Rollierende Produktions- und Beschaffungsplanung in einer kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung mit Quotenbezug

Dissertation

zur Erlangung der Würde eines

DOKTORS DER WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN

(Dr. rer. pol.)

der Universität Paderborn

vorgelegt von

Dipl.-Wirt.-Inf. Tobias Rust

33100 Paderborn

Paderborn, August 2010

Dekan:	Prof. Dr. Peter F. E. Sloane
Referent:	Prof. Dr.-Ing. habil. Wilhelm Dangelmaier
Korreferentin:	Prof. Dr. Leena Suhl

INHALTSVERZEICHNIS

Inhaltsverzeichnis i
Abbildungsverzeichnis v
Tabellenverzeichnis vii
Symbolverzeichnis ix
1 Einleitung 1
2 Problemdefinition 5
2.1 Kooperative Kunden-Lieferanten-Beziehung 5
2.2 Produktionsplanung 10
2.3 Beschaffungsplanung 17
2.4 Rollierende Planung 22
2.5 Grundlegende Annahmen und Restriktionen 25
2.5.1 Modul Engpassteil 25
2.5.2 Modul Kunde 26
2.5.3 Modul Lieferant 27
2.6 Anforderungen an die Lösung 28
2.6.1 Kooperative Kunden-Lieferanten-Beziehung 28
2.6.2 Planungsdomäne Kunde 32
2.6.3 Planungsdomäne Lieferant 33
3 Stand der Technik 37
3.1 Ansätze zur Schaffung einer kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung 37
3.1.1 Vertraglicher Aspekt der Kooperation – Flexible Kontrakte 37
3.1.2 Planerischer Aspekt der Kooperation 40
3.1.2.1 Ansätze für die kooperative Grobplanung 41
3.1.2.1.1 Steuerung der Beschaffung durch Rabatte – Ansatz nach Monahan 41
3.1.2.1.2 Planung der Flexibilitätskorridore – Robuste Optimierung 42
3.1.2.2 Ansätze für die kooperative Feinplanung 43
3.1.2.2.1 Upstream Planning 43
3.1.2.2.2 Hierarchische Planung nach Zimmer 44
3.1.2.2.3 Profit-Sharing-Ansatz von Dudek 45
3.1.2.2.4 Koordinationsansatz von Sucky 48
3.1.2.2.5 Reduzierung der Planungsnervosität 49
3.1.3 Fazit 51
3.2 Ansätze zur Lösung der Produktionsplanungsaufgabe 52

3.2.1 Capacitated Lotsizing Problem (CLSP) 52
3.2.2 Erweiterungen/Abwandlungen des CLSP 54
3.2.3 Fazit 56
3.3 Ansätze zur Lösung der Beschaffungsplanungsaufgabe 56
3.3.1 Beschaffungsplanung unter Einhaltung längerfristiger Restriktionen 56
3.3.2 Kurzfristige Beschaffungsplanung 57
3.3.2.1 Ansatz von Tempelmeier 57
3.3.2.2 Ansatz von Reith-Ahlemeier 59
3.3.2.3 Ansatz von Goossen et al. 60
3.3.2.4 Ansatz von Stadtler 61
3.3.3 Fazit 62
3.4 Ansätze zur Produktionsplanung mit integrierter Beschaffung 62
3.4.1 Ansatz nach Prentis und Khumawala 62
3.4.2 Fazit 65
3.5 Ansätze für eine rollierende Planung 65
3.5.1 Designkriterien der rollierenden Planung 65
3.5.2 Fazit 68
4 Zu leistende Arbeit 69
4.1 Kooperative Kunden-Lieferanten-Beziehung 69
4.1.1 Vertraglicher Aspekt 69
4.1.2 Planerischer Aspekt 69
4.2 Planungsdomäne Kunde 70
4.3 Planungsdomäne Lieferant 71
4.4 Evaluierung des Ansatzes 72
5 Konzeption 73
5.1 Kooperative Kunden-Lieferanten-Beziehung 73
5.1.1 Zeitbetrachtung 73
5.1.2 Rahmenvertrag 75
5.1.2.1 Mengen und Preise 75
5.1.2.2 Kooperative Maßnahmen 77
5.1.2.2.1 Aufweichung des Quotenbezugs 78
5.1.2.2.2 Einführung von Flexibilitätskorridoren 79
5.1.2.2.3 Planung des Engpassteil-Lagers durch die Lieferanten 81
5.1.2.2.4 Änderungsplanung im Rahmen der Feinplanung 82
5.1.2.2.5 Profit-Sharing 84
5.1.3 Restriktionen und Kosten im Kontext der Grob- und Feinplanung 85

5.2 Konzeption der Planung ... 86
5.2.1 Grobplanung – Rollierende Planung der Flexibilitätskorridore ... 87
5.2.1.1 Grobplanung aus Lieferantensicht ... 87
5.2.1.1.1 Ermittlung von Zielbedarfen ... 89
5.2.1.1.2 Angebotsberechnung ... 94
5.2.1.1.3 Entscheidung über Vergabe des Angebotes ... 96
5.2.1.2 Grobplanung aus Kundensicht ... 96
5.2.1.2.1 Sortierung der Zeitabschnitte ... 100
5.2.1.2.2 Planung eines Zeitabschnitts ... 103
5.2.1.2.2.1 Beschaffungsmengenplanung ... 103
5.2.1.2.2.2 Flexibilitätskorridorplanung ... 112
5.2.1.2.3 Initialplanung ... 115
5.2.2 Feinplanung – Rollierende Produktions- und Beschaffungsplanung ... 117
5.2.2.1 Variablen, Mengen und Parameter der Feinplanung ... 118
5.2.2.2 Basismodell ... 119
5.2.2.3 Kooperationsstufe 1 – Kunde plant Engpassteil-Lager ... 122
5.2.2.3.1 Ablauf der Planung ... 122
5.2.2.3.2 Modell des Kunden ... 123
5.2.2.3.3 Modell der Lieferanten ... 129
5.2.2.3.4 Profit-Sharing ... 131
5.2.2.3.4.1 Profit-Sharing aus Lieferantensicht ... 134
5.2.2.3.4.2 Profit-Sharing aus Kundensicht ... 139
5.2.2.4 Kooperationsstufe 2 – Lieferant plant Engpassteil-Lager ... 142
5.2.2.4.1 Ablauf der Planung ... 142
5.2.2.4.2 Modell des Kunden ... 142
5.2.2.4.3 Modell der Lieferanten ... 146
5.2.3 Zusammenspiel der rollierenden Grob- und Feinplanung ... 149
5.2.4 Modellierung der Gegner ... 150
5.2.4.1 Gegner der Grobplanung ... 151
5.2.4.1.1 Gegner der Grobplanung des Lieferanten ... 151
5.2.4.1.2 Gegner der Grobplanung des Kunden ... 151
5.2.4.2 Gegner der Feinplanung ... 152
5.2.4.2.1 Zentraler Gegner der Feinplanung ... 152
5.2.4.2.2 Gegner der Feinplanung des Kunden ... 156
5.2.4.2.3 Just-In-Time-Modellierung ... 157
5.2.4.3 Gegner mit vollständigem Wissen ... 157

5.2.4.3.1 Zentraler Gesamtgegner für den Vertragshorizont ... 157
5.2.4.3.2 Komplettplaner für die Planungsdomäne Kunde ... 161
5.3 Einsetzbarkeit der Planung unter anderen Annahmen ... 161
5.3.1 Veränderung des Szenarios ... 161
5.3.2 Veränderung der Planungsannahmen ... 163
6 Auswertung ... 167
6.1 Testplattform ... 167
6.1.1 Pflege der Daten ... 168
6.1.1.1 Pflege statischer Daten ... 168
6.1.1.2 Pflege veränderlicher Daten ... 169
6.1.2 Auswahl der Verfahren ... 171
6.1.3 Planung ... 172
6.1.4 Auswertung ... 173
6.2 Szenarien ... 174
6.2.1 Grobplanung ... 174
6.2.2 Feinplanung ... 179
6.2.2.1 Feinplanung ohne Profit-Sharing ... 182
6.2.2.2 Feinplanung mit Profit-Sharing ... 183
6.2.3 Grob- und Feinplanung ... 184
6.3 Auswertung ... 185
6.3.1 Grobplanung ... 185
6.3.2 Feinplanung ... 189
6.3.2.1 Feinplanung ohne Profit-Sharing ... 190
6.3.2.2 Feinplanung mit Profit-Sharing ... 194
6.3.3 Grob- und Feinplanung ... 200
7 Zusammenfassung ... 205
Literaturverzeichnis ... 207
A Anhang ... 218
Anhang A - Ergebnisse aller Planungsläufe ... 218
Anhang B - Klassenstruktur der Testplattform ... 224

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1.1: Ausgangsszenario und Problembereiche 1
Abbildung 2.1: Lieferflexibilität im Zeitverlauf (nach [Wild97]) 8
Abbildung 2.2: Interessenskonflikt der Toleranzziele von Kunde und Lieferant (nach [Bart06]) 9
Abbildung 2.3: Produktion als Input-Output-System (vgl. [Dang09]) 11
Abbildung 2.4: PPS-Aufgaben nach Hackstein (vgl. [Hack84]) 12
Abbildung 2.5: Graphische Repräsentation eines elementaren MFERT-Modells 13
Abbildung 2.6: Komplexität von Planungsproblemen (vgl. [DSV97]) 15
Abbildung 2.7: Gliederung der Beschaffungsplanung 18
Abbildung 2.8: Stufenrabatte 19
Abbildung 2.9: Zeitlicher Ablauf der Anschlussplanung und der rollierenden Planung 23
Abbildung 2.10: Modul Engpassteil 25
Abbildung 2.11: Modul Kunde 26
Abbildung 2.12: Modul Lieferant 27
Abbildung 3.1: Quantity Flexibility Kontrakte (angelehnt an [Tsay99]) 39
Abbildung 3.2: Iterative Planungsschritte bei Dudek (vgl. [Dude04]) 46
Abbildung 3.3: Ablauf des Profit-Sharing nach Dudek (vgl. [Dude04]) 47
Abbildung 3.4: Rollierende Planung nach Dudek (vgl. [Dude04]) 50
Abbildung 5.1: Zeitsicht der Planung 74
Abbildung 5.2: Planungssicht 74
Abbildung 5.3: Flexibilitätskorridor 80
Abbildung 5.4: Betrachtung der Zeitabschnitte in Abhängigkeit der Entfernung zur Heutelinie 80
Abbildung 5.5: Ablauf des Profit-Sharing 84
Abbildung 5.6: Punkte im Modell des Szenarios 85
Abbildung 5.7: Ablauf der Grobplanung 87
Abbildung 5.8: Ablauf der Grobplanung der Lieferanten 89
Abbildung 5.9: Ermittelte Kapazitätsbedarfe in der Lieferanten-Grobplanung 90
Abbildung 5.10: Mögliche Umverteilung der Kapazitätsbedarfe 91
Abbildung 5.11: Merkmale zur Entscheidung der Bedarfsveränderung 92
Abbildung 5.12: Entscheidung Bedarfssteigerung oder Bedarfsminderung 93
Abbildung 5.13: Entscheidung für Rabattberechner 94
Abbildung 5.14: Entscheidung über Angebot 96
Abbildung 5.15: Zeitbereiche und rollierende Anpassung eines Flexibilitätskorridors 98
Abbildung 5.16: Planung der Zeitabschnitte in der Grobplanung des Kunden 100
Abbildung 5.17: Angebotssortierung durch Partitionierung 102
Abbildung 5.18: Planung eines Zeitabschnitts in der Grobplanung des Kunden 107
Abbildung 5.19: Ablauf der Beschaffungsmengenplanung bei hoher Quotenrelevanz 111
Abbildung 5.20: Bestimmung der Flexibilitätskorridore 115
Abbildung 5.21: Ablauf der Planung in Kooperationsstufe 1 123
Abbildung 5.22: Ablauf des Profit-Sharing 131
Abbildung 5.23: Horizonte im Profit-Sharing (in Anlehnung an [Dude04]) 133
Abbildung 5.24: Vergleich verschiedener Lieferpläne 139
Abbildung 5.25: Evaluierung der Profit-Sharing-Vorschläge 140
Abbildung 5.26: Ablauf der Planung in Kooperationsstufe 2 142
Abbildung 5.27: Zusammenspiel der rollierenden Grob- und Feinplanung 149
Abbildung 5.28: Ablauf Kunden-Grobplanung nach Quoten 152

Abbildung 6.1: Screenshot der Testplattform ... 167
Abbildung 6.2: Navigationsstruktur der Testplattform ... 168
Abbildung 6.3: Eingabe statischer Daten ... 169
Abbildung 6.4: Modellierung veränderlicher Daten ... 170
Abbildung 6.5: Eingabemaske für veränderliche Daten ... 170
Abbildung 6.6: Auswahl und Konfiguration der Verfahren ... 172
Abbildung 6.7: Visualisierung der laufenden Planung ... 173
Abbildung 6.8: Ergebnisanalyse der Testplattform ... 174
Abbildung 6.9: Gesamtkosten der Grobplanung ... 186
Abbildung 6.10: Grobplanung - Kosten des Kunden ... 187
Abbildung 6.11: Grobplanung - Kosten von Lieferant 1 ... 187
Abbildung 6.12: Grobplanung - Kosten von Lieferant 2 ... 188
Abbildung 6.13: Kostenanalyse Grobplanung Kunde - fixe Angebote ... 189
Abbildung 6.14: Gesamtkosten der Gegner in der Feinplanung ... 190
Abbildung 6.15: Gesamtkosten der Verfahren in der Feinplanung ohne Profit-Sharing ... 191
Abbildung 6.16: Feinplanung ohne Profit-Sharing - Auswirkungen Abweichungskosten ... 192
Abbildung 6.17: Feinplanung ohne Profit-Sharing - Auswirkungen Planverspätungskosten ... 193
Abbildung 6.18: FP ohne PS - Auswirkungen PVK – Keine Kapazitätsplanung der Lieferanten 194
Abbildung 6.19: Gesamtkosten der Verfahren in der Feinplanung mit Profit-Sharing ... 194
Abbildung 6.20: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Kunde ... 195
Abbildung 6.21: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Lieferant 1 ... 196
Abbildung 6.22: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Lieferant 2 ... 197
Abbildung 6.23: Gesamtkosten der Verfahren in der Grobplanung und Feinplanung ... 201
Abbildung 6.24: Verfahren der Grobplanung und Feinplanung – Kosten Kunde ... 202
Abbildung 6.25: Verfahren der Grobplanung und Feinplanung – Kosten Lieferant 1 ... 203
Abbildung 6.26: Verfahren der Grobplanung und Feinplanung – Kosten Lieferant 2 ... 203

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1.1: Zuordnung von Modulen und Methoden zu den Problembereichen 2
Tabelle 2.1: Auswahl an Merkmalen von Losgrößenplanungsmodellen 14
Tabelle 2.2: Restriktionen im Engpassteil-Modul 25
Tabelle 2.3: Kosten im Engpassteil-Modul 26
Tabelle 2.4: Restriktionen im Kunden-Modul 26
Tabelle 2.5: Kostenbetrachtung im Kunden-Modul 27
Tabelle 2.6: Restriktionen im Lieferanten-Modul 27
Tabelle 2.7: Kostenbetrachtung im Lieferanten-Modul 28
Tabelle 3.1: Übersicht über Elemente des CLSP in verschiedenen Modellformulierungen 54
Tabelle 5.1: Rabattstruktur und Angebot 77
Tabelle 5.2: Eigenschaften des Rahmenvertrages für Vertrag, Zeitabschnitt und Periode 77
Tabelle 5.3: Kooperative Maßnahmen mit Planungsbezug 78
Tabelle 5.4: Restriktionen im Gesamtszenario 86
Tabelle 5.5: Kosten im Gesamtszenario 86
Tabelle 5.6: Restriktionen im Basismodul 120
Tabelle 5.7: Kostenbetrachtung im Basismodul 120
Tabelle 6.1: Einstellungen des Basisszenarios Grobplanung 175
Tabelle 6.2: Bedarfe im Grobplanungsszenario 177
Tabelle 6.3: Szenarien für die Grobplanung 178
Tabelle 6.4: Grobplanung feste Angebote - Angebote Lieferant 1 179
Tabelle 6.5: Grobplanung feste Angebote - Angebote Lieferant 2 179
Tabelle 6.6: Einstellungen des Basisszenarios Feinplanung 180
Tabelle 6.7: Bedarfe im Feinplanungsszenario 181
Tabelle 6.8: Szenarien für die Feinplanung ohne Profit-Sharing 182
Tabelle 6.9: Planverspätungskosten 182
Tabelle 6.10: Szenarien des Profit-Sharing 183
Tabelle 6.11: Szenarien - Profit-Sharing mit unterschiedlichen Lagerkosten 184
Tabelle 6.12: Vertragliche Parameter des kombinierten Szenarios 184
Tabelle 6.13: Gesamtkosten der Grobplanung – Vergleich zu GL_GK 186
Tabelle 6.14: Grobplanung – Kosten des Kunden 187
Tabelle 6.15: Grobplanung – Kosten Lieferant 1 188
Tabelle 6.16: Grobplanung – Kosten Lieferant 2 188
Tabelle 6.17: Kostenanalyse Grobplanung Kunde - fixe Angebote 189
Tabelle 6.18: Gesamtkosten der Feinplanung ohne Profit-Sharing – Vergleich zum USP 191
Tabelle 6.19: Feinplanung ohne Profit-Sharing - Auswirkungen der Abweichungskosten 192
Tabelle 6.20: Feinplanung ohne Profit-Sharing - Auswirkungen der Planverspätungskosten 193
Tabelle 6.21: FP ohne PS – Keine Kapazitätsplanung der Lieferanten - Vergleich zum USP 194
Tabelle 6.22: Auswirkungen Profit-Sharing für einzelne Parteien - Vergleich zum USP 195
Tabelle 6.23: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Kunde 196
Tabelle 6.24: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Lieferant 1 197
Tabelle 6.25: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Lieferant 2 198
Tabelle 6.26: Feinplanung mit Profit-Sharing - Auswirkungen der Lagerkosten des Kunden 199
Tabelle 6.27: Kosten der Grobplanung und Feinplanung – Vergleich zum USP 201
Tabelle 6.28: Grobplanung und Feinplanung – Vergleich zum USP – Kosten Kunde 202
Tabelle 6.29: Grobplanung und Feinplanung – Vergleich zum USP – Kosten Lieferant 1 203

Tabelle 6.30: Grobplanung und Feinplanung – Vergleich zum USP – Kosten Lieferant 2 204

SYMBOLVERZEICHNIS

a_{ki}	Anzahl an Einheiten von Produkt *k*, die in Produkt *i* eingehen
a_{τ}^{l}	Binärparameter. Gibt an, ob Lieferant *l* in Periode τ liefern kann (bei [Temp02])
abw_{t}^{l}	Abweichung im Vergleich zur letzten Bestellung in Periode *t* bei Lieferant *l*
ac_{jt}	Binärvariable. Gibt an, ob Ressource *j* in Periode *t* aktiv ist (bei [ÖzBi98])
agp^{l}	Abgabepotential des Lieferanten *l*
agp_{gep}^{l}	Abgabepotential des Lieferanten *l* für den bereits verbindlich geplanten Zeitbereich
agp_{ungep}^{l}	Abgabepotential des Lieferanten *l* für den noch nicht verbindlich geplanten Zeitbereich
$agpgep_{z}^{l}$	Abgabepotential des Lieferanten *l* für den Zeitabschnitt *z*
$agpungep_{z}^{l}$	Abgabepotential des Lieferanten *l* pro Zeitabschnitt des noch nicht verbindlich geplanten Zeitbereichs
agz_{lp}^{l}	Ausgleichszahlung für einen Lieferplan des Lieferanten *l*
$agz_{lp,sk}^{l}$	Ausgleichszahlung für den Lieferplan des Lieferanten *l* in der Szenariokombination *sk*
ahp^{l}	Aufholpotential des Lieferanten *l*
ahp_{gep}^{l}	Aufholpotential des Lieferanten *l* für den bereits verbindlich geplanten Zeitbereich
ahp_{ungep}^{l}	Aufholpotential des Lieferanten *l* für den noch nicht verbindlich geplanten Zeitbereich
$ahpgep_{z}^{l}$	Aufholpotential des Lieferanten *l* für den Zeitabschnitt *z*
$ahpungep_{z}^{l}$	Aufholpotential des Lieferanten *l* pro Zeitabschnitt des noch nicht verbindlich geplanten Zeitbereichs
ak_{t}^{l}	Änderungskostensatz in Periode *t* bei Lieferant *l*
$aktza$	aktueller Zeitabschnitt
al_{z}^{l}	bereits gelieferte Menge von Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
am_{zs}	Aufholmenge des Szenarios *s* in Zeitabschnitt *z*
anq_{z}^{l}	Auswirkungen eines Szenarios hinsichtlich der Quote für Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
aq_{z}	Auswirkung der Szenariokombination in Zeitabschnitt *z* hinsichtlich der Quote des Gesamtszenarios
aRS_{z}^{l}	Rabattstruktur-Wert für die in Zeitabschnitt *z* geltenden Rabattstufen bei Lieferant *l*
az^{l}	Ausgleichszahlung von Lieferant *l*
b_{eT}	Gesamtbestellung für das Engpassteil im Vertragshorizont *T*
b_{ez}	Gesamtbestellung für das Engpassteil in Zeitabschnitt *z*
b_{jt}	Kapazität der Ressource *j* in Periode *t*
b_{jt}^{l}	Kapazität der Ressource *j* in Periode *t* bei Lieferant *l* (bei [Reit02])
$b_{kt}^{(1)}$	„normales Kapazitätslimit“ für Produkt *k* in Periode *t* (bei [PrKh89])
$b_{kt}^{(2)}$	maximale Kapazität für Produkt *k* in Periode *t* (bei [PrKh89])
$b_{t}^{(l)}$	Kapazität in Periode *t* (entspricht beim Lieferanten der Anzahl geplanter Kapazitätseinheiten in *t* (gke^{l}_{t}) multipliziert mit der Menge pro KE (zk^{l}))
$bedUe_{z}$	Bedarfsüberhang, um Verschiebung einzelner Bedarfe in der Grobplanung des Kunden auf spätere Zeitabschnitte zu ermöglichen
$bigm$	große Zahl
bke_{GPHL}^{l}	Anzahl der notwendigen Kapazitätseinheiten des Lieferanten *l* für den Grobplanungshorizont der Lieferanten
$bkfix^{l}$	fixe Bestellkosten bei Lieferant *l* (je nach Modell fixe Lieferkosten für Lieferant *l)*
$bkfix_{\tau}^{l}$	fixe Bestellkosten bei Lieferant *l* in Periode τ (bei [Temp02])
$bmax^{l}$	maximale Kapazität bei Lieferant *l* (entspricht der Menge pro geplanter Kapazitätseinheit (zk^{l}) multipliziert mit der maximalen Menge an KE ($maxke^{l}$))
bz_{jt}	Menge an Zusatzkapazität für Ressource *j* in Periode *t* (bei [ÖzBi98])
$c^{(l)}$	Kapazität des Produktlagers
$c_{etl}^{(l)}$	Kapazität des Engpassteil-Lagers
c_{kez}^{l}	Kapazität des Lieferanten *l* je Zeitabschnitt *z*, wenn eine Kapazitätseinheit geplant wird
$capa_{z}^{l}$	Kapazität des Lieferanten *l* pro Zeitabschnitt
cd_{GPHL}^{l}	voraussichtlich benötigter Kapazitätsbedarf des Lieferanten *l* für den Grobplanungshorizont der Lieferanten
ck	Zeitabschnittsweise Menge an Kapazität pro Kapazitätseinheit im Kontext der Rabattbestimmung
co_{zr}^{l}	Kosten für Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$cost_{zs}$	Kosten der Szenariokombination *s* in Zeitabschnitt *z*

d_{ez}	Bedarf an Engpassteilen im betrachteten Zeitabschnitt *z*
$d_k(BE)$	„Break Even Price Discount“ (bei [Mona84])
$d_{kt}^{(l)}$	Bedarf für Produkt *k* in Periode *t*
d_t	Bedarf in Periode *t*
d_z	Bedarf für Zeitabschnitt *z*
d_K^1	„Revised Unit Discount“ (bei [Mona84])
db_z	Durchschnittsbedarf an Engpassprodukten pro Zeitabschnitt
$dc_{kt}^{(l)}$	Strafkostensatz für Verspätung des Produktes *k* in Periode *t*
dRS_z	Durchschnittspreis über alle Rabattstufen aller Lieferanten in Zeitabschnitt *z*
e_{kt}	bestätigter Eingang von Produkt *k* in Periode *t* (gegeben) (bei [PrKh89])
e_t	Prognosefehler für Periode *t* (bei [Egri08])
ep_{GPHL}^l	Einsparpotential an Kapazitätseinheiten des Lieferanten *l* für den Grobplanungshorizont der Lieferanten
eqa	erlaubte Quotenabweichung
$erwlm_z^l$	erwartete Liefermenge des Lieferanten *l* pro Zeitabschnitt *z*
esk_{sk}	Einsparung des Kunden durch die Szenariokombination *sk*
fh	Gewicht für Kosten nach dem Verhandlungshorizont im Rahmen des Profit-Sharing
fix_k	fixe Rüst- bzw. Bestellkosten für Produkt *k* (bei [PrKh89])
fko_z^l	Flexibilitätskorridorobergrenze in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
fku_z^l	Flexibilitätskorridoruntergrenze in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$flex_z^l$	Flexibilität des Korridors für Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$flexG$	Flexibilitätsgewicht zur Bewertung eines Zeitabschnitts *z* im Rahmen der Kunden-Grobplanung
$flexZ_z$	Flexibilitätszuschlag zur Bewertung eines Zeitabschnitts *z* im Rahmen der Kunden-Grobplanung
fp	Faktor für Umrechnung der prozentualen Abweichung der Pläne in den gewährten Prozentsatz im Rahmen des Profit-Sharing
fuk	Faktor im Rahmen der Lieferanten-Grobplanung. Gibt an, mit welchem Prozentsatz die Einsparungen in den Preis einfließen sollen
gb_{kz}^l	Summe der geschätzten Bedarfe über alle Produkte k^l des Lieferanten *l*
gel^l	gelieferte Menge des Lieferanten *l* bis zum betrachteten Zeitpunkt
$gesb$	gesamte Beschaffungsmenge des Kunden bis zum betrachteten Zeitpunkt
$gesbes_z$	Gesamtbeschaffung für den Zeitabschnitt *z*
$gkog_z$	Gesamtkorridorobergrenze in der Korridorbildung in Zeitabschnitt *z*
$gkug_z$	Gesamtkorridoruntergrenze in der Korridorbildung in Zeitabschnitt *z*
gke_{GPHL}^l	Summe der geplanten Kapazitätseinheiten des Lieferanten *l* für den Grobplanungshorizont der Lieferanten
gke_t^l	Anzahl der geplanten Kapazitätseinheiten des Lieferanten *l* für Periode *t*
gkp_z	Gesamtkorridorpuffer in der Korridorbildung in Zeitabschnitt *z*
gRS^l	Rabattstruktur-Grundwert für Lieferant *l*
gsk_z	Strafkostenwert für das Gesamtszenario in der Korridorbildung in Zeitabschnitt *z*
h_e	Lagerkostensatz für Engpassteile
h_k	Lagerkostensatz für Produkt *k*
h_{kt}	Lagerkosten für Produkt *k* in Periode *t* (bei [PrKh89])
$h_p^{(l)}$	Lagerkostensatz für Produkte (einheitlich für alle Produkte)
$h_{\tau tr}^l$	Lagerkosten für den gesamten Bedarf der Periode *t*, falls dieser beim Lieferanten *l* in Periode τ mit Rabattstufe *r* beschafft wird (bei [Temp02])
$intens$	Faktor, um den die Wirkung der Quotenrelevanz ab einem Schwellenwert zunimmt
kb	Kosten des Basisplans des Kunden im Rahmen des Profit-Sharing
kb_t	Kosten des Basisplans des Kunden für die Periode *t* (im Rahmen des Profit-Sharing)
kbp^l	Kosten des ursprünglichen Bestellplans des Lieferanten *l*
kk	Zeitabschnittsweise Kosten pro Kapazitätseinheit
kke^l	Kosten pro Kapazitätseinheit bei Lieferant *l*
klp_{lp}^l	Kosten des gerade betrachteten Lieferplans von Lieferant *l*
$kmwog_z^l$	Obergrenze aller möglichen Korridormittelwerte in der Korridorbildung in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$kmwug_z^l$	Untergrenze aller möglichen Korridormittelwerte in der Korridorbildung in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
ksk_{sk}	Kosten des Kunden für die Szenariokombination *sk* im Rahmen des Profit-Sharing

