlernetzes)

Daneben können noch produktpolitische Maßnahmen hinzukommen (z.B. Produktneueinführungen), sofern die Prämisse einer Einproduktunternehmung aufgehoben werden kann.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die o.g. Maßnahmen stets auf ihre Wirtschaftlichkeit im betreffenden Markt einschließlich des Wettbewerbsumfeldes sowie in besonderer Weise auf ein zu erwartendes, kundenspezifisches Nachfrageverhalten abzustimmen und ggfs. zu optimieren sind.

6 Praxisbeispiel

Nach der theoretischen Herleitung der kostenoptimalen Lieferservicestrategien im vorherigen Kapitel sollen nun diese Ergebnisse auf ihre praktische Aussagefähigkeit hin überprüft werden. Dazu wird für dieses Kapitel ein fiktives, jedoch realistisches Beispiel eines global agierenden Unternehmens der Investitionsgüterindustrie herangezogen.

6.1 Modellparameter und kostenoptimaler Servicegrad

Folgende Ausgangsdaten sollen zugrunde gelegt werden:

- I. Ein Planungszeitraum umfasst $T = 6$ Jahre = 24 Quartale (Perioden)
- II. Ein Lieferzyklus umfasst $R = 1$ Jahr = 4 Quartale, d.h. die Belieferung der Zentrallager erfolgt wöchentlich. Die Gesamtanzahl der betrachteten Lieferzyklen beträgt somit $L = \frac{T}{R} = \frac{24}{4} = 6$.
- III. Das Investitionsgut besitzt pro Stück die mittleren Herstellkosten $k_p = 18$ [EUR], den Verkaufspreis $p = 50$ [EUR] und eine mittlere Lebensdauer von $d = 2$ Lieferzyklen.
- IV. Das Industriegut wird in $I = 3$ Fertigungsstätten F_i ($i = 1, \dots, I$) produziert und weltweit über $J = 5$ Zentrallager ZL_j ($j = 1, \dots, J$) an $K = 10$ Bestellpunkte/Kunden B_k ($k = 1, \dots, K$) vertrieben. Die kostenminimale Zuordnung der Bestellpunkte zu den Zentrallagern und die Zuordnung der Zentrallager zu den Fertigungsstätten ergeben sich aus der Übersicht der Transportkosten je Stück (siehe Tabelle 12 und Tabelle 13).

Bei der Zuordnung der Zentrallager resultieren bei den Stücktransportkosten folgende Beziehungen:

$$\begin{array}{lll} ZL_1, ZL_5 \rightarrow F_1 & J(1) = \{1,5\} & |J(1)| = 2 \\ ZL_3 \rightarrow F_2 & J(2) = \{3\} & |J(2)| = 1 \\ ZL_2, ZL_4 \rightarrow F_3 & J(3) = \{2,4\} & |J(3)| = 2 \end{array}$$

Bei der Zuordnung zu den Bestellpunkten ergeben sich folgende Relationen:

$B_2, B_3, B_7 \rightarrow ZL_1$	$K(1) = \{2,3,7\}$	$ K(1) = 3$
$B_1, B_4, B_{10} \rightarrow ZL_2$	$K(2) = \{1,4,10\}$	$ K(2) = 3$
$B_6 \rightarrow ZL_3$	$K(3) = \{6\}$	$ K(3) = 1$
$B_5 \rightarrow ZL_4$	$K(4) = \{5\}$	$ K(4) = 1$
$B_8, B_9 \rightarrow ZL_5$	$K(5) = \{8,9\}$	$ K(5) = 2$

Das logistische Strukturnetz kann schematisch durch folgende, realitätsnahe Skizze (Abbildung 40) veranschaulicht werden:

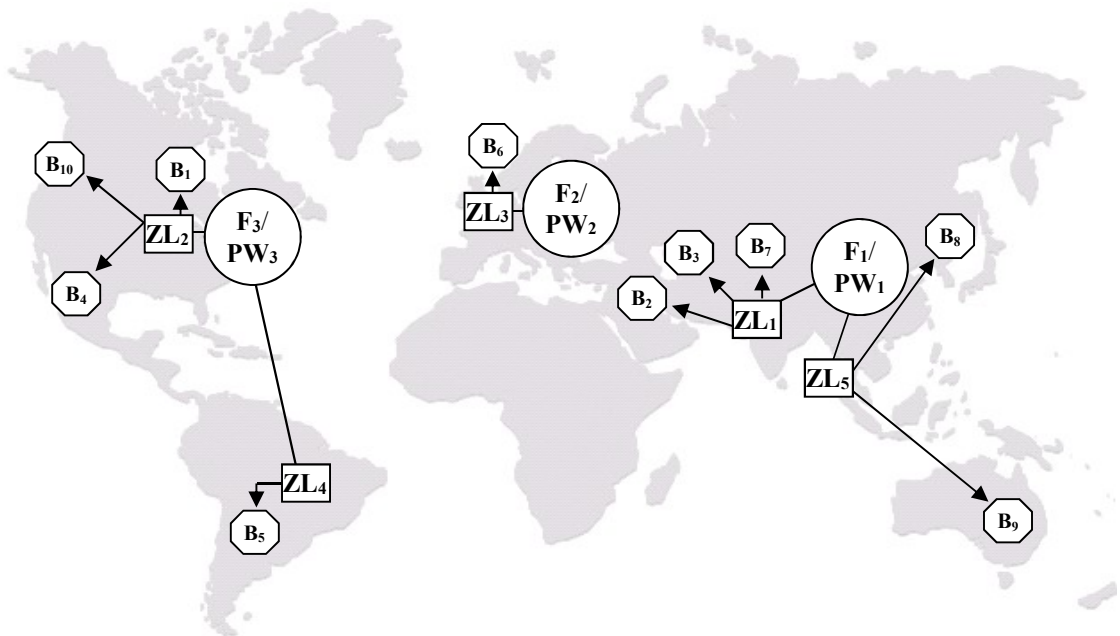


Abbildung 40: Globales, logistisches Strukturnetz eines Investitionsgüterherstellers

Die Ausschusswahrscheinlichkeiten q_i und die Nachfragebefriedigungswahrscheinlichkeiten s_i der Fertigungsstätten i sind gegeben durch

Tabelle 8: Ausschuss- und Nachfragebefriedigungswahrscheinlichkeiten

	F_1	F_2	F_3
q_i	0,05	0,02	0,1
s_i	0,9	0,95	0,8

V. Die maximale Nachfrage der Bestellpunkte B_k im Quartal unterliegt in jedem Lieferzyklus l einer Normalverteilung mit den von l unabhängigen Erwartungswerten $\mu_{o,k}$ und Standardabweichungen $\sigma_{o,k}$.

Tabelle 9: Nachfrageerwartungswerte und Standardabweichungen der maximalen Kundennachfragen im Quartal

	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}
$\mu_{o,k}$	25	48	30	72	37	89	34	66	54	41
$\sigma_{o,k}$	8	17	9	27	11	14	3	17	20	6

Aus Tabelle 9 lassen sich aufgrund der Zuordnungen der Bestellpunkte zu den Zentrallagern die Erwartungswerte $\mu_{o,j}$ bzw. $\mu_{o,jl}$ und Standardabweichungen $\sigma_{o,j}$ bzw. $\sigma_{o,jl}$ der maximalen Nachfrage an die Zentrallager in einem Quartal bzw. einem Jahr ableiten.

Tabelle 10: Nachfrageerwartungswerte und Standardabweichungen der Nachfrage an die Zentrallager in einem Quartal bzw. einem Jahr (Werte gerundet)

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$\mu_{o,j} = \sum_{k \in K(j)} \mu_{o,k}$	112	138	89	37	120
$\sigma_{o,j} = \sqrt{\sum_{k \in K(j)} \sigma_{o,k}^2}$	19	29	14	11	26
$\mu_{o,jl} = R \cdot \mu_{o,j}$	448	552	356	148	480
$\sigma_{o,jl} = \sqrt{R} \cdot \sigma_{o,j}$	38	58	28	22	52

Der kundenspezifische Enttäuschungsfaktor e_k , um welche sich der maximale Erwartungswert $\mu_{o,k}$ der Nachfrage pro Quartal eines Bestellpunktes pro nichtgelieferter Mengeneinheit im vorangegangenen Lieferzyklus verringert, sind in Tabelle 11 gegeben.

Tabelle 11: Bestellpunktspezifische Enttäuschungsfaktoren

	ZL ₁			ZL ₂			ZL ₃	ZL ₄	ZL ₅	
	B ₂	B ₃	B ₇	B ₁	B ₄	B ₁₀	B ₆	B ₅	B ₈	B ₉
e_k	1	6	6	3	9	1,5	1,5	4,5	3	7,5
$= \frac{1}{ K(j) } \sum_{k \in K(j)} e_k$	4,3			4,5			1,5	4,5	5,3	

VI. Die Lieferzeiten der Zentrallager an die Bestellpunkte sind jeweils gleich lang und betragen $t_L(j) = 1$ Tag für $j = 1, \dots, 5$. Für die Nachliefertermine gilt $r' = 1$.

VII. Während eines Lieferzyklus fallen Transport-, Lager- und Fehlmengenkosten an, die mit den folgenden im ganzen Betrachtungszeitraum konstanten Kostensätzen berechnet werden.

i. Transportkosten

Tabelle 12: Transportkostensätze a_{ij} von den Fertigungsstätten zu den Zentrallagern

	ZL ₁	ZL ₂	ZL ₃	ZL ₄	ZL ₅
F_1	4	8	7	10	6
F_2	5	9	3	12	9
F_3	11	6	5	8	7

Tabelle 13: Transportkostensätze a_{jk} von den Zentrallagern zu den Bestellpunkten

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	B ₇	B ₈	B ₉	B ₁₀
ZL ₁	4	2	3	8	5	4	1	9	6	7
ZL ₂	2	3	5	1	6	8	4	5	7	2
ZL ₃	3	8	6	4	9	3	7	4	2	5
ZL ₄	9	6	4	5	1	7	3	8	4	6
ZL ₅	7	5	8	2	3	5	6	3	1	9

- ii. Die Lagerkosten setzen sich aus drei mit der Lagerhaltung verbundenen Kosten zusammen.

Tabelle 14: Planungs- und Steuerungskosten $C_{s,j}$ sowie Prozesskosten $C_{p,j}$

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$C_{s,j}$	255	244	231	237	240
$C_{p,j}$	161	166	154	150	163

Tabelle 15: Kostensätze $c_{o,j}$ der Bestellkosten $C_{o,jl}$

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$c_{o,j}$	2,45	2,53	2,51	2,57	2,46

Tabelle 16: Kostensätze $c_{w,j}$ bzw. $c_{k,j}$ der Lagerhaltungs- und Kapitalbindungskosten $C_{w,jl}$ bzw. $C_{k,jl}$

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$c_{w,j}$	4,13	3,51	4,45	3,87	2,30
$c_{k,j}$ $= p \cdot \frac{z}{R}$	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36

- iii. Die Fehlmengenkostensätze beziehen sich auf eine Nichtbelieferung des Bestellpunktes B_k durch das Zentrallager ZL_j
- iii.1 Die Fehlmengenkostensätze des entgangenen Gewinns berechnen sich durch $SOC_{3,kj} = p - k_p - a_{ij} - a_{jk}$.

Tabelle 17: Fehlmengenkostensätze $SOC_{3,k,j}$ des entgangenen Gewinns $C_{SOC_{3,k,l}}$
(Fettgedruckte Werte entsprechen $SOC_{3,k}$)

	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}
ZL_1	24	26	25	20	23	24	27	19	22	21
ZL_2	24	23	21	25	20	18	22	21	19	24
ZL_3	26	21	23	25	20	26	22	25	27	24
ZL_4	15	18	20	19	23	17	21	16	20	18
ZL_5	19	21	18	24	23	21	20	23	25	17

iii.2 Die Fehlmengenkostensätze der Goodwill-Verluste berechnen sich durch $SOC_{4,k} = R \cdot e_k \cdot SOC_{3,k}$.

