
Supply Chain Koordination durch Lieferverträge mit rollierender Mengenflexibilität

Jörg Wilke

Supply Chain Koordination durch Liefer- verträge mit rollierender Mengenflexibilität

Eine Simulationsstudie am Beispiel
von Lieferketten der deutschen
Automobilindustrie

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Joachim Fischer



Springer Gabler

RESEARCH

Jörg Wilke
Hamburg, Deutschland

Dissertation Universität Paderborn, 2011

ISBN 978-3-8349-3947-0
DOI 10.1007/978-3-8349-3948-7

ISBN 978-3-8349-3948-7 (eBook)

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

Springer Gabler

© Gabler Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden 2012

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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

Einbandentwurf: Künkellopka GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Gabler ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer-gabler.de

Geleitwort

Mit Verträgen werden Lieferbeziehungen zwischen Unternehmen begründet, doch dann verschwinden die Dokumente im Archiv und werden dort nur in Konfliktfällen herausgesucht. Ihr Potenzial für die Koordination komplexer Lieferbeziehungen wird selten gesehen und realitätsnah untersucht.

Als einer der ersten erkannte vor Jahren Jörg Wilke (damals im Forschungsbereich eines Herstellers tätig) das Potenzial von Verträgen für die Lieferkettenkoordination der Automobilindustrie. Die propagierten Supply Chain Management Ansätze wie IT-gestützte zentrale Planung beurteilte er bei der Variantenvielfalt der deutschen Produzenten als schwer zu realisieren und wohl auch nicht durchgängig marktwirtschaftskonform. Er studiert die Literatur über vertragsbasierte Lieferkettenkoordination in (meist weniger komplexen) Branchen und beginnt Daten über die realen Liefernetze in der Automobilindustrie zu sammeln. Auf der Basis dieser „Insiderdaten“ entwickelt Herr Wilke einen Simulationsrahmen. Als Instrument nutzt er System Dynamics Software und folgt damit den jahrzehntealten Grundgedanken der Supply Chain Management Forschung (die wohl mit der berühmten Studie von Forrester von 1958 begann). Die damals entdeckten Aufschaukel- („Bullwhip“-) effekte in Lieferketten haben durch die Produktdifferenzierung und den weltweiten Absatz und Einkauf weiter zugenommen. Mit dem realitätsnahen Simulationsrahmen wird für die Automobilindustrie untersucht, wie sich Aufschaukeleffekte bei rollierenden Abrufen in der Lieferantenkette vermeiden lassen. Herr Wilke propagiert „Rolling Horizon Flexibility“ (RHF) – Verträge bei denen die Kunden nur in einer vorbestimmten Bandbreite Abrufmengen verändern können. Systemlieferanten sind gleichzeitig Modulkunden, deren Lieferanten gleichzeitig Teilkunden usw.: Flexibilität als Kunde kontrastiert mit Sicherheit als Lieferant und ist vor dem Hintergrund der Auslastung und der Kosten der Produktion, der Preise und Mengen über viele Lieferstufen auszubalancieren. Das entwickelte Modell geht über den Stand der Literatur weit hinaus, ebenso die Fülle der untersuchten Konstellationen.

Mir dieser sorgfältigen und realitätsgerechten Arbeit gelingt es Herrn Wilke, RHF-Verträge zur Koordination auch von komplexen Lieferketten als praktikable Alternative zu unternehmensübergreifender IT-gestützter Planung vorzuschlagen. Die für Kaufleute und Juristen manches Mal trockene Lektüre umfangreicher Formeln und grafischer Auswertungen ist daher lohnend. Viel Spaß dabei!

Prof. Dr. Joachim Fischer

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand zu großen Teilen während meiner beruflichen Tätigkeit bei der DaimlerChrysler AG (heute: Daimler AG) im Bereich Research & Technology, Manufacturing and Supply Nets. Aus den zwischen 2000 und 2004 durchgeführten internationalen Pilotprojekten der Automobilhersteller zum unternehmensübergreifenden Supply Chain Management konnte ich viele Erfahrungen sammeln, die zum einen meine Faszination für dieses Thema bekräftigen, zum anderen aber auch die Anwendungsgrenzen bis dato diskutierter Lösungsansätze aufzeigten, die zumeist auf der IT-gestützten Integration operativer zwischenbetrieblicher Daten aufbauten. Die seit einigen Jahren verstärkt aufkommende wissenschaftliche Diskussion eines *Supply Chain Risk Management* mit dem Leitbild der „robusten“ und zugleich kooperativen Gestaltung vielstufiger Wertschöpfungsketten hat mir weitere Impulse für diese Forschungsarbeit gegeben. Aber auch meine Erfahrungen und zahlreiche fachliche Diskussionen aus verschiedensten SCM-Projekten der Automobilindustrie während meiner Tätigkeiten im Business Consulting der SAP AG und bei Diebold Deutschland haben die Inhalte dieser Arbeit mitgeprägt.

Mein Dank richtet sich in erster Linie an Herrn Prof. Dr. Joachim Fischer, Leiter des Lehrstuhls für betriebswirtschaftliche Informationssysteme (Wirtschaftsinformatik I) an der Universität Paderborn, der mich als externen Doktoranden an seinem Institut angenommen und meine Arbeit jederzeit mit konstruktiver Kritik und wertvollen Anregungen unterstützt hat. Unser gemeinsames Interesse am Forschungsgebiet „Verträge“ und unsere zahlreichen fachlichen Diskussionen haben mir viele wichtige Impulse gegeben. Herrn Prof. Dr. Bernd Hellingrath danke ich für die Übernahme der Aufgabe des zweiten Gutachters, das mir entgegengebrachte Interesse an dieser Arbeit und die kritische Durchsicht meiner Dissertationsschrift, Herrn Prof. Dr. Wilhelm Dangelmaier und Herrn Prof. Dr. Stefan Betz für ihr Mitwirken in der Prüfungskommission.