$ksk_{sk,t}$	Kosten des Kunden für die Szenariokombination *sk* in Periode *t* im Rahmen des Profit-Sharing
kzk^l	Kosten pro Zusatzkapazitätseinheit *zk* bei Lieferant *l*
l_t^l	Bestellmenge in Periode *t* bei Lieferant *l* (in KS2: Bedarfsanforderung für Periode *t* bei Lieferant *l*)
$l_{t,j}$	Bestellmenge für Periode *t* aus Planung von Periode *j* (bei [Egri08])
l_V^l	Liefermenge von Lieferant *l* im Vertragshorizont *V*
l_z^l	Bestellmenge in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$l_{\tau r}^l$	Bestellmenge in Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Periode τ (bei [Temp02])
lb_t^l	letzte geplante Bestellung für Periode *t* bei Lieferant *l*
$lfix$	Länge der fixen Zone im Kontext der Grobplanung
lmp_t^l	maximale Liefermenge durch Lieferant *l* in Periode *t*
lmz^l	maximale Standardlieferkapazität von Lieferant *l* pro Zeitabschnitt (ohne Angebot)
lmz_z^l	maximale Liefermenge bzw. Bestellmenge in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
lsk	Länge der Abschnitte mit Strafkosten im Kontext der Grobplanung
lt_k	Vorlaufzeit für Produkt *k* (bei [PrKh89])
$maxke^l$	maximale Menge an Kapazitätseinheiten bei Lieferant *l*
$maxl_z$	Maximalmenge, die vom Zeitabschnitt *z* an bis zum Ende des Planungshorizontes noch bestellt werden darf (bei [BoWu01])
mb_t^l	Mindestbestellmenge bei Lieferant *l* in Periode *t* (bei [Reit02])
mbz_{jt}	maximale Menge an Zusatzkapazität für Ressource *j* in Periode *t* (bei [ÖzBi98])
$mFlex_z$	Gesamtflexibilität des Zeitabschnitts *z*
$minc_z$	Kosten der günstigsten Szenariokombination in Zeitabschnitt *z*
$minl_z$	Mindestmenge, die vom Zeitabschnitt *z* an bis zum Ende des Planungshorizontes noch bestellt werden muss (bei [BoWu01])
$mkog_z^l$	mögliche Korridorobergrenze in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$mkug_z^l$	mögliche Korridoruntergrenze in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
mRA_z	Kennzahl der möglichen Rabattausnutzung in der Korridorbildung in Zeitabschnitt *z*
mvz_k	Mindestvorlaufzeit für Produkt *k*
mw_z^l	Mittelwert in der Korridorbildung in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
nf_z	Normierungsfaktor für die Szenariobewertung in Zeitabschnitt *z*
o_{kt}	Faktor für zusätzliche Produktionskosten durch Fremdvergabe oder Überstunden, wenn „normales Kapazitätslimit“ $b_{kt}^{(1)}$ für Produkt *k* in Periode *t* überschritten wird (bei [PrKh89]).
o_t^l	Binärvariable für Bestellung in Periode *t* bei Lieferant *l* (je nach Modell stellt die Variable die Lieferung durch Lieferant *l* anstatt der Bestellung dar)
og_z^l	Obergrenze in der Korridorbildung in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$ogfk_z^l$	Obergrenze des Flexibilitätskorridors für Lieferant *l* und Zeitabschnitt z
p_{kt}	Produktionskostensatz für Produkt *k* in Periode *t*
$p_{kt}^{(pi_k)}$	Produktions- bzw. Einkaufspreis für ein Produkt *k* in Periode *t* (bei [PrKh89])
pa_z	alter Preis für den Zeitabschnitt *z*
pi_k	Preisindex für Produkt *k* ($pi_k = 1$: konstante Preise; $pi_k = 1, \dots, e_i$ Stufenrabatte nach Mengen sortiert) (bei [PrKh89])
pn_z	neuer Preis für den Zeitabschnitt *z*
$porsk_z^l$	Preis der obersten erreichbaren Rabattstufe von Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
pra_r^l	Standardpreis von Rabattstufe *r* bei Lieferant *l*
pra_{zr}^l	Preis für Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$pra_{\tau r}^l$	Stückpreis in Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Periode τ (bei [Temp02])
$prozPS^l$	Prozentsatz zur Berechnung der Ausgleichszahlungen von Lieferant *l*
$q_{kt}^{(l)}$	Losgröße für Produkt *k* in Periode *t*
q_{ktr}^l	Bestellmenge von Produkt *k* in Periode *t* bei Lieferant *l* in Rabattstufe *r* ((bei [Reit02])
$qd_{\tau tr}^l$	Anteil des Bedarfs in Periode *t*, der beim Lieferanten *l* in Periode τ mit Rabattstufe *r* beschafft wird (bei [Temp02])
ql_{et}^l	Liefermenge des Engpassteils *e* in Periode *t* durch Lieferant *l*
qr	Quotenrelevanz (über alle Lieferanten)
qr^l	Quotenrelevanz für Lieferant *l*
quo^l	Quote bei Lieferant *l*
$r_{kt}^{(l)}$	Rückstand für Produkt *k* zum Zeitpunkt *t*
ra_{zr}^l	Binärvariable für die Auswahl einer Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*

$ra_{\tau r}^{l}$	Binärvariable für die Auswahl einer Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Periode τ (bei [Temp02])
rog^{max}	Obergrenze der höchsten Rabattstufe
rog_{zr}^{l}	Obergrenze der Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$rog_{\tau r}^{l}$	Obergrenze der Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Periode τ (bei [Temp02])
rq_{z}^{l}	realisierte Quote von Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
rs^{l}	Rückstand des Lieferanten *l*
$rug_{kt}^{(pi_k)}$	Untergrenzen der Rabattstufen für Produkt *k* in Periode *t* (bei [PrKh89])
rug_{zr}^{l}	Untergrenze der Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
s_e	Rüstkosten des Engpassteils
$s_k^{(l)}$	Rüstkostensatz für Produkt *k*
$s_{kt}^{(l)}$	Binäre Rüstvariable für Produkt *k* in Periode *t*
sb_{zs}	Szenariobewertung von Szenario *s* in Zeitabschnitt *z*
sk_z^l	Strafkosten bzgl. Lieferant *l* im betrachteten Szenario in Zeitabschnitt *z*
sko_z^l	Kostensatz für eine Überschreitung des Flexibilitätskorridors in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
sku_z^l	Kostensatz für eine Unterschreitung des Flexibilitätskorridors in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
sog_z^l	Szenarioobergrenze in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
sug_z^l	Szenariountergrenze in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$sumcap_z$	Summe der Kapazität der anderen Lieferanten pro Zeitabschnitt
tb_{jk}	Stückbearbeitungszeit für Produkt *k* an Ressource *j*
tb_{jk}^l	Stückbearbeitungszeit des Lieferanten *l* für Produkt *k* an Ressource *j* (bei [Reit02])
$tb_k^{(l)}$	Stückbearbeitungszeit für Produkt *k*
tr_{jk}	Rüstzeit für Produkt *k* an Ressource *j*
$tr_k^{(l)}$	Rüstzeit für Produkt *k*
u_{kt}	Nettobedarf für Produkt *k* in Periode *t* (bei [PrKh89])
ue_z^l	Überschreitung des Flexibilitätskorridors in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
ug_z^l	Untergrenze in der Korridorbildung in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$ugfk_z^l$	Untergrenze des Flexibilitätskorridors für Lieferant *l* und Zeitabschnitt z
uk	zeitabschnittsweise Anzahl an ungenutzter Kapazität
un_z^l	Unterschreitung des Flexibilitätskorridors in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$verS$	Schwellenwert, ab dem die Wirkung der Quotenrelevanz zunimmt
vs^{l}	Vorsprung des Lieferanten *l*
w_{kt}	summierter Bedarf, minus Initiallagerbestand, minus Eingang, plus abhängiger Bedarf von Nachfolgerprodukten für Produkt *k* in Periode *t* ($w_{k0} = 0$) (bei [PrKh89])
wlq_z^l	Wert laut Quote für Lieferant *l* und Zeitabschnitt z
x	Anzahl an Perioden, für die regelmäßig die Quote eingehalten werden muss
x_{kt}	Losgröße bzw. geplante Bestellung für Produkt *k* in Periode *t* (bei [PrKh89])
$y_{kt}^{(l)}$	Lagerbestand für Produkt *k* zum Zeitpunkt *t*
$ye_t^{(l)}$	Lagerbestand des Engpassteils *e* im Kundenlager zum Zeitpunkt *t*
$yinit_e^{(l)}$	Initiallagerbestand für das Engpassteil *e* im Kundenlager
$yinit_k^{(l)}$	Initiallagerbestand für Produkt *k*
z_{kt}	Binärvariable. Gibt an, ob Produkt *k* in Periode *t* gerüstet bzw. bestellt wird (bei [PrKh89])
z_t^l	Anzahl an Zusatzkapazitätsaufstockungen in Periode *t* bei Lieferant *l*
zb_z	Wert zur Bewertung vom Verhältnis zwischen Kosten und Flexibilität eines Zeitabschnitts *z* im Rahmen der Grobplanung des Kunden
zd_{ez}	Zielbedarf an Engpassteilen im betrachteten Zeitabschnitt *z*
zk^{l}	Menge pro Zusatzkapazitätseinheit bei Lieferant *l*
AmA	Menge aller Abschnitte, in denen mindestens ein Lieferant seine Preisstruktur verändert
AoA	Menge aller Abschnitte, in denen keine Angebote bestehen
D_1	Jahresbedarf des Kunden (bei [Mona84])
E^l	Engpassteil ($E^l \in K^{(l)}$) (Es wird genau ein Engpassteil pro Lieferant produziert.)
G	Menge der selbst produzierten Produkte ($G \subset K$) (bei [PrKh89])
GP	Menge der Zeitabschnitte des Grobplanungshorizontes (mit einem Laufindex $1 \ldots GP$)
$GPHL$	Grobplanungshorizont der Lieferanten
H	Menge der gekauften Produkte ($H \subset K$) (bei [PrKh89])

H_1	Prozentuale jährliche Lagerkosten des Kunden (bei [Mona84])
J	Menge der Ressourcen *j* (mit dem Laufindex *1…J*)
$K^{(l)}$	Menge der zu planenden Produkte $k^{(l)}$ (mit einem Laufindex $1 \ldots K^{(l)}$)
K^*	Bestellmengensteigerung, ab der der Lieferant dem Kunden einen Mengenrabatt gewährt (bei [Mona84])
K_j	Menge der Produkte *k*, die auf Ressource *j* produziert werden können (mit dem Laufindex $1 \ldots K_j$)
L	Menge der Lieferanten *l* (mit einem Laufindex *1…L)*
N_e	Menge der Produkte mit Engpassteil
N_k	Menge der Nachfolger von Produkt *k*
NH	Menge der Perioden des Verhandlungszeitraums (mit einem Laufindex *1…NH*)
P_1	Verkaufspreis des Lieferanten ohne Rabatt (bei [Mona84])
PH	Menge der Perioden des Prognosezeitraums (mit einem Laufindex *NH+1…T*)
Q	Anzahl der Zeitbereiche, in denen die Quote eingehalten werden muss
Q_1	aktuelle Bestellmenge des Kunden (bei [Mona84])
R^l	Menge der Rabattstufen *r* bei Lieferant *l* (mit einem Laufindex $1 \ldots R^l$)
R^l_{kt}	Menge der Rabattstufen *r* bei Lieferant *l* in Periode *t* für Produkt *k* (bei [Reit02])
R^l_τ	Menge der Rabattstufen *r* bei Lieferant *l* (mit einem Laufindex $1 \ldots R^l$) in Periode τ (bei [Temp02])
S_1	fixe Bestellkosten des Kunden (bei [Mona84])
S_2	Kosten für die Auftragsabwicklung und Rüstkosten pro Bestellung (bei [Mona84])
SA_l	Anzahl an Szenarien des Lieferanten *l* in der Korridorbildung
Sum_{GS}	Anzahl an Gesamtszenarien in der Korridorbildung
T	Menge der Perioden des Planungszeitraums (mit einem Laufindex *1…T*)
V	Vertragshorizont
W	Menge an Perioden, die vorher bereits geplant wurden (mit einem Laufindex *1…W*)
Z	Menge der Zeitabschnitte des Planungszeitraums (mit einem Laufindex *1…Z*)
$\lvert r \rvert$	Rabattstufengröße von Rabattstufe *r*
α_{t-j}	Gewichtung des Prognosefehlers aus der Planung von Periode *j* für Periode *t* (bei [Egri08])
(α,λ)	Schranken im Kontext der Quantity Flexibility Kontrakte
$\{\mu(t)\}$	Stochastischer Marktbedarf im Kontext der Quantity Flexibility Kontrakte
$\{f(t)\}^L$	Lieferplan des Lieferanten im Kontext der Quantity Flexibility Kontrakte
$\{r(t)\}^L$	Bedarfsmengenplan des Lieferanten im Kontext der Quantity Flexibility Kontrakte
$\{r(t)\}^P$	Bedarfsmengenplan des Produzenten im Kontext der Quantity Flexibility Kontrakte

1 EINLEITUNG

„Mit einer Hand lässt sich
kein Knoten knüpfen.“

(Mongolisches Sprichwort)

In dieser Arbeit wird ein Supply Chain Ausschnitt betrachtet, in dem ein Endproduzent (Kunde), der eine Serienfertigung betreibt, ein wichtiges Zulieferteil (Engpassteil) von zwei Lieferanten mit Quotenbezug bezieht. Abbildung 1.1 zeigt das betrachtete Ausgangsszenario.

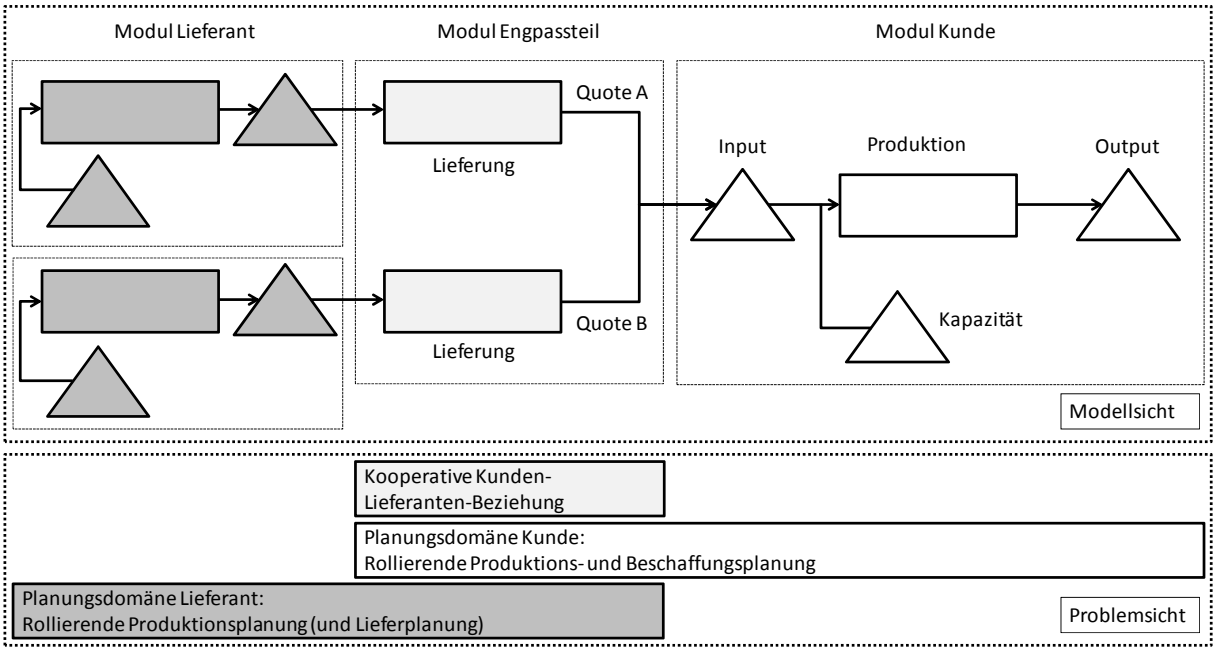


Abbildung 1.1: Ausgangsszenario und Problembereiche

Der Kunde besitzt eine zeitabhängige, begrenzte Kapazität zur Herstellung verschiedener Produkte, von denen eine Teilmenge einen Produktionsfaktor als Input benötigt, der fremdbeschafft wird. Der Bezug dieses Engpassteils ist durch Rahmenverträge geregelt, in denen u.a. Mengen, Quoten und Preise in Form von Mengenrabatten festgelegt sind. Die betrachteten Lieferanten produzieren neben dem Engpassteil noch weitere Produkte und besitzen ebenfalls begrenzte Kapazitäten.

Das Ziel der Arbeit besteht darin, die Versorgung des Kunden mit dem Engpassteil so zu planen, dass für alle Parteien, trotz autonomer und egoistischer Planungen, über den Vertragshorizont gesehen eine Kostenersparnis im Vergleich zu einer praxisnahen Referenzsituation erzielt werden kann. Die Betrachtung ist dabei nicht auf die reine Beschaffung bzw. Lieferung beschränkt, sondern erfolgt für die involvierten Parteien integriert in die Produktionsplanung. Nur durch Einbeziehung dieser Interdependenzen können die Kosten, die durch die kooperative Planung

entstehen, in einem realistischen Kontext beurteilt werden. Dazu gehört auch die Annahme einer rollierenden Planung, um Unsicherheiten der Umwelt zu berücksichtigen.

Wie in Abbildung 1.1 dargestellt, lässt sich das Gesamtproblem in drei Problemdomänen und das Szenario in drei Module aufteilen. Tabelle 1.1 zeigt die Problemdomänen der Arbeit, deren Zuordnung zu den Modulen und die Aufgaben, die sich für die Problemdomänen in den Modulen ergeben.

Problemdomäne	Modul	Aufgabe
Kooperative Kunden-Lieferanten-Beziehung	Engpassteil	Definition einer kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung zur Planung des Engpassteils
Planungsdomäne Kunde	Kunde	Produktionsplanung des Kunden
	Engpassteil	Beschaffungsplanung des Engpassteils
Planungsdomäne Lieferant	Lieferant	Produktionsplanung des Lieferanten
	Engpassteil	Lieferplanung des Engpassteils

Tabelle 1.1: Zuordnung von Modulen und Methoden zu den Problembereichen

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf der Definition einer **kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung** zur Planung der Versorgung des Kunden mit dem Engpassteil. Diese Planung bildet die Schnittstelle zwischen den einzelnen Parteien und besitzt Interdependenzen zu deren intraorganisationalen Planungsdomänen. Prinzipiell lässt sich die interorganisationale Planung am besten durch eine Zentralplanung lösen, der vollständige Informationen über alle relevanten Kosten und Restriktionen des Planungsgegenstandes vorliegen. Eine Zentralplanung ist allerdings zumeist unrealistisch, da Unternehmen in der Regel egoistisch handeln und nicht gewillt sind, private Informationen preiszugeben. Der Problembereich einer sowohl kooperativen als auch in der Praxis anwendbaren Zusammenarbeit zwischen Kunden und Lieferanten ist zu großen Teilen noch unerforscht. Da von egoistischem Verhalten der Unternehmen ausgegangen wird, muss ein Rahmenwerk definiert werden, das dafür sorgt, dass die Spielregeln der Zusammenarbeit definiert und in einem Rahmenvertrag festgelegt werden. Zudem müssen Maßnahmen konzipiert werden, die von einer Informationsasymmetrie und von autonom handelnden, egoistischen Parteien ausgehen und trotzdem in der Lage sind, über den gesamten Vertragshorizont bessere Planungsergebnisse zu ermöglichen als eine nichtkooperative, praxisnahe Referenzsituation. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Adaption der Pläne in einem dynamischen Umfeld durch eine rollierende Planung. Dabei besteht die Schwierigkeit darin, sowohl die Versorgung des Kunden mit Engpassteilen möglichst kostengünstig zu ermöglichen als auch die Lieferanten nicht mit starken Änderungen der Bestellpläne zu konfrontieren. Um einerseits eine möglichst frühzeitige Planung der durch die Lieferanten vorzuhaltenden Kapazitäten und andererseits eine konkrete Planung der Bestellungen zu ermöglichen, müssen verschiedene Zeithorizonte abgebildet werden. Zudem muss die Konsistenz der Planungen im Kontext einer rollierenden Planung mehrerer Parteien sichergestellt werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen nicht nur Aussagen für das konkrete Szenario, sondern generelle Aussagen über die kooperative Planung in einer Kunden-Lieferanten-Beziehung ermöglichen.

In der **Planungsdomäne Kunde** wird eine Produktionsplanung des Kunden mit einer Beschaffungsplanung des Engpassteils verknüpft. Dazu werden Standardmodelle der Produktionsplanung dahingehend erweitert, dass alle relevanten Konzepte des Rahmenvertrages integriert werden und eine rollierende Planung ermöglicht wird, die auf sich verändernde Umweltbedingungen adäquat reagiert. Die Planung betrachtet zudem die Sicherstellung der Quote über den gesamten Vertragshorizont.

In der **Planungsdomäne Lieferant** wird die Produktionsplanung der Lieferanten durchgeführt. Die Problematik in diesem Bereich besteht hauptsächlich darin, Auswirkungen der Bestell- bzw. Lieferpläne auf die Kosten der Lieferanten möglichst realistisch, aber gleichzeitig in einem dem Gesamtproblem angemessenen Abstraktionsgrad messen zu können. Dies erfolgt hauptsächlich über die Modellierung der Kapazitäten, um die Standardmodelle der Produktionsplanung erweitert werden. Einige der kooperativen Maßnahmen geben den Lieferanten zudem die Möglichkeit, Lieferpläne für das Engpassteil aufzustellen, wodurch eine Verknüpfung der Produktionsplanung der Lieferanten mit einer Lieferplanung erfolgt.

Um die Auswirkungen der Maßnahmen beurteilen zu können, wird eine **Testplattform** geschaffen, die es ermöglicht, alle planungsrelevanten Parameter abzubilden und eine Simulation einer rollierenden Planung aller involvierten Parteien über den gesamten Vertragshorizont durchzuführen. Die einzelnen Maßnahmen werden dabei sowohl separat als auch in Kombination analysiert. Zudem erfolgen die Analysen für den gesamten Supply Chain Ausschnitt und für jede einzelne Partei. Zur Einordnung der Planungsergebnisse werden verschiedene Szenarien ausgewertet und sowohl mit verschiedenen Ausprägungen der Referenzsituation als auch mit Zentralplanungsansätzen verglichen.

In Kapitel 2 erfolgt eine detaillierte Beschreibung des untersuchten Problems. Dabei werden zunächst die Problembereiche der kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung, der Produktionsplanung, der Beschaffungsplanung und der rollierenden Planung aus einem allgemeinen Blickwinkel betrachtet. Anschließend werden Annahmen und Restriktionen des Untersuchungsgegenstandes beschrieben und detaillierte Anforderungen an die Problemlösung der einzelnen Problemdomänen abgeleitet. Kapitel 3 gibt einen Überblick über relevante Ansätze zur Lösung der identifizierten Teilprobleme. In Kapitel 4 werden die Aufgabenpakete abgeleitet, die sich aus der verbleibenden Lücke zwischen den definierten Problemen und der Analyse des Standes der Technik ergeben. Das Konzept des Ansatzes wird in Kapitel 5 ausführlich erläutert. Dabei wird zunächst die kooperative Kunden-Lieferanten-Beziehung definiert, bevor Planungsverfahren für eine Grob- und eine Feinplanung vorgestellt werden. Diese werden jeweils aus Kunden- und Lieferantensicht und im Kontext einer rollierenden Planung dargestellt. Die Grobplanung bedient sich dabei Heuristiken, um das Problem zu lösen, die Feinplanung verwendet mathematische, ganzzahlige Modelle. Sowohl für den rollierenden Fall als auch für den gesamten Vertragshorizont werden Referenzsituationen sowie zentrale mathematische Modelle als Benchmark formuliert. Zum Abschluss des Kapitels wird die Adaptierbarkeit des Ansatzes unter anderen als in dieser Arbeit getroffenen Annahmen diskutiert. In Kapitel 6 werden die Testumgebung vorgestellt und die Testergebnisse für verschiedene Szenarien ausgewertet. Abgeschlossen wird die Arbeit durch eine Zusammenfassung und kritische Würdigung der erzielten Ergebnisse in Kapitel 7.

2 PROBLEMDEFINITION

„Was geht, was geht? Ich sag's dir ganz konkret."

(Die Fantastischen Vier)

In den ersten vier Abschnitten dieses Kapitels werden die Problembereiche der kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung (Abschnitt 2.1), der Produktions- und der Beschaffungsplanung (Abschnitt 2.2 und 2.3) und der rollierenden Planung (Abschnitt 2.4) zunächst aus einem allgemeineren Blickwinkel betrachtet. Im Anschluss folgt der Übergang zur konkreten Problemstellung, indem zunächst die grundlegenden Annahmen und Restriktionen des vorgestellten Ansatzes in Abschnitt 2.5 anhand der in Kapitel 1 eingeführten Module detailliert vorgestellt werden. Abschnitt 2.6 schließt die Problemstellung mit den Anforderungen an die zu erarbeitende Lösung bzgl. der in Kapitel 1 eingeführten Problemdomänen ab. Dabei sollen die Anforderungen als Orientierungspunkte für die weitere Arbeit und die abschließende Bewertung der erreichten Ziele dienen.