Tabelle 18: Fehlmengenkostensätze $SOC_{4,k}$ der Goodwill-Verluste $C_{SOC_{4,k,(l+1)}}$

	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}
$SOC_{4,k}$	288	104	600	900	414	156	648	276	750	144

iii.3 Die zentrallagerbezogenen Fehlmengenkostensätze können mit Hilfe von Tabelle 17 und Tabelle 18 berechnet werden.

Tabelle 19: Zentrallagerbezogene Fehlmengenkostensätze $SOC_{3,j}$ und $SOC_{4,j}$ (Werte gerundet)

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$SOC_{3,j} = \frac{1}{ K(j) } \sum_{k \in K(j)} SOC_{3,k}$	26	24	26	23	24
$SOC_{4,j} = \frac{1}{ K(j) } \sum_{k \in K(j)} SOC_{4,k}$	451	444	156	414	513

VIII. Die für die optimalen Strategien notwendigen Ranglisten ergeben sich durch die bestellpunkt- bzw. zentrallagerspezifischen Fehlmengenkostensätzen $SOC_k = SO_{3,k} + SOC_{4,k}$ bzw. $SOC_j = SOC_{3,j} + SOC_{4,j}$.

Tabelle 20: Rangfolge der bestellpunktspezifischen Fehlmengenkostensätze

	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	B_7	B_8	B_9	B_{10}
SOC_k	312	130	625	925	437	182	675	299	775	168
Rang	6	10	4	1	5	8	3	7	2	9

Tabelle 21: Rangfolge der zentrallagerspezifischen Fehlmengenkostensätze

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
SOC_j	477	468	182	437	537
Rang	4	3	1	2	5

IX. Da im Lieferzyklus $l = 0$ davon ausgegangen wird, dass alle Nachfragen vollständig bedient werden konnten und die daraus entstehende Ersatzbedarfsnachfrage nicht berücksichtigt werden muss, erhält man die folgenden über alle Lieferzyklen konstanten kostenoptimalen Servicegrade aus Gleichung (5.56):

$$SG_1 = 1 - \frac{2 \cdot 4,49}{477} = 0,98117 \quad (\approx 98,12 \%)$$

$$SG_2 = 1 - \frac{2 \cdot 3,87}{468} = 0,98346 \quad (\approx 98,35 \%)$$

$$SG_3 = 1 - \frac{2 \cdot 4,81}{182} = 0,94714 \quad (\approx 94,71 \%)$$

$$SG_4 = 1 - \frac{2 \cdot 4,23}{437} = 0,98064 \quad (\approx 98,06 \%)$$

$$SG_5 = 1 - \frac{2 \cdot 2,66}{537} = 0,99009 \quad (\approx 99,01 \%)$$

6.2 Berechnung der Lieferzyklen

6.2.1 Erster Lieferzyklus

Da im Lieferzyklus $l = 0$ davon ausgegangen wird, dass alle Nachfragen vollständig bedient werden, ergeben sich für den Lieferzyklus $l = 1$ die folgenden Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen:

Tabelle 22: Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen je Zentrallager

	ZL ₁			ZL ₂			ZL ₃	ZL ₄	ZL ₅	
	B ₂	B ₃	B ₇	B ₁	B ₄	B ₁₀	B ₆	B ₅	B ₈	B ₉
μ_{k1}	48	30	34	25	72	41	89	37	66	54
σ_{k1}	17	9	3	8	27	6	14	11	17	20
μ_{j1}	448			552			356	148	480	
σ_{j1}	38			58			28	22	52	

Die bis jetzt entstandene Ersatzbedarfsnachfrage wird nicht berücksichtigt und man erhält aus Gleichung (5.62) für den ersten Lieferzyklus folgende kostenoptimale Lageranfangsbestände:

$$AB_{o,11} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98117) \cdot 38 + 448 = 2,08 \cdot 38 + 448 = 527$$

$$AB_{o,21} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98346) \cdot 58 + 552 = 2,13 \cdot 58 + 552 = 676$$

$$AB_{o,31} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,94714) \cdot 28 + 356 = 1,62 \cdot 28 + 356 = 401$$

$$AB_{o,41} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98064) \cdot 22 + 148 = 2,07 \cdot 22 + 148 = 194$$

$$AB_{o,51} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,99009) \cdot 52 + 480 = 2,33 \cdot 52 + 480 = 601$$

(Diese Werte wurden auf ganze Zahlen auf- bzw. abgerundet).

Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass im Lieferzyklus $l = 0$ das Industriegut in ausreichendem Maße in den Fertigungsstätten produziert wurde, sodass die Bestellung jedes Zentrallager vollständig befriedigt werden kann. Somit ergeben sich die tatsächlichen Lageranfangsbestände zu:

$$AB_{11} = 527$$

$$AB_{21} = 676$$

$$AB_{31} = 401$$

$$AB_{41} = 194$$

$$AB_{51} = 601$$

Nun kann die optimale Produktionsmenge mit Hilfe der Strategie aus Abschnitt 5.3.2 bestimmt werden. Die erwarteten Lagerendbestände vor Realisierung der Nachlieferungen ergeben sich wie folgt:

Tabelle 23: Erwartete Endbestände je Zentrallager vor Nachlieferungen

	ZL ₁	ZL ₂	ZL ₃	ZL ₄	ZL ₅
$EB'_{j1,erw}$	79	124	45	46	121
r^*	-	-	-	-	-
$y_{j,t,r^*,erw}^*$	0	0	0	0	0

Da kein Zentrallager lieferunfähig wird, sind keine Nachlieferungen nötig. Tabelle 24 enthält die benötigten erwarteten Lagerendbestände und die erwartete verlorene Nachfrage des Lieferzyklus $l = 1$, sowie den erwarteten Erwartungswert der Nachfrage, die zugehörige erwartete Standardabweichung und die daraus resultierenden erwarteten optimalen Lageranfangsbestände des Folgelieferzyklus $l = 2$. Weiterhin wird die daraus folgende erwartete Nachfrage der einzelnen Zentrallager an die Fertigungsstätten, sowie die gesamte erwartete Nachfrage an die Fertigungsstätten des Lieferzyklus $l = 1$ angegeben.

Tabelle 24: Erwartungswerte der Nachfrage und Anfangsbestände

		$EB_{j1,erw}$	$\cdot y'_{j1,erw}$	$\mu_{j2,erw}$	$\sigma_{j2,erw}$	$AB_{o,j2,erw}$	$M_{j1,erw}$	$M_{i1,erw}$
F_1	ZL ₁	79	0,26	447	38	526	447	926
	ZL ₅	121	0,18	479	52	600	479	
F_2	ZL ₃	45	0,64	355	28	400	355	355
F_3	ZL ₂	124	0,34	550	58	674	550	697
	ZL ₄	46	0,15	147	22	193	147	

Mit diesen Werten kann nun die optimale Produktionsmenge (siehe Anhang 1), der tatsächlich vorhandene Ausschuss sowie die somit zur Auslieferung vorhandene Menge an Industriegütern jeder Fertigungsstätte bestimmt werden:

Tabelle 25: Optimale Produktionsmenge, Ausschuss und Liefermenge je Fertigungsstätte

	$\pi_{o,i1}$	ρ_{i1}	π_{i1}
F_1	969	92	877
F_2	362	9	353
F_3	765	78	687

Die Nachfragerealisationen $y_{k,t_r,l,s}$ der einzelnen Bestellpunkte in jedem Quartal des ersten Lieferzyklus sind in Tabelle 26 zusammengefasst. Die Ersatzbedarfsnachfrage ist für jeden Bestellpunkt null. Die Nachfragerealisationen wurden mit Hilfe eines Zufallsgenerators erzeugt.

Tabelle 26: Nachfragerealisation des ersten Lieferzyklus

		$y_{k,t_{11},s}$	$y_{k,t_{21},s}$	$y_{k,t_{31},s}$	$y_{k,t_{41},s}$	$y_{k1,s}$	y_{k1}	y_{j1}
ZL_1	B_2	59	44	46	77	226	226	453
	B_3	19	34	25	18	96	96	
	B_7	34	33	31	33	131	131	
ZL_2	B_1	32	21	26	38	117	117	538
	B_4	81	58	30	98	267	267	
	B_{10}	41	45	30	38	154	154	
ZL_3	B_6	71	86	101	88	346	346	346
ZL_4	B_5	45	19	23	62	149	149	149
ZL_5	B_8	72	96	40	71	279	279	509
	B_9	57	66	33	74	230	230	

Tabelle 27 enthält die Lagerbestände der Zentrallager am Ende jeden Quartals. Der Lagerbestand des letzten Quartals entspricht dabei dem Lagerendbestand EB'_{j1} vor der Realisierung der Nachlieferung.

Tabelle 27: Lagerendbestände nach Periode je Zentrallager

	t_{11}	t_{21}	t_{31}	t_{41}
ZL_1	415	304	202	74
ZL_2	522	398	312	138
ZL_3	330	244	143	55
ZL_4	149	130	107	45
ZL_5	472	310	237	92

Die im ersten Lieferzyklus entstandenen Lagerkosten setzen sich wie folgt zusammen:

Tabelle 28: Lagerkosten im ersten Lieferzyklus

	$C_{s,j}$	$C_{p,j}$	$C_{o,j1}$	$C_{w,j1}$	$C_{k,j1}$
ZL_1	255	161	1109,85	4109,35	358,20
ZL_2	244	166	1361,14	4808,70	493,20
ZL_3	231	154	868,46	3435,40	277,92
ZL_4	237	150	382,93	1667,97	155,16
ZL_5	240	163	1252,14	2555,30	399,96

Im ersten Lieferzyklus war die Nachfrage der Bestellpunkte kleiner als die Lageranfangsbestände der ihnen zugeordneten Zentrallager, sodass sich am Ende des ersten Zyklus ein Servicegrad von 100% für alle Zentrallager ergab. Die gesamte Kundennachfrage konnte damit zu den vereinbarten Lieferterminen in vollem Umfang befriedigt werden.

6.2.2 Zweiter Lieferzyklus

Da alle Bestellpunkte vollständig befriedigt wurden, ergeben sich die Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen des zweiten Lieferzyklus wie folgt:

Tabelle 29: Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen je Zentrallager

	ZL_1			ZL_2			ZL_3	ZL_4	ZL_5	
	B_2	B_3	B_7	B_1	B_4	B_{10}	B_6	B_5	B_8	B_9
μ_{k2}	48	30	34	25	72	41	89	37	66	54
σ_{k2}	17	9	3	8	27	6	14	11	17	20
μ_{j2}	448			552			356	148	480	
σ_{j2}	38			58			28	22	52	

Des Weiteren fällt noch kein Ersatzbedarf an, sodass die optimalen Lageranfangsbestände im Lieferzyklus $l = 2$ mit den optimalen Lageranfangsbeständen des ersten Lieferzyklus übereinstimmen. Tabelle 30 enthält den Lagerendbestand der Fertigungsstätten im ersten Lieferzyklus nach Nachlieferungen, die optimalen Lageranfangsbestände des zweiten Lieferzyklus, die Bestellmengen der Zentrallager sowie die gesamte Bestellmenge an die jeweiligen Fertigungsstätten:

Tabelle 30: Endbestände, optimale Lageranfangsbestände und Bestellmengen

		EB_{j1}	$AB_{o,j2}$	M_{j1}	M_{i1}
F_1	ZL_1	74	527	453	962
	ZL_5	92	601	509	
F_2	ZL_3	55	401	346	346
F_3	ZL_2	138	676	538	687
	ZL_4	45	194	149	

Damit ergeben sich folgende Fehlmengen, Restbestände, Liefermengen und tatsächlichen Lageranfangsbestände:

Tabelle 31: Fehlmengen, Restbestände, Liefermengen und tatsächliche Lageranfangsbestände im zweiten Lieferzyklus