Darüber hinaus bedanke ich mich bei allen ehemaligen Arbeitskollegen der Daimler AG, die mich in vielfältiger Weise bei der Erstellung dieser Arbeit unterstützt haben. Dies gilt im Besonderen für Prof. Dr. Hartwig Baumgärtel und Dr. Thomas Stäblein für die vielen Erfahrungsaustausche und Fachdiskussionen rund um unser gemeinsames Thema Supply Chain Management sowie ihr inhaltliches Feedback.

Zu guter Letzt gebührt ein großes Dankeschön meiner Frau Susanne und unserer Tochter Eva Karina für ihre Unterstützung und ihr Verständnis für so manche Stunde an Wochenenden und Feierabenden, die der Dissertation gewidmet war.

Jörg Wilke

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	XIII
Tabellenverzeichnis	XIX
Abkürzungsverzeichnis	XXI
Symbolverzeichnis	XXIII
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung	4
1.3 Motivation und Zielsetzung	10
1.4 Vorgehensweise	13
2 Aufschaukeleffekte und Koordination im industriellen Beschaffungsnetzwerk	15
2.1 Das industrielle Beschaffungsnetzwerk als Untersuchungsobjekt.....	15
2.1.1 Strukturen und Merkmale industrieller Beschaffungsnetzwerke am Beispiel der deutschen Automobilindustrie	15
2.1.2 Koordinationsbedarfe im industriellen Beschaffungsnetzwerk	22
2.1.3 Systemtheoretischer Bezugsrahmen.....	25
2.2 Zur Komplexität und Dynamik mehrstufiger logistischer Systeme.....	29
2.2.1 Grundelemente komplexer sozio-ökonomischer Systeme	29
2.2.2 Aufschaukeleffekte in Lieferketten.....	35
2.2.2.1 Grundlagen und allgemeine Ursachen des Bullwhip-Effektes	35
2.2.2.2 Mehrstufige rollierende Bedarfsplanungen als spezieller Einflussfaktor des Bullwhip-Effektes im industriellen Beschaffungsnetzwerk	51
2.2.3 Einflussfaktoren des Bullwhip-Effektes im Beschaffungsnetzwerk der Automobilindustrie	57
2.2.4 Faktoren der Beanspruchung und Belastbarkeit einer Lieferkette aus innerbetrieblicher Perspektive.....	71
2.2.4.1 Determinanten von Planungsunsicherheit	72
2.2.4.2 Zum Kapazitäts- und Flexibilitätsbegriff.....	75
2.2.4.3 Innerbetriebliche Maßnahmen zur Glättung von Auslastungsschwankungen	78
2.3 Die Koordination von Lieferketten als Teilaufgabe des Supply Chain Management.....	83
2.3.1 Begriff und Aufgaben des Supply Chain Management.....	83
2.3.2 Koordinationsformen und -instrumente für das Supply Chain Management	87
2.3.2.1 Unternehmensnetzwerke und Kooperationen als Basis für Koordination.....	87
2.3.2.2 Allgemeine Klassifikation von Koordinationsformen und -instrumenten.....	91
2.3.2.3 Instrumente zur Koordination des Bullwhip-Effektes	94

3 Lieferverträge mit rollierender Mengenflexibilität als Instrument des Supply Chain Management	101
3.1 Überblick und Klassifikation von Verträgen für das Supply Chain Management....	101
3.1.1 Verträge aus wirtschaftswissenschaftlicher Perspektive.....	101
3.1.2 Ziele, Parameter und Typen von Lieferverträgen.....	105
3.1.3 Zulieferverträge in der deutschen Automobilindustrie	110
3.2 Anwendung von Lieferverträgen mit rollierender Mengenflexibilität zur Koordination von Lieferketten.....	114
3.2.1 Prinzip des Rolling-Horizon-Flexibility-Vertrags	114
3.2.2 Analyse und Design von Rolling-Horizon-Flexibility-Verträgen in der Literatur.....	119
3.3 Untersuchungsziel und Aufbau einer Simulationsstudie zum Design mehrstufiger RHF-Verträge	131
3.3.1 Gegenstand und Ziel der Untersuchung.....	131
3.3.2 Aufbau der Simulationsstudie.....	133
3.3.3 Eingangshypothesen der Experimente	135
4 Aufbau eines Simulationsmodells für das Design mehrstufiger Lieferverträge mit rollierender Mengenflexibilität	141
4.1 Methodischer Ansatz	141
4.1.1 Modelltyp und Entscheidung für einen System-Dynamics-basierten Ansatz	141
4.1.2 Ablaufschema der System-Dynamics-Modellbildung	146
4.2 Systemgrenzen, Modellstruktur und Prämissen.....	148
4.2.1 Festlegung der Systemgrenzen und Teilmodelle	148
4.2.2 Überblick über die zu untersuchenden Koordinationsinstrumente	150
4.2.3 Zum Aggregationsgrad und weiteren Prämissen der Modellbildung.....	152
4.2.3.1 Aggregationsgrad.....	152
4.2.3.2 Sonstige Modellprämissen.....	156
4.3 Beschreibung des Hypothesenmodells.....	158
4.4 Beschreibung des Simulationsmodells.....	162
4.4.1 Materialflussmodell	162
4.4.1.1 Formulierung von Entscheidungsregeln zur Planung und Steuerung des Materialflusses	163
4.4.1.1.1 Auftragsabwicklung	163
4.4.1.1.2 Primärbedarfsplanung	165
4.4.1.1.3 Produktionsplanung	166
4.4.1.1.4 Materialbedarfsplanung	176
4.4.1.1.5 Planung bei variabler Lieferzeiterwartung.....	180