2.1 KOOPERATIVE KUNDEN-LIEFERANTEN-BEZIEHUNG

Aufgrund der Marktsituation sind Unternehmen immer häufiger darauf angewiesen, elementare Produktionsfaktoren von Fremdunternehmen zu beziehen. Zu diesem Zwecke schließen sie sich zu **Unternehmensnetzwerken (engl.: Supply Chain)**[1] zusammen, um gemeinsam eine Produktionsaufgabe[2] zu erfüllen. *„Ein Unternehmensnetzwerk stellt eine auf die Realisierung von Wettbewerbsvorteilen zielende Organisationsform ökonomischer Aktivitäten dar, die sich durch komplexreziproke, eher kooperative denn kompetitive und relativ stabile Beziehungen zwischen rechtlich selbständigen, wirtschaftlich jedoch zumeist abhängigen Unternehmen auszeichnet"* [Sydo92]. Mit Hilfe des **Supply Chain Managements (SCM)** wird versucht, das Unternehmensnetzwerk und die Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Unternehmen optimal zu gestalten. In der Literatur wird der Begriff des Supply Chain Managements nicht einheitlich behandelt. Eine Definition, die eine gute Schnittmenge der unterschiedlichen Definitionen darstellt, ist folgende: *„Supply Chain Management ist die unternehmensübergreifende Koordination der Material- und Informationsflüsse über den gesamten Wertschöpfungsprozess von der Rohstoffgewinnung über die einzelnen Veredelungsstufen bis hin zum Endkunden mit dem Ziel, den Gesamtprozess sowohl zeit- als auch kostenoptimal zu gestalten"* [ScJa99]. Diese Zusammenarbeit der Unternehmen wird durch den Gedanken des **Collaborative Supply Chain Managements (CSCM)** noch verstärkt. *„CSCM ist eine aktive und auf die Erzielung von Win-Win-Situationen ausgerichtete Zusammenarbeit zwischen Supply Chain-Partnern. Es umfasst kollaborative Abstimmungsprozesse durch den intelligenten Austausch von definierten Daten, bei dem beide Seiten mit definierten Rechten und Pflichten in den Prozess eingebunden sind. Die Abstimmungspro-*

[1] In der Literatur wird ein Unternehmensnetzwerk oftmals mit dem Begriff Supply Chain belegt, obwohl dieser Begriff assoziiert, dass es sich um einen Verbund in Form einer Kette und nicht eines Netzwerks handelt. Der Begriff Supply Chain wird im Folgenden mit dem des Unternehmensnetzwerks gleichgesetzt.
[2] Die Erläuterung der Produktionsplanungsaufgabe erfolgt in Abschnitt 2.2.

zesse können sowohl auf der Planungs- als auch auf der Ausführungsebene stattfinden" [BLL+02]. Das Hauptziel des Collaborative Supply Chain Management besteht in der Reduktion des Bullwhips-Effekts.[3] Durch dessen Reduktion bzw. Vermeidung können mehrere Teilziele wie bspw. das Ziel einer höheren Reaktionsfähigkeit oder der Abbau von Beständen entlang der Supply Chain erreicht werden.[4]

Wird eine **dezentral geplante Kunden-Lieferanten-Beziehung** angenommen, so entstehen drei grundlegende **Probleme.** Das erste Problem ist die **Unsicherheit**, die an verschiedenen Stellen in einer Supply Chain auftreten kann.[5] Ein wichtiger Aspekt der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen besteht darin, die Folgen der Unsicherheit zwischen den Parteien in einer für alle Parteien akzeptablen Weise aufzuteilen und Entscheidungen unter Unsicherheit so zu fällen, dass diese vorteilhaft für den gesamten betrachteten Supply Chain Ausschnitt sind. Das zweite Problem dezentraler Planung liegt in der sogenannten **double marginalization**. Bei diesem Aspekt geht es darum, Preise so festzulegen, dass der Gewinn des gesamten Supply Chain Ausschnitts maximiert wird. Diese werden bei einer dezentralen Planung oft so festgelegt, dass sie für den Supply Chain Ausschnitt suboptimal sind. Die **Informationsasymmetrie** ist der letzte Problemtyp. Diese Situation ist typisch für eine dezentrale Planung, da ein Akteur selten Einsicht in das komplette Planungsproblem eines anderen Akteurs besitzt. So werden bspw. Informationen über Kosten und Kapazitäten nicht mit dem Partner geteilt, wodurch ein Akteur die Auswirkungen seiner Entscheidungen auf den Partner nicht antizipieren kann und es im Gesamten zu suboptimalen Entscheidungen kommt. Diese Probleme gilt es, sowohl durch längerfristige, vertragliche als auch durch kürzerfristige, planerische Aspekte zu reduzieren und gleichzeitig die Eigenständigkeit zu bewahren.[6]

Das Problem der double marginalization ist das zentrale Problem der **Kontraktgestaltung**.[6] Das dabei angegangene Problem, durch Verträge den gesamten Gewinn des Supply Chain Ausschnitts zu maximieren, wird als **channel coordination** bezeichnet. *„Channel coordination is achieved when the supplier and the buyer make decisions (independently) in such a way that the joint profits are maximized"* [BBA02]. Die Annahme symmetrischer Information und damit auch die Annahme, dass die Parteien im Team arbeiten, ist charakterisierend für alle channel coordination Ansätze.[6] Dabei wird zunächst aus zentraler Sicht bestimmt, welche Entscheidungen optimal sind, und anschließend nach einer passenden Vertragsform gesucht, die auch im dezentralen Fall zu optimalen Entscheidungen führt. Ein anderer Ansatz, der auch bei asymmetrischer Information, die in der Praxis deutlich häufiger anzutreffen ist, angewandt werden kann, ist der **Agency-Ansatz.**[6] In diesem Fall ist eine Kontraktform bereits gegeben, für die optimale Kontraktparameter bestimmt werden sollen. Eine der beteiligten Parteien gibt die Kontraktparameter vor, maximiert ihren eigenen Nutzen und berücksichtigt dabei Mindestansprüche des Partners. Im Gegensatz zur channel coordination kann bei der Agency-Theorie aufgrund der asymmetrischen Information keine optimale Gesamtlösung garantiert werden.[7]

In der Regel verfolgen verschiedene Partner innerhalb einer Supply Chain egoistische Ziele und sind nur gewillt, kooperativ mit anderen Unternehmen zusammenzuarbeiten, sobald dadurch,

[3] Vgl. [LPW97].
[4] Vgl. [BLL+02].
[5] Unsicherheit kann bspw. durch eine unsichere Nachfrage am Markt, durch Produktionsprobleme, Lieferprobleme usw. entstehen.
[6] Vgl. [ZiSc01].
[7] Vgl. u.a. [ZiSc01] und [Dude04].

meist finanzielle, Vorteile entstehen. Damit aus dem egoistischen Verhalten der einzelnen Unternehmen eine kooperative Zusammenarbeit entstehen kann, müssen klare Regeln und Rahmenbedingungen zwischen den Partnern definiert werden. Aufgrund dieser Annahme stellen Verträge oftmals die einzigen Möglichkeiten dar, das Verhalten der Partner zu koordinieren.[8] So muss u.a. festgelegt werden, welche Informationen zwischen den Parteien zum Zwecke der Planung ausgetauscht werden. Die Festlegung der Regeln geschieht meist in **Rahmenverträgen**. „*Mit Hilfe von Rahmenverträgen können Mindest-und Maximalmengen für Zeiträume sowie die Entgelte vertraglich festgehalten werden, so dass als Ergebnis der Produktionsplanung Lieferabrufe die Mengen mittel- bis kurzfristig immer weiter konkretisieren*“ [Heid06]. Durch die Verträge muss dafür gesorgt werden, dass es den Parteien möglich ist, auf die Unsicherheit der Umwelt zu reagieren, aber gleichzeitig ihre eigenen Interessen zu schützen. So muss das Fehlverhalten eines Partners, bspw. durch verspätete Lieferung oder Abnahme einer zu geringen Produktionsmenge, Konsequenzen für den Verursacher haben. Oftmals werden in Kontrakten vertragliche Mindestabnahmemengen festgelegt, die zudem mit Mengenrabatten kombiniert werden können. Ein wesentlicher Aspekt der Kontrakte liegt in der impliziten Berücksichtigung von Flexibilität im Zeitablauf.

Häufig kommunizieren Kunden ihren Zulieferern zukünftige Bedarfe in Form von rollierenden Bestellplänen, die bei jeder Planung angepasst werden können. Dies kann bspw. eine rollierende Planung mit einem 6-monatigen Planungshorizont sein, die jeden Monat durchgeführt wird.[9] Da diese Planung oftmals auf Prognosen basiert und in der Realität meist nur eine unsichere Kenntnis über zukünftige Bedarfe besteht, gewinnt der Aspekt der **Flexibilität** eine stetig wachsende Bedeutung. Dabei ist sowohl eine hohe interne Flexibilität innerhalb eines jeden Unternehmens[10] als auch eine hohe Lieferflexibilität in Kunden-Lieferanten-Beziehungen notwendig, um am Markt bestehen zu können. Da diese Flexibilität allerdings mit Kosten verbunden ist, sollte sie gut geplant und abgestimmt werden. Flexibilitätsorientierte Ansätze gehen dabei davon aus, dass die Flexibilität für einen Zeitabschnitt abnimmt, sobald die Realisierung dieses Zeitabschnittes näher rückt.[11] Barthels beschreibt die Lieferflexibilität als Prinzip der Programm- und Bedarfsplanung in der variantenreichen Serienfertigung[12], bezugnehmend auf Wildemann[13], anhand von drei verschiedenen Planungsebenen (vgl. Abbildung 2.1).

[8] Vgl. u.a. [Dude04] und [ZiSc01]. Vertragsarten, die zum Zwecke der Koordination festgelegt werden können, sind z.B. Optionen, Rücknahmeverpflichtungen oder Franchising (vgl. u.a. [ZiSc01]).
[9] Vgl. [TsLo99].
[10] Diese kann bspw. durch die Möglichkeit der Anpassung von Produktionskapazitäten durch unterschiedliche Schichtmodelle erfolgen.
[11] Ansätze, die diese Annahme treffen, sind u.a. in [TsLo99] und [BaAn95] beschrieben.
[12] Vgl. [Bart06].
[13] Vgl. [Wild97].

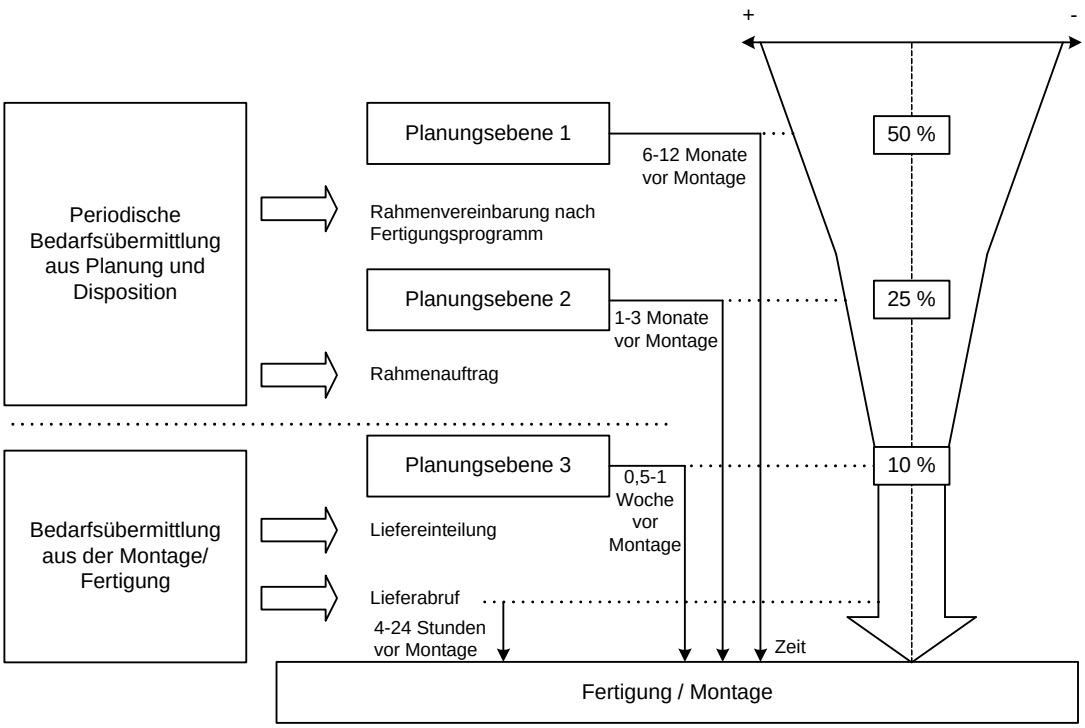


Abbildung 2.1: Lieferflexibilität im Zeitverlauf (nach [Wild97])[14]

In Planungsebene 1 wird ein Rahmenvertrag für einen längerfristigen Zeitraum definiert, der u.a. die Gesamtmengen der Kaufteile festlegt. Diese Rahmenvereinbarung ermöglicht es dem Lieferanten, eine längerfristige Kapazitätsplanung durchzuführen. Planungsebene 2 legt sogenannte Rahmenaufträge fest, die den Lieferanten zur Materialdisposition und Planung der Vorfertigung dienen. In Planungsebene 3 wird die endgültige zu liefernde Menge durch einen Lieferabruf an den Lieferanten gemeldet. Die skizzierte Lieferflexibilität nimmt ab, je näher der Zeitpunkt der tatsächlichen Bestellung rückt, und wird von Barthel als Schwankungskorridor bezeichnet. Im Beispiel wird deutlich, dass auch kurz vor dem konkreten Lieferabruf noch eine Flexibilität vorgehalten werden sollte.

Bei der Vereinbarung der Lieferflexibilität kommt es zu einem Interessenskonflikt zwischen Kunde und Lieferant. Realistische Kontrakte sollten daher ausgeglichen bzgl. der Risiken für Kunde und Zulieferer sein.[15] Der Kunde versucht eine möglichst große Lieferflexibilität zu erzielen, damit er auf kurzfristige Änderungen ohne Aufpreis reagieren kann. Der Lieferant dagegen versucht die Lieferflexibilität möglichst gering zu halten, damit keine unnötige Kapazität bzw. kein unnötiger Bestand vorgehalten werden muss. Diese Ziele müssen, wie in Abbildung 2.2 dargestellt, in ein für beide Parteien angemessenes Regelwerk umgesetzt werden.

[14] Vgl. [Bart06].
[15] Vgl. [BaAn08].

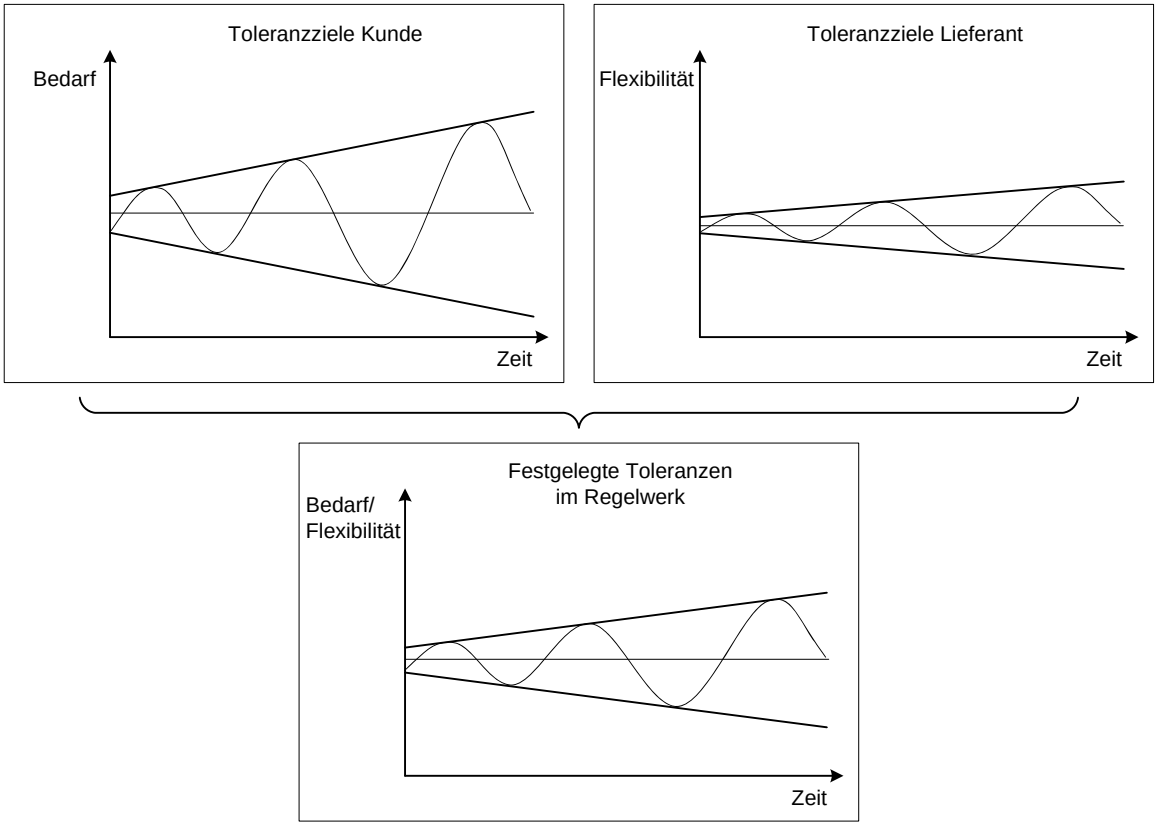


Abbildung 2.2: Interessenskonflikt der Toleranzziele von Kunde und Lieferant (nach [Bart06][16])

Ein wichtiger Aspekt im verhandelten Regelwerk besteht darin, neben Mengenvereinbarungen auch Zeitvereinbarungen genau zu definieren. Dabei kann neben der Bestimmung von Vorlaufzeiten und eingefrorenen Zonen, in denen keine Veränderungen mehr stattfinden dürfen, u.a. ein Zeitpunkt festgelegt werden, ab dem es möglich ist, Änderungen ohne Konsequenzen im Sinne von Strafzahlungen vorzunehmen.[17]

In einer kooperativen Zusammenarbeit muss die Verantwortlichkeit bzgl. der Planung des Eingangslagers auf Kundenseite festgelegt werden. Diese kann sowohl durch den Kunden als auch durch die Lieferanten getragen werden. Der erstgenannte ist der traditionelle Fall, in dem der Kunde die Beschaffung und damit verbunden die Planung des Eingangslagers übernimmt. Der zweite Fall, bei dem Planungsentscheidungen bzgl. des Lagers an die Lieferanten übertragen werden, wird als Vendor Managed Inventory (**VMI**) bezeichnet.

Da eine längerfristig ausgelegte Koordination durch Kontrakte die Auswirkungen kürzerfristiger Bestellpläne nicht berücksichtigt, sollte zusätzlich auch eine **kooperative Planung** der konkreten Bestellungen bzw. Lieferungen durchgeführt werden. Diese Planung hat das Ziel, die Bestell- bzw. Lieferpläne zwischen den Parteien in kooperativer, aber dezentraler Weise aufeinander abzustimmen. Die Koordination kann zum einen von Lieferantenseite ausgehen, indem ein Lieferant basierend auf seiner Situation die Bestellplanung des Kunden über Angebote steuern kann. Diese Angebote können bspw. in Form von **Mengenrabatten** erfolgen, indem Untergrenzen einzelner Rabattstufen herabgesetzt oder Preise einzelner Rabattstufen verringert werden.[18]

[16] Angelehnt an [Wild03].
[17] Vgl. [Bart06].
[18] Mengenrabatte als Koordinationsmechanismus zur Steuerung des Bestellverhaltens von Kunden durch Lieferanten haben eine lange Tradition und bilden den Fokus der bisherigen Verfahren in dezentral

Eine weitere Möglichkeit der Koordination im planerischen Bereich besteht im Einsatz der **hierarchischen Planung**.[19] In der hierarchischen Planung kann eine Top-Ebene die Reaktion einer Basis-Ebene antizipieren und damit eine Koordination erzielen. Dies kann sowohl in einer nichtreaktiven als auch einer reaktiven Antizipation erfolgen, indem entweder nur Restriktionen des Basis-Modells (nichtreaktiv) oder auch Auswirkungen auf die Kosten des Basismodells (reaktiv) in das Top-Modell integriert werden. Ein anderer interessanter Aspekt der kooperativen Planung ist das **Profit-Sharing**, auch als Seitenzahlung bezeichnet. Die Idee des Profit-Sharing besteht darin, dass ein Akteur Gegenvorschläge auf einen erhaltenen Plan des anderen Akteurs unterbreitet, um den Plan besser an seine Situation anzupassen. Die Gegenvorschläge werden in der Regel aber nur akzeptiert, wenn eine Ausgleichszahlung angeboten wird. Dies liegt daran, dass der Akteur, der den Ursprungsplan erstellt hat, zuvor einen für seine Situation optimalen Plan erstellt hat und durch den Alternativplan schlechter gestellt werden würde. Durch eine Ausgleichszahlung kann er aber evtl. dazu gebracht werden, den Gegenvorschlag zu akzeptieren, wodurch beide beteiligten Akteure einen Vorteil erzielen können, ohne kritische Informationen preiszugeben, und der Plan des gesamten Supply Chain Ausschnitts verbessert werden kann. Findet die kooperative Planung in einem rollierenden Kontext statt, so ist es wichtig, dass keine großen Planänderungen zwischen zwei verschiedenen Planungsläufen auftreten, um die Planungsnervosität der Lieferanten möglichst gering zu halten.

Stadtler gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Technik der kooperativen Planung, mit Fokus auf der modellbasierten operativen Planung, und entwickelt ein Rahmenwerk, in das Arbeiten auf diesem Gebiet eingeordnet werden können.[20] Er ordnet zehn Arbeiten[21] in das Rahmenwerk ein, die seiner Definition der kooperativen Planung entsprechen. Folgende Punkte müssen laut Stadtler erfüllt sein, damit es sich um eine kooperative Planung handelt:

- Gemeinsamer Entscheidungsprozess zum Ausrichten der Pläne.
- Individuelle Supply Chain Mitglieder.
- Ziel einer Koordination.
- Informationsasymmetrie.

Mit dem letzten Punkt schließt Stadtler die Ansätze, die eine Zentralplanung verfolgen, aus. Für diese Arbeit relevante Ansätze zur kooperativen Planung werden in Abschnitt 3.1.2 vorgestellt.

Für jedes Unternehmen innerhalb der dezentralen Kunden-Lieferanten-Beziehung stellt sich die Aufgabe der Produktionsplanung.

2.2 PRODUKTIONSPLANUNG

Die **Produktion** ist *„der betriebliche Umwandlungs- und Transformationsprozess, durch den aus den Einsatzgütern andere Güter oder Dienstleistungen erstellt werden“* [WeKa09]. Zum Zwecke der Produktionsplanung werden die Transformationsprozesse in der Regel als Input-Output-

geplanten Kunden-Lieferanten-Beziehungen (vgl. u.a. [MuRo98] und [LiWa07]). Dolan liefert in [Dola87] eine Übersicht über die Beweggründe von Mengenrabatten und definiert Richtlinien, wie diese einzusetzen sind. Eine ausführliche Zusammenfassung über verschiedene Ansätze zur Koordination durch Mengenrabatte kann [LiWa07] entnommen werden.

[19] Vgl. u.a. [Schn94].

[20] Vgl. [Stad09].

[21] Bei diesen Arbeiten handelt es sich um [Lu95], [CoGr00], [ErWu00], [FWK01], [KaWu02], [Fink03], [Fink04], [ScZi04], [Suck04a], [DuSt05], [DuSt07] und [JCJ05]. Jeweils zwei Arbeiten von Fink und von Dudek und Stadtler werden in der Auswertung zusammengefasst.

System beschrieben.[22] Eine Darstellung der Produktion als Input-Output-System zeigt Abbildung 2.3.

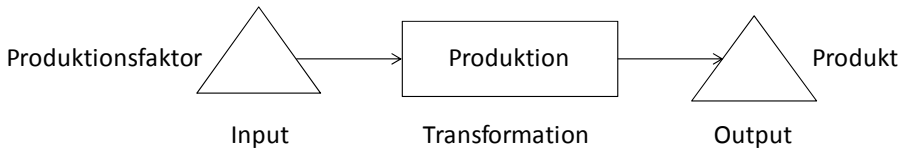


Abbildung 2.3: Produktion als Input-Output-System (vgl. [Dang09])

Der in der Produktion eingesetzte Input wird als Produktionsfaktor bezeichnet. Produktionsfaktoren können u.a. in Potentialfaktoren und Repetierfaktoren untergliedert werden.[23] Dabei werden Repetierfaktoren im Produktionsprozess verbraucht[24], während Potentialfaktoren für den mehrfachen Gebrauch zur Verfügung stehen.[25]

Die Erzeugung der Produkte vollzieht sich in einem **Produktionssystem**. *„Ein Produktionssystem ist eine technisch, organisatorisch (und kostenseitig) selbständige Allokation von Potenzialfaktoren zu Produktionszwecken"* [KSW79]. Eine Klassifikation von Produktionssystemen wird üblicherweise anhand der Wiederholhäufigkeit gleicher oder ähnlicher Erzeugnisse sowie an der Auflagenhöhe von Produktionsaufträgen vorgenommen. Dabei wird in der Literatur häufig eine Aufteilung in die Klassen Einzelfertigung, Serienfertigung und Massenfertigung[26] vorgenommen.[27] Die Art des Produktionssystems beeinflusst dessen Gestaltung sowie die für das System anwendbaren Verfahren erheblich. Im Rahmen dieser Arbeit wird ausschließlich eine **Serienfertigung** betrachtet. *„Die Serienfertigung umschreibt die wiederholte Produktion einer bestimmten Stückzahl (Serie) eines Produktes, wobei sich die jeweilige Auflage der Serie geringfügig unterscheiden kann. Nach der Fertigung eines Produktes sind die Produktionsanlagen auf die Erfordernisse des nachfolgend zu produzierenden Produktes umzustellen"* [Adam98].

Die Leistungserstellung der Produktion muss geplant und gesteuert werden. Dabei kann eine Differenzierung in drei Bereiche vorgenommen werden. Die **strategische Produktionsplanung** behandelt einen Planungshorizont von bis zu zehn Jahren. Das Ziel dieser Planung ist das Schaffen einer wettbewerbsfähigen Produktion.[28] Die Aufgaben der Planung umfassen u.a. das Festlegen von Standorten, Sortimenten und Kernlieferanten sowie die Festlegung der allgemeinen Produktionsziele. Die **taktische Produktionsplanung** baut auf den Ergebnissen der strategischen Produktionsplanung auf und konkretisiert diese für einen Planungshorizont von bis zu zwei Jahren. Die Aufgaben liegen u.a. in der Planung der konkreten Produktionsorganisation, des umzusetzenden Produktionsprogramms und in der Vereinbarung von Rahmenverträgen mit Kernlieferanten. Die **operative Produktionsplanung** baut auf den Ergebnissen der strategischen und taktischen Produktionsplanung auf und hat die Aufgabe mit den gegebenen Produktionsfaktoren den durch Verträge und Bestellungen festgelegten Output an Gütern zu den

[22] Vgl. [Dang09].
[23] Vgl. [Gute51].
[24] Beispiele für Repetierfaktoren sind Energie und Rohstoffe oder Fertigerzeugnisse, die in ein Produkt eingehen.
[25] Beispiele für Potentialfaktoren sind die menschliche Arbeit, Maschinen oder Grundstücke.
[26] Dabei kann die Massenfertigung auch als Extremform der Serienfertigung angesehen werden (vgl. [DaWa97]).
[27] Vgl. u.a. [Busc04].
[28] Vgl. [Dang09].

jeweils festgelegten Zeitpunkten zu liefern, und dies so wirtschaftlich wie möglich. Der Planungshorizont beträgt meist mehrere Wochen bis Monate.[29]

Der operativen Produktionsplanung wird in der Regel der Bereich der Produktionssteuerung zugeordnet, die eine stetige Kontrolle und Überwachung der Produktion vornimmt. Gemeinsam bilden die operativen Planungs- und Steuerungsaufgaben den Bereich der **Produktionsplanung und –steuerung (PPS)**. *„Die Produktionsplanung und –steuerung hat die Aufgabe, aufgrund erwarteter und/oder vorliegender Kundenaufträge den mengenmäßigen und zeitlichen Produktionsablauf unter Beachtung der verfügbaren Ressourcen durch Planvorgaben festzulegen, diese zu veranlassen sowie zu überwachen und bei Abweichungen Maßnahmen zu ergreifen, so dass bestimmte betriebliche Ziele erreicht werden"* [Zäpf98].