		π_{i1}	Q_{i1}	RB_{i1}	Q'_{j1}	AB_{j2}
F_1	ZL_1	877	85	0	85	442
	ZL_5				0	601
F_2	ZL_3	353	0	7	0	401
F_3	ZL_2	687	0	0	0	676
	ZL_4				0	194

Nun kann die optimale Produktionsmenge mit Hilfe der Strategie aus Abschnitt 5.3.2 bestimmt werden. Die erwarteten Lagerendbestände vor Realisierung der Nachlieferungen sowie die noch vorhandenen Lagerbestände bei Lieferunfähigkeit ergeben sich wie folgt:

Tabelle 32: Erwartete Endbestände je Zentrallager vor Nachlieferungen

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$EB'_{j2,erw}$	0	124	45	46	121
r^*	4	-	-	-	-
$y_{j,t,r^*,erw}^*$	106	0	0	0	0

Die Aufteilung des Restbestands des lieferunfähig gewordenen Zentrallagers ZL_1 auf die zugehörigen Bestellpunkte zeigt Tabelle 33:

Tabelle 33: Bestellpunktspezifische Aufteilung des Restlagerbestandes

	ZL_1		
	B_2	B_3	B_7
$y_{k,t,r^*,erw}$	48	30	34
Rang	10	4	3
$x_{t_r^*+t_L(j),k,erw}$	42	30	34
$NLM_{k,t_r^*,erw}$	6	0	0
$NLM_{j,t_r^*,erw}$	6		
$NLM_{t_r^*,erw}$	6		

Da nur der Kunde B_2 einen Nachlieferbedarf besitzt, können die erwarteten Nachliefermengen $x_{t_r',j,k,erw}$ aller anderen Bestellpunkte gleich 0 gesetzt werden, d.h.

$$x_{t_r',j,k,erw} = 0 \quad \text{für alle } k \in \{1,3,4,5,6,7,8,9,10\} \text{ und } j = 1, \dots, 5.$$

Somit genügt es, das folgende, vereinfachte lineare Programm zu lösen:

$$\max \sum_{j=1}^5 x_{t_r',j2,erw} \cdot \text{SOC}_{3,2j} + \sum_{j=1}^5 x_{t_r',j2,erw} \cdot (c_{w,j} + c_{k,j})$$

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{j=1}^5 x_{t_r',j2,erw} = \text{NLM}_{t_r',erw} = 6$$

$$x_{t_r',j2,erw} \leq EB'_{j2,erw} \text{ für alle } j = 1, \dots, 5$$

$$x_{t_r',j2,erw} \geq 0 \text{ für alle } j = 1, \dots, 5$$

Tabelle 34: Kostenminimale Zuordnung der Nachliefermenge auf die Zentrallager

	ZL ₂	ZL ₃	ZL ₄	ZL ₅
$c_{w,j} + c_{k,j} + \text{SOC}_{3,2j}$	26,87	25,81	22,23	23,66
$x_{t_r',j2,erw}$	6	0	0	0

Tabelle 35 enthält die benötigten erwarteten Lagerendbestände und die erwartete verlorene Nachfrage des Lieferzyklus $l = 2$, sowie den erwarteten Erwartungswert der Nachfrage, die zugehörige erwartete Standardabweichung und die daraus resultierenden erwarteten optimalen Lageranfangsbestände des Folgelieferzyklus $l = 3$. Des Weiteren wird die daraus folgende erwartete Nachfrage der einzelnen Zentrallager an die Fertigungsstätten, sowie die gesamte erwartete Nachfrage an die Fertigungsstätten des Lieferzyklus $l = 2$ angegeben.

Tabelle 35: Erwartungswerte der Nachfrage und Anfangsbestände

		$EB_{j2,erw}$	$y'_{j2,erw}$	$\mu_{j3,erw}$	$\sigma_{j3,erw}$	$y_{j3,e}$	$AB_{o,j3,erw}$	$M_{j2,erw}$	$M_{i2,erw}$
F_1	ZL ₁	0	18,35	369	38	453	901	901	1889
	ZL ₅	121	0,18	479	52	509	1109	988	
F_2	ZL ₃	45	0,64	355	28	346	746	701	701
F_3	ZL ₂	118	0,34	550	58	538	1212	1094	1390
	ZL ₄	46	0,15	147	22	149	342	296	

Mit diesen Werten kann nun die optimale Produktionsmenge (siehe Anhang 1), der tatsächlich vorhandene Ausschuss sowie die somit zur Auslieferung vorhandene Menge an Industriegütern jeder Fertigungsstätte bestimmt werden.

Tabelle 36: Optimale Produktionsmenge, Ausschuss und Liefermenge je Fertigungsstätte

	$\pi_{o,i2}$	ρ_{i2}	RB_{i1}	π_{i2}
F_1	1978	87	0	1891
F_2	706	16	7	697
F_3	1529	147	0	1382

Die Nachfragerealisationen $y_{k,t_{rl},s}$ der einzelnen Bestellpunkte in jedem Quartal des zweiten Lieferzyklus sind in Tabelle 37 zusammengefasst. Die Ersatzbedarfsnachfrage ist für jeden Bestellpunkt null. Die Nachfragerealisationen wurden mit Hilfe eines Zufallsgenerators erzeugt.

Tabelle 37: Nachfragerealisation des zweiten Lieferzyklus

		$y_{k,t_{12},s}$	$y_{k,t_{22},s}$	$y_{k,t_{32},s}$	$y_{k,t_{42},s}$	$y_{k2,s}$	y_{k2}	y_{j2}
ZL_1	B_2	24	40	43	37	144	144	410
	B_3	39	34	23	31	127	127	
	B_7	40	31	30	38	139	139	
ZL_2	B_1	20	13	38	23	94	94	551
	B_4	71	89	95	44	299	299	
	B_{10}	33	48	33	44	158	158	
ZL_3	B_6	86	72	98	71	327	327	327
ZL_4	B_5	57	37	30	43	167	167	167
ZL_5	B_8	60	75	66	37	238	238	470
	B_9	31	55	81	65	232	232	

Tabelle 38 enthält die Lagerbestände der Zentrallager am Ende jeden Quartals. Der Lagerbestand des letzten Quartals entspricht dabei dem Lagerendbestand EB'_{j2} vor der Realisierung der Nachlieferung.

Tabelle 38: Lagerendbestände nach Periode je Zentrallager

	t_{12}	t_{22}	t_{32}	t_{42}
ZL_1	339	234	138	32
ZL_2	552	402	236	125
ZL_3	315	243	145	74
ZL_4	137	100	70	27
ZL_5	510	380	233	131

Die im zweiten Lieferzyklus entstandenen Lagerkosten setzen sich wie folgt zusammen:

Tabelle 39: Lagerkosten im zweiten Lieferzyklus

	$C_{s,j}$	$C_{p,j}$	$C_{o,j2}$	$C_{w,j2}$	$C_{k,j2}$
ZL_1	255	161	1004,50	3068,59	267,48
ZL_2	244	166	1394,03	4615,65	473,40
ZL_3	231	154	820,77	3457,65	279,72
ZL_4	237	150	429,19	1292,58	120,24
ZL_5	240	163	1156,20	2884,20	451,44

Im zweiten Lieferzyklus war die Nachfrage der Bestellpunkte kleiner als die Lageranfangsbestände der ihnen zugeordneten Zentrallager, sodass sich am Ende des zweiten Zyklus ein Servicegrad von 100% für alle Zentrallager ergab. Die gesamte Kundennachfrage konnte damit zu den vereinbarten Lieferterminen in vollem Umfang befriedigt werden.

6.2.3 Dritter Lieferzyklus

Da alle Bestellpunkte vollständig befriedigt wurden ergeben sich die Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen des dritten Lieferzyklus wie folgt:

Tabelle 40: Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen je Zentrallager

	ZL_1			ZL_2			ZL_3	ZL_4	ZL_5	
	B_2	B_3	B_7	B_1	B_4	B_{10}	B_6	B_5	B_8	B_9
μ_{k3}	48	30	34	25	72	41	89	37	66	54
σ_{k3}	17	9	3	8	27	6	14	11	17	20
μ_{j3}	448			552			356	148	480	
σ_{j3}	38			58			28	22	52	

Tabelle 41 zeigt den im dritten Lieferzyklus anfallenden Ersatzbedarf je Zentrallager:

Tabelle 41: Ersatzbedarf je Zentrallager

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$y_{j3,e}$	453	538	346	149	509

Damit ergeben sich die folgenden optimalen Lageranfangsbestände:

$$AB_{o,13} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98117) \cdot 38 + 448 + 453 = 980$$

$$AB_{o,23} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98346) \cdot 58 + 552 + 538 = 1214$$

$$AB_{o,33} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,94714) \cdot 28 + 356 + 346 = 747$$

$$AB_{o,43} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98064) \cdot 22 + 148 + 149 = 343$$

$$AB_{o,53} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,99009) \cdot 52 + 480 + 509 = 1110$$

Tabelle 42 enthält den Lagerendbestand der Fertigungsstätten im zweiten Lieferzyklus nach Nachlieferungen, die optimalen Lageranfangsbestände des dritten Lieferzyklus, die Bestellmengen der Zentrallager sowie die gesamte Bestellmenge an die jeweiligen Fertigungsstätten:

Tabelle 42: Endbestände, optimale Lageranfangsbestände und Bestellmengen

		EB_{j2}	$AB_{o,j3}$	M_{j2}	M_{i2}
F_1	ZL_1	32	980	948	1927
	ZL_5	131	1110	979	
F_2	ZL_3	74	747	673	673
F_3	ZL_2	125	1214	1089	1405
	ZL_4	27	343	316	

Damit ergeben sich folgende Fehlmengen, Restbestände, Liefermengen und tatsächlichen Lageranfangsbestände:

Tabelle 43: Fehlmengen, Restbestände, Liefermengen und tatsächliche Lageranfangsbestände im dritten Lieferzyklus

		π_{i2}	Q_{i2}	RB_{i2}	Q'_{j2}	AB_{j3}
F_1	ZL_1	1891	36	0	36	944
	ZL_5				0	1110
F_2	ZL_3	697	0	24	0	747
F_3	ZL_2	1382	23	0	0	1214
	ZL_4				23	320

Nun kann die optimale Produktionsmenge mit Hilfe der Strategie aus Abschnitt 5.3.2 bestimmt werden. Die erwarteten Lagerendbestände vor Realisierung der Nachlieferungen sowie die noch vorhandenen Lagerbestände bei Lieferunfähigkeit ergeben sich wie folgt:

Tabelle 44: Erwartete Endbestände je Zentrallager vor Nachlieferungen

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$EB'_{j3,erw}$	43	124	45	23	121
r^*	-	-	-	-	-
$y_{j,t_r^*,3,erw}^*$	0	0	0	0	0

Da kein Zentrallager lieferunfähig wird, sind keine Nachlieferungen nötig. Tabelle 45 enthält die benötigten erwarteten Lagerendbestände und die erwartete verlorene Nachfrage des Lieferzyklus $l = 3$, sowie den erwarteten Erwartungswert der Nachfrage, die

zugehörige erwartete Standardabweichung und die daraus resultierenden erwarteten optimalen Lageranfangsbestände des Folgelieferzyklus $l = 4$. Des Weiteren wird die daraus folgende erwartete Nachfrage der einzelnen Zentrallager an die Fertigungsstätten, sowie die gesamte erwartete Nachfrage an die Fertigungsstätten des Lieferzyklus $l = 3$ angegeben.

Tabelle 45: Erwartungswerte der Nachfrage und Anfangsbestände

		$EB_{j3,erw}$	$y'_{j3,erw}$	$\mu_{j4,erw}$	$\sigma_{j4,erw}$	$y_{j4,e}$	$AB_{0,j4,erw}$	$M_{j3,erw}$	$M_{i3,erw}$
F_1	ZL_1	43	2,45	437	38	410	926	883	1832
	ZL_5	121	0,18	479	52	470	1070	949	
F_2	ZL_3	45	0,64	355	28	327	727	682	682
F_3	ZL_2	124	0,34	550	58	551	1225	1101	1435
	ZL_4	23	0,96	144	22	167	357	334	

Mit diesen Werten kann nun die optimale Produktionsmenge (siehe Anhang 1), der tatsächlich vorhandene Ausschuss sowie die somit zur Auslieferung vorhandene Menge an Industriegütern jeder Fertigungsstätte bestimmt werden.