4.4.1.2	Formulierung von Entscheidungsregeln zur Bestimmung von Sicherheitsbeständen	185
4.4.1.2.1	Ein-Produktfall ohne Varianten	185
4.4.1.2.2	N-Varianten-Fall	190
4.4.2	Nachfragemodell	201
4.4.2.1	Formulierung von Entscheidungsregeln zur Abbildung der Materialbedarfsplanung des OEM	201
4.4.2.2	Modellierung der exogenen Nachfrage	204
4.4.2.3	Modellierung des exogenen Prognosefehlers	207
4.4.3	Potentialfaktormodell	209
4.4.3.1	Formulierung von Entscheidungsregeln zur Anpassung des Potentialfaktorbestands	210
4.4.3.2	Formulierung von Entscheidungsregeln zur Bestimmung der Sollkapazität	215
4.4.4	Zielgrößen und Restriktionen	220
4.4.4.1	Formulierung finanzieller Zielgrößen	221
4.4.4.2	Formulierung von Service-Restriktionen	230
4.4.5	Modellierung der zu untersuchenden Koordinationsinstrumente	232
4.4.5.1	Vertragliche Koordination nach dem Rolling-Horizon-Flexibility-Prinzip	232
4.4.5.2	Koordination durch Bedarfstransparenz	237
4.5	Modelltests	238
4.5.1	Tests der Modellstruktur	240
4.5.2	Tests des Modellverhaltens	243
4.5.3	Tests des Einflusses von Entscheidungsregeln	258
5	Durchführung und Auswertung der Simulationsstudie	263
5.1	Vorbereitung der Simulationsstudie	263
5.1.1	Aufteilung der Experimente	263
5.1.2	Festlegungen zur Auswertung und statistischen Absicherung der Ergebnisse	264
5.1.3	Parametrierung	266
5.2	Experimente und Auswertung	271
5.2.1	Experiment A: Analyse der Einzelvertragsauslegung bei Variation der Nachfrageverläufe	271
5.2.1.1	Vorüberlegungen zu Experiment A	271
5.2.1.2	Auswertung der Vertragsanwendung bei konstanter Fehlerfunktion	277
5.2.1.3	Auswertung der Vertragsanwendung bei konkaver Fehlerfunktion	294
5.2.2	Experiment B: Vertragsdesign über die Lieferkette bei Variation der Variantenbildungspunkte	300
5.2.2.1	Vorüberlegungen zu Experiment B	300

5.2.2.2	Auswertung der Ergebnisse des Experimentes B	306
5.2.3	Experiment C: Vertragsdesign über die Lieferkette bei Variation der Materialdurchlaufzeiten	320
5.2.3.1	Vorüberlegungen zu Experiment C	320
5.2.3.2	Auswertung der Ergebnisse des Experimentes C	321
5.3	Zusammenfassende Bewertung im Hinblick auf die Koordination im industriellen Beschaffungsnetzwerk	326
5.3.1	Effektivität (Nutzenpotential) in Bezug auf die Dämpfung des Bullwhip-Effektes	327
5.3.2	Robustheit der Vertragsparametrierung	328
5.3.3	Einfluss der untersuchten Lieferkettenmerkmale	330
5.3.4	Abschließende Beurteilung der Vorteilhaftigkeit des RHF-Vertrags auf Basis der Simulationsstudie	331
6	Zusammenfassung und Ausblick	333
6.1	Zusammenfassung	333
6.2	Ausblick	336
6.2.1	Erweiterungen des Simulationsmodells zum Design von RHF-Verträgen	336
6.2.2	Forschungsbedarf zur praktischen Anwendung von RHF-Verträgen in industriellen Beschaffungsnetzwerken	337
7	Anhang	343
	Literaturverzeichnis	359

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1:	Entwicklung der Fertigungstiefe bei deutschen Automobilherstellern	1
Abbildung 1.2:	Grad der „Betroffenheit von Unruhekosten“ bei deutschen Automobilzulieferern.....	6
Abbildung 2.1:	Zulieferpyramide eines Automobilherstellers	16
Abbildung 2.2:	Beispielhafte Darstellung eines Liefernetzwerks	17
Abbildung 2.3:	Beschaffungsnetzwerk für Türinnenverkleidungen der früheren Mercedes E-Klasse	19
Abbildung 2.4:	Liefernetzwerk Mercedes-Benz (beispielhafte Darstellung)	21
Abbildung 2.5:	Beispiel für dynamische Komplexität eines logistischen Systems	34
Abbildung 2.6:	Aufbau des Bierspiels.....	36
Abbildung 2.7:	Beispiele für Bestandsverläufe in Bierspiel-Experimenten.....	36
Abbildung 2.8:	Systemantworten eines Produktions-Distributionssystems auf eine Nachfrageerhöhung des Endkunden von 10% im Modell von FORRESTER (1958)	39
Abbildung 2.9:	Beispiele für gedämpfte Oszillationen und deterministisches Chaos aus Bierspiel-Experimenten.....	45
Abbildung 2.10:	Prinzip der rollierenden Planung	52
Abbildung 2.11:	Fehlerfortpflanzungseffekt (schematisch) bei mehrstufig kaskadierter Supply-Chain-Planung.....	54
Abbildung 2.12:	Bullwhip-Effekt in einer Automobil-Lieferkette.....	57
Abbildung 2.13:	Erklärungsmodell für die Entstehung des Bullwhip-Effektes im automobilen Beschaffungsnetzwerk.....	58
Abbildung 2.14:	Zunehmende Fragmentierung des Automobilmarktes.....	62
Abbildung 2.15:	Auftragsbezug der mittelfristigen Planung bei Automobilherstellern.....	64
Abbildung 2.16:	Beispiele realer Fehlerfunktionen in Lieferabrufen.....	66
Abbildung 2.17:	Beispielhafter Entkopplungspunkt für einen Hersteller	67
Abbildung 2.18:	Spannungsfeld der Supply Chain Koordination im Beschaffungsnetzwerk.....	71
Abbildung 2.19:	Kombinationen von Nachfrageschwankungen und Prognose- bzw. Planungsfehler	73
Abbildung 2.20:	Kosteneffekte von Beschäftigungsschwankungen: Lagerhaltung und Fertigung.....	81
Abbildung 2.21:	Aufgaben des Supply Chain Management.....	84
Abbildung 2.22:	Institutionelle Koordinationsformen ökonomischer Aktivitäten	88
Abbildung 2.23:	Beispiel für die Abgrenzung einer Lieferkette aus einem Liefernetzwerk	91