Der Produktionsplanung und –steuerung lassen sich einzelne Aufgabeninhalte zuordnen. Eine in der Literatur häufig anzutreffende Untergliederung der PPS-Aufgaben ist die Gliederung nach Hackstein (vgl. Abbildung 2.4).

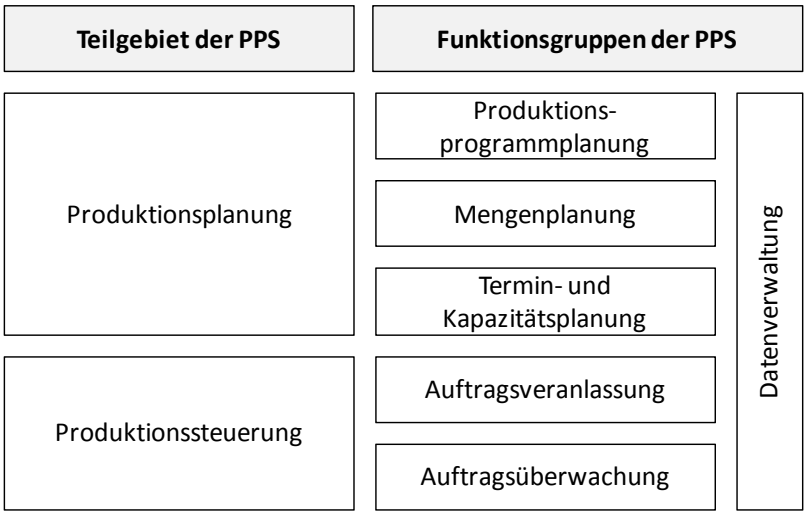


Abbildung 2.4: PPS-Aufgaben nach Hackstein (vgl. [Hack84])

In der langfristigen **Produktionsprogrammplanung** - auch Primärbedarfsplanung - wird festgelegt, welche Enderzeugnisse in welchen Mengen in einem bestimmten, vorher definierten Planungszeitraum produziert werden sollen. Sie basiert auf Absatzprognosen und/oder Kundenaufträgen. In der anschließenden mittelfristigen **Mengenplanung** werden aus dem Bedarf an Eigenfertigungsteilen und Fremdteilen durch den Einsatz von Stücklisten und unter Berücksichtigung von Beständen und Vorlaufzeiten Produktions- und Bestellaufträge gebildet.[30] Um eine möglichst kostengünstige Produktion und Bestellung zu gewährleisten, wird hierbei eine **Losgrößenplanung** durchgeführt, in der einzelne Aufträge unter Kostenaspekten zusammengefasst werden. Zu diesen Kosten gehören in der Regel Lager-, Rüst- und Bestellkosten sowie weitere Kosten, wie bspw. Reinigungs- oder Produktionskosten. Nettobedarfsmengen können entweder im Bedarfsfall oder auf Vorrat produziert werden.[31] Beide Möglichkeiten weisen in Bezug auf die entstehenden Kosten Vor- und Nachteile auf. Wird das Material nur produziert, wenn es benötigt wird, so entstehen dadurch niedrige Lagerkosten, die Rüstkosten dagegen sind in der Regel höher als im Fall der Vorratshaltung. Diese muss sich diesen Vorteil aller-

[29] Angaben über die Dauer der einzelnen Planungsebenen variieren ja nach Autor. Eine Übersicht über verschiedene Ausprägungen findet sich in [Sill08].
[30] Vgl. [Wien07].
[31] Vgl. [Temp06].

dings durch höhere Lagerkosten erkaufen. Als Input aus der Losgrößenplanung sind in konventionellen PPS-Systemen Losgrößen verschiedener Produkte vorhanden, die in der ebenfalls mittelfristigen **Termin- und Kapazitätsplanung** unter Beachtung der Kapazitäten so auf die vorhandenen Ressourcen verteilt werden müssen, dass ein möglichst guter Maschinenbelegungsplan entsteht.[32] Vereinfacht ausgedrückt ist das Ziel der Produktionsplanung, die zumeist knappen Kapazitäten der Produktionsmittel unter Betrachtung der Zielfunktion möglichst gut einzusetzen. Dabei ist das primäre Ziel einen zulässigen, die Prämissen erfüllenden Produktionsplan zu erstellen, der zusätzlich in Bezug auf mindestens eine geforderte Zielgröße optimal ist. In der kurzfristigen **Produktionssteuerung** werden zuvor geplante Fertigungs- und Beschaffungsaufträge ausgelöst und anschließend überwacht.[33]

Zur Lösung der Produktionsplanungsaufgabe werden in der Regel **Modelle** gebildet, die für die Problemlösung relevante Aspekte der Realität modellieren. *„Ein Modell ist ein bewusst konstruiertes Abbild der Wirklichkeit, das auf der Grundlage einer (Gegenstands-) Struktur-, Funktions- oder Verhaltensanalogie zu einem entsprechenden Original von einem Subjekt eingesetzt bzw. genutzt wird, um eine bestimmte Aufgabe lösen zu können, deren Durchführung mittels direkter Operation am Original zunächst oder überhaupt nicht möglich bzw. unter gegebenen Bedingungen zu aufwendig oder nicht zweckmäßig ist“* [KlBu76]. Eine Modellierung der Fertigung ist durch die Modellierungsmethode MFERT[34] (Modell der Fertigung) möglich. In MFERT wird der Fertigungsprozess durch einen bipartiten Graph in den Dimensionen Arbeitsfortschritt und Zeit dargestellt. Der Graph besteht aus Fertigungsobjektknoten, Kapazitätsobjektknoten und Prozessknoten, die über Kanten miteinander verbunden sind. Abbildung 2.5 zeigt ein elementares MFERT-Modell, das alle relevanten Objekte beinhaltet.

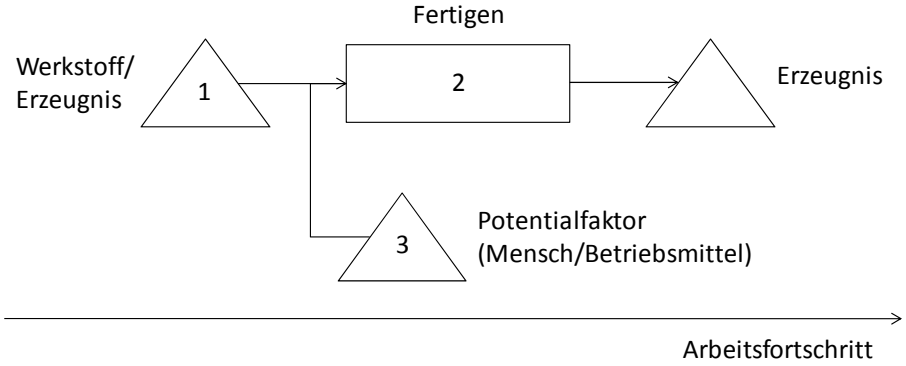


Abbildung 2.5: Graphische Repräsentation eines elementaren MFERT-Modells

Fertigungsobjektknoten (1) dienen zur Darstellung des Input bzw. Output eines Transformationsprozesses. Transformationsprozesse werden durch Prozessknoten (2) dargestellt. Kapazitätsobjektknoten (3) modellieren jeweils die Kapazität für einen Prozess, z.B. die Anzahl verfügbarer menschlicher Arbeitsstunden in einer Schicht an einer Fertigungslinie.

[32] Der Begriff der Losgrößenplanung ist in der Literatur nicht immer eindeutig belegt. Bezieht sich der Begriff auf konventionelle PPS-Systeme, so findet die Losgrößenplanung unter Vernachlässigung von Kapazitäten statt, die im Rahmen einer Sukzessivplanung im anschließenden Planungsschritt betrachtet werden. Im Kontext von kapazitätsorientierten PPS-Systemen (vgl. u.a. [GüTe07]) werden Kapazitäten im Rahmen der Losgrößenplanung dagegen bereits berücksichtigt. Im Folgenden wird der Begriff der Losgrößenplanung im weitläufigeren Sinne verwendet, so dass sowohl die Beachtung als auch die Vernachlässigung von Kapazitäten im Sinne einer Losgrößenplanung möglich ist.
[33] Vgl. [Heid06].
[34] MFERT wird in [DaWi93], [DaWi97] und [DaWa97] ausführlich erläutert.

Zur Lösung der Produktionsplanungsaufgabe wird das Modell der Fertigung normalerweise in ein mathematisches Modell übertragen, das anschließend entweder exakt oder heuristisch gelöst werden kann. In der Literatur gibt es eine große Anzahl an Modellen, die versuchen, das Problem der Losgrößenplanung unter Annahme unterschiedlicher Voraussetzungen optimal oder heuristisch zu lösen.[35] Dabei lässt sich das Problem anhand einer Vielzahl von Merkmalen kategorisieren. Tabelle 2.1 fasst die für diese Arbeit wichtigsten Merkmale zusammen.

Merkmal	**Ausprägungen**	
Zeitstruktur	Small-Bucket-Modelle	*Big-Bucket-Modelle*
Bedarfsverlauf	Statisch	*Dynamisch*
Anzahl der Produktionsstufen	*Einstufig*	Mehrstufig
Kapazitäten	Unbeschränkt	*Beschränkt*
Produktanzahl	Ein Produkt	*Mehrere Produkte*

Tabelle 2.1: Auswahl an Merkmalen von Losgrößenplanungsmodellen[36]

Die **Zeitbetrachtung** im Rahmen der Produktionsplanung erfolgt in der Regel dadurch, dass sogenannte Buckets gebildet werden, die mehrere Zeitpunkte zu einem Zeitbereich zusammenfassen. Dadurch erfolgt eine Diskretisierung der an sich kontinuierlichen Zeit. Je nachdem wie groß die Buckets gewählt werden, wird hinsichtlich Small-Bucket- und Big-Bucket-Modellen unterschieden. **Small-Bucket-Modelle** sind dadurch gekennzeichnet, dass eine zeitliche Unterscheidung aller relevanten Ereignisse möglich ist. Dadurch sind die Zeitintervalle der betrachteten Perioden in der Regel kurz (z.B. Stunde, Schicht, Tag). In einer Periode können höchstens ein bis zwei Produkte produziert werden. Der Rüstzustand einer Maschine kann in jedem Zeitabschnitt höchstens einmal verändert und über Periodengrenzen hinweg abgebildet werden. Dadurch sind reihenfolgeabhängige Rüstzeiten und -kosten abbildbar. **Big-Bucket-Modelle** fassen verschiedene Ereignisse innerhalb einer Planungsperiode zusammen. Dadurch ist keine exakte zeitliche Unterscheidung aller relevanten Ereignisse möglich. Die Zeitintervalle der betrachteten Perioden sind in der Regel lang (z.B. Tag[37], Woche, Monat). In einer Periode kann eine beliebige Anzahl an Produkten produziert werden, wobei das Umrüsten einer Maschine immer in einer neuen Periode durchgeführt werden muss. Da keine exakten Zeitpunkte der Ereignisse bekannt sind, können keine reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten modelliert werden. Bei

[35] Ein Problem, mit dem sich ein großer Teil der Literatur zur Losgrößenplanung beschäftigt, ist das Single Level Uncapacitated Lot Sizing Problem (SLULSP), in dem keine Kapazitäten und nur ein Produkt betrachtet werden (vgl. [Robr91]). Das SLULSP wird auch als Wagner-Whitin-Problem bezeichnet, da Wagner und Whitin in ihrer viel beachteten Arbeit [WaWh58] eine wichtige Eigenschaft der optimalen Lösung des Problems bewiesen haben (vgl. [Temp06]). Diese Eigenschaft wird als Wagner-Whitin-Eigenschaft bezeichnet und besagt, dass eine Losgrößenpolitik für das SLULSP ausschließlich dann optimal sein kann, wenn ein Los nur in Fällen aufgelegt wird, in denen das Lager am Ende der Vorperiode leer ist. Aus dieser Eigenschaft folgt der Schluss, dass Lose immer Bedarfe kompletter Perioden abdecken müssen (vgl. u.a. [Ders95]). Die Wagner-Whitin-Eigenschaft erlaubt es, das Problem als ein Kürzeste-Wege-Problem zu beschreiben, für das optimale Lösungen in polynomialer Zeit möglich sind (vgl. [DrKi97]). Eine weitere Möglichkeit der Formulierung des dynamischen Losgrößenproblems ist die Überführung in ein Standortproblem ohne Kapazitätsbeschränkungen, wobei die Produktionszeitpunkte die potentiellen Standorte und die Bedarfszeitpunkte die Nachfrageorte darstellen (vgl. u.a. [KrBi77] und [Temp06]). Das SLUSLP kann in der heutigen Zeit aufgrund der relativ geringen Komplexität problemlos auch für größere Probleminstanzen sehr schnell und exakt gelöst werden.

[36] Neben diesen Merkmalen können noch eine Vielzahl anderer Merkmale zur Klassifikation von Losgrößenmodellen herangezogen werden. Eine Aufzählung dieser Merkmale findet sich in u.a. in [Dang09]. Im Rahmen dieser Arbeit werden die kursiv dargestellten Merkmalsausprägungen behandelt. Durch die Betrachtung der Beschaffungsplanung wird das Problem teilweise mehrstufig.

[37] Je nach Art der Produktion kann ein Tag sowohl im Small-Bucket- als auch im Big-Bucket-Fall eine sinnvolle zeitliche Bezugseinheit darstellen.

einem Problem mit reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten und kurzen Durchlaufzeiten sind Small-Bucket-Modelle zu bevorzugen. Dabei sollte der Planungszeitraum nicht zu groß sein. Soll eine kapazitätsorientierte Planung für einen längeren Zeitraum erfolgen, so ist den Big-Bucket–Modellen der Vorzug zu gewähren, da diese weniger störanfällig sind und sich robuster gegenüber stochastischen, unvorhergesehenen Einflüssen verhalten.[38]

Bei der Lösung der vorgestellten Probleme besitzt nicht nur deren Güte, sondern auch der benötigte Rechenaufwand eine große Relevanz. Durch die in den siebziger Jahren entwickelte Komplexitätstheorie ist es möglich, ohne vorherige Berechnungen Aussagen über die **Komplexität** von Modellen und Problemen zu treffen.[39] Dabei werden Algorithmen unterschieden, die aufgrund ihres Rechenaufwands verschiedenen Klassen zugeordnet werden können (vgl. Abbildung 2.6).

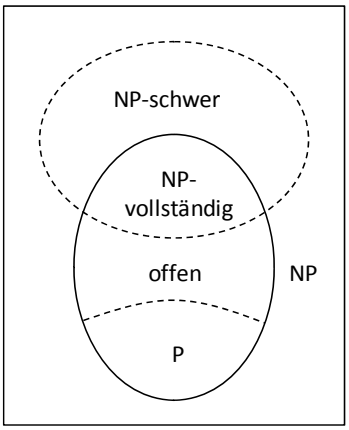


Abbildung 2.6: Komplexität von Planungsproblemen (vgl. [DSV97])

Zur Klasse P (polynomial lösbar) gehören Algorithmen, die eine Lösung für das Problem mit polynomialem Aufwand finden. Auf der anderen Seite existieren Algorithmen, die der Klasse NP (nichtdeterministisch-polynomial lösbar) zugehörig sind. Für diese Klasse gilt, dass bisher kein Algorithmus gefunden wurde, der auch das schwierigste zu lösende Problem eines bestimmten Typs in polynomialer Laufzeit lösen kann.[40] Weiterhin existieren NP-schwere Probleme, für die gilt, dass bisher kein Algorithmus bekannt ist, der eines der Probleme garantiert in polynomialer Zeit lösen kann.[41] NP-vollständige Probleme haben die besondere Eigenschaft, dass, falls eines der Probleme in polynomialer Zeit gelöst werden kann, die gesamte Klasse NP in die Klasse P übergeht.[42]

In Abhängigkeit des zu lösenden Problems und der Lösungsdauer, die einer Lösung durch den Planer eingeräumt wird, kann entschieden werden, ob ein Problem entweder exakt oder heuristisch gelöst werden soll. Dabei spielt nicht nur der Problemtyp eine Rolle, sondern auch im star-

[38] Vgl. [Dang09].
[39] Vgl. [Zimm08].
[40] Vgl. [DoDr05].
[41] Vgl. [DSV97].
[42] Vgl. [Zimm08]. Anders ausgedrückt bedeutet NP-vollständig, dass sich jedes Problem, das der selben Klasse angehört, in polynomieller Zeit auf das zu untersuchende Problem reduzieren lässt. Dies bedeutet wiederum, dass maximal ein polynomieller Unterschied mehr Aufwand für jedes Problem dieser Klasse besteht (vgl. [Reit02] und die dort angegebene Literatur).

ken Maße die Probleminstanz.[43] Die Aussagen darüber, ob reale Probleminstanzen exakt gelöst werden können, hängt dabei stark von der Definition dieses Begriffes ab. So wird bspw. in [Kurb05] geschrieben, dass die Leistungsfähigkeit moderner Computer dazu geführt hat, dass mittlerweile einige Probleme exakt gelöst werden können. Andererseits können laut Tempelmeier, bezogen auf das CLSP[44], weiterhin keine exakten Lösungen für praxisrelevante Problemgrößen erzielt werden.[45] In [BeWo01] wird dagegen schon vor einigen Jahren davon berichtet, dass viele praktische Probleme mit einem MIP-Ansatz[46] lösbar sind. Eine interessante Aussage zu diesem Thema wird in [BSH+08] getroffen. Laut den Autoren ist es unmöglich, eine Aussage darüber abzugeben, welche Problemdimensionen heutzutage gelöst werden können. Dabei schätzen die Autoren, dass ein CLSP ohne Rüstzeiten mittlerweile für alle relevanten Losgrößen lösbar ist, die Komplexität aber durch die Integration von Rüstzeiten oder Rüstzustandsübertragungen um ein Vielfaches ansteigen kann.

Exakte Verfahren, auch als optimierende Verfahren bezeichnet, besitzen unter Annahme unbegrenzter Rechenzeit die Eigenschaft, immer eine mathematisch optimale Lösung des Problems zu finden.[47] Zur Lösung wird in der Regel zunächst ein Optimierungsmodell mit Hilfe einer mathematischen Modellierungssprache[48] generiert und anschließend an einen Solver[49] übertragen und dort gelöst. Ein Optimierungsmodell besteht dabei aus einer Zielfunktion und mindestens einer Restriktion. Wichtige Modellierungs- und Lösungstechniken optimierender Verfahren sind die lineare Optimierung und die gemischt-ganzzahlige Optimierung. Die **lineare Optimierung** (Linear Programming, LP) kann dann eingesetzt werden, wenn die Zielfunktion und alle Restriktionen eines Optimierungsmodells Linearkombinationen der Entscheidungsvariablen sind.[50] Die **gemischt-ganzzahlige Optimierung** (Mixed Integer Programming, MIP) unterscheidet sich von der linearen Optimierung durch zusätzliche Ganzzahligkeitsbedingungen.[51] Dies lässt sich durch die Nichtteilbarkeit von Ressourcen motivieren. So kann bspw. kein halber Mensch oder eine halbe Maschine zugeordnet werden. Die zusätzlichen Bedingungen bewirken einen teilweise erheblichen Anstieg der Komplexität des Problems und damit einhergehend der Laufzeit der Lösung. Für viele Modelle realer Größenordnungen können Probleme dieser Art auch heute noch nicht in angemessener Zeit gelöst werden.[52] Zur Lösung von gemischt-ganzzahligen Modellen wird in der Regel das **Branch&Bound-Verfahren** eingesetzt.[53] Das Branch&Bound-Verfahren gehört zu den Entscheidungsbaumverfahren.[54] Das Verfahren gliedert

---

[43] So kann bspw. ein MLCLSP (vgl. Abschnitt 3.2.2) mit zwei Produktionsstufen, fünf Produkten und zehn Perioden mit heutigen Computern problemlos exakt gelöst werden, dies wird allerdings bei einer Probleminstanz von fünf Stufen, 500 Produkten und 100 Perioden nicht mehr möglich sein.
[44] Vgl. Abschnitt 3.2.1.
[45] Vgl. [Temp06].
[46] Die Erläuterung des Mixed Integer Programming (MIP) erfolgt weiter unten in diesem Abschnitt.
[47] Vgl. [SMS06].
[48] Bekannte Modellierungssprachen sind u.a. AMPL (vgl. [FGK87]) und GAMS (vgl. [BKM88]).
[49] Beispiele für Solver sind CPLEX (vgl. u.a. [Bixb02]), MOPS (vgl. [Suhl94]) und XPRESS MP (vgl. [GPS02]).
[50] Die lineare Optimierung wird seit Mitte des 20. Jahrhunderts erfolgreich eingesetzt, besonders für Probleme, in denen knappe Ressourcen unter konkurrierenden Möglichkeiten allokiert werden sollen (Vgl. u.a. [SMS06] und [DoDr05]).
[51] Gelten die Ganzzahligkeitsbedingungen für alle Variablen, so wird dies als ganzzahlige Optimierung (Integer Programming) bezeichnet.
[52] Vgl. [SMS06].
[53] Vgl. [SMS06]. Neben dem Branch&Bound existieren grundsätzlich zwei weitere exakte Verfahren zur Lösung von MIP (vgl. [KFW03]). Dies sind das Schnittebenenverfahren (vgl. u.a. [BvW84]) und die Reformulierung der Variablen (vgl. u.a. [EpMa87]).
[54] *„Entscheidungsbaumverfahren haben das Ziel, Probleme (Modelle), die sich durch solche Entscheidungsbäume darstellen lassen, zu lösen, ohne jedoch den ganzen Entscheidungsbaum generieren oder bewerten zu müssen. Sie streben also danach, über den Effizienzgewinn durch Zerlegung*

sich in die beiden Lösungsansätze Branching und Bounding. Das Branching (Verzweigen) teilt das Ausgangsproblem in Teilprobleme. Die Anforderung an die Teilprobleme ist, dass die Vereinigung der Lösungsräume den Lösungsraum des ursprünglichen Problems ergibt.[55] Das Bounding dient dazu, obere und untere Schranken für Teilprobleme zu berechnen, um somit entscheiden zu können, inwiefern das betrachtete Teilproblem weiter beachtet werden soll.

Heuristische Verfahren, auch als näherungsweise Verfahren bezeichnet, verzichten zu Gunsten einer schnelleren Rechenzeit auf die Optimalität einer Lösung. Sie weisen im Gegensatz zu den approximativen Verfahren[56] kein garantiertes Mindestmaß der optimalen Lösung auf. Eine Vorhersage über die Konvergenz einer Heuristik ist a priori nicht möglich. Die heuristischen Verfahren zur Losgrößenplanung können danach unterschieden werden, ob es sich um Heuristiken handelt, die Lösungen mit Hilfe von Techniken aus dem Bereich der mathematischen Programmierung erzielen, oder um spezielle Heuristiken, die andere Ansätze zur Lösungsfindung verfolgen.[57] Da die Problemlösung im Rahmen dieser Arbeit eher mathematisch orientiert ist, wird an dieser Stelle auf eine detailliertere Beschreibung der einzelnen Heuristiken und einen Überblick über die vorhandenen Umsetzungen verzichtet. Eine ausführliche Übersicht über den Stand der Technik in diesem Bereich ist in [BSH+08] zu finden.

Für fremdbeschaffte Produktionsfaktoren muss eine Beschaffungsplanung durchgeführt werden.

2.3 BESCHAFFUNGSPLANUNG

Im Kontext der Beschaffungsplanung sind die Losgrößen und deren Plantermine sowie daraus resultierend auch die Bedarfstermine der benötigten Produktionsfaktoren bereits gegeben. Aufgabe der Beschaffungsplanung ist es, diese Bedarfe unter Ausnutzung der bestehenden Lieferanten und Verträge möglichst kostengünstig[58] durch Bestellungen zu befriedigen.

Es existieren drei Bedarfsarten, die ein produzierendes Unternehmen in der Regel befriedigen muss. Unter dem **Primärbedarf** wird der Bedarf an Fertigprodukten und Ersatzteilen verstanden, d.h. der Bedarf an Erzeugnissen, die absatzbestimmt sind und damit nicht mehr in nachgelagerte Produktionsprozesse eingehen. Bei mehrteiliger Produktion muss aus dem Primärbedarf der **Sekundärbedarf** abgeleitet werden. Der Sekundärbedarf umfasst die Bedarfsmengen an Rohstoffen, Einzelteilen und Baugruppen, die zur Herstellung des Primärbedarfs notwendig sind. Die Beschaffung dieses Sekundärbedarfs zur Erfüllung des Primärbedarfs ist Aufgabe der Beschaffungsplanung. Der **Tertiärbedarf** umfasst Hilfs- und Betriebsstoffe, die notwendig sind, um die zuvor genannten Bedarfe herstellen zu können.

(Dekomposition) hinaus, die optimale Lösung durch Absuchen eines möglichst kleinen Teils des Entscheidungsbaumes zu finden" [Zimm08].

[55] Desweiteren sollte die Schnittmenge der untergeordneten Probleme leer sein, was aber keine zwingende Voraussetzung ist.

[56] Approximative Verfahren erzielen mit polynomialem Aufwand eine Lösung, für die eine „Worst Case"-Schranke angegeben werden kann. Für nähere Ausführungen zum Thema approximativer Algorithmen sei u.a. auf [Vazi01] verwiesen.

[57] Vgl. [KFW03].

[58] Der Begriff kostengünstig bezieht sich in diesem Zusammenhang auf eine für das beschaffende Unternehmen im Gesamten kostengünstige Beschaffungsvariante. Es müssen folglich nicht nur die reinen Beschaffungskosten im Sinne von Produktpreisen, sondern bspw. auch Kosten für die Lagerung dieser Produkte berücksichtigt werden.

Hinsichtlich des zeitlichen Aspektes kann die Beschaffung in eine strategische und eine operative Beschaffung unterteilt werden. Ziel der **strategischen Beschaffung** ist die hinsichtlich der Merkmale Zeit, Kosten und Qualität möglichst optimale Auswahl von Lieferanten für die benötigten Produkte. Die strategische Beschaffung betrachtet einen langen Zeithorizont von bis zu zehn Jahren. Oftmals werden die Beschaffungsgüter anhand ihres Wertbeitrages zum Gesamtprodukt mittels der ABC-Analyse in A-, B- und C-Güter eingeteilt. A-Güter besitzen einen geringen Mengen-, aber einen hohen Wertanteil. C-Güter besitzen einen hohen Mengen- und einen geringen Wertanteil. Aufgrund dieser Eigenschaften sollten diese Güter mit unterschiedlichen Strategien beschafft werden.[59] Ein Merkmal zur Klassifikation der Beschaffung ist die Bezugsquellenanzahl. Die **Bezugsquellenanzahl** definiert, bei wie vielen Lieferanten das gleiche Produkt bestellt wird.[60] Die einzelnen Ausprägungen weisen dabei jeweils Vor- und Nachteile für das beschaffende Unternehmen auf.