Tabelle 46: Optimale Produktionsmenge, Ausschuss und Liefermenge je Fertigungsstätte

	$\pi_{0,i3}$	ρ_{i3}	RB_{i2}	π_{i3}
F_1	1918	72	0	1846
F_2	670	13	24	681
F_3	1579	171	0	1408

Die Ersatzbedarfsnachfrage $y_{k,t,r,l,e}$ der einzelnen Bestellpunkte in jedem Quartal des dritten Lieferzyklus ergibt sich wie folgt:

Tabelle 47: Ersatzbedarfsnachfrage nach Periode und Zentrallager

		$y_{k,t_{13},e}$	$y_{k,t_{23},e}$	$y_{k,t_{33},e}$	$y_{k,t_{43},e}$	$y_{k3,e}$	$y_{j3,e}$
ZL_1	B_2	59	44	46	77	226	453
	B_3	19	34	25	18	96	
	B_7	34	33	31	33	131	
ZL_2	B_1	32	21	26	38	117	538
	B_4	81	58	30	98	267	
	B_{10}	41	45	30	38	154	
ZL_3	B_6	71	86	101	88	346	346
ZL_4	B_5	45	19	23	62	149	149
ZL_5	B_8	72	96	40	71	279	509
	B_9	57	66	33	74	230	

Die Nachfragerealisationen $y_{k,t_{r,l},s}$ der einzelnen Bestellpunkte in jedem Quartal des dritten Lieferzyklus sind in Tabelle 48 zusammengefasst. Sie wurden mit Hilfe eines Zufallsgenerators erzeugt.

Tabelle 48: Nachfragerealisation des dritten Lieferzyklus

		$y_{k,t_{13},s}$	$y_{k,t_{23},s}$	$y_{k,t_{33},s}$	$y_{k,t_{43},s}$	$y_{k3,s}$	y_{k3}	y_{j3}
ZL_1	B_2	27	54	33	41	155	381	831
	B_3	27	22	32	16	97	193	
	B_7	32	31	29	34	126	257	
ZL_2	B_1	22	36	28	33	119	236	1079
	B_4	51	77	66	74	268	535	
	B_{10}	41	40	42	31	154	308	
ZL_3	B_6	92	67	105	75	339	685	685
ZL_4	B_5	24	45	21	32	122	271	271
ZL_5	B_8	59	64	95	51	269	548	983
	B_9	70	38	40	57	205	435	

Tabelle 49 enthält die Lagerbestände der Zentrallager am Ende jeden Quartals. Der Lagerbestand des letzten Quartals entspricht dabei dem Lagerendbestand EB'_{j3} vor der Realisierung der Nachlieferung.

Tabelle 49: Lagerendbestände nach Periode je Zentrallager

	t_{13}	t_{23}	t_{33}	t_{43}
ZL_1	746	528	332	113
ZL_2	946	669	447	135
ZL_3	584	431	225	62
ZL_4	251	187	143	49
ZL_5	852	588	380	127

Die im dritten Lieferzyklus entstandenen Lagerkosten setzen sich wie folgt zusammen:

Tabelle 50: Lagerkosten im dritten Lieferzyklus

	$C_{s,j}$	$C_{p,j}$	$C_{o,j3}$	$C_{w,j3}$	$C_{k,j3}$
ZL_1	255	161	2035,95	7099,47	618,84
ZL_2	244	166	2729,87	7711,47	790,92
ZL_3	231	154	1719,35	5793,90	468,72
ZL_4	237	150	696,47	2438,10	226,80
ZL_5	240	163	2418,18	4.478,10	700,92

Im dritten Lieferzyklus war die Nachfrage der Bestellpunkte kleiner als die Lageranfangsbestände der ihnen zugeordneten Zentrallager, sodass sich am Ende des dritten Zyklus ein Servicegrad von 100% für alle Zentrallager ergab. Die gesamte Kundennachfrage konnte damit zu den vereinbarten Lieferterminen in vollem Umfang befriedigt werden.

6.2.4 Vierter Lieferzyklus

Da alle Bestellpunkte vollständig befriedigt wurden ergeben sich die Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen des vierten Lieferzyklus wie folgt:

Tabelle 51: Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen je Zentrallager

	ZL ₁			ZL ₂			ZL ₃	ZL ₄	ZL ₅	
	B ₂	B ₃	B ₇	B ₁	B ₄	B ₁₀	B ₆	B ₅	B ₈	B ₉
μ_{k4}	48	30	34	25	72	41	89	37	66	54
σ_{k4}	17	9	3	8	27	6	14	11	17	20
μ_{j4}	448			552			356	148	480	
σ_{j4}	38			58			28	22	52	

Tabelle 52 zeigt den im vierten Lieferzyklus anfallenden Ersatzbedarf je Zentrallager:

Tabelle 52: Ersatzbedarf je Zentrallager

	ZL ₁	ZL ₂	ZL ₃	ZL ₄	ZL ₅
$y_{j4,e}$	410	551	327	167	470

Damit ergeben sich die folgenden optimalen Lageranfangsbestände:

$$AB_{o,14} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98117) \cdot 38 + 448 + 410 = 937$$

$$AB_{o,24} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98346) \cdot 58 + 552 + 551 = 1227$$

$$AB_{o,34} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,94714) \cdot 28 + 356 + 327 = 728$$

$$AB_{o,44} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98064) \cdot 22 + 148 + 167 = 361$$

$$AB_{o,54} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,99009) \cdot 52 + 480 + 470 = 1071$$

Tabelle 53 enthält den Lagerendbestand der Fertigungsstätten im dritten Lieferzyklus nach Nachlieferungen, die optimalen Lageranfangsbestände des vierten Lieferzyklus, die Bestellmengen der Zentrallager sowie die gesamte Bestellmenge an die jeweiligen Fertigungsstätten:

Tabelle 53: Endbestände, optimale Lageranfangsbestände und Bestellmengen

		EB_{j3}	$AB_{o,j4}$	M_{j3}	M_{i3}
F_1	ZL_1	113	937	824	1768
	ZL_5	127	1071	944	
F_2	ZL_3	62	728	666	666
F_3	ZL_2	135	1227	1092	1404
	ZL_4	49	361	312	

Damit ergeben sich folgende Fehlmengen, Restbestände, Liefermengen und tatsächlichen Lageranfangsbestände:

Tabelle 54: Fehlmengen, Restbestände, Liefermengen und tatsächliche Lageranfangsbestände im vierten Lieferzyklus

		π_{i3}	Q_{i3}	RB_{i3}	Q'_{j3}	AB_{j4}
F_1	ZL_1	1846	0	78	0	937
	ZL_5				0	1071
F_2	ZL_3	681	0	15	0	728
F_3	ZL_2	1408	0	4	0	1227
	ZL_4				0	361

Nun kann die optimale Produktionsmenge mit Hilfe der Strategie aus Abschnitt 5.3.2 bestimmt werden. Die erwarteten Lagerendbestände vor Realisierung der Nachlieferungen sowie die noch vorhandenen Lagerbestände bei Lieferunfähigkeit ergeben sich wie folgt:

Tabelle 55: Erwartete Endbestände je Zentrallager vor Nachlieferungen

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$EB'_{j4,erw}$	79	124	45	46	121
r^*	-	-	-	-	-
$y_{j,t,r^*,erw}^*$	0	0	0	0	0

Da kein Zentrallager lieferunfähig wird, sind keine Nachlieferungen nötig. Tabelle 56 enthält die benötigten erwarteten Lagerendbestände und die erwartete verlorene Nachfrage des Lieferzyklus $l = 4$, sowie den erwarteten Erwartungswert der Nachfrage, die zugehörige erwartete Standardabweichung und die daraus resultierenden erwarteten

optimalen Lageranfangsbestände des Folgelieferzyklus $l = 5$. Des Weiteren wird die daraus folgende erwartete Nachfrage der einzelnen Zentrallager an die Fertigungsstätten, sowie die gesamte erwartete Nachfrage an die Fertigungsstätten des Lieferzyklus $l = 3$ angegeben.

Tabelle 56: Erwartungswerte der Nachfrage und Anfangsbestände

		$EB_{j4,erw}$	$y'_{j4,erw}$	$\mu_{j5,erw}$	$\sigma_{j5,erw}$	$y_{j5,e}$	$AB_{o,j5,erw}$	$M_{j4,erw}$	$M_{i4,erw}$
F_1	ZL_1	79	0,26	447	38	831	1357	1278	2740
	ZL_5	121	0,18	479	52	983	1583	1462	
F_2	ZL_3	45	0,64	355	28	685	1085	1040	1040
F_3	ZL_2	124	0,34	550	58	1079	1753	1629	2047
	ZL_4	46	0,15	147	22	271	464	418	

Mit diesen Werten kann nun die optimale Produktionsmenge (siehe Anhang 1), der tatsächlich vorhandene Ausschuss sowie die somit zur Auslieferung vorhandene Menge an Industriegütern jeder Fertigungsstätte bestimmt werden.

Tabelle 57: Optimale Produktionsmenge, Ausschuss und Liefermenge je Fertigungsstätte

	$\pi_{o,i4}$	ρ_{i4}	RB_{i3}	π_{i4}
F_1	2789	131	78	2736
F_2	1043	23	15	1035
F_3	2319	238	4	2085

Die Ersatzbedarfsnachfrage $y_{k,t,r,l,e}$ der einzelnen Bestellpunkte in jedem Quartal des vierten Lieferzyklus ergibt sich wie folgt:

Tabelle 58: Ersatzbedarfsnachfrage nach Periode und Zentrallager

		$y_{k,t_{14},e}$	$y_{k,t_{24},e}$	$y_{k,t_{34},e}$	$y_{k,t_{44},e}$	$y_{k4,e}$	$y_{j4,e}$
ZL_1	B_2	24	40	43	37	144	410
	B_3	39	34	23	31	127	
	B_7	40	31	30	38	139	
ZL_2	B_1	20	13	38	23	94	551
	B_4	71	89	95	44	299	
	B_{10}	33	48	33	44	158	
ZL_3	B_6	86	72	98	71	327	327
ZL_4	B_5	57	37	30	43	167	167
ZL_5	B_8	60	75	66	37	238	470
	B_9	31	55	81	65	232	

Die Nachfragerrealisationen $y_{k,t_{r,l},s}$ der einzelnen Bestellpunkte in jedem Quartal des vierten Lieferzyklus sind in Tabelle 59 zusammengefasst. Sie wurden mit Hilfe eines Zufallsgenerators erzeugt.

Tabelle 59: Nachfragerrealisation des vierten Lieferzyklus

		$y_{k,t_{14},s}$	$y_{k,t_{24},s}$	$y_{k,t_{34},s}$	$y_{k,t_{44},s}$	$y_{k4,s}$	y_{k4}	y_{j4}
ZL_1	B_2	65	43	21	49	178	322	855
	B_3	38	47	35	16	136	263	
	B_7	33	37	31	30	131	270	
ZL_2	B_1	10	24	22	25	81	175	1047
	B_4	58	48	96	67	269	568	
	B_{10}	36	42	27	41	146	304	
ZL_3	B_6	105	78	76	116	375	702	702
ZL_4	B_5	44	24	33	32	133	300	300
ZL_5	B_8	58	75	106	50	289	527	937
	B_9	58	0	65	55	178	410	

Tabelle 60 enthält die Lagerbestände der Zentrallager am Ende jeden Quartals. Der Lagerbestand des letzten Quartals entspricht dabei dem Lagerendbestand EB'_{j3} vor der Realisierung der Nachlieferung.