Abbildung 2.24:	Grundlegende Koordinationsformen in und zwischen Unternehmen	92
Abbildung 2.25:	Formen der Plankoordination in einer Supply Chain	92
Abbildung 2.26:	Prinzip einer Lieferkettenkoordination durch Bedarfstransparenz.....	98
Abbildung 3.1:	Prinzip des Rolling-Horizon-Flexibility-Vertrags mit Zahlenbeispiel	115
Abbildung 3.2:	Relatives und kumuliertes Flexibilitätsband eines RHF-Vertrags.....	116
Abbildung 3.3:	Wirkungsschwerpunkte eines linearen Flexibilitätsbandes	118
Abbildung 3.4:	Entstehung von Lagerbeständen bei Anwendung der Heuristik von TSAY / LOVEJOY (1999) (vereinfachter Fall mit konstanter Nachfrage) ..	126
Abbildung 3.5:	Aufbau der Simulationsstudie	134
Abbildung 4.1:	Modellierungsprozess für System-Dynamics-Studien nach STERMAN....	146
Abbildung 4.2:	Grundstruktur des Simulationsmodells	148
Abbildung 4.3:	Prinzipdarstellung der Koordination durch RHF-Verträge	151
Abbildung 4.4:	Prinzipdarstellung der Koordination durch Bedarfstransparenz.....	151
Abbildung 4.5:	Dynamisches Wirkungsmodell einer Lieferstufe.....	158
Abbildung 4.6:	Grafische Notation der Modellbeschreibung.....	162
Abbildung 4.7:	Überblick Materialflussmodell (für eine Lieferstufe).....	162
Abbildung 4.8:	Grundstruktur Auftragsabwicklung.....	164
Abbildung 4.9:	Grundstruktur Primärbedarfsplanung	165
Abbildung 4.10:	Grundstruktur des Produktionssystems	167
Abbildung 4.11:	Grundstruktur Produktionsplanung	167
Abbildung 4.12:	Grobablauf des Lösungsverfahrens zur Produktionsglättung	171
Abbildung 4.13:	Algorithmus der Produktionsglättung	172
Abbildung 4.14:	Beispielhafte Ergebnisse des Glättungsalgorithmus.....	173
Abbildung 4.15:	Grundstruktur Materialbedarfsplanung	177
Abbildung 4.16:	Ein einfaches Modell zur Illustration dynamischer Lieferzeitanpassung	181
Abbildung 4.17:	Beziehung zwischen kalkulierter und erwarteter Lieferzeit	183
Abbildung 4.18:	Beispiel für lieferzeitabhängige Bedarfsanpassungen	184
Abbildung 4.19:	Sicherheitsfaktor als Funktion von N	195
Abbildung 4.20:	Fill Rate als Funktion von Bestell- und Bestandsmengen im Mehrvariantenfall	196
Abbildung 4.21:	Berechnete Fill-Rate-Funktionen für das Simulationsmodell	200
Abbildung 4.22:	Grundstruktur Nachfragemodell	202
Abbildung 4.23:	Normalverteiltes Rauschen mit $\mu = 1.000$, $\sigma = 80$ und $T^{AK} = 0; 4; 12$	206
Abbildung 4.24:	Prognosefehlerfunktion des Simulationsmodells	208

Abbildung 4.25:	„Momentaufnahme“ eines fehlerbehafteten <i>OEM</i> -Lieferabrufs und reale Abrufe	209
Abbildung 4.26:	Grundstruktur Potentialfaktormodell.....	211
Abbildung 4.27:	Werttreiberbaum einer Modellstufe.....	223
Abbildung 4.28:	Statisches Flexibilitätsband (linearer Fall)	233
Abbildung 4.29:	Beispiele vertraglicher Anpassung aus Simulationsläufen	236
Abbildung 4.30:	Aufholproduktion bei plötzlichem Materialengpass (Stufe <i>MS</i>).....	242
Abbildung 4.31:	Sprungantworten für Produktion und Kapazität, $\Delta h_{OEM} = 400$ ME	244
Abbildung 4.32:	Sprungantworten für Produktion und Kapazität, $\Delta h_{OEM} = 500$ ME	245
Abbildung 4.33:	Sprungantworten für Produktion und Kapazität, $\Delta h_{OEM} = 500$ ME, dynamische Lieferzeitervartung.....	246
Abbildung 4.34:	Modellverhalten an der Kunden-Lieferantenschnittstelle – Lieferabrufe und Sicherheitsbestand	247
Abbildung 4.35:	Nachfrage des Herstellers für Testbeispiel	248
Abbildung 4.36:	Modellverhalten im stationären Fall ohne exogenen Prognosefehler.....	248
Abbildung 4.37:	Modellverhalten im stationären Fall ohne Prognosefehler und Glättung	250
Abbildung 4.38:	Bullwhip-Effekt im stationären Fall mit exogenem Prognosefehler	252
Abbildung 4.39:	Momentaufnahme der Produktionsplanungen (mit stufenindividuellen Planungshorizonten) im stationären Fall mit exogenem Prognosefehler	253
Abbildung 4.40:	Bullwhip-Effekt mit und ohne Produktionsglättung	254
Abbildung 4.41:	Kurz- und mittelfristige Oszillationen im Simulationsmodell	255
Abbildung 4.42:	Test der Koordinationsinstrumente: Produktion und Kapazität	259
Abbildung 4.43:	Test der Koordinationsinstrumente: Produktionsauslastung	260
Abbildung 4.44:	Test der Koordinationsinstrumente: Sicherheitsbestände Fertigprodukte	261
Abbildung 4.45:	Test der Koordinationsinstrumente: Sicherheitsbestände Material	262
Abbildung 5.1:	Planungsfehlerentwicklung in der Lieferkette	272
Abbildung 5.2:	Planungsfehlerentwicklung, Konfigurationsstrategien im Vergleich.....	273
Abbildung 5.3:	Struktur und Parameter für Experiment A.....	275
Abbildung 5.4:	Experiment A1: Bestands- und Auslastungsverläufe bei geringem Prognosefehler	279
Abbildung 5.5:	Beispiel-Simulationslauf zur Analyse der Auswirkung hoher Nachfragevariabilität bei geringer Flexibilität (vereinfachtes Modell) ...	281
Abbildung 5.6:	Endogener Planungsfehler bei A1-3 im vereinfachten Modell	283