Im Falle mehrerer Lieferanten für ein Produkt werden oftmals Quoten für den Lieferanteil einzelner Lieferanten über längere Zeit stabil gehalten. Dieses Vorgehen wird als **Quotenbezug** bezeichnet.[61] In der Automobilindustrie wird bspw. aus strategischen Gründen in vielen Fällen auf zwei Lieferanten für die gleichen Teile gesetzt.[62]

Die **operative Beschaffung** bedient sich der in der strategischen Beschaffung entstandenen Lieferantenbasis. Die **Beschaffungsplanung** greift dabei auf bereits abgeschlossene Rahmenverträge oder sonstige Beschaffungsmöglichkeiten zurück und lässt sich wie in Abbildung 2.7 in einzelne Teilaufgaben untergliedern.

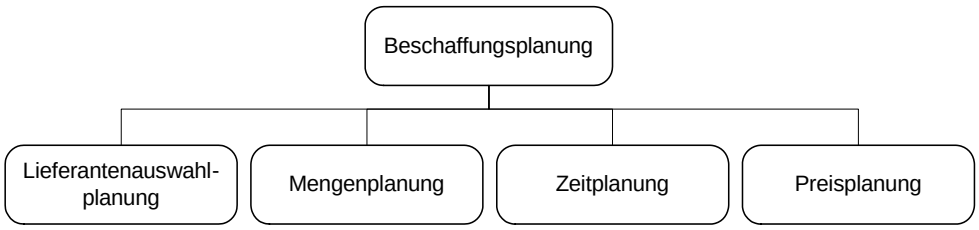


Abbildung 2.7: Gliederung der Beschaffungsplanung

Die **Preisplanung** klärt die Frage, wie hoch der Preis für ein Beschaffungsgut sein darf. Dabei sind vor allem die in den Rahmenverträgen festgelegten Konzepte der Preisgestaltung relevant. Zentrale Konzepte der Preisgestaltung sind Rabatte und zeitvariable Preise. Die Beschaffungsplanung ist in hohem Maße davon abhängig, zu welchen Preisen die benötigten Produkte beschafft werden können, um den benötigten Bedarf zu befriedigen. Dabei können sich Preise zwischen verschiedenen Lieferanten unterscheiden, wenn eine Alternative in der Beschaffungsentscheidung besteht, aber auch Preise eines Lieferanten können in Abhängigkeit der Bestellmenge und des Bestellzeitpunktes variieren. Nach Munson und Rosenblatt können **Mengenrabatte** anhand von vier Eigenschaften charakterisiert werden:[63]

- Rabattform (Stufenrabatte oder Blockrabatte).
- Produktaggregation (Rabatt für ein Produkt oder mehrere Produkte).
- Zeitaggregation (Rabatt für eine Bestellung oder mehrere Bestellungen).

[59] Vgl. [Temp06].
[60] Die strategische Beschaffung wird u.a. in [Larg06] ausführlich erläutert. Einen Überblick über die strategische Lieferantenauswahl geben u.a. [WCB91], [GhO'98] und [TNA99].
[61] Vgl. [BaLa06].
[62] Vgl. [GeHe07].
[63] Vgl. [MuRo98].

- Anzahl an Rabattstufen.

Die beiden wichtigsten Arten der Mengenrabatte sind die Stufen- und Blockrabatte. Beiden ist gemeinsam, dass mindestens eine Bestellmenge existiert, ab der ein Preisnachlass für die bestellte Mengeneinheit gilt. Bei Stufenrabatten[64] gilt der Preis, der durch die bestellte Menge erzielt wird, für die komplette Bestellmenge, bei Blockrabatten nur für die Menge, die der erreichten Rabattstufe zugeordnet werden kann. Alle Preise bis zu dieser Menge entsprechen den Preisen der vorherigen Rabattstufen.

Nach Munson und Rosenblatt sind **Stufenrabatte** die häufiger gewählte der beiden Rabattformen.[65] Aus der Eigenschaft der Stufenrabatte, dass ein Preis immer für die komplette Bestellmenge gilt, folgt, dass die Funktion der variablen Bestellkosten nicht kontinuierlich ist, sondern Sprünge aufweist (vgl. Abbildung 2.8).

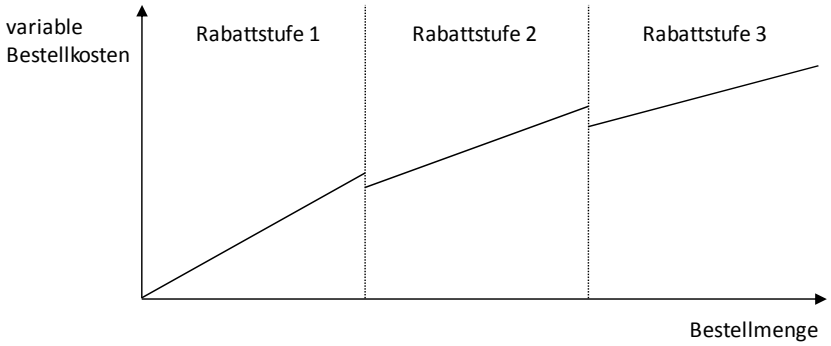


Abbildung 2.8: Stufenrabatte

Die Abbildung zeigt beispielhaft eine Stufenrabattstruktur mit drei Rabattstufen und deren variable Bestellkosten in Abhängigkeit der Bestellmenge. In der Kostenfunktion ist zu sehen, dass die variablen Bestellkosten am Anfang einer Rabattstufe kleiner als die Bestellkosten am Ende der vorherigen Stufe sind.[66]

Preise können **im Zeitverlauf** sowohl konstant sein als auch Schwankungen unterliegen. Lieferanten versuchen bspw. das Bestellverhalten der Kunden durch Sonderpreisaktionen zu beeinflussen.[67] Diese Preisschwankungen wirken sich auf den optimalen Bestellplan des Kunden aus, indem dieser größere Bestellungen in Phasen niedriger Preise durchführen kann. Falls diese Einsparungen größer sind als zusätzlich entstehende Lagerkosten, lohnt sich diese Ausnutzung niedriger Preise für den Kunden. Mengenrabatte und zeitvariable Preise können auch kombiniert werden, so dass unterschiedliche Rabattstrukturen für unterschiedliche Perioden oder Zeitabschnitte gelten.[68]

---

[64] Stufenrabatte werden im Englischen als „all-unit discounts“, die Bestellmengenplanung mit Stufenrabatten zumeist als Total Quantity Discount (TQD) bezeichnet . Im Deutschen ist auch die Bezeichnung „durchgerechnete Rabatte“ gebräuchlich (vgl. [Dang09]).
[65] Vgl. [MuRo98].
[66] Ausgenommen ist die erste Rabattstufe.
[67] Vgl. [Reit02].
[68] Vgl. u.a. [PrKh89]. Die Beschaffungsplanung kann sowohl für eine Periode als auch für mehrere Perioden durchgeführt werden. Obwohl die mehrperiodige Beschaffungsplanung, insbesondere dann, wenn unter mehreren Lieferanten mit Rabattstrukturen und sich im Zeitverlauf ändernden Preisen ausgewählt werden kann, viele Vorteile aufweist, beschränkt sich der überwiegende Anteil der Arbeiten im Rahmen der Beschaffungsplanung auf Einperioden-Modelle (vgl. [AHH07] und [Stad07]). Diese Modelle können folglich keine Bestellungen planen, die günstige Periodenpreise ausnutzen. Je nach

Die Frage der **Mengenplanung** und der **Zeitplanung** wird im Allgemeinen durch das Materialbereitstellungsprinzip und im Speziellen durch die Bestellpolitik festgelegt. Das **Materialbereitstellungsprinzip** definiert, wann eine Beschaffung ausgelöst werden soll. Es wird in die Fälle Einzelbeschaffung im Bedarfsfall, Vorratsbeschaffung und produktionssynchrone Beschaffung untergliedert. Bei einer **Einzelbeschaffung im Bedarfsfall** wird eine Beschaffung erst dann ausgelöst, wenn ein Auftrag und ein damit verbundener Bedarf vorliegt. Dadurch wird zwar kein Kapital durch Lagerkosten gebunden, es existiert aber das Risiko, dass die Lieferbereitschaft nicht immer gewährleistet ist. Dieses Prinzip wird häufig von Kundenauftragseinzelfertigern angewandt.[69] Bei der **Vorratsbeschaffung** findet eine Entkopplung des Auftragseingangs und der Materialbeschaffung statt. Dies wird durch eine explizite Bestandsbildung erreicht. Durch das Lager wird dem beschaffenden Unternehmen eine gewisse Unabhängigkeit gegenüber den Lieferanten und den Markteinflüssen ermöglicht. Die Vorratsbeschaffung eignet sich besonders für lagerfähige Güter mit hohem Mengen- und geringem Wertanteil (C-Güter) und stellt in vielen Unternehmen, insbesondere in der Serienfertigung, obwohl oftmals eine produktionssynchrone Beschaffung angestrebt wird, immer noch eine relevante Strategie dar.[69] Die **produktionssynchrone Beschaffung (Just-In-Time-Beschaffung)** versucht die Vorteile der Einzelbeschaffung und der Vorratsbeschaffung zu vereinen, indem die Materialien direkt zum Produktionsort geliefert werden sollen, ohne ein langfristiges Lagern notwendig zu machen. Dies setzt allerdings einen hohen organisatorischen Aufwand und eine enge Bindung mit dem Lieferanten voraus. Um diesen Aufwand zu rechtfertigen, ist die produktionssynchrone Beschaffung in der Regel nur für Materialien wirtschaftlich, die einen hohen Wertanteil und eine hohe Verbrauchsstabilität aufweisen. Eine Mengenplanung kann entweder ausgehend vom Verbrauch der zu beschaffenden Materialien (verbrauchsorientierte Mengenplanung) oder ausgehend vom Bedarf der Materialien, in die die zu beschaffenden Materialien als Input einfließen (bedarfsorientierte Mengenplanung), durchgeführt werden.[70]

Bestellpolitiken lassen sich nach Bestellzeitpunkt und Bestellmenge untergliedern und definieren konkret, wann und in welcher Höhe eine Bestellung ausgelöst wird. Standard-Bestellpolitiken können in Bestellpunkt-, Bestellrhythmus- und Kontrollrhythmussysteme unterteilt werden. Bestellpunktsysteme sind dadurch charakterisiert, dass eine Bestellung immer dann ausgelöst wird, wenn ein vorher definierter Meldebestand s unterschritten wurde. Bestellrhythmussysteme bedürfen im Gegensatz zu Bestellpunktsystemen keiner ständigen Kontrolle der Bestände. Es wird in einem Bestellrhythmus t überprüft, ob der Meldebestand unterschritten wurde und Handlungsbedarf besteht. Kontrollrhythmussysteme bilden eine Kombination aus den beiden vorher genannten Bestellpolitiken. Alle T Zeiteinheiten findet ein Kontrollzyklus statt, der überprüft, ob der Meldebestand unterschritten wurde. Bestellpolitiken können sowohl verbrauchs- als auch bedarfsorientiert arbeiten. Bei bedarfsorientierten Bestellpolitiken wird dabei die Bestellmenge ausgehend vom erwarteten Verbrauch in den folgenden Zeitabschnitten bestellt. Allen geläufigen Bestellpolitiken ist es gemein, dass sie explizit keine Kosten berücksichtigen, die durch die Bestellungen anfallen, und keine Auswahl zwischen verschiedenen Lieferanten treffen, obwohl dies vorteilhaft sein würde.

Existieren mehrere Lieferanten, bei denen ein Produkt beschafft werden kann, so muss neben der Preis-, Mengen- und Zeitentscheidung zusätzlich eine **Lieferantenauswahl** für die einzelnen

Verhältnis von Lagerkosten und Einsparpotential können durch die mehrperiodige Planung erhebliche Einsparungen erzielt werden (vgl. [AHH07]). Eine mehrperiodige Beschaffungsplanung bei mehreren Lieferanten wird u.a. in [BoWu01], [Temp02], [Reit02], [BaLe05], [GMS+07] und [Stad07] betrachtet.

[69] Vgl. [ApBu05].

[70] Vgl. u.a. [LoWi06].

Bestellungen getroffen werden.[71] Falls Rahmenverträge mit den Lieferanten existieren, so sind diese in die Auswahlentscheidung einzubeziehen.

Das Beschaffungsproblem bei festen Preisen entspricht exakt dem Losgrößenproblem[72], wobei die fixen Rüstkosten des Losgrößenproblems durch fixe Beschaffungskosten, die für jede Bestellung anfallen, ersetzt werden. Es ist folglich ein Plan zu bestimmen, der einen guten Tradeoff zwischen Lagerkosten und fixen Bestellkosten gewährleistet. Da das Problem identisch zu dem der Losgrößenplanung ist, gilt die Wagner-Whitin-Eigenschaft auch für Bestellvorgänge und besagt, dass nur dann bestellt werden soll, wenn das Lager am Ende der Vorperiode leer ist.[73] Existiert aufgrund von Stufenrabatten eine nicht kontinuierliche Bestellkostenfunktion, so verliert die Wagner-Whitin-Eigenschaft ihre Gültigkeit.[74] Da der Gesamtpreis bei Erreichen einer Rabattstufe sinkt, kann es sinnvoll sein, diesen Preisvorteil auszunutzen und die Bestellmenge bis zur Erreichung der Rabattstufe aufzustocken. Daraus folgt die Regel, dass eine optimale Bestellmenge nicht zwangsläufig aus kompletten Periodenbedarfen bestehen muss, sondern zusätzlich auch auf einer Rabattstufengrenze liegen kann.[75] Zudem kann es sinnvoll sein, am Ende des Planungshorizontes von einem Lagerbestand von null abzuweichen, um eine günstigere Rabattstufe ausnutzen zu können.[76] Laut [Reit02] existieren bisher wenige Verfahren, die sowohl eine Lieferantenauswahl als auch eine Bestellmengenplanung vornehmen.[77]

Zusammenfassend betrachtet ist das Ziel der Beschaffungsplanung, unter Berücksichtigung von Bestellpreisen, fixen Lieferkosten, Lagerkosten und vertraglichen Aspekten bei mehreren Lieferanten einen möglichst günstigen Bestellplan zu generieren. In der Literatur existiert eine große Zahl unterschiedlicher Verfahren, die sich mit der Beschaffung von Produkten bei einem oder mehreren Lieferanten, für eine oder mehrere Perioden und mit oder ohne Rabattstrukturen beschäftigen. Sowohl in [MuRo98] als auch in [AHH07] werden ausführliche Überblicke über

---

[71] Sobald die Lieferantenauswahl zusammen mit der Beschaffungsplanung ausgeführt wird, kann diese der operativen Planung zugeordnet werden. Dabei wird neben Mengen und Terminen zusätzlich aus einem Pool von Lieferanten bestimmt, bei welchen Lieferanten bestellt wird. Einen ausführlichen Überblick über die Lieferantenauswahl in Kombination mit der Beschaffungsplanung ist in [AHH07] zu finden.

[72] Schon 1913 wurde in [Harr13] für das gleiche Problem sowohl von einer Losgröße als auch von einer Bestellmenge gesprochen.

[73] Dies gilt selbstverständlich nur dann, wenn die Vorlaufzeit der Bestellvorgänge vernachlässigt wird.

[74] Vgl. [Reit02].

[75] Vgl. u.a. [Ter 79] und [Reit02]. Der Satz von Weierstraß liefert den dazugehörigen mathematischen Beweis (vgl. [BSM+08]).

[76] Vgl. [Reit02]. Frühere relevante Arbeiten, die sich mit dem Problem der optimalen Bestellpolitik unter Berücksichtigung von Stufenrabatten beschäftigen sind u.a. [CaWh81], [BeWh82], [CCL87] und [BrSi93]. [BePa96] und [MuRo98] geben eine ausführliche Übersicht über die bis dahin entwickelten Verfahren in diesem Bereich. In den früheren Arbeiten wurde häufig nur eine statische Planungssituation betrachtet und im Falle der wenigen dynamischen Planungsansätze wurden meist Lösungen für ein Produkt und zwei Rabattstufen vorgestellt (vgl. [Reit02] und [Temp02]). Das daraus resultierende Problem ist NP-hart (vgl. [GMS+07]).

[77] Ein Ansatz für eine statische Situation mit Stufenrabatten und begrenzten Lagern wurde durch [Bent91] entwickelt. In diesem Ansatz ist es nur möglich, alle Produkte von einem Lieferanten zu beziehen, der aus mehreren möglichen Lieferanten ausgewählt wird. In [RuBe93] wurde dieser Ansatz erweitert, so dass auch eine Beschaffung bei mehreren Lieferanten möglich ist. In [Korf93] wird ein Verfahren der dynamischen Programmierung vorgestellt, das eine integrierte Lieferantenauswahl und Bestellmengenplanung für dynamische Bedarfe durchführt. Für beide Rabattarten werden jeweils Planungsansätze für den Ein- und Mehrproduktfall aufgezeigt. Dabei stellen allerdings Mindestabnahmemengen die einzige Restriktion dar. Einige aktuellere Verfahren werden in Abschnitt 3.3.2 vorgestellt.

verschiedene Verfahren der Beschaffungsplanung gegeben und anhand verschiedener Kriterien charakterisiert.

Sowohl die Produktions- als auch die Beschaffungsplanung werden normalerweise in Form einer rollierenden Planung durchgeführt.

2.4 ROLLIERENDE PLANUNG

Die Produktions- und die Beschaffungsplanung werden in der Regel für eine feste Anzahl an Planungsperioden, den sogenannten Planungshorizont, durchgeführt. Handelt es sich um ein Problem, das nach Ende des Planungshorizontes abgeschlossen ist, und treten alle Parameter so ein, wie in der Planung angenommen, bietet es sich an, das Planungsproblem im Sinne einer Totalplanung zu lösen.[78]

Der Ansatz der Totalplanung ist allerdings für die Realität in der Regel ungeeignet, da diese fast immer vom Plan abweicht[79] und daher, selbst wenn das Ende des Planungsproblems bekannt ist, zum Planungszeitpunkt so gut wie niemals eine adäquate Datenbasis zu Grunde liegt. Dies liegt daran, dass die planungsrelevanten Informationen in fast allen realen Planungsproblemen mit Unsicherheit verbunden sind. Aus diesem Grund ändern sich manche Daten, die im Planungsmodell verwendet werden, wie bspw. Prognosen über zukünftige Bedarfe, fast immer, wenn die Zeit voranschreitet.[80] Diese Unsicherheit ist in der Regel umso größer, je weiter sich ein zu planender Zeitabschnitt in der Zukunft befindet. Aus diesem Grund ergibt sich in der Regel „*im Zeitablauf eine Verbesserung des Informationsstandes*“ [SKH04]. Diese Informationsdynamik kann sich darin widerspiegeln, dass:

- alte Informationen detailliert werden,
- alte Informationen falsifiziert werden,
- Annahmen bestätigt werden,
- Wahrscheinlichkeitsaussagen verbessert werden oder
- ein endgültiger Eintritt eines Sachverhaltes erfolgt.[81]

Ist die Abweichung zwischen den für die aktuelle Planung verwendeten und den zwischenzeitlich aktualisierten Informationen zu groß, sollte der vorherige Plan revidiert werden, um auf die neue Situation adäquat reagieren zu können.[82] Falls nach einer Planung nicht mehr auf Änderungen reagiert werden würde, so müsste eine Gewährleistung der Bedarfstermine durch andere, oft hohe Kosten verursachende Maßnahmen, wie bspw. die Haltung hoher Sicherheitsbestände gewährleistet werden.[83]

Um auf diesen Sachverhalt der Planung im unsicheren und dynamischen Umfeld reagieren zu können, wird in der Praxis von der Totalplanung abgesehen, in dem der Gesamtplanungszeitraum in aufeinanderfolgende Planungshorizonte mit der Reichweite T unterteilt wird.[84] Werden

[78] Vgl. [SKH04].
[79] Vgl. u.a. [StKi05].
[80] Vgl. u.a. [AAC07].
[81] Vgl. [SKH04].
[82] Vgl. u.a. [StKi05].
[83] Eine weitere Möglichkeit, auf Unsicherheiten zu reagieren, besteht in der Planung von robusten Plänen, die selbst dann einen annehmbaren Plan ermöglichen, wenn die Umwelt sich unvorteilhaft entwickelt. Zudem besteht die Möglichkeit einer flexiblen Planung, die Eventual- oder Schubladenpläne bildet und durch Entscheidungsbäume oder dynamische Optimierung gelöst wird (vgl. [SKH04]).
[84] Vgl. [Kimm98].

diese Planungshorizonte so gebildet, dass sie sich nicht überlappen, so wird von einer Anschlussplanung gesprochen, bei einer Überlappung der Planungshorizonte von einer rollierenden Planung.[85] Die Anschlussplanung und die rollierende Planung sind in Abbildung 2.9 skizziert.

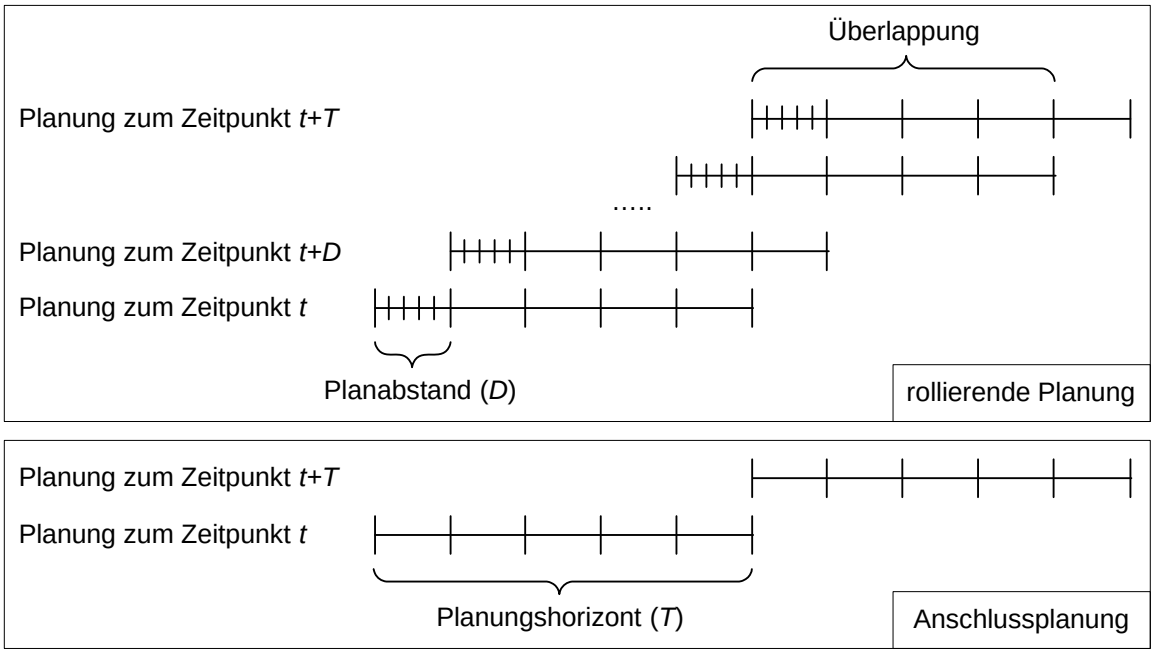


Abbildung 2.9: Zeitlicher Ablauf der Anschlussplanung und der rollierenden Planung

In der **Anschlussplanung** werden in jedem Planungsschritt endgültige Entscheidungen für den Planungshorizont getroffen. Findet eine Planung zum Zeitpunkt t statt, so wird der Plan für die Perioden $[t, t+T-1]$, unabhängig davon, wie sich die Umwelt im Verlauf dieses Zeithorizontes ändert, festgelegt. Im nächsten Planungsschritt, der zu Beginn von Periode $t+T$ stattfindet, wird ein Anschlussplan für die Perioden $[t+T, t+2T-1]$ erzeugt. Dieser Anschlussplan baut auf dem Endzustand des vorherigen Planungsschrittes auf. Die Ergebnisse, die mit einer Anschlussplanung erzielt werden, sind in hohem Maße davon abhängig, mit welcher Methode der jeweilige Endzustand eines Planungsschrittes geplant wird.[86]

Mit der Anschlussplanung ist dadurch, dass einmal festgelegte Pläne für einen Planungshorizont nicht mehr revidiert werden können, keine adäquate Berücksichtigung der aktuellen Bedarfssituation möglich. Um eben dies zu gewährleisten, kann auf die rollierende Planung zurückgegriffen werden. In einer **rollierenden Planung** ist der Planabstand D, der den zeitlichen Abstand zwischen zwei aufeinanderfolgenden Planungsschritten beschreibt, kleiner als der Planungshorizont T. Aus diesem Grund kommt es bei jeder Planung zu einer Überlappung von $T-D-1$ Perioden. Für alle Perioden dieses Überlappungsbereichs stellt sich die Frage, ob die vorhe-

[85] Der Begriff der rollierenden Planung, im Englischen zumeist mit „rolling horizon planning“ bezeichnet, wird im Deutschen nicht immer einheitlich verwendet. Begriffe, die entweder synonym verwendet werden oder zur Abgrenzung unterschiedlicher Planungscharakteristiken des gleichen Grundprinzips dienen, sind bspw. rollende, revidierende, revolvierende, überlappende oder gleitende Planung (vgl. [SKH04]). Üblich ist eine Unterscheidung in eine rollierende (oder rollende) Planung, in der keine Anpassung des vorherigen Plans vorgenommen wird, und in eine revolvierende Planung, in der Anpassungen erlaubt sind (vgl. [Troß92] und [SKH04]). Im Kontext dieser Arbeit wird der Begriff der rollierenden Planung im Sinne der revolvierenden Planung verwendet.