Tabelle 60: Lagerendbestände nach Periode je Zentrallager

	t_{14}	t_{24}	t_{34}	t_{44}
ZL_1	698	466	283	82
ZL_2	999	735	424	180
ZL_3	537	387	213	26
ZL_4	260	199	136	61
ZL_5	864	659	341	134

Die im vierten Lieferzyklus entstandenen Lagerkosten setzen sich wie folgt zusammen:

Tabelle 61: Lagerkosten im vierten Lieferzyklus

	$C_{s,j}$	$C_{p,j}$	$C_{o,j4}$	$C_{w,j4}$	$C_{k,j4}$
ZL_1	255	161	2094,75	6314,77	550,44
ZL_2	244	166	2648,91	8206,38	841,68
ZL_3	231	154	1762,02	5175,35	418,68
ZL_4	237	150	771,00	2538,72	236,16
ZL_5	240	163	2305,02	4595,40	719,28

Im vierten Lieferzyklus war die Nachfrage der Bestellpunkte erneut kleiner als die Lageranfangsbestände der ihnen zugeordneten Zentrallager, sodass sich am Ende des vierten Zyklus ein Servicegrad von 100% für alle Zentrallager ergab. Die gesamte Kundennachfrage konnte damit zu den vereinbarten Lieferterminen in vollem Umfang befriedigt werden.

6.2.5 Fünfter Lieferzyklus

Da alle Bestellpunkte vollständig befriedigt wurden ergeben sich die Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen des fünften Lieferzyklus wie folgt:

Tabelle 62: Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen je Zentrallager

	ZL ₁			ZL ₂			ZL ₃	ZL ₄	ZL ₅	
	B ₂	B ₃	B ₇	B ₁	B ₄	B ₁₀	B ₆	B ₅	B ₈	B ₉
μ_{k5}	48	30	34	25	72	41	89	37	66	54
σ_{k5}	17	9	3	8	27	6	14	11	17	20
μ_{j5}	448			552			356	148	480	
σ_{j5}	38			58			28	22	52	

Tabelle 63 zeigt den im fünften Lieferzyklus anfallenden Ersatzbedarf je Zentrallager:

Tabelle 63: Ersatzbedarf je Zentrallager

	ZL ₁	ZL ₂	ZL ₃	ZL ₄	ZL ₅
$y_{j5,e}$	831	1079	685	271	983

Damit ergeben sich die folgenden optimalen Lageranfangsbestände:

$$AB_{o,15} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98117) \cdot 38 + 448 + 831 = 1358$$

$$AB_{o,25} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98346) \cdot 58 + 552 + 1079 = 1755$$

$$AB_{o,35} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,94714) \cdot 28 + 356 + 685 = 1086$$

$$AB_{o,45} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98064) \cdot 22 + 148 + 271 = 465$$

$$AB_{o,55} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,99009) \cdot 52 + 480 + 983 = 1584$$

Tabelle 64 enthält den Lagerendbestand der Fertigungsstätten im vierten Lieferzyklus nach Nachlieferungen, die optimalen Lageranfangsbestände des fünften Lieferzyklus, die Bestellmengen der Zentrallager sowie die gesamte Bestellmenge an die jeweiligen Fertigungsstätten:

Tabelle 64: Endbestände, optimale Lageranfangsbestände und Bestellmengen

		EB_{j4}	$AB_{o,j5}$	M_{j4}	M_{i4}
F_1	ZL_1	82	1358	1276	2726
	ZL_5	134	1584	1450	
F_2	ZL_3	26	1086	1060	1060
F_3	ZL_2	180	1755	1575	1979
	ZL_4	61	465	404	

Damit ergeben sich folgende Fehlmengen, Restbestände, Liefermengen und tatsächlichen Lageranfangsbestände:

Tabelle 65: Fehlmengen, Restbestände, Liefermengen und tatsächliche Lageranfangsbestände im fünften Lieferzyklus

		π_{i4}	Q_{i4}	RB_{i4}	Q'_{j4}	AB_{j5}
F_1	ZL_1	2736	0	10	0	1358
	ZL_5				0	1584
F_2	ZL_3	1035	25	0	25	1061
F_3	ZL_2	2085	0	106	0	1755
	ZL_4				0	465

Nun kann die optimale Produktionsmenge mit Hilfe der Strategie aus Abschnitt 5.3.2 bestimmt werden. Die erwarteten Lagerendbestände vor Realisierung der Nachlieferungen sowie die noch vorhandenen Lagerbestände bei Lieferunfähigkeit ergeben sich wie folgt:

Tabelle 66: Erwartete Endbestände je Zentrallager vor Nachlieferungen

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$EB'_{j5,erw}$	79	124	20	46	121
r^*	-	-	-	-	-
$y_{j,t_r^*,5,erw}^*$	0	0	0	0	0

Da kein Zentrallager lieferunfähig wird, sind keine Nachlieferungen nötig. Tabelle 67 enthält die benötigten erwarteten Lagerendbestände und die erwartete verlorene Nachfrage des Lieferzyklus $l = 5$, sowie den erwarteten Erwartungswert der Nachfrage, die zugehörige erwartete Standardabweichung und die daraus resultierenden erwarteten optimalen Lageranfangsbestände des Folgelieferzyklus $l = 6$. Des Weiteren wird die

daraus folgende erwartete Nachfrage der einzelnen Zentrallager an die Fertigungsstätten, sowie die gesamte erwartete Nachfrage an die Fertigungsstätten des Lieferzyklus $l = 5$ angegeben.

Tabelle 67: Erwartungswerte der Nachfrage und Anfangsbestände

		$EB_{j5,erw}$	$y'_{j5,erw}$	$\mu_{j6,erw}$	$\sigma_{j6,erw}$	$y_{j6,e}$	$AB_{o,j6,erw}$	$M_{j5,erw}$	$M_{i5,erw}$
F_1	ZL_1	79	0,26	447	38	855	1381	1302	2718
	ZL_5	121	0,18	479	52	937	1537	1416	
F_2	ZL_3	20	3,90	350	28	702	1097	1077	1077
F_3	ZL_2	124	0,34	550	58	1047	1721	1597	2044
	ZL_4	46	0,15	147	22	300	493	447	

Mit diesen Werten kann nun die optimale Produktionsmenge (siehe Anhang 1), der tatsächlich vorhandene Ausschuss sowie die somit zur Auslieferung vorhandene Menge an Industriegütern jeder Fertigungsstätte bestimmt werden.

Tabelle 68: Optimale Produktionsmenge, Ausschuss und Liefermenge je Fertigungsstätte

	$\pi_{o,i5}$	ρ_{i5}	RB_{i4}	π_{i5}
F_1	2837	138	10	2709
F_2	1096	23	0	1073
F_3	2134	224	106	2016

Die Ersatzbedarfsnachfrage $y_{k,t,r,l,e}$ der einzelnen Bestellpunkte in jedem Quartal des fünften Lieferzyklus ergibt sich wie folgt:

Tabelle 69: Ersatzbedarfsnachfrage nach Periode und Zentrallager

		$y_{k,t_{15},e}$	$y_{k,t_{25},e}$	$y_{k,t_{35},e}$	$y_{k,t_{45},e}$	$y_{k5,e}$	$y_{j5,e}$
ZL_1	B_2	86	98	79	118	381	831
	B_3	46	56	57	34	193	
	B_7	66	64	60	67	257	
ZL_2	B_1	54	57	54	71	236	1079
	B_4	132	135	96	172	535	
	B_{10}	82	85	72	69	308	
ZL_3	B_6	163	153	206	163	685	685
ZL_4	B_5	69	64	44	94	271	271
ZL_5	B_8	131	160	135	122	548	983
	B_9	127	104	73	131	435	

Die Nachfragerealisationen $y_{k,t_{rl},s}$ der einzelnen Bestellpunkte in jedem Quartal des fünften Lieferzyklus sind in Tabelle 70 zusammengefasst. Sie wurden mit Hilfe eines Zufallsgenerators erzeugt.

Tabelle 70: Nachfragerealisation des fünften Lieferzyklus

		$y_{k,t_{15},s}$	$y_{k,t_{25},s}$	$y_{k,t_{35},s}$	$y_{k,t_{45},s}$	$y_{k5,s}$	y_{k5}	y_{j5}
ZL_1	B_2	50	46	22	44	162	543	1255
	B_3	46	39	30	12	127	320	
	B_7	36	34	31	34	135	392	
ZL_2	B_1	9	15	21	31	76	312	1528
	B_4	66	36	68	45	215	750	
	B_{10}	53	35	42	28	158	466	
ZL_3	B_6	74	104	89	80	347	1032	1032
ZL_4	B_5	37	46	37	18	138	409	409
ZL_5	B_8	70	47	83	42	242	790	1412
	B_9	69	45	7	66	187	622	

Tabelle 71 enthält die Lagerbestände der Zentrallager am Ende jeden Quartals. Der Lagerbestand des letzten Quartals entspricht dabei dem Lagerendbestand EB'_{j5} vor der Realisierung der Nachlieferung.

Tabelle 71: Lagerendbestände nach Periode je Zentrallager

	t_{15}	t_{25}	t_{35}	t_{45}
ZL_1	1028	691	412	103
ZL_2	1359	996	643	227
ZL_3	824	567	272	29
ZL_4	359	249	168	56
ZL_5	1187	831	533	172

Die im fünften Lieferzyklus entstandenen Lagerkosten setzen sich wie folgt zusammen:

Tabelle 72: Lagerkosten im fünften Lieferzyklus

	$C_{s,j}$	$C_{p,j}$	$C_{o,j5}$	$C_{w,j5}$	$C_{k,j5}$
ZL_1	255	161	3074,75	9226,42	804,24
ZL_2	244	166	3865,84	11319,75	1161,00
ZL_3	231	154	2590,32	7529,40	609,12
ZL_4	237	150	1051,13	3219,84	299,52
ZL_5	240	163	3473,52	6262,90	980,28

Im fünften Lieferzyklus war die Nachfrage der Bestellpunkte wiederum kleiner als die Lageranfangsbestände der ihnen zugeordneten Zentrallager, sodass sich am Ende des fünften Zyklus ein Servicegrad von 100% für alle Zentrallager ergab. Die gesamte Kundennachfrage konnte damit zu den vereinbarten Lieferterminen in vollem Umfang befriedigt werden.