Abbildung 5.7:	Momentaufnahmen der vertraglichen Anpassung im vereinfachten Modell ohne Kapazitätsbeschränkung und ohne dynamische Lieferzeitanpassung	284
Abbildung 5.8:	Materialbestand <i>MS</i> nach Abruf im vereinfachten Modell; ohne Kapazitätsbeschränkung; ohne dynamische Lieferzeitanpassung	286
Abbildung 5.9:	Simulationslauf mit vereinfachten Modell mit beschränkter Kapazität und dynamischer Lieferzeitanpassung	287
Abbildung 5.10:	Experiment A1: Bestands- und Auslastungsverläufe bei mittlerem Prognosefehler	290
Abbildung 5.11:	Experiment A1: Bestands- und Auslastungsverläufe bei hohem Prognosefehler	293
Abbildung 5.12:	Experiment A2: Bestands- und Auslastungsverläufe bei mittlerem Prognosefehler	296
Abbildung 5.13:	Experiment A2: Bestands- und Auslastungsverläufe bei hohem Prognosefehler	297
Abbildung 5.14:	Variantenbildung im Simulationsmodell (Beispiel: „1-2-10-50“)	301
Abbildung 5.15:	Dispositiver Bestand des <i>OEM</i> bei Anwendung des RHF-Vertrags mit 10% Flexibilität (Beispiellauf)	307
Abbildung 5.16:	Ergebnisse Experiment B – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Material der Modellstufe <i>OEM</i>	308
Abbildung 5.17:	Ergebnisse Experiment B – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Fertigprodukten der Modellstufe <i>MS</i>	308
Abbildung 5.18:	Ergebnisse Experiment B – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Material der Modellstufe <i>MS</i>	309
Abbildung 5.19:	Ergebnisse Experiment B – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Fertigprodukten der Modellstufe <i>CS</i>	310
Abbildung 5.20:	Ergebnisse Experiment B – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Material der Modellstufe <i>CS</i>	310
Abbildung 5.21:	Ergebnisse Experiment B – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Fertigprodukten der Modellstufe <i>PS</i>	311
Abbildung 5.22:	Ergebnisse Experiment B – Sollauslastung der Nominalkapazität	312
Abbildung 5.23:	Ergebnisse Experiment B mit beispielhafter finanzieller Bewertung	313
Abbildung 5.24:	Ergebnisse Experiment B – Wertbeitrag absolut (Discounted Cash Flow), aufgeteilt auf die Modellstufen, für Lieferkettentypen mit frühester (B1) und spätester Variantenbildung (B8)	316
Abbildung 5.25:	Relative Veränderung des Gesamt-DCF bei Variation des Materialkostenanteils für Lieferkettentypen B1 und B8	317
Abbildung 5.26:	Ergebnisse Experiment C – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Material der Modellstufe <i>MS</i>	321

Abbildung 5.27:	Ergebnisse Experiment C – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Fertigprodukten der Modellstufe <i>CS</i>	322
Abbildung 5.28:	Ergebnisse Experiment C – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Material der Modellstufe <i>CS</i>	322
Abbildung 5.29:	Ergebnisse Experiment C – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Fertigprodukten der Modellstufe <i>PS</i>	323
Abbildung 5.30:	Ergebnisse Experiment C – Sicherheitsbestand und mittlerer Bestand an Material der Modellstufe <i>PS</i>	323
Abbildung 5.31:	Ergebnisse Experiment C – Sollauslastung der Nominalkapazität	324
Abbildung 5.32:	Ergebnisse Experiment C mit beispielhafter finanzieller Bewertung.....	325

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Klassifikation von Produktions- und Logistiksystemen und Betrachtungsfokus dieser Arbeit	22
Tabelle 2.2: Grundelemente dynamischer Systeme	32
Tabelle 2.3: Einflussgrößen des Bullwhip-Effektes	51
Tabelle 2.4: Beispiel für Variantenvielfalt eines Automobils	62
Tabelle 2.5: Kategorien und Beispiele für Instrumente zur Koordination von Aufschaukeleffekten in Lieferketten.....	97
Tabelle 3.1: Zahlungsveränderbarkeit und Faktorelastizität von Verträgen.....	103
Tabelle 4.1: Bewertung der Anfangs- und Endbestände für Halb- und Fertigerzeugnisse ..	227
Tabelle 4.2: Fill Rates im Standard-Newsvendor-Modell	231
Tabelle 4.3: Testverfahren für System-Dynamics-Modelle nach FORRESTER / SENGE.....	239
Tabelle 5.1: Experimente im Überblick	263
Tabelle 5.2: Parameterwerte des Materialflussmodells	266
Tabelle 5.3: Parameterwerte des Potentialfaktormodells.....	267
Tabelle 5.4: Parameterwerte des Nachfragemodells.....	268
Tabelle 5.5: Parameterwerte des Zielgrößenmodells.....	268
Tabelle 5.6: Entwicklung von Nachfragevariabilität und Prognosefehler über mehrere Stufen.....	274
Tabelle 5.7: Experiment A1: Maximale Veränderungen der logistischen Kennzahlen in Prozent	277
Tabelle 5.8: Experiment A2: Maximale Veränderungen der logistischen Kennzahlen in Prozent	294
Tabelle 5.9: Szenarien für Experiment B.....	301
Tabelle 5.10: Strukturvarianten (Lieferkettentypen) in Experiment B	302
Tabelle 5.11: Vertragsparametrierung bei Variation des Materialkostenanteils für Lieferkettentypen B1 und B8	319
Tabelle 5.12: Strukturvarianten (Lieferkettentypen) in Experiment C	320