[86] Vgl. [SKH04].

rige Planung aufgrund aktualisierter Informationen revidiert werden soll.[87] Nur der erste Bereich des Planungshorizontes, dessen Länge dem Planabstand *D* entspricht, wird zwischen zwei Planungsschritten realisiert und ist daher bei jeder Planung verbindlich.[88] Aus diesem Grunde weist der Plan zu Beginn des Planungshorizontes eine hohe Detaillierung (Detailplan) und der Plan für die restlichen Perioden eine geringe Detaillierung (Grobplan) auf.[89] Charakterisierend für die rollierende Planung ist demnach, dass verschiedene Hierarchiestufen beteiligt sind (zumindest eine Grob- und eine Feinplanung) und dass ein zweiter Planungsrhythmus enthalten ist, in dem eine Feinplanung die vorherigen Grobplanungsergebnisse einer oder mehrerer Perioden detailliert.[90] Diese, als Schachtelung bezeichnete Verknüpfung der Hierarchiestufen spielt in der rollierenden Planung eine besondere Rolle und erfolgt meist derart, dass eine deduktive Ermittlung eines Feinplans ausgehend von einem Grobplan ermittelt wird.[91] Üblicherweise wird in der rollierenden Planung eine Losgrößenbestimmung für den Planungshorizont[92] durchgeführt, wobei nur wenige erste Lose implementiert werden und der Horizont weiterläuft.[93] Dies geschieht, bis der Gesamtplanungshorizont erreicht ist, sofern es sich nicht um eine zeitlich gänzlich offene Planungsaufgabe handelt.[94] Da in der Realität immer eine gewisse Zeit verstreicht, bis eine Planung in die Tat umgesetzt werden kann, wird von vielen Autoren zusätzlich ein eingefrorener Bereich zu Beginn der rollierenden Planung definiert.[95] Derstroff teilt den Zeitraum der rollierenden Planung in drei Abschnitte auf.[96] Der erste Abschnitt ist dabei der eingefrorene Horizont, in dem der Plan nicht mehr geändert werden kann. Anschließend folgt das Entscheidungsfenster, in dem der Plan detailliert ausgearbeitet wird, und schließlich die Projektion, in der gröber geplant wird. Durch den Begriff der Projektion soll dabei ausgedrückt werden, dass sich der Produktionsplan im nächsten Planungslauf ändern kann.[97] Gleichzeitig dienen diese Perioden aber nachgelagerten Planungsbereichen als Vorgabe und beeinflussen dort ggf. die zu realisierenden Planungen.[98]

Die rollierende Planung wird trotz ihrer hohen Informationsanforderung und des hohen Anwendungsaufwands als Instrument in vielen Unternehmen eingesetzt, um auf die Informationsunsicherheiten bestmöglich reagieren zu können.[99] Um gute Ergebnisse in einer rollierenden Planung zu erzielen, ist eine sinnvolle Konfiguration der einzelnen Horizonte, der Endzustände und der Planungsverfahren notwendig.[100] In einem unsicheren Umfeld ist die rollierende

[87] Vgl. u.a. [SKH04].
[88] Vgl. u.a. [AAC07] und [Stad00].
[89] Vgl. u.a. [Troß92] und [CHS02].
[90] Vgl. [Troß92].
[91] Vgl. [Troß92]. Die Verknüpfung der Hierarchiestufen kann neben der Schachtelung auch durch eine Reihung oder Staffelung erfolgen. Bei diesen beiden Formen der Verknüpfung sind die Zeiträume unterer Stufen nicht oder nur teilweise Bestandteil übergeordneter Stufen (vgl. [Troß92]).
[92] Im Englischen wird der Planungshorizont oft als „forecast window“ bezeichnet.
[93] Vgl. u.a. [DeJe05] und [FeTz91].
[94] Ist die Planunsgaufgabe geschlossen, kann gegen Ende des Gesamtplanungshorizontes keine Planung mit der üblichen Länge des Planungshorizontes mehr durchgeführt werden. Daher wird die Planung dahingehend angepasst, dass entweder eine Planung für den letzten Planungshorizont normaler Länge durchgeführt wird und diese Pläne anschließend nicht mehr verändert werden, oder dass der Planungshorizont in jedem Planungsschritt verkürzt wird (vgl. [SKH04]).
[95] Vgl. u.a. [Ders95] und [XZL03].
[96] Vgl. [Ders95].
[97] In [Jens96] wird dieser Planungsabschnitt als Eventualplanung bezeichnet.
[98] Vgl. u.a. [Jens96].
[99] Vgl. u.a. [Jeun06], [Kimm98], [Bake77], [ClCl00] und [CHS02].
[100] Allerdings neigen Manager in der Realität dazu, einen wahllosen Horizont zu bestimmen und wahllose Werte für die Endzustände anzunehmen, was zu suboptimalen Planungsergebnissen führen kann (vgl. [CHS02]).

Planung der Anschlussplanung überlegen. Allerdings kann durch sie leicht ein nervöses Planungsverhalten entstehen, das immer unerwünscht ist, aber aus Einsparungsgründen in Grenzen toleriert werden soll.[101]

2.5 GRUNDLEGENDE ANNAHMEN UND RESTRIKTIONEN

In diesem Abschnitt werden die in Kapitel 1 beschriebenen Annahmen und Restriktionen der Arbeit detailliert. Eine Gliederung erfolgt dabei nach den in Abbildung 1.1 eingeführten Modulen.

2.5.1 MODUL ENGPASSTEIL

Im Rahmen der Planung des Engpassteils werden einige Annahmen getroffen, die die Komplexität des Gesamtverfahrens reduzieren:[102]

- Die Lieferdauer zum Kunden wird vernachlässigt. Eine Lieferung in Periode t steht dem Kunden bereits in Periode t zum Verbrauch zur Verfügung.
- Unplanmäßige Lieferprobleme durch die Lieferanten werden nicht betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass eine zuvor zugesagte Liefermenge auch tatsächlich geliefert werden kann.

Der Modellausschnitt, der die Planung des Engpassteils beschreibt, ist in Abbildung 2.10 dargestellt.

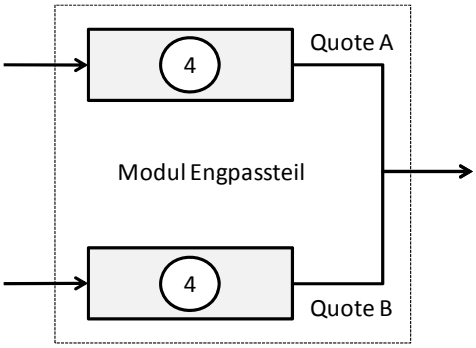


Abbildung 2.10: Modul Engpassteil

Tabelle 2.2 gibt einen Überblick über die betrachteten Restriktionen im Rahmen der Beschaffung des Engpassteils.

Restriktionen	Punkt im Modell
maximale Liefermenge	4
Quote	4

Tabelle 2.2: Restriktionen im Engpassteil-Modul

Tabelle 2.3 gibt einen Überblick über die betrachteten Kosten im Rahmen der Beschaffung des Engpassteils.

[101] Vgl. [SKH04]. Diese Anpassung wird in der Realität allerdings zum Teil nicht durchgeführt, da viele Manager lieber mit stabilen, aber suboptimalen Plänen leben.
[102] Eine Diskussion zur Erweiterung des Verfahrens um diese Aspekte erfolgt in Abschnitt 5.3.

Kosten	Punkt im Modell
fixe Lieferkosten pro Bestellung	4
variable Lieferkosten / Preise für das Engpassteil	4

Tabelle 2.3: Kosten im Engpassteil-Modul

Zusätzliche Kosten resultieren aus den kooperativen Maßnahmen, die in Abschnitt 5.1.2.2 erläutert werden.

2.5.2 MODUL KUNDE

Bei der Modellierung des Kunden gelten folgende Annahmen:

- Die Bedarfe an Endprodukten können nicht beeinflusst werden und unterliegen Schwankungen im Zeitverlauf.
- Es werden mehrere Endprodukte hergestellt, die alle produktabhängige Mengen einer periodenabhängigen Kapazität[103] verbrauchen.
- Eine Teilmenge der Endprodukte benötigt als Input ein Engpassteil, dessen Beschaffung speziell geplant wird. Diese Produkte werden als Engpassprodukte bezeichnet.
- Alle Engpassprodukte benötigen als Input genau ein Engpassteil.
- Es werden keine Sicherheitsbestände für das Engpassteil geplant.
- Die Lagerkosten sind für alle Endprodukte identisch.
- Das Rüsten ist reihenfolgeunabhängig (Big-Bucket-Annahme) und verbraucht Rüstzeit.

Abbildung 2.11 zeigt den Ausschnitt des Kunden am Gesamtmodell.

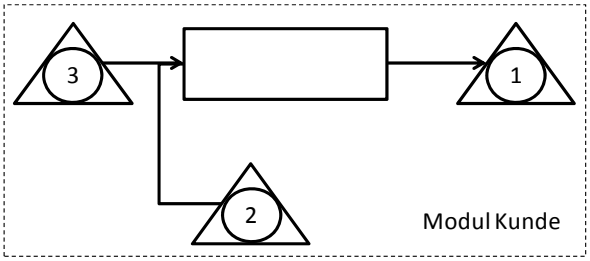


Abbildung 2.11: Modul Kunde

Tabelle 2.4 gibt einen Überblick über die betrachteten Restriktionen des Kunden.

Restriktionen	Punkt im Modell
Lagerkapazität Produktlager	1
Produktionskapazität	2
Lagerkapazität Engpassteil-Lager	3

Tabelle 2.4: Restriktionen im Kunden-Modul

Die Produktionskapazität wird dabei sowohl durch die Produktion an sich als auch durch Rüsten verbraucht.

Tabelle 2.5 gibt einen Überblick über die betrachteten Kosten des Kunden.

[103] Die Kapazität kann dabei in der Realität bspw. durch eine oder mehrere Fertigungslinien und das verfügbare Personal gegeben sein.

Kosten	Punkt im Modell
Lagerkosten Produktlager	1
Verspätungskosten	1
Rüstkosten	2
Lagerkosten Engpassteil-Lager	3

Tabelle 2.5: Kostenbetrachtung im Kunden-Modul

Die Verspätungskosten werden dabei dem Produktlager zugeordnet, da diese als umgekehrte Lagerkosten interpretiert werden können.

2.5.3 MODUL LIEFERANT

Bei der Modellierung der Lieferanten gelten folgende Annahmen:

- Alle Produktionsfaktoren der Lieferanten können problemlos beschafft werden und werden daher nicht explizit betrachtet.
- Neben dem Engpassteil, das durch den Kunden bestellt wird, existieren noch weitere Bedarfe, die durch den Lieferanten zu erfüllen sind.
- Engpassteil-Bedarfe müssen erfüllt werden, andere Bedarfe können auch verspätet geliefert werden. Bei verspäteter Lieferung entstehen Verspätungskosten.
- Je Lieferant wird eine Produktionskapazität betrachtet, die durch alle Produkte verbraucht wird.
- Die Lagerkosten sind für alle Produkte identisch (auch für Engpassteile).
- Das Rüsten ist reihenfolgeunabhängig (Big-Bucket-Annahme) und verbraucht Rüstzeit.
- Es kann Zusatzkapazität geplant werden. Dadurch entstehen zusätzliche Kosten.[104]

Abbildung 2.12 zeigt die Knoten im Modell der Lieferanten.

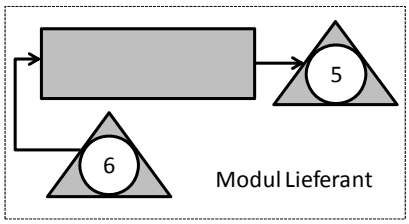


Abbildung 2.12: Modul Lieferant

Tabelle 2.6 gibt einen Überblick über die betrachteten Restriktionen der Lieferanten.

Restriktionen	Punkt im Modell
Lagerkapazität Teilelager	5
geplante Produktionskapazität	6
maximale Produktionskapazität	6

Tabelle 2.6: Restriktionen im Lieferanten-Modul

Tabelle 2.7 gibt einen Überblick über die betrachteten Kosten der Lieferanten.

[104] Eine Erläuterung dieser Annahme erfolgt in Abschnitt 2.6.3.

Kosten	Punkt im Modell
Lagerkosten Teilelager	5
Verspätungskosten für Nichtengpassteile	5
Kosten für Zusatzkapazität	6
Rüstkosten	6

Tabelle 2.7: Kostenbetrachtung im Lieferanten-Modul

Die Verspätungskosten werden dabei analog zum Kundenmodul dem Lager zugeordnet.

Damit sind die Annahmen beschrieben, die im Laufe der Arbeit immer gültig sind. An den passenden Stellen im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden diese, falls notwendig, ergänzt.

2.6 ANFORDERUNGEN AN DIE LÖSUNG

In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an die Lösung, gegliedert nach den in Kapitel 1 eingeführten Problemdomänen formuliert.

2.6.1 KOOPERATIVE KUNDEN-LIEFERANTEN-BEZIEHUNG

Generelle Anforderungen an die Beziehung

Anforderung 1: Abbildung einer in der Praxis anwendbaren (realistischen) Beziehung

Bei der Definition der Kunden-Lieferanten-Beziehung muss ein besonderes Augenmerk darauf liegen, diese realistisch abzubilden. Dies bedeutet vor allem, dass die getroffenen Annahmen zwischen den Parteien, besonders bzgl. des Datenaustauschs, auch in der Praxis umsetzbar sein sollen. Da von einem autonomen und egoistischen Handeln ausgegangen wird, muss die Koordination dezentral stattfinden. Die einzelnen Parteien können dadurch ihre sensiblen Daten schützen, so dass nicht alle planungsrelevanten Informationen ausgetauscht werden und Informationsasymmetrie herrscht. Es wird davon ausgegangen, dass der Kunde die Macht besitzt, Entscheidungen durchzusetzen. Eine weitere, an der Realität ausgerichtete Annahme ist, dass die Koordination in einem unsicheren Umfeld stattfindet. Dies bedeutet, dass die Parteien auf eine geänderte Umwelt reagieren müssen, indem sie ihre Pläne im Zeitverlauf anpassen.

Anforderung 2: Ersparnis aller Parteien gegenüber einer nichtkooperativen Referenzsituation

In der nichtkooperativen Referenzsituation besitzt der Kunde die vollständige Machtposition und wird daher seine Bestellungen oftmals nach Belieben ändern. Im Falle des Quotenbezugs teilt der Kunde seine Bestellungen immer nach festen Regeln zwischen den Lieferanten auf, unabhängig von deren aktuellen Situation (z.B. immer 40% eines Zeitabschnitts bei Lieferant A und 60% bei Lieferant B). Eine Folge dieser Situation ist, dass die Lieferanten ständig Überkapazitäten bzw. hohe Sicherheitsbestände vorhalten müssen, um auf Änderungen seitens des Kunden reagieren zu können. Die Referenzsituation wird anhand mehrerer Ausprägungen unterschieden, die sich hauptsächlich im Zeitraum unterscheiden, in dem der Kunde die Quoten einhalten muss. Konkrete Ausprägungen der Referenzsituation werden in Abschnitt 5.2.4 beschrieben. Die Referenzsituation stellt vor allem für die Lieferanten keine befriedigende Situation dar und birgt gleichzeitig Verbesserungspotential für den betrachteten Ausschnitt der Supply Chain. Indem der Kunde einen Anteil der Ersparnis erhält, die durch eine kooperative Zusammenarbeit erzielt werden kann, soll es möglich sein, eine für alle Parteien vorteilhafte Situation zu erzeugen. Ziel der kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung ist es, die Versorgung des Kunden mit dem Engpassteil für den gesamten betrachteten Supply Chain Ausschnitt möglichst kostengünstig durchzuführen und dabei keine Partei gegenüber der Referenzsituation

zu benachteiligen.[105] Dabei gilt es, die Planung des Engpassteils so zu koordinieren, dass die durch die Produktion, Lieferung und Lagerung entstehenden Kosten des Engpassteils und die Auswirkungen auf die restliche Planung für alle Parteien und somit auch für den gesamten Supply Chain Ausschnitt über den gesamten Vertragshorizont gesehen möglichst gering ausfallen.

Anforderung 3: Möglichkeit vielfältiger Ausprägungen durch modulare Struktur

Die kooperative Kunden-Lieferanten-Beziehung soll so modular definiert werden, dass ein Großteil der entwickelten Konzepte auch bei einer Änderung des Szenarios angewandt werden kann. Dabei soll es sowohl möglich sein, nur Teilaspekte, wie bspw. eine reine Fein- oder eine reine Grobplanung zu nutzen, als auch die vorgestellten Planungsansätze für jede konkrete Beziehung zu konfigurieren[106], ohne den Gesamtablauf zu beeinträchtigen. Für eine konkrete Kunden-Lieferanten-Beziehung können die Parteien vertragliche Parameter festlegen und kooperative Maßnahmen beschließen.

Anforderungen an den vertraglichen Aspekt der Beziehung

Anforderung 4: Definition von Regeln der Zusammenarbeit in einem Rahmenvertrag

Um die kooperativen Maßnahmen durchsetzen zu können, müssen Rahmenverträge existieren, die die Rahmenbedingungen und Regeln der Beziehung exakt festlegen. Dabei werden die Lieferungsverpflichtungen von bestimmten Mengen des Engpassteils für den Vertragshorizont zu definierten Konditionen im Vorfeld festlegt. Für jeden Lieferanten existiert prinzipiell der gleiche Vertrag mit anderen Ausprägungen. Am Ende des Vertragshorizontes müssen die festgelegten Quoten erfüllt worden sein.[107] Im Rahmenvertrag sollen Stufenrabatte[108] festgelegt werden, die für den gesamten Vertragshorizont gültig sind. In einzelnen Zeitabschnitten soll es den Lieferanten möglich sein, zum Vorteil des Kunden von der normalen Rabattstruktur abzuweichen. Solch ein Angebot darf später vom Lieferanten nicht zum Nachteil des Kunden revidiert werden. Maximale Liefermengen der Lieferanten werden ebenfalls im Vertrag festgelegt und können nur zum Vorteil des Kunden revidiert werden. Die gewünschten funktionalen Eigenschaften der kooperativen Maßnahmen werden in Anforderung 5 beschrieben.

Anforderung 5: Konzeption kooperativer Maßnahmen zur Ersparnisrealisierung

Der Rahmenvertrag soll kooperative Maßnahmen beschreiben, die modular anwendbar sind, so dass sowohl eine Maßnahme für sich als auch eine Kombination mehrerer Maßnahmen möglich ist und leicht weitere Maßnahmen hinzugefügt werden können. Folgende Maßnahmen sollen im Laufe der Arbeit konzipiert und deren Auswirkungen analysiert werden:

- **KM1: Aufweichung des Quotenbezugs**
  Es soll erlaubt werden, die Quote zwischenzeitlich aufzuweichen. Am Ende des Vertragshorizontes muss diese aber erfüllt sein.

[105] Dabei wird nicht der Anspruch erhoben, dies immer und in allen denkbaren Szenarien zu erreichen, sondern den Effekt in den überwiegenden Fällen zu erzielen.
[106] Dies kann z.B. durch die Einbeziehung von Vorlaufzeiten, die Vernachlässigung von Rüstkosten oder die Nichtberücksichtigung von Quoten umgesetzt werden.
[107] Um diese Restriktion zu entschärfen, kann im Vorfeld eine erlaubte Abweichung definiert werden.
[108] Vgl. Abschnitt 2.3.

- **KM2: Einführung von Flexibilitätskorridoren**
  Da eine unsichere Umwelt angenommen wird, müssen Flexibilitäten in der Abstimmung der Bestell- bzw. Liefermengen berücksichtigt werden. Dieser Flexibilitätsaspekt soll im Zeitverlauf abgebildet werden, indem mögliche Bestellmengen schon früh kommuniziert werden, aber gleichzeitig dem Kunden eine Flexibilität eingeräumt wird, um auf Änderungen der Umwelt reagieren zu können. Dabei soll die Flexibilität abnehmen, je näher die Realisation eines Zeitabschnitts rückt. Die entstehenden Schranken werden als Flexibilitätskorridore bezeichnet. Eine frühe Abstimmung der Korridore soll ohne Strafzahlung revidiert werden können, ab einem bestimmten Abstand zur Heutelinie sollen Strafzahlungen für Über- und Unterschreitungen der Korridore anfallen.
- **KM3: Planung des Engpassteil-Lagers durch die Lieferanten**
  Als eine Möglichkeit der Kooperation soll untersucht werden, inwiefern sich die Einführung eines Vendor Managed Inventory auf die Ergebnisse der Planung auswirkt.
- **KM4: Änderungsplanung im Rahmen der Feinplanung**
  Durch Einführung eines Kostensatzes für die Änderung von Bestellplänen zwischen zwei Planungsschritten soll dafür gesorgt werden, dass die durch den Kunden induzierte Planungsnervosität der Lieferanten möglichst gering gehalten wird, indem Bestellabweichungen nur in sinnvollen Situationen durchgeführt werden. Der Kunde muss eine Kompensation dafür erhalten, um gewillt zu sein, die Planungsnervosität der Lieferanten in seiner Planung zu berücksichtigen.
- **KM5: Profit-Sharing**
  Ein Profit-Sharing-Verfahren soll entwickelt werden, das durch Gegenvorschläge von Lieferantenseite und Evaluation mehrerer Lieferszenarien durch den Kunden zu einer Kostenersparnis führen soll. Das Verfahren soll nach einer Runde beendet sein und keine abstimmungsbasierte Lösung über mehrere Runden generieren. Dabei soll gelten, dass der Kunde immer seine Machtposition ausüben kann, indem er seinen ursprünglichen Plan durchsetzt.

Anforderungen an den planerischen Aspekt der Beziehung

<u>Anforderung 6: Unterteilung der Gesamtplanung in eine rollierende Grob- und Feinplanung</u>

Die Planung zur Versorgung des Kunden mit dem Engpassteil soll sowohl längerfristig im Sinne von aggregierten Mengen mitsamt einer vorzuhaltenden Flexibilität in einer Grobplanung als auch kurzfristig im Sinne einer Bestellplanung durchgeführt werden, die die aggregierten Mengen konkretisiert (Feinplanung). Um dies zu erreichen, müssen verschiedene Zeiteinheiten abgebildet werden, eine Zeiteinheit zur aggregierten Planung der Bestellungen (Zeitabschnitt) und eine Zeiteinheit zur detaillierten Planung der Bestellungen (Periode). In der Grobplanung soll zeitabschnittsgenau, in der Feinplanung periodengenau geplant werden. Aufgrund der unsicheren Bedarfssituation wird die Planung rollierend durchgeführt. Dabei ist das Ziel, sowohl die Versorgung des Kunden mit Engpassteilen möglichst kostengünstig zu ermöglichen als auch die Planungsnervosität für die Lieferanten möglichst gering zu halten. Durch die rollierende Planung und die beiden unterschiedlichen Planungsebenen resultiert an mehreren Stellen die Aufgabe einer Abstimmung zwischen den Planungsebenen, um eine konsistente Gesamtplanung zu ermöglichen. So muss definiert werden, welche Ereignisse zwischen zwei rollierenden Planungsschritten stattfinden und welche Kosten dort angesetzt werden, um eine Konsistenz der Planung sicherzustellen. Der Tatbestand, dass der Planungshorizont gegen Ende des Vertragshorizontes kleiner wird, muss im Gesamtverfahren berücksichtigt werden.

Anforderung 7: Rollierende Grobplanung zur längerfristigen Abstimmung

Die Grobplanung soll dazu dienen, eine frühzeitige Abstimmung der Mengen unter Einbeziehung der notwendigen Flexibilität zu ermöglichen, um den Lieferanten eine größere Vorlaufzeit zur Planung ihrer Kapazitäten zu ermöglichen. Die Koordination erfolgt dabei aus Sicht der Lieferanten, denen die Möglichkeit gegeben wird, Kundenbestellmengen durch Angebote in Form von günstigeren Stufenrabatten zu beeinflussen. Das Ziel der Lieferanten besteht dabei in der kostenminimalen Planung und Ausnutzung ihrer Kapazitäten. Die Aufgabe des Kunden in der Grobplanung besteht darin, Flexibilitätskorridore unter Einbeziehung der Angebote und Rabatte unter Einhaltung der Quote im Vertragshorizont möglichst günstig zu planen.

Anforderung 8: Rollierende Feinplanung zur Planung der konkreten Bestellungen

Die Feinplanung konkretisiert die in der Grobplanung definierten Mengen zu detaillierten Bestell- bzw. Lieferplänen. Dies soll für den Kunden und die Lieferanten unter Einbeziehung der in Abschnitt 2.5 beschriebenen Annahmen möglichst günstig geschehen. Dazu sollen ganzzahlige Modelle formuliert werden, die es ermöglichen, alle betrachteten Aspekte aus Kunden- und aus Lieferantensicht zu berücksichtigen und kostenoptimal zu planen. Da dezentral geplant wird, muss das Zusammenspiel zwischen den Modellen der Parteien beachtet werden, damit eine im Gesamten konsistente Situation entsteht.

Anforderungen an die Validierung der Beziehung

Anforderung 9: Abbildung von Szenarien zur Validierung der Methoden

Um die Auswirkungen der kooperativen Maßnahmen beurteilen zu können, ist es notwendig, eine Testplattform zu schaffen, die es ermöglicht, alle planungsrelevanten Daten konsistent zu pflegen. Neben der Pflege der Stammdaten soll es zudem möglich sein, einzelne Maßnahmen und Planungsverfahren, die angewendet werden sollen, auszuwählen und zu parametrisieren. Es soll möglich sein, die Szenarien zu speichern, so dass diese jederzeit aufgerufen, analysiert und ggf. angepasst werden können.

Anforderung 10: Simulation der rollierenden Planung

Die Testumgebung soll es ermöglichen, eine Simulation einer rollierenden Planung aller involvierten Parteien über den gesamten Vertragshorizont konsistent durchzuführen. Dazu ist es zunächst notwendig, eine Möglichkeit zu schaffen, die Unsicherheit einzelner Daten, wie bspw. Bedarfe an Endprodukten, im Zeitverlauf abzubilden, um verschiedene Umweltbedingungen zu simulieren. Die Simulation der rollierenden Planung soll für den Kunden und die Lieferanten jeweils Grob- und Feinplanungen automatisch aufeinander abgestimmt bis zum Ende des Vertragshorizontes durchführen.

Anforderung 11: Auswertung der Wirkung von kooperativen Maßnahmen

Die Testumgebung soll es ermöglichen, alle beschriebenen Maßnahmen zu testen und mit Referenzsituationen zu vergleichen. Dabei soll es möglich sein, die einzelnen Maßnahmen separat und in Kombination zu analysieren. Zudem sollen Analysen für den gesamten Supply Chain Ausschnitt und für jede einzelne Partei ermöglicht werden. Sowohl für die rollierende Planung als auch für eine Gesamtplanung sollen Modelle aufgestellt werden, die eine zentrale Planung durchführen. Diese Modelle dienen als Benchmark für Instanzen des entwickelten Ansatzes. Das rollierende Modell soll dabei simulieren, welche Ergebnisse ein Zentralansatz in einer unsicheren Umwelt erreichen würde. Das zentrale Gesamtmodell unterliegt keinen Unsicherheiten und

plant unter vollständiger Kenntnis aller relevanten Parameter. Die Auswertung der Planungsläufe soll auf vielfältige Art und Weise ermöglicht werden, indem bspw. einzelne Kostenarten separat aufgeführt oder Kapazitätsauslastungen analysiert werden. Zum Vergleich verschiedener Kombinationen von Maßnahmen sollen die Ergebnisse in einer Datenbank gespeichert werden können.

2.6.2 PLANUNGSDOMÄNE KUNDE

Anforderungen an die Produktionsplanung

Anforderung 12: Kostenoptimale Losgrößenplanung bei Big-Bucket-Annahme unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren des Szenarios (Feinplanung)

Die Produktionsplanungsaufgabe des Kunden besteht hauptsächlich in der Mengenplanung, speziell der Losgrößenplanung und betrifft ausschließlich die Feinplanung des Gesamtansatzes. Eine längerfristige Produktionsprogrammplanung, eine detailliertere Maschinenbelegungsplanung sowie eine Produktionssteuerung werden nicht betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass alle Produktionsfaktoren bis auf das Engpassteil vorhanden sind und nicht explizit geplant werden. Die fristgerechte Beschaffung der zur Produktion benötigten Materialien wird vorausgesetzt und nicht explizit betrachtet. Die Lösung des Problems soll mit Hilfe der ganzzahligen Optimierung eine optimale Lösung für die in Abschnitt 2.5.2 beschriebenen Kosten und Restriktionen liefern.

Anforderungen an die Beschaffungsplanung

Anforderung 13: Kostenminimale Bestimmung von Flexibilitätskorridoren unter Berücksichtigung der Quoten (Grobplanung)

Die Aufgabe des Kunden in der Grobplanung besteht ausschließlich in der Beschaffungsplanung und darin, die langfristige Beschaffung durch Festlegung von Flexibilitätskorridoren möglichst günstig zu gewährleisten. Besonders wichtig ist dabei der rollierende Aspekt, der in Anforderung 17 näher beschrieben wird.