6.2.6 Sechster Lieferzyklus

Da alle Bestellpunkte vollständig befriedigt wurden ergeben sich die Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen des sechsten Lieferzyklus wie folgt:

Tabelle 73: Nachfragerwartungswerte und Standardabweichungen je Zentrallager

	ZL_1			ZL_2			ZL_3	ZL_4	ZL_5	
	B_2	B_3	B_7	B_1	B_4	B_{10}	B_6	B_5	B_8	B_9
μ_{k6}	48	30	34	25	72	41	89	37	66	54
σ_{k6}	17	9	3	8	27	6	14	11	17	20
μ_{j6}	448			552			356	148	480	
σ_{j6}	38			58			28	22	52	

Tabelle 74 zeigt den im sechsten Lieferzyklus anfallenden Ersatzbedarf je Zentrallager:

Tabelle 74: Ersatzbedarf je Zentrallager

	ZL_1	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$y_{j6,e}$	855	1047	702	300	937

Damit ergeben sich die folgenden optimalen Lageranfangsbestände:

$$AB_{o,16} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98117) \cdot 38 + 448 + 855 = 1382$$

$$AB_{o,26} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98346) \cdot 58 + 552 + 1047 = 1723$$

$$AB_{o,36} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,94714) \cdot 28 + 356 + 702 = 1003$$

$$AB_{o,46} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,98064) \cdot 22 + 148 + 300 = 494$$

$$AB_{o,56} = \Phi_{[0,1]}^{-1}(0,99009) \cdot 52 + 480 + 937 = 1538$$

Tabelle 75 enthält den Lagerendbestand der Fertigungsstätten im fünften Lieferzyklus nach Nachlieferungen, die optimalen Lageranfangsbestände des sechsten Lieferzyklus, die Bestellmengen der Zentrallager sowie die gesamte Bestellmenge an die jeweiligen Fertigungsstätten:

Tabelle 75: Endbestände, optimale Lageranfangsbestände und Bestellmengen

		EB_{j5}	$AB_{o,j6}$	M_{j5}	M_{i5}
F_1	ZL_1	103	1382	1279	2645
	ZL_5	172	1538	1366	
F_2	ZL_3	29	1003	974	974
F_3	ZL_2	227	1723	1496	1934
	ZL_4	56	494	438	

Damit ergeben sich folgende Fehlmengen, Restbestände, Liefermengen und tatsächlichen Lageranfangsbestände:

Tabelle 76: Fehlmengen, Restbestände, Liefermengen und tatsächliche Lageranfangsbestände im sechsten Lieferzyklus

		π_{i5}	Q_{i5}	RB_{i5}	Q'_{j5}	AB_{j6}
F_1	ZL_1	2709	0	64	0	1382
	ZL_5				0	1538
F_2	ZL_3	1073	0	99	0	1003
F_3	ZL_2	2016	0	82	0	1723
	ZL_4				0	494

Da es sich um den letzten Lieferzyklus im Betrachtungszeitraum handelt, kann die Berechnung der optimalen Produktionsmenge vernachlässigt werden. Die Ersatzbedarfsnachfrage $y_{k,t,r,l,e}$ der einzelnen Bestellpunkte in jedem Quartal des sechsten Lieferzyklus ergibt sich wie folgt:

Tabelle 77: Ersatzbedarfsnachfrage nach Periode und Zentrallager

		$y_{k,t_{16},e}$	$y_{k,t_{26},e}$	$y_{k,t_{36},e}$	$y_{k,t_{46},e}$	$y_{k6,e}$	$y_{j6,e}$
ZL_1	B_2	89	83	64	86	322	855
	B_3	77	81	58	47	263	
	B_7	73	68	61	68	270	
ZL_2	B_1	30	37	60	48	175	1047
	B_4	129	137	191	111	568	
	B_{10}	69	90	60	85	304	
ZL_3	B_6	191	150	174	187	702	702
ZL_4	B_5	101	61	63	75	300	300
ZL_5	B_8	118	150	172	87	527	937
	B_9	89	55	146	120	410	

Die Nachfragerealisationen $y_{k,t_{rl},s}$ der einzelnen Bestellpunkte in jedem Quartal des sechsten Lieferzyklus sind in Tabelle 78 zusammengefasst. Sie wurden mit Hilfe eines Zufallsgenerators erzeugt.

Tabelle 78: Nachfragerealisation des sechsten Lieferzyklus

		$y_{k,t_{16},s}$	$y_{k,t_{26},s}$	$y_{k,t_{36},s}$	$y_{k,t_{46},s}$	$y_{k6,s}$	y_{k6}	y_{j6}
ZL_1	B_2	62	65	84	56	267	589	1417
	B_3	45	31	41	36	153	416	
	B_7	33	35	39	35	142	412	
ZL_2	B_1	49	25	31	34	139	314	1723
	B_4	88	92	105	96	381	949	
	B_{10}	44	32	42	38	156	460	
ZL_3	B_6	97	62	75	64	298	1000	1000
ZL_4	B_5	56	45	47	46	194	494	494
ZL_5	B_8	68	77	75	68	288	815	1516
	B_9	83	61	71	76	291	701	

Tabelle 79 enthält die Lagerbestände der Zentrallager am Ende jeden Quartals. Der Lagerbestand des letzten Quartals entspricht dabei dem Lagerendbestand EB'_{j6} vor der Realisierung der Nachlieferung.

Tabelle 79: Lagerendbestände nach Periode je Zentrallager

	t_{16}	t_{26}	t_{36}	t_{46}
ZL_1	1003	640	293	0
ZL_2	1314	901	412	0
ZL_3	715	503	254	3
ZL_4	337	231	121	0
ZL_5	1180	837	373	22

Im sechsten Lieferzyklus war die Nachfrage der Zentrallager ZL_1 zugeordneten Bestellpunkte größer als der Lageranfangsbestand. Die Aufteilung des Restbestands des in Periode 4 lieferunfähig gewordenen Zentrallagers ZL_1 auf die zugehörigen Bestellpunkte zeigt Tabelle 80:

Tabelle 80: Bestellpunktspezifische Aufteilung des Restlagerbestandes

	B_2	B_3	B_7
y_{k,t_r^*6}	142	83	103
Rang	10	4	3
$x_{t_r^*6+t_L(j),k}$	107	83	103
$NLM_{k,t_r'7}$	35	0	0
$NLM_{j,t_r'7}$	35		
$NLM_{t_r'7}$	35		

Da nur der Bestellpunkt B_2 einen Nachlieferbedarf besitzt, können die Nachliefermengen $x_{t_r'7,jk}$ aller anderen Bestellpunkte gleich 0 gesetzt werden, d.h.

$$x_{t_r'7,jk} = 0 \quad \text{für alle } k \in \{1,3,4,5,6,7,8,9,10\} \text{ und } j = 1, \dots, 5.$$

Des Weiteren ist die Summe aller Lagerendbestände kleiner als die nachzuliefernde Menge. Daraus ergibt sich Tabelle 81:

Tabelle 81: Kostenminimale Zuordnung der Nachliefermenge auf die Zentrallager

	ZL_2	ZL_3	ZL_4	ZL_5
$x_{t_r',j2}$	0	3	0	22

Die im sechsten Lieferzyklus entstandenen Lagerkosten setzen sich wie folgt zusammen:

Tabelle 82: Lagerkosten im sechsten Lieferzyklus

	$C_{s,j}$	$C_{p,j}$	$C_{o,j6}$	$C_{w,j6}$	$C_{k,j6}$
ZL_1	255	161	3471,65	7995,68	696,96
ZL_2	244	166	4359,19	9220,77	945,72
ZL_3	231	154	2510,00	6563,75	531,00
ZL_4	237	150	1269,58	2666,43	248,04
ZL_5	240	163	3729,36	5547,60	868,32

Damit konnte nicht die gesamte Nachfrage der Bestellpunkte zu den vereinbarten Lieferterminen befriedigt werden, sodass der Auftrag verloren geht und Kosten für entgangene Gewinne gemäß Tabelle 17 anfallen.

Zusammenfassend hat das dargestellte Beispiel aufgezeigt, dass durch die grundsätzliche Option einer Nachlieferung kurzfristige Lieferausfälle kompensiert werden können. Dadurch können Fehlmengenkosten für Auftrags- und Goodwill-Verluste in aller Regel vermieden werden, obwohl Transportkosten bei Nachlieferungen zu berücksichtigen sind.

Außerdem konnte belegt werden, dass die Berücksichtigung eines Ersatzbedarfsfaktors die Nachfrageerwartungswerte in den Folgezyklen nicht unerheblich beeinflussen. Weiterhin konnte erneut belegt werden, dass der optimale Servicegrad gegenüber Veränderungen des Fehlmengenkostensatzes vergleichsweise unempfindlich reagiert [SCHM77, S. 167].

7 Management Summary

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, Fehlmengenkosten auf der einen und Bestandskosten auf der anderen Seite inhaltlich genauer zu beleuchten und in eine grundsätzliche Beziehung zueinander zu setzen. Beide Kostenarten wurden anschließend in der größtmöglichen Granularität in ein distributionslogistisches Modell überführt, so dass Determinanten, Hierarchien und Wechselwirkungen in einen nachvollziehbaren Gesamtzusammenhang gebracht werden. Zu diesem Zweck wurden die in den letzten Jahrzehnten publizierten Distributionsmodelle geprüft und auf ihre Relevanz für die Problemstellung dieser Arbeit hin analysiert. Dabei konnte festgestellt werden, dass weder die verschiedenen Kostenarten von Fertigwarenbeständen ausreichend identifiziert, noch die unterschiedlichen Ausprägungen von Fehlmengenkosten umfänglich abgebildet wurden. Vor diesem Hintergrund hat sich im Verlauf der Ausarbeitung herauskristallisiert, dass existierende Modelle und Rechenbeispiele bei deren Umsetzung auf eine Problemstellung in der betrieblichen Praxis als weitestgehend untauglich eingestuft werden müssen.

Im Sinne eines wertorientierten Bestandsmanagements wurde in besonderer Weise darauf geachtet, dass kundenorientierte Strategien hinsichtlich eines festzulegenden Lieferservicegrades so festgelegt werden, dass keine isolierte Betrachtung von Bestandskosten einerseits und Fehlmengenkosten andererseits vorgenommen wurde. Dadurch konnte ein klareres Bild geschaffen werden, dass beispielsweise einseitige Bestandsenkungen zwangsläufig erhöhte Fehlmengenkosten nach sich ziehen. Diese können die Lieferfähigkeit über einen längeren Betrachtungszeitraum so negativ beeinflussen, dass das Nachfrageverhalten nachhaltig geschädigt wird und im Extremfall zu einem Abwanderungsverhalten der Kunden führen kann.

Durch die Modifizierungen einiger wichtiger Prämissen und Modellparameter in Kapitel 5, welche die Merkmale der Investitionsgüterindustrie in besonderer Weise berücksichtigen, wurde ein dynamisches Entscheidungsmodell entwickelt, in dem nachvollziehbar eine nützliche Symbiose zwischen theoretischer Erkenntnis und praktischer Problemstellung geschaffen werden konnte. Diese Arbeit hat damit einen entscheidenden Beitrag dazu geleistet, die oftmals auf reine Bestandssenkungen fokussierte Diskussion der Unternehmenslenker und Bestandsverantwortlichen weitestgehend zu versachlichen und auf eine faktenbasierte Grundlage zu stellen.

Zusätzlicher Forschungsbedarf ergibt sich auf vier Gebieten: Zunächst sollte versucht werden, die Restriktion der Einproduktunternehmung in dieser Arbeit aufzuheben und stattdessen den Produktmix eines Unternehmens zu betrachten. Zweitens sollte versucht werden, die angefallenen Kapitalbindungskosten dynamisch zu berücksichtigen – im Idealfall stundengenau – mit dem Ziel, eine exakte Berechnung dieser wichtigen Kostenart in die Bestandskosten miteinfließen zu lassen.

Um das mögliche Nachfrageverhalten von Kunden bei temporärer Lieferunfähigkeit noch intensiver zu erforschen, sollte drittens in Zukunft analysiert werden, ob und inwieweit sich die Höhe von Wechselkosten auf die Nachfrageintensität auswirkt. Ein letzter zu nennender Forschungsbedarf besteht in der Prüfung, ob und in welchem Ausmaß verkürzte Liefer- und Transportzeiten den kundenspezifischen Enttäuschungsfaktor nach einer oder mehrerer Nichtbelieferung/-en nachhaltig positiv beeinflussen können. In diesem Zusammenhang soll nochmals kurz auf das Phänomen der Warteschlangentheorie verwiesen werden, das Hinweise auf ein verändertes Kundenverhalten in der Warteschlange liefert.

Einschränkend muss besonders für die beiden letztgenannten Forschungsfragen festgehalten werden, dass diese stark mit den Bereichen der Verhaltenspsychologie und Wahrscheinlichkeitsrechnung verknüpft sind, sodass vorab zu prüfen ist, ob sich durch eine zunehmende Komplexität und dessen Modellierungsaufwand ein genaueres Bild überhaupt schaffen lässt und der Aufwand ökonomisch sinnvoll ist. Ziel muss es letztlich sein, eine Quantifizierung und Integration aller vier Forschungsgebiete mithilfe einer integrierten Softwarelösung in einem kostentechnisch vertretbarem Rahmen zu halten.