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AK	Arbeitskraft
APS	Advanced Planning System
AS	Arbeitsstunden
AV	Anlagevermögen
CPFR	Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment
DCF	Discounted Cash Flow
ECR	Efficient Consumer Response
FCF	Free Cash Flow
FF	Fertigfabrikate
HF	Halbfertigfabrikate
GE	Geldeinheiten
i. Allg.	im Allgemeinen
i.d.R.	in der Regel
i.e.S.	im engeren Sinne
i.S.v.	im Sinne von
ID	Industrial Dynamics (synonym zu System Dynamics)
IT	Informationstechnologie
JIS	Just-in-Sequence
JIT	Just-in-Time
LAB	Lieferabruf
MAD	Mean Absolute Deviation
ME	Mengeneinheiten
MGK	Materialgemeinkosten
MRP	Material Requirements Planning
OEM	Original Equipment Manufacturer
QF	Quantity Flexibility
QR	Quick Response
RHF	Rolling Horizon Flexibility
SB	Sicherheitsbestand
SCM	Supply Chain Management
SD	System Dynamics

TQM	Total Quality Management
UV	Umlaufvermögen
VDA	Verband der Automobilindustrie
VMI	Vendor Managed Inventory
VwVtGK	Verwaltungs- und Vertriebsgemeinkosten
Wo	Woche
ZE	Zeiteinheiten

Symbolverzeichnis

Variablen und Parameter:

$A_w(t)$	Betriebliche Auszahlungen der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$A_w^{FL}(t)$	Fertigungslohnzahlungen der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$A_w^{FLH}(t)$	Auszahlungen für die Lagerung von Fertigerzeugnissen der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$A_w^{FLUC}(t)$	Fluktuationsauszahlungen der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$A_w^{EM}(t)$	Auszahlungen für Materialverbrauch der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$A_w^{KAP}(t)$	Auszahlungen für kurzfristige Kapazitätsanpassung der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$A_w^{MGK}(t)$	Sonstige zahlungswirksame Materialgemeinkosten der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$A_w^{MLH}(t)$	Auszahlungen für die Lagerung von Material der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [GE]
$A_w^{V GK}(t)$	Auszahlungen für Verwaltung und Vertrieb (ohne Lageraufwand) der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$ABS_w(t)$	Abschreibungen auf das Anlagevermögen der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$AK_w(t)$	Bestand an Arbeitskräften der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [AK]
$AK_w^S(t)$	Soll-Bestand an Arbeitskräften der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [AK]
ALD	Mittlere Anlagenlebensdauer [ZE]
$ALG_w(t)$	Aktuelle Kapazitätsauslastung der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [-]
$ALG_w^{MS}(t)$	Mittelfristige Soll-Auslastung für Anlagen der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [-]
$ALG_w^S(t)$	Mittelfristige Soll-Auslastung der Nominalkapazität der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [-]
$ar_w(t)$	Anlagenabnutzungsrate der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [(ME/ZE)/ZE]
$AV_w(t)$	Anlagevermögen der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$AZ_w(t)$	Aktuelle Arbeitszeit der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [AS/AK/ZE]
$\{b_w(t) \mid 0 \dots H_w^{PL} + 1\}$	Primärbedarfsplan der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t mit $H_w^{PL} + 2$ Planperioden [ME]
$b_{wi}(t)$	Planprimärbedarf für die Planperiode $t + i$ in Periode t [ME]

$BL_w(t)$	Auftragsrückstand („Backlog“) der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
c^{FLI}, c^{FLO}	Kostensätze für Fluktuation (Einstellungen bzw. Kündigungen) [GE/AK]
c_w^{MGK}	Kostensatz für sonstige Materialgemeinkosten der Lieferstufe $w \in S_L$ [GE/ME]
c_w^{MLH}, c_w^{FLH}	Lagerkostensätze für Material und Fertigprodukte der Lieferstufe $w \in S_L$ [GE/ME]
c_w^{VGK}	Kostensatz für sonstige Verwaltungs- und Vertriebskosten der Lieferstufe $w \in S_L$ [GE/ME]
cv_{OEM}	Variationskoeffizient der OEM-Nachfrage [-]
$D_w(t)$	Abrufmenge des Kunden (Stufe $w - 1$) der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$D_{OEM}(t)$	Interner Materialbedarf des <i>OEM</i> in Periode t [ME]
$\{D_{OEM}^f(t) \mid 1 \dots H^{FC} + 1\}$	Zukünftiger Materialbedarf des <i>OEM</i> für $H^{FC} + 1$ Perioden [ME]
$D_{OEM,i}^f(t)$	Materialbedarf des <i>OEM</i> für Periode $t + i$ [ME]
DCF_{SC}	Discounted Cash Flow Beitrag der Supply-Chain Kooperation [GE]
DCF_w	Discounted Cash Flow Beitrag der Modellstufe $w \in S_{SC}$ [GE]
dt	Zeiteinheit = 1 [ZE]
$E_w(t)$	Betriebliche Einzahlungen der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [GE]
$er_w^+(t), er_w^-(t)$	Einstellungs- bzw. Entlassungsrate der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [AK/ZE]
$\{f_w(t) \mid 0 \dots H^{FC}\}$	Lieferabruf des Kunden (Stufe $w - 1$) der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t mit $H^{FC} + 1$ Planperioden [ME]
$f_{wi}(t)$	Planbedarf des Lieferabrufs für die Planperiode $t + i$ in Periode t [ME]
F^{max}	Maximaler mittlerer Prognosefehler [ME]
f^{max}	Relativer maximaler mittlerer Prognosefehler [%]
$FB_w(t)$	Lagerbestand Fertigprodukte der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$\overline{FB}(t)$	Durchschnittlicher Lagerbestand Fertigprodukte der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$FB_w^{ac}(t)$	Lagerbestand Fertigprodukte <i>nach Abruf</i> der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME] mit $FB_w^{ac}(t) = FB_w^{eff}(t) - D_w(t)$
$FB_w^{eff}(t)$	Effektiver Fertigproduktbestand der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME] mit $FB_w^{eff}(t) = FB_w(t) - BL_w(t)$