Anforderung 14: Kostenoptimale Beschaffungsplanung unter Berücksichtigung der Grobplanung (Feinplanung)

Im Rahmen der Feinplanung besteht die Aufgabe der Beschaffungsplanung darin, unter Berücksichtigung des Rahmenvertrages, der maximalen Liefermengen und der Ergebnisse aus der Grobplanung eine kostenoptimale Beschaffung des Engpassteils zu planen. Die Zeitbetrachtung ist dabei analog zur Produktionsplanung. Die Lösung soll unter Kostengesichtspunkten optimal erfolgen, so dass keine Standard-Bestellpolitik angewendet wird, sondern Nettobedarfe unter Kostengesichtspunkten zu variablen Bestelllosgrößen zusammengefasst werden. Dabei gilt es, insbesondere auch die Stufenrabatte zu berücksichtigen.

Anforderungen an die integrierte Produktions- und Beschaffungsplanung

Anforderung 15: Zusammenspiel zwischen Produktions- und Beschaffungsplanung

Die Beschaffungsplanung soll nicht wie üblich im Anschluss an die Produktionsplanung durchgeführt werden, sondern simultan zu dieser erfolgen. Dadurch sollen Interdependenzen zwischen den beiden Problemen berücksichtigt werden. Diese treten bspw. dadurch auf, dass Losgrößenentscheidungen die Bedarfe für die Beschaffung beeinträchtigen. Aus der Beschaffungs-Grobplanung müssen dabei Flexibilitätskorridore und aus der Beschaffungs-Feinplanung fixe

und variable Kosten berücksichtigt werden. Die integrierte Produktions- und Beschaffungsplanung soll durch ganzzahlige Modelle abgebildet und durch einen Solver optimal gelöst werden.

Anforderungen an die rollierende Planung

Anforderung 16: Erzeugung von konsistenten Zuständen für die komplette rollierende Planung

Die rollierende Planung des Kunden muss zum einen eine Konsistenz zwischen zwei Planungsläufen der gleichen Planungsart und zum anderen eine Konsistenz zwischen den Grob- und den Feinplanungsergebnissen ermöglichen. Beim erstgenannten besteht die Anforderung darin, Zustände am Ende eines Planungslaufes, wie bspw. Lagerbestände und Verspätungen, so zu betrachten, dass diese dem nächsten Planungslauf vorgegeben werden. Zugleich sind die durch realisierte Produktionsvorgänge tatsächlich entstehenden Kosten zu verwalten und von den Plankosten zu unterscheiden. Die rollierende Abstimmung zwischen Grob- und Feinplanung besteht darin, der Feinplanung in der Grobplanung geplante Korridore vorzugeben und in der Feinplanung geplante aggregierte Mengen an die Grobplanung rückzumelden. Initialplanungen und Planungen gegen Ende des Vertragshorizontes unterscheiden sich von anderen Planungsläufen und müssen gesondert berücksichtigt werden.

Anforderung 17: Anforderung an die rollierende Grobplanung: Kostenminimale Beschaffung bei Einhaltung der Quote

Die Anforderung an die rollierende Grobplanung des Kunden liegt vor allem darin, eine Abwägung zwischen kurzfristig realisierbaren Einsparungen und dem langfristigen Ziel der Quoteneinhaltung zu treffen. Die Abweichungen durch Ausnutzung günstiger Preise dürfen nicht so groß werden, dass diese im Verlauf des Planungshorizontes nicht mehr aufgeholt werden können bzw. sollten nicht so groß werden, dass das Aufholen die vorherigen Ersparnisse aufbraucht. Daher ist unter unsicherer Umwelt stets eine Entscheidung zu treffen, die sowohl Kosten als auch Quote betrachtet. Zudem sind die Flexibilitätskorridore im Laufe der rollierenden Planung zu konkretisieren, wobei Strafzahlungen beachtet werden sollen, die bei Verletzung eines vorher geplanten Korridors auftreten können.

Anforderung 18: Anforderung an die rollierende Feinplanung: Gewichtung der Perioden und Berücksichtigung der Planungsnervosität

Um den Sachverhalt zu berücksichtigen, dass Pläne aufgrund sich ändernder Bedarfe öfters revidiert werden müssen und letztendlich nur der wirklich realisierte Plan über die Kosten entscheidet, sollen Faktoren in die Modelle integriert werden, die eine stärkere Gewichtung der zeitlich näheren Planungsperioden vornehmen. Zudem soll der Kunde die Planungsnervosität der Lieferanten durch die Änderungsplanung im Rahmen der Feinplanung berücksichtigen.

2.6.3 PLANUNGSDOMÄNE LIEFERANT

Anforderungen an die Produktionsplanung

Anforderung 19: Messung der Auswirkung von Bestellplänen durch Modellierung der Kapazität

Durch die Modellierung der Lieferanten soll gemessen werden, wie sich die Kostensituation der Lieferanten unter Anwendung verschiedener Bestellpolitiken des Kunden verhält. Dabei kommt der Modellierung der Kapazität eine besondere Bedeutung zu. Diese muss so abgebildet werden, dass die Auswirkungen der Bestellpläne auf möglichst vielfältige Art gemessen werden können. Die Kapazitätsplanung des Lieferanten soll aber gleichzeitig nicht den Kern dieser Arbeit bilden,

so dass eine sinnvolle Abstraktionsebene der Realität zu wählen ist. Um dies zu erreichen, soll die Kapazität der Lieferanten so abgebildet werden, dass die Kapazität einer Periode aus der Summe einzelner Kapazitätseinheiten berechnet wird, die entweder geplant werden können oder nicht. Diese Kapazitätseinheiten besitzen vereinfacht angenommen alle eine einheitliche Kapazität und gleiche Kosten. In der Realität können dies z.B. Schichten sein, an denen entweder gearbeitet wird oder nicht. Die maximale Kapazität errechnet sich aus der Anzahl an geplanten Kapazitätseinheiten multipliziert mit der Kapazität pro Einheit. Kurzfristig soll die Kapazität einer Periode gegen Zusatzkosten um einzelne Kapazitätseinheiten bis hin zur Maximalkapazität aufgestockt werden können. Eine kurzfristige Verminderung der Kapazität soll nicht erlaubt werden.

Anforderung 20: Längerfristige Planung der Kapazität (Grobplanung)

Auch die Planung auf Lieferantenseite lässt sich in eine Grob- und eine Feinplanung unterteilen. Um eine sinnvolle Beziehung zwischen den Angeboten der Lieferanten und deren Planungssituation herstellen zu können, ist es im Kontext der Produktionsplanung notwendig, eine längerfristige, aggregierte Kapazitätsplanung für Zeitabschnitte vorzunehmen, die später im Rahmen der Feinplanung konkretisiert wird. Die längerfristige Kapazitätsplanung soll dabei zusammen mit der Planung von Angeboten durchgeführt werden, da Interdependenzen zwischen beiden Planungsbereichen bestehen.

Anforderung 21: Kostenoptimale Losgrößen- und Kapazitätsplanung bei Big-Bucket-Annahme unter Berücksichtigung aller Einflussfaktoren des Szenarios (Feinplanung)

Im Rahmen der Feinplanung besteht die Produktionsplanungsaufgabe der Lieferanten analog zum Kunden hauptsächlich in der Losgrößenplanung, ergänzt um die Planung von Zusatzkapazitäten. Es wird davon ausgegangen, dass alle Produktionsfaktoren vorhanden sind und nicht explizit geplant werden. Dabei soll eine simultane Planung der Produktion und der Kapazität durchgeführt werden, wobei auch Bestellungen anderer Kunden zu integrieren sind. Die Produktionsplanung soll mit ganzzahligen Modellen formuliert und durch mathematische Solver gelöst werden. Bei der Formulierung des Modells muss der Aspekt integriert werden, dass eine Bestellung von Engpassteilen verpflichtend ist, so dass keine Verspätungen erlaubt sind.

Anforderungen an die Lieferplanung

Mit dem Begriff der Lieferplanung wird der Aspekt bezeichnet, dass Lieferanten Einfluss auf die Bestellplanung des Kunden nehmen können. Dabei ist aber immer zu beachten, dass der Kunde nicht auf diese Planung reagieren muss und seine ursprüngliche Entscheidung durchführen kann.

Anforderung 22: Steuerung des Bestellverhaltens durch Angebote (Grobplanung)

Die Grobplanung der Lieferanten soll dazu dienen, dem Kunden basierend auf der Kapazitätssituation Angebote in Form von Rabatten zu unterbreiten, mit dem Ziel, dessen Planung von Flexibilitätskorridoren zu steuern und die eigenen Kapazitäten möglichst auszunutzen. Die Angebote dürfen dabei nicht mehr revidiert werden, sobald sie einmal abgegeben wurden. Daher besteht eine Schwierigkeit darin, diese nicht zu oft und möglichst gezielt anzubringen.

Anforderung 23: Erstellung von Lieferplänen als Vorschlag an den Kunden (Feinplanung)

Das optionale Profit-Sharing-Verfahren bedingt, dass der Lieferant seine Lieferungen teilweise selbst planen kann, um dem Kunden Gegenvorschläge auf seine Bestellpläne zu unterbreiten. Daher soll eine Liefermengenplanung durch den Lieferanten möglich sein, in der dieser, ausgehend von Bedarfsanforderungen des Kunden, Liefervorschläge in Form von variablen Lieferlosgrößen plant und als Vorschlag übermittelt. Die Vorschläge sollen durch einen Solver generiert werden und sind daher als ganzzahlige Modelle zu formulieren.

Anforderungen an die integrierte Produktions- und Lieferplanung

Anforderung 24: Zusammenspiel zwischen Produktionsplanung und Lieferplanung

Die Lieferplanung des Lieferanten im Profit-Sharing-Ansatz soll in dessen Produktionsplanung integriert werden, um Interdependenzen der einzelnen Planungen zu berücksichtigen. Dabei sollen wiederum ganzzahlige Modelle formuliert und durch einen Solver gelöst werden.

Anforderungen an die rollierende Planung

Anforderung 25: Erzeugen von konsistenten Zuständen für die komplette rollierende Planung

Bei der rollierenden Planung der Lieferanten muss in der Grobplanung darauf geachtet werden, dass die Angebote der Lieferanten durch diese im Zeitverlauf nicht mehr zurückgenommen werden können. Eine weitere Vergünstigung zum Vorteil des Kunden soll aber möglich sein. Bei der Planung der Kapazitäten muss darauf geachtet werden, dass diese ab einem bestimmten Abstand zur Heutelinie nur noch vergrößert werden dürfen. Dabei ist beim Übergang der Kapazitäten von der Grob- in die Feinplanung darauf zu achten, dass eine konsistente Übergabe entsteht. In der Feinplanung muss berücksichtigt werden, dass einmal geplante Kapazitäten gebucht bleiben und bei der nächsten rollierenden Planung bereits berücksichtigt werden.

Anforderung 26: Anforderung an rollierende Feinplanung: Gewichtung der Perioden

Analog zur Planungsdomäne des Kunden soll es möglich sein, relevante Kostenparameter so zu definieren, dass zeitlich nähere Perioden stärker gewichtet werden als spätere. Wird eine integrierte Lieferantenplanung zur Erstellung von Gegenvorschlägen durchgeführt, so ist dieser Aspekt ebenfalls zu berücksichtigen.

3 STAND DER TECHNIK

„Pigmaei gigantum humeris
impositi plusquam ipsi gigantes
vident "

(Lucan)

3.1 ANSÄTZE ZUR SCHAFFUNG EINER KOOPERATIVEN KUNDEN-LIEFERANTEN-BEZIEHUNG

3.1.1 VERTRAGLICHER ASPEKT DER KOOPERATION – FLEXIBLE KONTRAKTE

Zur Regelung der Zusammenarbeit in einer kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung existieren eine Vielzahl unterschiedlicher Vertragsmodelle[109], die durch verschiedene Merkmale charakterisiert sind. Da einzelne Merkmale zum Teil in verschiedenen Vertragsmodellen angewendet werden, ist eine eindeutige Charakterisierung der Vertragsmodelle schwierig und die Vorschläge zur Charakterisierung der Verträge bzw. deren Einordnung in bestimmte Kategorien unterscheiden sich meist von Autor zu Autor. Iliev unterteilt die Verträge in die Kategorien Rücknahmeverpflichtungen, Mindestabnahmemengen, Optionen und flexible Abnahmemengen.[110] In [TNA99] wird eine andere Klassifikation verfolgt, indem acht Vertragsklauseln als Kriterien definiert werden, um Vertragsmodelle zu charakterisieren.[111] Wiederum eine andere Unterteilung der Vertragsmodelle wird in [GDL05] vorgenommen, indem sieben Arten von unterschiedlichen Verträgen hinsichtlich ihrer Preis- und Kapazitätsvereinbarungen unterschieden werden.[112] Die für diese Arbeit wichtigsten Eigenschaften der Verträge bestehen in der Vereinbarung von Rabatten[113], der Vereinbarung von Mindestabnahmemengen und der Absprache über vorzuhaltende Flexibilitäten.[114]

---

[109] Diese werden im Englischen als „Supply Contracts" oder „Supply Chain Contracts" bezeichnet.
[110] Vgl. [Ilie07].
[111] Diese Kriterien sind: Spezifikation der Entscheidungsrechte, Preisgestaltung, Mindestabnahmeklauseln, Mengenflexibilität, Rückkauf- oder Rückgabepolitiken, Aufteilungsregeln, Lieferzeit und Qualität.
[112] Die sieben Vertragstypen sind: Wholesale Price, Quantity Discount, Buy Back, Revenue Sharing, Quantity Flexibility, Sales Rebate und Capacity Reservation.
[113] Im Gegensatz zu Abschnitt 2.3 werden in diesem Kontext nicht Rabatttypen an sich, sondern das gezielte Einsetzen von Rabatten zur Beeinflussung von Kundenbestellungen durch den Lieferanten verstanden. Da dies eher den kurzfristigen Maßnahmen zuzuordnen ist, erfolgt eine Erläuterung in Abschnitt 3.1.2.
[114] Im Folgenden werden ausschließlich Arbeiten betrachtet, die sich mit Mindestabnahmemengen für einen gesamten Zeithorizont oder mit flexiblen Absprachen im Kontext einer rollierenden Planung beschäftigen. Themengebiete wie Optionen oder Rücknahmeverpflichtungen werden vernachlässigt. Einen ausführlichen Überblick über den gesamten Themenbereich „Flexibilität in Rahmenverträgen" gibt u.a. Iliev in seiner gleichnamigen Dissertation [Ilie07]. Ein ausführlicher Überblick über Supply Chain Verträge findet sich u.a. in [Cach03].

Flexibilitätsorientierte Kontrakte werden häufig im Bereich der Elektronikindustrie sowie der Öl- und Gasversorgung sowie gelegentlich auch von Automobilherstellern eingesetzt.[115] Mit ihrer Arbeit [BaAn95] setzten Bassok und Anupindi einen Grundstein für die weitere Forschung im Bereich der flexibilitätsorientierten Kontrakte, indem sie eine auf Prognosen basierende rollierende Planung durch den Käufer vorschlugen, die den Planungshorizont von einem Jahr umfasst. Bei diesem auch als „Rolling Horizon Flexibility" bezeichneten Verfahren können die initialen Prognosen durch den Käufer monatlich innerhalb bestimmter Grenzen angepasst werden, wobei die Lagerkosten des Kunden den Treiber für die Planung darstellen. Wichtige Annahmen sind neben der abnehmenden Flexibilität ein stochastischer Bedarf, der durch den Käufer erfüllt werden muss, und eine Vernachlässigung der Lieferzeit.[116]

Ein ähnlicher, ebenfalls rollierender und in der Praxis weit verbreiteter Ansatz zur flexiblen Koordination ist die Abstimmung mittels Quantity Flexibility Kontrakten.[117] Diese Kontrakte wurden das erste Mal in [LPW97] als Antwort auf Ineffizienzen in Supply Chains vorgeschlagen und werden in [TsLo99] ausführlich untersucht. Dabei stellt das durch Tsay und Lovejoy aufgestellte Modell laut Iliev den gegenwärtigen Stand der Technik im Bereich der flexiblen Koordination der Bestellmengen dar.[118] In Quantity Flexibility Kontrakten werden die voraussichtlichen Bedarfe rollierend koordiniert, indem dem Käufer die Möglichkeit gegeben wird, Bestellungen mit der Zeit zu revidieren oder aufzustocken. Dabei wird vertraglich eine maximale prozentuale Änderung des periodischen Bedarfs pro Planungsperiode festgelegt. Der Lieferant ist verpflichtet, alle Änderungen dieser Bedarfe innerhalb des festgelegten Prozentsatzes auf jeden Fall zu decken. Gleichzeitig ist der Käufer aber auch verpflichtet, die minimal vereinbarte Menge abzunehmen, auch wenn diese Menge den Bedarf übersteigt. Abbildung 3.1 zeigt die Verwendung von Quantity Flexibility Kontrakten in einem dezentralisierten Supply Chain Ausschnitt.

---

[115] Vgl. [AmBo09].

[116] Ebenfalls 1995 leistet Tsay in [Tsay95] einen weiteren Beitrag im Bereich der flexiblen Kontrakte. Dabei unterstellt er, dass der Käufer die abzunehmende Menge für eine Saison schätzt und diese durch den Zulieferer bestätigt wird. In einem Kontrakt wird vereinbart, dass diese Menge durch den Käufer nur um eine bestimmte Menge nach unten abweichen darf und dass der Zulieferer eine gewisse Mehrkapazität einräumt. Diese beiden ersten Arbeiten unterscheiden sich dahingehend, dass in [BaAn95] eine Mengenvereinbarung über einzelne Perioden erfolgt und in [Tsay95] eine Mindestabnahmemenge über einen gesamten Planungszeitraum als Basis des Kontraktes dient. Weitere wichtige Arbeiten in diesem Forschungsfeld erfolgten wiederum durch Bassok und Anupindi. In ihrer Arbeit [BaAn97] verwenden sie einen Mindestabnahmemengen-Ansatz, indem sie ihr vorheriges Modell dahingehend ändern, dass der Käufer zumindest eine Mindestmenge eines bestimmten Produktes in einem vordefinierten Zeitbereich abnehmen muss. Wird diese Mindestmenge abgenommen, so erhält der Käufer als Belohnung einen Rabatt auf die komplette Bestellmenge. Der Käufer versucht seinen Plan zu optimieren, wobei die Bedarfe einer identischen, unabhängigen Verteilung folgen. In ihrer Arbeit [AnBa99] wird wiederum ein rollierender Ansatz verfolgt, indem der Käufer zu Beginn initiale Prognosen für jede Periode des Planungshorizontes aufstellt, die er anschließend innerhalb gewisser Grenzen anpassen kann. Aufbauend auf der Arbeit von Bassok und Anupindi wurden weiterführende Ansätze entwickelt. In [MoNa00] wird ein Ansatz vorgestellt, der von einem stochastischen Bedarf ausgeht und fixe und proportionale Kosten für Kapazitätsanpassungen unterstellt. Als Resultat dieser Arbeit geht hervor, dass die Varianz an Bestelleingängen beim Zulieferer sinkt, wenn Mindestabnahmemengen vereinbart werden. In [ChKr01] wird ein Mindestabnahmemengen-Kontrakt untersucht, der das Modell von Bassok und Anupindi für einen nichtstationären Bedarf anpasst und verschiedene Preise für normale Bestellungen und vertragsgebundene Bestellungen annimmt. Aufgrund dieser Preise werden die Kosten der Strategien der normalen und der vertragsbedingten Bestellung verglichen, wobei auch ein Lager in die Betrachtung einfließt.

[117] Diese werden im Englischen als Quantity Flexibility Contracts bezeichnet. In [TsLo99], [Tsay99] und [Lari99] werden einige Anwendungsbeispiele der Kontrakte beschrieben, die sowohl zwischenbetrieblich als auch innerbetrieblich zwischen verschiedenen Abteilungen angewandt werden können (vgl. [TsLo99]).

[118] Vgl. [Ilie07].

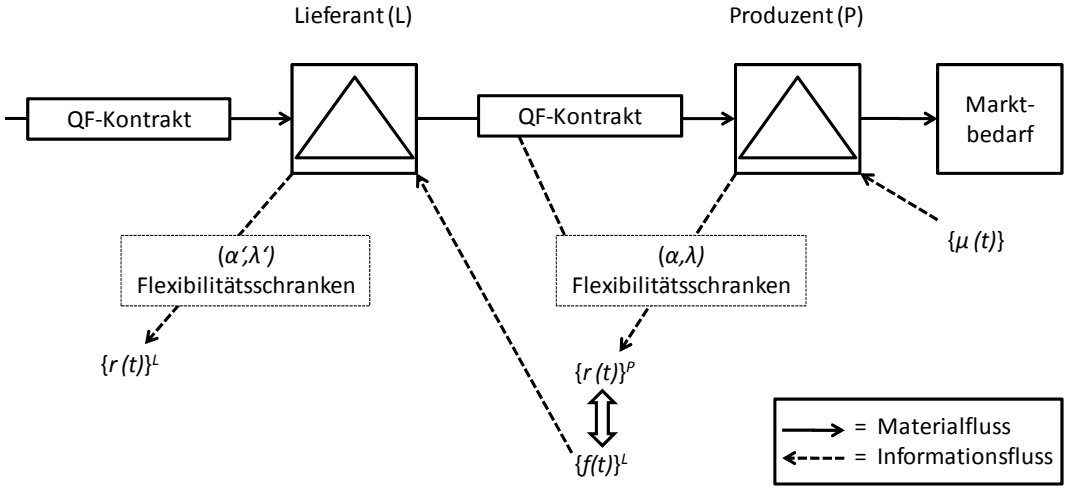


Abbildung 3.1: Quantity Flexibility Kontrakte (angelehnt an [Tsay99])

Der dargestellte Supply Chain Ausschnitt besteht aus einem Lieferanten und einem Produzenten, der sich mit einem stochastischen Marktbedarf $\{\mu(t)\}$ konfrontiert sieht. Der Produzent versorgt den Lieferanten mit einem Bedarfsmengenplan $\{r(t)\}^P$, der zum Lieferplan $\{f(t)\}^L$ des Lieferanten wird. Dieser wiederum leitet seinen Bedarfsmengenplan $\{r(t)\}^L$ an seinen Unterlieferanten weiter, wobei auch diese Beziehung den zwischen beiden Parteien erarbeiteten vertraglichen Regelungen bzgl. der prozentualen Ober- und Untergrenzen gehorcht. Dabei werden zwischen jedem Knoten prozentuale Werte (α, λ) angegeben, die Schranken bestimmen, in denen der jeweilige Kunde seinen Bedarfsmengenplan revidieren kann. Diese Parameter sind abhängig von der Zeit, wobei die Höhe der eingeräumten Flexibilität stetig kleiner werden sollte, je näher ein Zeitabschnitt an die Heutelinie heranrückt.[119] Die Vorgehensweise wird zwischen allen Mitgliedern der Supply Chain angewandt und wiederholt sich für jede zeitliche Periode, indem eine rollierende Planung mit aktualisierten Schätzungen durchgeführt wird.[120]

[119] Die Bevorzugung einer Partei, die evtl. durch die Quantity Flexibility Kontrakte hervorgerufen wird, kann laut [TsLo99] durch das richtige Setzen der Flexibilität entschärft werden.

[120] Seit der Publikation der Quantity Flexibility Kontrakte wurden weitere erwähnenswerte Arbeiten in diesem Forschungsfeld verfasst, die sich mit rollierenden Vereinbarungen beschäftigen. Urban knüpft dabei an den Ansatz von Bassok und Anupindi an und erweitert die rollierenden Vereinbarungen in [Urba00] zu einem Mehrprodukt-Modell mit zusätzlichen Restriktionen. In [TGN+05] wird der Ansatz der robusten Optimierung auf den rollierenden Ansatz angewendet. Einen weiteren Beitrag liefern Bassok und Anupindi, die in [BaAn08] ein generelles Modell vorstellen, um eine Lösung für die Bestellpolitik des Käufers zu erhalten. Es werden sowohl stationäre als auch nichtstationäre Bedarfe betrachtet und vielfältige Untersuchungen hinsichtlich der Planung und Auswirkung von Flexibilität innerhalb von rollierenden Vereinbarungen getroffen. Eine interessante Erkenntnis ist, dass eine signifikante Verringerung der Flexibilität nur zu geringen Mehrkosten führt. In [AmBo09] wird ebenfalls ein rollierender Ansatz untersucht, der eine nichtstationäre Nachfrage unterstellt und kontraktbedingte Restriktionen des Zulieferers berücksichtigt. Dabei wird mittels Simulation einer rollierenden Planung untersucht, inwieweit sich verschiedene Ausprägungen der Kontrakte auf die Supply Chain auswirken. Auswirkungen unterschiedlicher Vertragstypen werden in [LiKo99] und [Brus05] betrachtet, indem nicht eine Vertragsart, sondern jeweils drei unterschiedliche Vertragsformen untersucht werden. [LiKo99] gestehen dabei dem Kunden neben der mengenmäßigen Flexibilität auch eine zeitmäßige Flexibilität zu. Die Modellannahmen bestehen in einem deterministischen Bedarf und einem unsicheren Preis eines auch am freien Markt verfügbaren Produktes. Die in [Brus05] aus Kundensicht untersuchten und verglichenen Vertragsformen sind Mindestabnahmemengen und Quantity Flexibility Kontrakte sowie als Alternative die Vernachlässigung eines Vertrages. In [SZZ04] werden ebenfalls Auswirkungen von Vertragstypen analysiert, indem der Ansatz der Mindestabnahmemengen mit einem Anreiz-orientierten Just-In-Time-Ansatz verglichen wird.

Ein Ansatz, der sich nicht direkt mit der Ausgestaltung und Ausnutzung von Vertragstypen beschäftigt, aber ebenfalls Überlegungen zur flexiblen Abstimmung von Kapazitäten anstellt, ist die von Hegmanns und Hellingrath vorgeschlagene Dezentrale Netzwerkplanung.[121] Die Dezentrale Netzwerkplanung ist ein Planungskonzept, das im Rahmen der taktischen Netzwerkplanung eine kollaborative Abstimmung des Kapazitätsbedarfs und -angebots zwischen Partnern der Supply Chain vornimmt. Der Kontext liegt dabei auf einer kundenauftragsbezogenen Produktion und dem Built-to-Order-Konzept.[122] Um eine Anpassung an geänderte Marktgegebenheiten vornehmen zu können, werden mögliche Kapazitätsanpassungen der Supply Chain Teilnehmer betrachtet und kostenmäßig bewertet. Die Abstimmung erfolgt durch einen agentenbasierten Ansatz[123], wobei jeder Supply Chain Partner durch einen Agenten repräsentiert wird. Der wesentliche Aspekt in diesem Konzept ist, dass die bereitgestellten Kapazitäten zu „*aushandelbaren Objekten zwischen den Partnern werden*“ [HeHe08], d.h., dass die Kapazitätsvereinbarungen durch einen automatisierten Prozess fortwährend an die sich ändernden Bedarfe angepasst werden sollen. Somit wird vor der eigentlichen Bauperiode des Produktes eine grobe Spezifizierung eines Kapazitätskorridors erarbeitet, der Grenzwerte für das minimale und maximale Kapazitätsangebot des Lieferanten für jede Periode des Planungshorizonts vorsieht.[124] Zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Vereinbarung durch eine veränderte Bedarfssituation angepasst werden muss, beginnt ein kollaborativer Prozess zur Anpassung der Kapazitätskorridore an die neue Marktsituation. Dies geschieht durch Reservierung von Zusatzkapazitäten unter gleichzeitiger Beachtung der dadurch entstehenden Kosten. Eine Annahme besteht darin, dass außerhalb der vertraglich vereinbarten Grenzen zusätzlich entstehende Kosten kompensiert werden müssen. Dies geschieht im Rahmen des Verfahrens durch ein Reservierungsentgelt, „*welches unabhängig von der Nutzung der Kapazitäten vom Kunden gezahlt werden muss*“ [HeHe08].