Anhang

Anhang 1:

Die Berechnungen der optimalen Produktionsmenge lassen sich mithilfe folgender linearer Programmierung erreichen:

```
function minprodukt
```

```
    q1 = 0.05, s1=0.9 %Fertigungsstätte 1
```

```
    q2 = 0.02, s2=0.95 %Fertigungsstätte 2
```

```
    q3 = 0.1, s3=0.8 %Fertigungsstätte 3
```

```
    %Rechnung für Fertigungsstätte 1
```

```
    q = q1;
```

```
    s = s1;
```

```
    p = 1-q;
```

```
    M = 2043; %erwartete Nachfrage abzüglich Restbestand
```

```
    n = 1;
```

```
    summe = 0;
```

```
    while n ~= 0
```

```
        for k = M:n
```

```
            summe = summe + binopdf(k,n,p);
```

```
        end
```

```
        if summe >= s
```

```
            n
```

```
            return;
```

```
        end
```

```
        n = n+1;
```

```
    end
```

```
end
```

Quellenverzeichnis

- [ALSC81] Alscher, J.; Schneider, H.: Zur Diskussion von Fehlmengenkosten und Servicegrad. Diskussionspapier, Freie Universität Berlin, 3/1981.
- [ALSC82] Alscher, J.; Schneider, H.: Zur Interdependenz von Fehlmengenkosten und Servicegrad. In: *Kostenrechnungspraxis* 25 (1982) 1, S. 257-271.
- [ANDE06] Anderson, E.T. et al.: Measuring and Mitigating the Costs of Stockouts. In: *Management Science* 52 (2006) 11, S. 1751-1763.
- [ARNO96] Arnolds, H.: *Materialwirtschaft und Einkauf*. 9. Aufl., Gabler, Wiesbaden 1996.
- [ARNO10] Arnolds, H. et al.: *Materialwirtschaft und Einkauf*. 11. Aufl., Gabler, Wiesbaden 2010.
- [BACK07] Backhaus, K.; Voeth, M.: *Industriegütermarketing*. 8. Aufl., Vahlen, München 2007.
- [BACK10] Backhaus, K.; Voeth, M.: *Industriegütermarketing*. 9. Aufl., Vahlen, München 2010.
- [BIED08] Biedermann, H.: *Ersatzteilmanagement. Effiziente Ersatzteillogistik für Industrieunternehmen*. 2. Aufl., Springer, Berlin 2008.
- [BLÖT81] Blöte, V.: *Planung optimaler Transport- und Lagermengen*, Mannhold, Düsseldorf 1981.
- [BLUT08] Blut, M.: *Der Einfluss von Wechselkosten auf die Kundenbindung. Verhaltenstheoretische Fundierung und empirische Analyse*. Gabler, Wiesbaden 2008.
- [BÖHN05] Böhnlein, C.: *Supply Chain Management zur Vermeidung von Friktionsverlusten*. In: Thome, R. et al. (Hrsg.): *Electronic Commerce und Electronic Business*. 3. Aufl., Vahlen, München 2005, S. 165-189.
- [BOGA88] Bogaschewsky, R.: *Dynamische Materialdisposition im Beschaffungsbereich – Simulation und Ergebnisanalyse*. Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik (Hrsg.), Frankfurt/Main 1988.
- [BOTT78] Botta, V.: *Der Einfluss von Fehlmengen und Fehlmengenkosten auf die Bestimmung der optimalen Bestellmenge*. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 48 (1978) 7, S. 764-791.
- [BRAN98] Brandl, W.-C.: *Die Relevanz einzelner Kostenbestandteile bei der Bestellmengenoptimierung der Großhandelsunternehmung dargelegt am Beispiel des Elektrogroßhandels*. Dissertation, Universität Eichstätt 1998.
- [BRUN70] Brunberg, J.: *Optimale Lagerhaltung bei ungenauen Daten*. Gabler, Wiesbaden 1970.
- [BÜHN96] Bühner, R.: *Kapitalmarktorientierte Unternehmenssteuerung*. In: *Wirtschaftswissenschaftliches Studium* 25 (1996) 7, S. 334-338.
- [CHAN67] Chang, Y.S.; Niland, P.: *A Model for Measuring Stock Depletion Costs*, in: *Operations Research*, Vol. 15 (1967), No. 3, S. 427-447.

- [COEN07] Coenberg, A.G.; Salfeld, R.: Wertorientierte Unternehmensführung. 2. Aufl., Schäffer-Poeschel, Stuttgart 2007.
- [COPE02] Copeland, T. et al.: Unternehmenswert. Methoden und Strategien für eine wertorientierte Unternehmensführung. 3. Aufl., Campus, Frankfurt 2002.
- [DAVI04] Davis, C. et al.: Differentiation for Performance. Excellence in Logistics 2004. Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg 2004.
- [DOMS07] Domschke, W.: Logistik - Transport. 5. Aufl., Oldenbourg, München 2007.
- [DOMS10] Domschke, W.; Scholl, A.: Logistik. Rundreisen und Touren. 5. Aufl., Oldenbourg, München 2010.
- [DYCK10] Dyckhoff, H.; Spengler, T.S.: Produktionswirtschaft. Eine Einführung. 3. Aufl., Springer, Heidelberg 2010.
- [EICH90] Eichmann, K.: Industrielles Marketing. In: Meyer, P.W.; Meyer, A. (Hrsg.): Marketing-Systeme. Grundlagen des institutionalen Marketing. Kohlhammer, Stuttgart 1990, S. 13-70.
- [EILO65] Eilon, S.: On the Cost of Runouts in Stock Control of Perishables. In: Henn, R. (Hrsg.): Operations Research-Verfahren II, Meisenheim am Glan, 1965, S. 65-76.
- [ENGE69] Engels, W.: Lieferzeit und Lieferzeitpolitik. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 39 (1969) 1, S. 35-46.
- [ENGE76] Engelhardt, H.W.: Erscheinungsformen und absatzpolitische Probleme von Angebots- und Nachfrageverbunden. In: Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung 28 (1976) 2, S. 77-90.
- [FISC08] Fischer, L.: Bestandsoptimierung für das Supply Chain Management. Zeitdiskrete Modelle und praxisrelevante Ansätze. Books on Demand, Norderstedt 2008.
- [ESSI08] Essig, M.: Wertorientiertes Controlling der Versorgungssicherheit in Supply Chains der Automobilindustrie. In: Controlling 20 (2008) 4/5, S. 177-183.
- [EVER92] Eversheim, W.: Störungsmanagement in der Montage. VDI-Verlag, Düsseldorf 1992.
- [GÄRT08] Gärtner, H. et al.: Fehlmengenkosten in Logistik unberücksichtigt. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 103 (2008) 12, S. 837-840.
- [GÄRT11] Gärtner, H.: Fehlmengenkosten als Entscheidungsgrundlage zur Bestimmung des Servicegrades von Lager-Artikeln. PZH Produktionstechnisches Zentrum, Garbsen 2011.
- [GEGI06] Geginat, J. et al.: Kapitalkosten als strategisches Entscheidungskriterium. Studie der Roland Berger Strategy Consultants, München 2006.
- [GRUE02] Gruen, T. et al.: Retail Out-of-Stocks. A Worldwide Examination of Extent, Causes and Consumer responses. University of Colorado, Colorado Springs/USA, 2002.
- [GUDE07] Gudehus, T.: Logistik. Grundlagen, Strategien, Anwendungen. 4. Aufl., Springer, Berlin 2007.

- [GUDE12] Gudehus, T.: Dynamische Disposition. Strategien, Algorithmen und Werkzeuge zur optimalen Auftrags-, Bestands und Fertigungsdisposition. 3. Aufl., Springer-Verlag, Berlin 2012.
- [GÜNT96] Günther, T.; Otterbein, S.: Die Gestaltung der Investor Relations am Beispiel führender deutscher Aktiengesellschaften. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 66 (1996) 4, S. 389-417.
- [HÄRD99] Härdler, J.: Material-Management. Grundlagen, Instrumentarien, Teilfunktionen. Hanser, München 1999.
- [HAHN98] Hahn, D.; Hintze, M.: Konzepte wertorientierter Unternehmensführung. In: Handlbauer, G. et al. (Hrsg.): Perspektiven im Strategischen Management, De Gruyter, Berlin 1998, S. 59-92.
- [HART99] Hartmann, H.: Bestandsmanagement und –controlling. Optimierungsstrategien mit Beiträgen aus der Praxis. Band 8, Betriebswirte-Verlag, Gernsbach 1999.
- [HEGE09] Hegenbart, T.: Kundenverhalten bei Nichtverfügbarkeit von Artikeln im Einzelhandel. Eul, Lohmar 2009.
- [HEIL95] Heil, M.: Entstörung betrieblicher Abläufe. Universitäts-Verlag, Wiesbaden 1995.
- [HELL78] Heller, W.D. et al.: Stochastische Systeme. Markoffketten, Stochastische Prozesse, Warteschlangen. De Gruyter, Berlin 1978.
- [HENT01] Hentrich, J.: B2B-Catalog Management. Galileo, Bonn 2001.
- [HERL12] Herlyn, W.: PPS im Automobilbau. Produktionsprogrammplanung und –steuerung von Fahrzeugen und Aggregaten. Hanser, München 2012.
- [HESS74] Hesselschwerdt, B.: Die optimale Gestaltung der physischen Distribution. Ein Beitrag zur Analyse und zum Einsatz von Distributionsleistungen in der Absatzpolitik. Dissertation, Universität Mannheim 1974.
- [HOCH69] Hochstädter, D.: Stochastische Lagerhaltungsmodelle. Springer, Berlin 1969.
- [HOFF90] Hoffmann, R.: Fehlmengenkosten im Einzelhandel. Analyse und Bewertung von Folgen mangelnder Lieferbereitschaft in Betrieben des stationären Einzelhandels. Dissertation, Universität Hamburg 1990.
- [HOFM07] Hofmann, N. et al.: Investitions-, Finanz- und Working Capital Management als Stellhebel zur Steigerung der Kapitaleffizienz. In: Controlling 19 (2007) 3, S. 153-163.
- [HOST00] Hostettler, S.: Economic Added Value (EVA). Darstellung und Anwendung auf Schweizer Aktiengesellschaften. 4. Aufl., Haupt, Bern 2000.
- [IHDE01] Ihde, G.B.: Transport, Verkehr, Logistik. Gesamtwirtschaftliche Aspekte und einzelwirtschaftliche Handhabung. 3. Aufl., Vahlen, München 2001.

- [JÁND67] Jándy, G.: Optimale Transport- und Verkehrsplanung. Anwendung der mathematischen Programmierung. In: Adam, A. (Hrsg.): Unternehmensforschung für die Wirtschaftspraxis. Physica, Würzburg 1967, S. 25-32.
- [JOHN73] Johnson, R.A. et al.: The Theory and Management of Systems. 3. Aufl., McGraw-Hill, Washington/USA 1973.
- [JONE02] Jones, M.A. et al.: Why Customers Stay. Measuring the Underlying Dimensions of Services Switching Costs and Managing their Differential Strategic Outcomes. In: Journal of Business Research 55 (2002) 6, S. 441-450.
- [KADL68] Kadlec, V.; Vodáček, L.: Lineare Optimierung im Transportwesen. Westdeutscher Verlag, Köln-Opladen 1968.
- [KIEF03] Kiefel, J.: Unternehmenssteuerung im Informationszeitalter. Gestaltung zwischen systemischer Machbarkeit und ökonomischer Rationalität. Eul-Verlag, Lohmar 2003.
- [KIRS73] Kirsch, W. et al.: Betriebswirtschaftliche Logistik. Systeme, Entscheidungen, Methoden. Gabler, Wiesbaden 1973.
- [KOLL78] Kollerer, H.: Die betriebswirtschaftliche Problematik von Betriebsunterbrechungen. Schmidt, Berlin 1978.
- [KRAL08] Kralicek, P. et al.: Kennzahlen für Geschäftsführer. 5. Aufl., mi-Fachverlag, München 2008.
- [KRIP75] Krippendorff, H.: Die Materialflusskosten. Die Erfassung der betrieblichen Transport- und Lagerungskosten. Gabler, Wiesbaden 1975.
- [LAMB00] Lambert, D. M.; Burduroglu, R.: Measuring and Selling the Value of Logistics. In: The International Journal of Logistics Management 11 (2000) 1, S. 1-17.
- [LEID99] Leidig, W.: Prozesskosten-Informationen und prozessorientierte Kalkulation in der Druckindustrie. In: Kostenrechnungspraxis 2 (1999) 43, S. 53-63.
- [LIEB05] Liebethuth, T.: Die Informationsbasis des Supply Chain Controllings. Kölner Wissenschaftsverlag, Köln 2005.
- [LIEB06] Liebmann, H.P. et al.: HandelsMonitor 2006/07. Management Excellence – Unternehmensführung im Umbruch. Deutscher Fachverlag, Frankfurt/Main 2006.
- [LOSB05] Losbichler, H. et al.: Logistik-Controlling im Wandel. In: Engelhardt-Nowitzki, C.; Wolfbauer, J. (Hrsg.): Gelebtes Netzwerkmanagement. Cuvillier, Göttingen 2005, S. 235-248.
- [LUTZ00] Lutz, S.: Kennliniengestütztes Lagermanagement. VDI-Verlag, Düsseldorf 2002.
- [MAAS13] Maas, M.: Investitionsgüter erfolgreich verkaufen. Springer/Gabler, Wiesbaden 2013.
- [MERC08] Mercado, E.C.: Hands-On Inventory Management, Auerbach Publications, New York 2008.
- [MILZ96] Milzarek, N.: Expressdienstleister als Logistikdienstleister optimieren den Warenfluss. In: Zeitschrift für Logistik 3 (1996) 16, S. 37-39.