$FCF_w(t)$	Freier Cash Flow der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [GE]
$fr_w(t)$	Fluktuationsrate der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [AK/ZE]
$FSB_w(t)$	Sicherheitsbestandsziel Fertigprodukte der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$FSB_w^*(t)$	Kalkulierter Sicherheitsbestand Fertigprodukte der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$\{g_w(t) \mid 0 \dots H^{FC}\}$	Lieferabruf der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t mit $H^{FC} + 1$ Planperioden [ME]
$g_{wi}(t)$	An Lieferanten kommunizierter Planbedarf für Planperiode $t + i$ in Periode t [ME]
GAZ	Mittlere Gesamtarbeitszeit im Betrieb [ZE]
GF_w	Glättungsfaktor der Produktionsglättung bei Lieferstufe $w \in S_L$ [-]
$h_w(t)$	Abrufmenge der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [ME]
H^0	Planungsbereich ohne Prognosefehler („Frozen Zone“) [ZE]
H^{FC}	Zeithorizont der Lieferabrufe für alle Modellstufen $w \in S_{SC}$ [ZE]
H_w^{PL}	Individueller Bedarfsplanungshorizont der Lieferstufe $w \in S_L$ [ZE]
H_w^{PP}	Individueller Produktionsplanungshorizont der Lieferstufe $w \in S_L$ [ZE]
I_w	Trennposition zwischen Kunden- und <i>OEM</i> -Bedarfsvorschau bei Koordination durch Bedarfstransparenz für Lieferstufe $w \in \{CS, PS\}$ [-]
$K_w(t)$	Nominelle Personalkapazität der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME/ZE]
$K_w^{max}(t)$	Technische Maximalkapazität der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME/ZE]
$K_w^S(t)$	Soll-Nominalkapazität der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME/ZE]
$K_w^v(t)$	Verfügbare Produktionskapazität (Betriebsbereitschaft) der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME/ZE]
$KB_w(t)$	Mittelfristiger Kapazitätsbedarf der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME/ZE]
l	Durchschnittlicher Zeitlohnsatz [GE/AS]
L_w	Anzahl Transportstufen (Transportzeit) auf der Beschaffungsseite der Lieferstufe $w \in S_L$ [ZE]
$L_w^{exp}(t)$	Erwartete Lieferzeit der Modellstufe $w \in \{OEM, MS, CS\}$ in Periode t [ZE]
M_w	Länge des Produktionssystem (Anzahl Produktionsstufen) der Lieferstufe $w \in S_L$ [ZE]
MAZ	Maximalarbeitszeit [AS/AK/ZE]
$MB_w(t)$	Lagerbestand Vorprodukte (Material) der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [ME]

$\overline{MB}_w(t)$	Durchschnittlicher Materialbestand der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [ME]
$MB_w^{ac}(t)$	Materialbestand <i>nach Abruf</i> der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [ME] mit $MB_w^{ac}(t) = MB_w(t) - x_w(t)$
$MK_w(t)$	Bestand an Produktionsanlagen (Bruttokapazität) der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME/ZE]
$MK_w^S(t)$	Soll-Bestand an Produktionsanlagen der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME/ZE]
$mr_w^+(t), mr_w^-(t)$	Anpassungsraten der Anlagenkapazität der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [(ME/ZE)/ZE]
$MSB_w(t)$	Sicherheitsbestandsziel Material der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [ME]
$MSB_w^*(t)$	Kalkulierter Sicherheitsbestand Material der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [ME]
$MV_w(t)$	Vermögen an Fertigungsmaterial (Vorprodukten) der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [GE]
N_w	Produktvarianz (Anzahl Produktvarianten bzw. Sachnummern) der Modellstufe $w \in S_{SC}$ [-]
NAZ	Normalarbeitszeit [AS/AK/ZE]
p_w	Enderzeugnispreis der Lieferstufe $w \in S_L$ [GE/ME]
p_{RM}	Preis für Rohmaterial (Einstandspreis der Stufe PS) [GE/ME]
$\{p_w(t) \mid 0 \dots H_w^{PP}\}$	Produktionsplan der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t mit $H_w^{PP} + 1$ Planperioden [ME]
$p_{wi}(t)$	Planproduktionsmenge der Lieferstufe $w \in S_L$ in Planperiode $t + i$ [ME]
$\{\tilde{p}_w(t) \mid 0 \dots H_w^{PP}\}$	Nettoprimärbedarfsplan der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t mit $H_w^{PP} + 1$ Planperioden [ME]
$\tilde{p}_{wi}(t)$	Nettoprimärbedarf der Lieferstufe $w \in S_L$ in Planperiode $t + i$ [ME]
$PBL_w(t)$	Produktionsrückstand (interner Backlog) der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [ME]
PK_w	Produktionskoeffizient der Lieferstufe $w \in S_L$ [AS/ME]
$PRF(i)$	Prognosefehlerfunktion [ME]
$PS_{wm}(t)$	Menge im Produktionssystem in der m -ten Fertigungsstufe der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$\{q_w(t) \mid 0 \dots H^{FC}\}$	Sekundärbedarfsplan (Materialbedarfsplan) der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t mit $H^{FC} + 1$ Planperioden [ME]
$\{q_w^{LZ}(t) \mid 0 \dots H^{FC}\}$	Sekundärbedarfsplan der Modellstufe $w \in \{OEM, MS, CS\}$ nach Anpassung aufgrund von Lieferzeiterwartungen [ME]

$\{q_w^{RHF}(t) 0 \dots H^{FC}\}$	Sekundärbedarfsplan der Modellstufe $w \in \{OEM, MS, CS\}$ nach Anpassung auf Basis der vertraglichen Mengenflexibilitätsvereinbarung [ME]
$\{q_{OEM}^{Br}(t) 0 \dots H^{FC}\}$	Bruttomaterialbedarfsplan des <i>OEM</i> in Periode t mit $H^{FC} + 1$ Planperioden [ME]
$r_w(t)$	Fertigstellungsmenge des Produktionssystems der Lieferstufe $w \in S_L$, d.h. Anzahl Fertigprodukte, die in Periode t das Produktionssystem verlassen und in das Fertigproduktlager übergehen [ME]
T	Simulationshorizont [ZE]
T^{AK}	Autokorrelationskonstante der <i>OEM</i> -Nachfrage [-]
T^{AKF}	Autokorrelationskonstante des <i>OEM</i> -Prognosefehlers [-]
T^{BP}	Durchlaufzeit der Primärbedarfsplanung [ZE]
T^{Calc}	Kalkulationszeitraum für die Bewertung des Restbestands [ZE]
T^{FD}	Trägheitskonstante des <i>OEM</i> -Prognosefehlers [ZE]
T^{inv}, T^{des}	Durchschnittliche Investitions- bzw. Desinvestitionszeit [ZE]
T^{Einst}, T^{entl}	Durchschnittliche Dauer für Rekrutierung bzw. Bindung von Arbeitskräften [ZE]
T^{KP}	Kapazitätsplanungszeit [ZE]
T^{LZ}	Glättungszeitkonstante für Anpassung der erwarteten Lieferzeit [ZE]
T^{MGK}	Verzögerungskonstante für die Veränderung sonstiger MGK [ZE]
T^{MLH}, T^{FLH}	Verzögerungskonstanten für die Veränderung von Lagerkosten [ZE]
T^{MRP}	Durchlaufzeit Materialbedarfsplanung [ZE]
T^{SB}	Anpassungszeit der Sicherheitsbestände [ZE]
T^{VGK}	Verzögerungskonstante für die Veränderung sonstiger Verwaltungs- und Vertriebskosten [ZE]
$TS_{wl}(t)$	Menge im Transportsystem in der l -ten Transportstufe der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$u_w(t)$	Anliefermenge der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
v_w^M	Wert einer Anlagenkapazitätseinheit der Lieferstufe $w \in S_L$ [GE/(ME/ZE)]
$VV_w(t)$	Vorratsvermögen der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [GE]
$x_w(t)$	Produktionsmenge der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$x_{OEM}(t)$	Materialverbrauch des <i>OEM</i> in Periode t [ME]
$x_w^S(t)$	Soll-Produktionsmenge der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$y_w(t)$	Liefermenge der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$y_w^M(t)$	Verfügbare Materialmenge bei Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$\{z_w(t) 0 \dots H^{FC}\}$	Bedarfsvorschau bei Koordination durch Bedarfstransparenz für Lieferstufe $w \in \{CS, PS\}$ in Periode t mit $H^{FC} + 1$ Planperioden [ME]

z	Überstundenzuschlag [%]
α	Ziel-Servicegrad der Lieferkette [%]
α_w^P	Ziel-Servicegrad des Produktionssystems der Lieferstufe $w \in S_L$ [%]
α^{nom}	Ziel-Servicegrad der Nominalkapazität [%]
α_{wi}	Obere Schranke des Flexibilitätsbandes der Modellstufe $w \in \{OEM, MS, CS\}$ für die i -te Planperiode; $i = 0, \dots, H^{FC}$ [%]
α_w^{max}	Maximale Obergrenze des Flexibilitätsbandes der Modellstufe $w \in \{OEM, MS, CS\}$ [%]
β_w	Durchschnittlicher Lieferservice (Fill Rate) der Lieferstufe $w \in S_L$ [%]
β_w^M	Durchschnittlicher interner Lieferservice (Fill Rate) der Materialversorgung der Modellstufe $w \in S_{SC}$ [%]
γ_w	Glättungsfaktor für <i>OEM</i> -Bruttobedarf bei Koordination durch Bedarfstransparenz für Lieferstufe $w \in \{CS, PS\}$ [-]
$\{\varepsilon(t) \mid 0 \dots H^{FC}\}$	Prognosefehlerreihe des <i>OEM</i> mit $H^{FC} + 1$ Perioden [ME]
$\varepsilon_i(t)$	Prognosefehler des <i>OEM</i> in Bezug auf Periode $t + i + 1$ [ME]
κ	Diskontierungssatz (Kapitalkostensatz) pro Periode [-]
μ_{OEM}	Mittelwert der <i>OEM</i> -Nachfrage [ME]
η_{AK}	Personalanwesenheitsgrad [-]
η_{MK}	Anlagennutzungsgrad [-]
π_w	Beeinflussbarer Materialkostenanteil der Lieferstufe $w \in S_L$
$\sigma_w^F(t)$	Stochastische Bestimmungsgröße des Sicherheitsbestands für Fertigprodukte der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME]
$\sigma_w^M(t)$	Stochastische Bestimmungsgröße des Sicherheitsbestands für Material der Modellstufe $w \in S_{SC}$ in Periode t [ME]
$\sigma_w^P(t)$	Stochastische Bestimmungsgröße für Sicherheitskapazität der Lieferstufe $w \in S_L$ in Periode t [ME/ZE]
σ_{OEM}	Standardabweichung der <i>OEM</i> -Nachfrage [ME]
ω_{wi}	Untere Schranke des Flexibilitätsbandes der Modellstufe $w \in \{OEM, MS, CS\}$ für die i -te Planperiode; $i = 0, \dots, H^{FC}$ [%]
ω_w^{max}	Maximale Untergrenze des Flexibilitätsbandes der Modellstufe $w \in \{OEM, MS, CS\}$ [%]

Indext Mengen:

w	Modellstufen ($w \in \{OEM, MS, CS, PS, RM\}$)
S_{SC}	Teilmenge <i>Modellierte Lieferkette</i> : $S_{SC} = \{OEM, MS, CS, PS\}$
S_L	Teilmenge <i>Lieferstufen</i> : $S_L = \{MS, CS, PS\}$
i, j	Planperioden
t	Perioden ($t = 1, \dots, T$)