- [MÜLL05] Müller, G.; Hirsch, B.: Die Wertorientierung in der Unternehmenssteuerung – Status Quo und Perspektiven. In: Controlling & Management 1 (2005) 49, S. 83-86.
- [MÜNS66] Münstermann, H.: Bedeutung der Opportunitätskosten für unternehmerische Entscheidungen. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 36 (1966) 1. Ergänzungsheft, S. 18-36.
- [NEHE03] Neher, A.: Wertorientierung im Supply Chain Controlling. In: Stölzle, W.; Otto, A. (Hrsg.): Supply Chain Controlling in Theorie und Praxis. Gabler, Wiesbaden 2003, S. 27-48.
- [NOCH95] Noch, R.: Dienstleistungen im Investitionsgüter-Marketing. Strategien und Umsetzung. FGM-Verlag, München 1995.
- [NOWA03] Nowak, K.: Marktorientierte Unternehmensbewertung. 2. Aufl., Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2003.
- [OBER09] Oberstebrink, T.: So verkaufen Sie Investitionsgüter. Gabler, Wiesbaden 2009.
- [OTTO02] Otto, A.: Management und Controlling von Supply Chains. Ein Modell auf der Basis der Netzwerktheorie. Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2002.
- [PERO02] Perona, M.: A New Customer-Oriented Methodology to Evaluate Supply Chain Lost Sales Due to Stockout in Consumer Goods Sectors. In: Seuring, S.; Goldbach, M.: Cost Management in Supply Chains. Physica, Heidelberg 2002, S. 290-307.
- [PFLA01] Pflaum, A.: Transpondertechnologie und Supply Chain Management: elektronische Etiketten – bessere Identifikationstechnologie in logistischen Systemen? Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg 2001.
- [PFOH72] Pfohl, H.C.: Marketing-Logistik. Gestaltung, Steuerung und Kontrolle des Warenflusses im modernen Markt. Distribution-Verlag, Mainz 1972.
- [PFOH03] Pfohl, H.C. et al.: Finanzierung, eine neue Dimension der Logistik. Schmidt, Berlin 2003.
- [PFOH04] Pfohl, H.C.: Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 7. Aufl., Springer, Berlin 2004.
- [PFOH10] Pfohl, H.C.: Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen. 8. Aufl., Springer, Berlin 2010.
- [PIAS09] Piasecki, D.J.: Inventory Management Explained. Ops Publishing, Pleasant Prairie, USA 2009.
- [PICO01] Picot, A. et al.: Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management. 4. Aufl., Gabler, Wiesbaden 2001.
- [PLÜM10] Plümpe, J.: Quantitatives Beschaffungsmanagement in mehrdimensionalen Versorgungsnetzwerken. Dr. Kovac, Hamburg 2010.
- [POTH70] Poth, L.G.: Praxis der betrieblichen Warenverteilung – Marketing-Logistik, Band 4. Handelsblatt, Düsseldorf 1970.

- [PRÜS11] Prüssing, P.: Entwicklung eines Entscheidungsmodells zur Positionierung der Lager- und Beschaffungslogistik zwischen Fehlmengenkosten und Servicegrade am Beispiel von Hydraulikkomponenten. Schlussbericht der Forschungsstelle IPH – Institut für Integrierte Produktion GmbH, Hannover 2011.
- [RAPP86] Rappaport, A.: Creating Shareholder Value. The New Standard for Business Performance. The Free Press, New York/USA, 1986.
- [REIC11] Reichmann, T.: Controlling mit Kennzahlen. 8. Aufl., Vahlen, München 2011.
- [REIN01] Reinhold, A.: Effektives Bestandscontrolling. Konzeption und Handlungsempfehlungen. Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2001.
- [REIN97] Reinitzhuber, K.: Bestandsmanagement für Unternehmen mit Kleinserienfertigung. Shaker, Aachen 1997.
- [RIEB94] Riebel, P.: Einzelkosten- und Deckungsbeitragsrechnung. Grundfragen einer markt- und entscheidungsorientierten Unternehmensrechnung. 7. Aufl., Gabler, Wiesbaden 1994.
- [SCHA73] Schassberger, R.: Warteschlangen. Springer, Wien 1973.
- [SCHA79] Schary, P.B.; Christopher, M.: The Anatomy of a Stock-Out. In: Journal of Retailing 55 (1979) 2, S. 59-70.
- [SCHM77] Schmid, O.: Modelle zur Quantifizierung der Fehlmengenkosten als Grundlage optimaler Lieferservicestrategien bei temporärer Lieferfähigkeit. Deutsch, Frankfurt 1977.
- [SCHU09] Schulte, C.: Logistik. Wege zur Optimierung der Supply Chain. 5. Aufl., Vahlen, München 2009.
- [SCHW65] Schwartz, B.L.: Inventory Models in Which Stockouts Influence Subsequent Demand. Dissertation, Stanford/USA 1965.
- [SCHW67] Schwarze, J.: Stochastische Ansätze in der Theorie der Unternehmung. Hain, Meisenheim am Glan 1967.
- [SCHW91] Schweiger, A.: Lagerausgleichsdistribution. Konzeption eines Verfahrens zur Verbesserung des Servicegrades in Distributions-systemen. Dunker und Humblot, Berlin 1991.
- [SENN08] Sennheiser, A.; Schnetzler, M.: Wertorientiertes Supply Chain Management. Strategien zur Mehrung und Messung des Unternehmenswertes durch SCM. Springer, Berlin 2008.
- [SIXT05] Sixt, A.: Systematische Bestandsoptimierung durch Anwendung der beschaffungszeitnormierten Bestandsreichweite. Shaker, Aachen 2005.
- [STAR62] Starr, M.K.; Miller, D.W.: Inventory Control. Theory and Practice. Prentice-Hall, Englewood Cliffs/USA 1962.
- [STEI71] Steinbrüchel, M.: Die Materialwirtschaft der Unternehmung. Haupt, Bern 1971.
- [STEW99] Stewart, G.B.: The Quest for Value. A Guide for Senior Managers. Harper Collins, New York/USA, 1999.
- [STÖL04] Stölzle, W. et al.: Erfolgsfaktor Bestandsmanagement. Versus, Zürich 2004.

- [STRA08] Straube, F.; Pfohl, H.C.: Trends und Strategien in der Logistik. Globale Netzwerke im Wandel. Verkehrs-Verlag, Hamburg 2008.
- [SUHN90] Suh, N.P.: The Principles of Design. Oxford University Press, New York 1990.
- [SUHN05] Suh, N.P.: Complexity. Theory and Applications. Oxford University Press, New York 2005.
- [SZER88] Szerman, A.: Die Entwicklung von Entscheidungskriterien für die kostenoptimale innerbetriebliche Einsatzmaterialbereitstellung. Dissertation, Universität Dortmund 1988.
- [TERH79] Ter Haseborg, F.: Optimale Lagerhaltungspolitiken für Ein- und Mehrproduktlager, Vandenhoeck und Ruprecht, Göttingen 1979.
- [THIE82] Thiel, M.: Kommunikationsplanung für neue Investitionsgüter. Dissertation, Universität Bonn, 1982.
- [THOM05] Thome, R.; Schinzer, H.; Hepp, M.: Electronic Commerce und Electronic Business. 3. Aufl., Vahlen, München 2005.
- [WAHL99] Wahl, C.: Bestandsmanagement in Distributionssystemen mit dezentraler Disposition. Dissertation, St. Gallen 1999.
- [WEBE01] Weber, J.; Dehler, M.: Der Einfluss der Logistik auf den Unternehmenserfolg. WHU-Forschungspapier Nr. 79, Vallendar 2001.
- [WEBE10] Weber, J.; Wallenburg C.M.: Logistik- und Supply Chain Controlling. 6. Aufl., Schäffer-Pöschel, Stuttgart 2010.
- [WEBE11] Weber, J.; Schäffer, U.: Einführung in das Controlling. 13. Aufl., Schäffer-Pöschel, Stuttgart 2011.
- [WEBE12] Weber, J.: Logistikkostenrechnung. Kosten-, Leistungs- und Erlösinformationen zur erfolgsorientierten Steuerung der Logistik. 3. Aufl., Springer, Berlin 2012.
- [WEIN81] Weinberg, P.: Das Entscheidungsverhalten der Konsumenten. Schöningh, Paderborn 1981.
- [WILD04] Wildemann, H.: Der Wertbeitrag der Logistik. In: Logistik Management 6 (2004) 3, S. 67-75.
- [WILD05] Wildemann, H.: Wertorientierte Supply Chain Collaboration. In: Eßig, M.: Perspektiven des Supply Chain Management. Konzepte und Anwendungen. Springer, Berlin 2005.
- [WILD10] Wildemann, H.: Logistik. Prozessmanagement. 5. Aufl., TCW Transfer-Centrum-Verlag, München 2010.
- [WINK07] Winkler, H.: Einsatz des Investitions-Controllings im Supply Chain Management. In: Controlling 19 (2007) 11, S. 607-613.
- [WITT74] Witten, P.: Distributionsmodelle. Planungsansätze und Lösungsverfahren für Transport- und Lagerprobleme. In: Jürgensen, H. et al. (Hrsg.): Verkehrswissenschaftliche Studien, Heft 25, Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen 1974, S. 1-247.
- [WUPP90] Wuppertaler Kreis (Hrsg.): Erfolgreiches Bestandsmanagement. Ein Leitfaden. Deutscher Instituts-Verlag, Köln 1990.

- [ZWEH73] Zwehl, W.: Kostentheoretische Analyse des Modells der optimalen Bestellmenge. Gabler, Wiesbaden 1973.

Abkürzungsverzeichnis

bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
GE	Geldeinheit (EUR)
i.d.R.	in der Regel
IV	Informationsverarbeitung
ME	Mengeneinheit (Stück)
sog.	sogenannte
SCM	Supply Chain Management
u.a.	und andere/s
u.ä.	und ähnliche/s
z.B.	zum Beispiel
ZE	Zeiteinheit (Tage)

ERKLÄRUNG

Ich erkläre, dass ich die Arbeit selbständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die diesen Quellen und Hilfsmitteln wörtlich oder sinngemäß entnommenen Ausführungen als solche kenntlich gemacht habe. Weiterhin habe ich die vorliegende Arbeit bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Kürnach bei Würzburg, den 28. Februar 2014

.....

Christian Kämmerer, MBA