3.1.2 Planerischer Aspekt der Kooperation

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt die relevanten Arbeiten im Bereich der eher langfristig orientierten Kooperation zwischen Kunde und Lieferant untersucht wurden, wird in diesem Abschnitt ein Überblick über den relevanten Stand der Technik bzgl. der Kooperation im kurzfristigen Zeithorizont gegeben. Dabei ist das Ziel dieser Kooperation, möglichst günstige Bestell- bzw. Lieferpläne für alle Parteien zu generieren.

Die im Folgenden vorgestellten Methoden sind in der Literatur häufig unter anderen Aspekten gegliedert, was hauptsächlich durch den rollierenden Aspekt der Planung bedingt ist. So fällt bspw. die Steuerung des Kaufverhaltens eines Kunden durch einen Lieferanten oftmals in den Bereich der Kontraktgestaltung, da davon ausgegangen wird, dass es sich um eine einmalige Entscheidung in einem deterministischen Umfeld mit oftmals auch nur einer Betrachtungsperiode handelt.[125] Im Rahmen dieser Arbeit sollen Rabatte im rollierenden Kontext aber auch dazu dienen, das Bestellverhalten des Kunden zu steuern und damit die Bestell- bzw. Lieferpläne zu koordinieren. In diesem Kontext ist dies also durchaus ein planerischer und nicht nur ein vertraglicher Aspekt.[126]

---

[121] Vgl. [HeHe08].
[122] Zum Built-to-Order Konzept vgl. u.a. [PaGr08].
[123] Zum Agenten-Ansatz vgl. u.a. [DPR04].
[124] Dies entspricht also im Wesentlichen dem Gedanken der rollierenden Vereinbarungen.
[125] Vgl. u.a. [ZiSc01].
[126] Dudek merkt bspw. an, dass es schwer möglich ist, eine Koordination durch einmaliges Setzen der Vertragsparameter zu ermöglichen (vgl. [Dude04]).

3.1.2.1 Ansätze für die kooperative Grobplanung

3.1.2.1.1 Steuerung der Beschaffung durch Rabatte – Ansatz nach Monahan

Wird von der Qualität und der Zuverlässigkeit der Lieferanten abstrahiert, so ist der Preis die einzige Möglichkeit, das Bestellverhalten des Kunden zu beeinflussen. In der Realität werden wie in Abschnitt 2.3 erwähnt häufig Mengenrabatte genutzt, um mengenabhängige Preise zu definieren.

In seiner Ausarbeitung eines Mengenrabatt-Preismodells zur Steigerung des Verkäuferprofits präsentiert Monahan eine wirtschaftliche Analyse zur Strukturierung von Bedingungen eines „optimalen" Mengenrabattpreisschemas, das vom Zulieferer in seinen Bemühungen um größere Bestellungen des Abnehmers genutzt werden kann.[127] Das durch ein mathematisches Modell festgelegte Rabattschema resultiert in einer Gewinnmaximierung des Lieferanten, allerdings ohne dass dem Abnehmer zusätzliche Kosten entstehen. Es wird angenommen, dass der Kunde als Erster seine individuell optimale Bestellpolitik unabhängig vom Lieferanten und seinen Kosten festlegt.[128] Damit ergibt sich die individuell optimale Bestellpolitik aus der individuell optimalen Bestellmenge des Kunden und den daraus resultierenden, minimalen entscheidungsrelevanten Periodenkosten. Durch die Annahme einer unendlichen Produktionsgeschwindigkeit folgt, dass die Losgröße des Lieferanten mit der Liefermenge an den Kunden übereinstimmt und beim Lieferanten keine Lagerkosten entstehen. Des Weiteren wird implizit angenommen, dass Transportkosten unberücksichtigt bleiben. Wie Monahan ausführt, würden es viele Zulieferer im Allgemeinen gerne sehen, dass ihre Abnehmer größere Bestellungen aufgeben, da dieses für sie dreifachen Vorteil bringen würde: niedrigere Auftragsbearbeitungskosten, weniger Produktionsumrüstungen und damit niedrigere Rüstkosten sowie niedrigere, vom Mengenrabatt profitierende Transportaufwendungen. Durch Preisnachlässe versucht Monahan den Kunden dazu zu bewegen, größere Mengen mit einer niedrigeren Häufigkeit und damit das K-fache seiner individuell optimalen Bestellmenge zu ordern. Monahans Analyse präsentiert im Ergebnis einen Mengenrabattplan, der dem Zulieferer durch das Anbieten eines attraktiven Preisnachlasses die Möglichkeit gibt, seinen Abnehmer zu einer größeren Bestellmenge zu bewegen. Aus diesen Überlegungen ermittelt Monahan einen Rabatt, der aus Kundensicht mindestens notwendig ist, um dessen gestiegene Liefer- und Lagerkosten auszugleichen (vgl. Formel (3.1)). Diesen Rabatt bezeichnet er als „break even price discount" $d_k(BE)$.

$$d_k(BE) = \sqrt{2D_1S_1H_1P_1} \cdot \frac{(K-1)^2}{2D_1K + K^2Q_1H_1} \tag{3.1}$$

Dabei bezeichnet D_1 den Jahresbedarf des Kunden, S_1 die fixen Bestellkosten, H_1 die prozentualen jährlichen Lagerkosten, P_1 den Verkaufspreis ohne Rabatt und Q_1 die aktuelle Bestellmenge des Kunden. Durch weitere Umformungen errechnet Monahan einen Faktor K^*, der die Bestellmengensteigerung angibt, ab der der Lieferant dem Kunden einen Mengenrabatt gewährt. K^* errechnet sich wie folgt:

$$K^* = \sqrt{\frac{S_2}{S_1} + 1} \tag{3.2}$$

[127] Vgl. [Mona84].
[128] Dazu werden zunächst die jährlichen Gesamtbestellkosten inklusive Lagerkosten ermittelt und anschließend die klassische Losgrößenformel (vgl. [Harr13]) in die Kostenberechnung substituiert.

Dabei bezeichnet S_2 die Kosten für die Auftragsabwicklung und Rüstkosten pro Bestellung. Die Auswirkungen einer möglichen Bestellsteigerung sind am größten, wenn S_2 bedeutend größer als S_1 ist.

Die bis hierhin vorgestellten Formeln dienen dazu, den Profit des Lieferanten zu steigern. Für einen ausgeglicheneren Rabatt wird durch Monahan folgender „revised unit discount" vorgeschlagen:

$$d_K^1 = (\frac{S_2}{Q_1}) \cdot \frac{(K-1)}{K} \tag{3.3}$$

Eine interessante Feststellung von Monahan besteht darin, dass dieser höhere Rabatt zu der gleichen Bestellmengenerhöhung führt wie die Berechnung aus Lieferantensicht (vgl. (3.2)). Daher zieht er den Schluss, dass die Menge des Rabattsprungs immer gleich ist, egal welche Partei die Regeln bestimmt.

Weitere erwähnenswerte Arbeiten im Bereich der Rabattbestimmung sind u.a. [Dola78], [Bane86b], [RoLe85], [LeRo86], [DaSr87], [ChMa88] und [ViWa03] für den preisunelastischen und [WeWo93], [PaWa94], [Abad94], [Weng95], [CFZ01], [Wang05] und [WaWa05] für den preiselastischen Fall.

3.1.2.1.2 Planung der Flexibilitätskorridore – Robuste Optimierung

Die Entscheidung, welche Flexibilitätskorridore in einer Grobplanung geplant werden, soll unter Berücksichtigung der längerfristigen Quoteneinhaltung kostenminimal getroffen werden, obwohl die zukünftige Situation Unsicherheiten unterliegt. Methoden, die Ansätze zur Lösung dieser Aufgabe bieten, sind die stochastische und die robuste Optimierung.

Das Gebiet der stochastischen Optimierung erweitert die klassische Optimierung um Modelle und Methoden, die Unsicherheit berücksichtigen. Dazu werden potentielle Schwankungen in Modellen der stochastischen Optimierung durch Zufallsvariablen mit verschiedenen Verteilungen abgebildet.[129] Stochastische Optimierungsmodelle sind allerdings limitiert durch eine alleinige Betrachtung des Erwartungswert-Kriteriums als Ersatzzielfunktion.[130] Dadurch können die Anforderungen, die an eine robuste Planung gestellt werden, nicht erfüllt werden. Ziel einer allgemeinen robusten Planung ist es, eine Entscheidung unter Unsicherheit zu treffen, die unabhängig von der zukünftig eintretenden Situation möglichst gute Ergebnisse liefert. Robuste Planung zielt also auf ein ausgeglichenes Maß an Stabilität und Flexibilität unter Erreichung eines möglichst hohen Anspruchsniveaus und gleichzeitiger Vermeidung von Nervosität ab. Dabei wird ein stabiler Grundplan festgelegt, der bei Bedarf mit flexiblen Erweiterungsplänen an die jeweilige Umweltlage angepasst werden kann.[131] Übertragen auf den Bereich der Planung und ihre Ergebnisse (Pläne) stellt Robustheit die Anforderung an Planungsverfahren, dass trotz Veränderungen von Eingabe-Parametern (Unsicherheit) gültige Ergebnisse geliefert werden. Auch der resultierende Plan soll unabhängig von der letztlich eintretenden Zukunft gute Ergebnisse hinsichtlich der Zielausrichtung liefern.

Die Methoden der robusten Optimierung stellen eine Erweiterung um die Berücksichtigung der Robustheitsanforderungen dar. Scholl beschreibt robuste Optimierung als *„Modellierungs-*

[129] Die drei wichtigsten Ansätze, um unsichere Parameter zu integrieren, wurden von Madansky 1960 eingeführt (vgl. [Mada60]).
[130] Vgl. [Scho01].
[131] Vgl. [GeKu09] und [OtOb08].

möglichkeiten und Optimierungsmethoden [...] die für Entscheidungssituationen mit ausgeprägter Unsicherheit der verfügbaren Informationen bei grundsätzlicher Risikoscheu der Entscheidungsträger besonders geeignet sind und auf die Ermittlung robuster Lösungen abzielen" [Scho01]. Robuste Optimierung kann also als spezielle Erweiterung der stochastischen Optimierung verstanden werden.[132]

Einstufige robuste Optimierungsmodelle ersetzen analog zu den stochastischen Modellen jeden unsicheren Parameter durch einen deterministischen Wert wie z.B. den Erwartungswert.[133] Dieser wird dann zusätzlich durch Sicherheitskorrekturen angepasst.[134] Einstufige Modelle sind durch die Ersetzung der Unsicherheit durch den Erwartungswert nicht in der Lage, sporadische und einmalige Störungen effizient zu kompensieren, da diese durch einen einzelnen Wert nicht adäquat modelliert werden können. Dies kann jedoch durch mehrstufige Modelle erreicht werden.[135] Dabei wird zunächst ein Grundplan ermittelt, der dann durch flexible Ergänzungspläne an das tatsächlich eingetretene Szenario angepasst werden kann.

3.1.2.2 Ansätze für die kooperative Feinplanung

Die bisher vorgestellten Ansätze lassen sich im Kontext dieser Arbeit der Grobplanung zuordnen, indem sie das Potential besitzen, für einen längeren Zeitraum (z.B. einen Monat) aggregierte Bestell- bzw. Liefermengen mittels der Festlegung von Flexibilitätskorridoren zu koordinieren. Im Rahmen der Feinplanung besteht die Aufgabe darin, aus den zuvor festgelegten Flexibilitätskorridoren unter Einhaltung weiterer Restriktionen konkrete Bestell- bzw. Lieferpläne so aufeinander abzustimmen, dass im Gesamten eine möglichst gute Lösung entsteht. Im Folgenden werden relevante Ansätze für diese Aufgabe beschrieben.

3.1.2.2.1 Upstream Planning

In der Praxis werden die Bestellpläne eines Kunden an seine Lieferanten zumeist durch das sogenannte Upstream Planning, oft auch als Top Down Planning bezeichnet, koordiniert.[136] Beim Upstream Planning wird die Planung Planungsstufe für Planungsstufe ausgeführt und das Ergebnis in Form von Bestellaufträgen an die jeweils nächste Stufe weitergegeben. Die Lieferanten erhalten die Bestellpläne ihrer Kunden als feste Vorgaben, ohne diese beeinflussen zu können. Basierend auf den Bestellplänen verschiedener Kunden und ihren eigenen Restriktionen werden wiederum Bestellpläne an die Lieferanten der Lieferanten generiert usw. Die Umsetzung des Upstream Planning kann bspw. durch die Kopplung zweier CLSP-Modelle erfolgen (vgl. Abschnitt 3.2.1), indem die Bestellungen aus den Losgrößen des Kunden abgeleitet und als Bedarfe an die Lieferanten weitergeleitet werden. Laut [Dude04] ist das Upstream Planning der rein isolierten Planung[137] überlegen, da konsistente Pläne zwischen den Parteien entstehen und Ineffizienzen durch nichtsynchronisierte Daten vermieden werden können.[138]

---

[132] Vgl. [GeKu09].
[133] Vgl. [Scho01].
[134] Beispiele für Sicherheitskorrekturen sind zusätzliche Sicherheitspuffer (z.B. Sicherheitsbestände in Lagern), Zu- und Abschläge auf Variablen und die Bereitstellung von Reservekapazitäten. Dabei dienen die vorgehaltenen Reserven und Puffer als Ausgleichsmöglichkeiten von unsicherheitsbedingten Schwankungen. Zu- oder Abschläge erhöhen die Wahrscheinlichkeit, dass das tatsächlich eintretende Szenario günstiger ist, als das der Planung zu Grunde gelegte Szenario (vgl. [GeKu09]).
[135] Vgl. [GeKu09].
[136] Vgl. [ZiSc01]. Zum Upstream Planning vgl. auch [BCo93] und [Dude04].
[137] Eine rein isolierte Planung bedeutet, dass nur Bestellabrufe, aber keine längerfristigen Bestellpläne kommuniziert werden.
[138] Diese Ineffizienzen können u.a. hohe Lagerbestände an den Systemgrenzen hervorrufen.

Allerdings weist das Upstream Planning im Sinne der Koordination zwischen zwei Parteien erhebliche Nachteile auf, da ein Kunde bei seiner Planung die Situation seines Lieferanten nicht berücksichtigt und Bestellpläne übermittelt, die aus einer Kostenminimierung entstanden sind, die nur interne Ziele des Kunden berücksichtigt. Eine Messung der Nachteile, die durch Upstream Planning im Vergleich zu einem Zentralplanungsansatz entstehen, wird in einer dreistufigen Supply Chain in [SiEr01] vorgenommen. Dabei schneidet das Upstream Planning durchschnittlich um 14,1% schlechter ab als die Zentralplanung. Zusätzlich wurde festgestellt, dass die Lücke umso größer ist, je größer der Anteil der Kosten, der durch die Lieferanten zu tragen ist, gemessen an den Gesamtkosten ist.

3.1.2.2.2 Hierarchische Planung nach Zimmer

Ein Ansatz, der versucht, die Nachteile des Upstream Planning zu reduzieren, aber gleichzeitig die Annahme dezentraler Planung aufrecht erhält, ist die hierarchische Planung.[139] Bezogen auf die Anwendung in einer Kunden-Lieferanten-Beziehung erweitert die hierarchische Planung das Upstream Planning dahingehend, dass dem rein internen Kundenmodell zusätzlich Informationen über das Lieferantenmodell hinzugefügt werden, um eine Antizipation des Lieferantenverhaltens zu ermöglichen. Beim Konzept der hierarchischen Planung kann für einen zweistufigen Fall immer eine Unterscheidung in eine Top-Ebene und eine Basis-Ebene vorgenommen werden, wobei die Top-Ebene das Zielsystem der Basis-Ebene beeinflusst.[140] Je nachdem, in welchem Umfang das Lieferantenmodell in das Kundenmodell integriert wird, kann von einer nichtreaktiven oder einer reaktiven Antizipation gesprochen werden.[141] Bei einer nichtreaktiven Antizipation werden lediglich Restriktionen des Lieferanten mit in das Kundenmodell aufgenommen, um eine zulässige Lösung garantieren zu können. Eine reaktive Antizipation versucht darüber hinaus Kosten, die dem Lieferanten durch das Kundenmodell entstehen, zu antizipieren. Durch eine Feedbackschleife werden die Konsequenzen, die dem Lieferanten durch einen Kundenplan entstehen, zurückgemeldet und diese Information wird genutzt, um Pläne anzupassen, bis ein für alle Parteien zufriedenstellender Plan erstellt wird.

Ein hierarchischer Ansatz für die Koordination einer Kunden-Lieferanten-Beziehung wird durch Zimmer vorgestellt.[141] Dabei wird davon ausgegangen, dass der Lieferant gegen Zahlung von Strafkosten von einzelnen Kundenbestellungen abweichen kann, allerdings in Summe die geforderte Menge liefern muss. Der Lieferant versucht seine Kosten zu minimieren, die aus Produktionskosten, Strafkosten für abweichende Bestellungen und Kosten für Kapazitätsaufstockungen bestehen. Entstehen durch die Planung abweichende Lieferungen, muss der Kunde eine Neuplanung durchführen. Zimmer schlägt sowohl eine nichtreaktive als auch eine reaktive Variante zur Antizipation vor, die jeweils anhand verschiedener Informationsasymmetrien untersucht werden. In der nichtreaktiven Variante werden Lieferanteninformationen in das Kundenmodell integriert, indem maximale Bestellmengen sowie eine Beschränkung der Zusatzkapazität[142] betrachtet werden. In der reaktiven Variante löst der Kunde zunächst ein Zentralmodell des gesamten Supply Chain Ausschnitts, dessen resultierende Bestellungen die Basis für das antizipierte Lieferantenmodell bilden. Dabei werden die Strafkosten auf null gesetzt. Normalerweise reagiert der Lieferant auf den Bestellplan des Kunden mit einem abweichenden Lieferplan. Ist dies der Fall, so werden die Strafkosten erhöht und das

[139] Zur hierarchischen Planung vgl. u.a. [HaMe75], [Schn94] und [ZiSc01].
[140] Im betrachteten Fall bildet die Kundenebene die Top-Ebene und die Lieferantenebene die Basis-Ebene. Ist der Planungsablauf umgekehrt, so ändern sich die Rollen entsprechend.
[141] Vgl. [ZiSc01].
[142] Diese Beschränkung soll dafür sorgen, dass der Lieferant gewillt ist, pünktlich zu liefern.

antizipierte Lieferantenmodell wird erneut gelöst. Durch dieses Vorgehen wird versucht, diejenigen Strafkosten zu bestimmen, die die Bestellungen bestmöglich koordinieren. In Anlehnung an [SiEr01] vergleicht Zimmer die Lösungen ihrer Verfahren mit denen einer Zentralplanung und dem Upstream Planning. Die nichtreaktive Planung schneidet dabei um 20% besser ab als das Upstream Planning, aber viel schlechter als die Zentralplanung. Dies liegt vor allem daran, dass hohe Kosten durch Zusatzkapazitäten entstanden sind, die durch eine nichtreaktive Antizipation des Kunden genau wie alle anderen Kosten des Lieferanten nicht verhindert werden. Die reaktive Planung liefert dagegen sehr gute Ergebnisse, die im Schnitt nur 8% über denen einer Zentralplanung liegen. Allerdings müssen diese, wie auch in [Dude04] bemerkt wird, zum Teil kritisch betrachtet werden. Der erste Kritikpunkt besteht darin, dass bei der Erstellung des Kundenmodells unterstellt wird, dass der Kunde alle relevanten Informationen besitzt, um ein Zentralmodell lösen zu können. Dies widerspricht der in der Realität zumeist anzutreffenden Situation, in der durch die Lieferanten kein Wille dazu besteht, ihre Kosten- und Kapazitätssituation offen zu legen. Zudem ist die Annahme, dass der Kunde die Strafkostensätze frei bestimmen und in jedem Planungsschritt neu aushandeln kann, fragwürdig. Ein weiterer Kritikpunkt von Dudek ist, dass eine große Zahl an Iterationen notwendig werden kann, um optimale Strafkostensätze zu bestimmen. Nichtsdestotrotz merkt er an, dass durch die Studie viele wertvolle Einsichten in das Forschungsfeld der kooperativen Planung erlangt wurden. Dies sind unter anderem Einsichten darüber, welche Auswirkungen die Art der ausgetauschten Informationen auf die Kosten des Supply Chain Ausschnitts besitzen.

3.1.2.2.3 Profit-Sharing-Ansatz von Dudek

Ein Ansatz zur kooperativen Planung, der Profit-Sharing[143] bei asymmetrischer Information beinhaltet, ist der kooperative Planungsansatz von Dudek.[144] Da Dudek von einer Situation ausgeht, in der nicht alle planungsrelevanten Daten zwischen den Parteien ausgetauscht werden, dies aber für einen hierarchischen Ansatz notwendig wäre, entwickelt er eine verhandlungsbasierte Lösung zur Koordination der Bestellmengen. In der Arbeit wird eine gleichberechtigte Beziehung unterstellt, die das Ziel hat, die Gesamtkosten des betrachteten Supply Chain Ausschnittes zu minimieren.

In einem iterativen Prozess werden Vorschläge für Bestellpläne nach einem Koordinationsschema zwischen den Parteien ausgetauscht (vgl. Abbildung 3.2).

---

[143] Im Rahmen dieser Arbeit wird der in der Literatur häufig vorzufindende Begriff der Seitenzahlungen (side payments) dem Profit-Sharing zugeordnet.

[144] Vgl. [Dude04]. In früheren Quellen wurden Profit-Sharing-Ansätze häufig unter Annahme symmetrischer Information entwickelt. Dabei wird zunächst eine optimale Zentrallösung ermittelt und der dadurch entstehende Gewinn im Anschluss unter Verwendung eines Profit-Sharing-Schemas zwischen Kunde und Lieferant aufgeteilt (vgl. [LiWa07]). In [Goya77] wird vorgeschlagen, den entstehenden Gewinn anhand der Kosten der Parteien aufzuteilen. In [Bane86a] wird basierend auf einer Los-für-Los-Politik ein Joint Economic Lot Sizing Modell, das eine vorteilhafte Preisanpassung für beide Parteien beinhaltet, entwickelt. Die Los-für-Los-Eigenschaft dieses Ansatzes wird in [Goya88] relaxiert, wodurch die Kosten aus Banerjees Ansatz verkleinert und zumindest nicht vergrößert werden konnten. In [JoTh90] werden die Einsparungen aufgeteilt, indem der Käufer für jede Bestellung die Prozesskosten, die dem Lieferanten durch einen Bestellvorgang anfallen, bezahlen muss und der Lieferant im Gegenzug den Verkaufspreis reduziert. In [CoTa99] wird sowohl der Fall der symmetrischen als auch der asymmetrischen Information betrachtet. Dabei werden drei Typen von Kontrakten untersucht. Der erste Kontrakt enthält nur einen Preis p, der zweite Kontrakt zusätzlich zum Preis p eine einmalige Zahlung l und der dritte Kontrakt mehrere Kombinationen aus p und l.

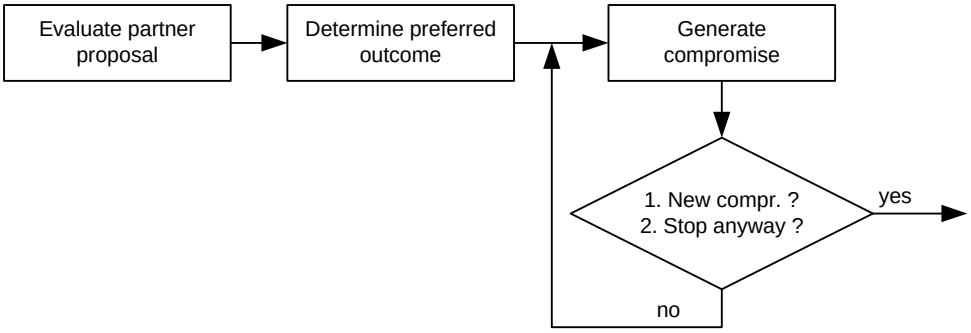


Abbildung 3.2: Iterative Planungsschritte bei Dudek (vgl. [Dude04])

Die iterative Vorgehensweise besteht aus folgenden Schritten:

- **Evaluierung des Vorschlags des Partners:**
  Die Auswertung des erhaltenen Liefer-/Bestellplans erfolgt auf Basis eines mathematischen Modells.[145] Durch Lösung dieses Modells mittels eines Solvers werden die optimalen Losgrößen unter Berücksichtigung der erhaltenen/geforderten Mengen bestimmt.
- **Bestimmung der Kosten des Vorschlags:**
  Die aus dem ersten Schritt resultierenden Losgrößen führen zu Kosten, welche sich u.a. aus Lager-, Produktions- und Lieferkosten zusammensetzen. Mit Hilfe eines Verfahrens werden diese Kosten zunächst einzeln bestimmt und anschließend summiert. Die entstehenden Gesamtkosten definieren die Güte der Lösung.
- **Generierung eines Gegenvorschlags/Kompromisses:**
  Dudek unterscheidet und verknüpft drei verschiedene Vorgehensweisen für die Generierung eines Kompromisses. Zunächst betrachtet er die modellbasierte Generierung. In dieser wird ein mathematisches Modell des Produktionssystems aufgestellt, in welchem jedoch ein höherer Grad an Freiheit eingeräumt wird. Das Lösungsverfahren darf eingeschränkt einzelne Größen, welche vorher durch fixe Parameter abgebildet wurden, variieren, um Kosteneinsparungen zu erzielen. Demnach gilt es den Gewinn zu maximieren, bei möglichst geringer Anzahl an Modifikationen. Dudek beschreibt das Ziel dieses Vorgangs als: „*The purpose of this process step is to find an order/supply pattern with only few and small, but highly cost effective modifications*" [Dude04]. Im nächsten Schritt wird die Abweichung von der Basislösung bestimmt. Je weiter die neue Lösung von der alten abweicht, desto unwahrscheinlicher ist es, dass die andere Partei diesen Vorschlag akzeptiert. Die Abweichung wird mittels eines Distanzmaßes[146] quantifiziert. Hierbei macht sich Dudek die bereits bestehenden Verfahren der Clusteranalyse[147] zu Nutze. Abschließend werden die Kosten, die der aktuelle Vorschlag für die andere Partei nach sich zieht, antizipiert. Auf Basis einer hierarchischen Vorgehensweise[148] werden die Auswirkungen der Veränderungen auf den Supply Chain Partner evaluiert. Diese Bewertung stellt ein weiteres Gütemaß für die Bewertung eines Vorschlags dar.

[145] Bei diesem Modell handelt es sich um ein MLCLSP (vgl. Abschnitt 3.2.2).
[146] *"A distance measure is a metric (or quasi-metric) on the feature space used to quantify the similarity of pattern"* [JMF99].
[147] *„Die Clusteranalyse wird zur Bündelung von Objekten (Klassenbildung) verwendet, d. h. zur Einteilung einer Menge von Objekten in Teilmengen. Mit dem Begriff Objekt wird in der Clusteranalyse die statistische Einheit bezeichnet"* [Kohn04].
[148] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.2.

- **Prüfung der Abbruchbedingung/Erzeugung eines weiteren Vorschlags:**
  In diesem Schritt überprüft Dudek anhand der vorher bestimmten Gütemaße die Qualität der erzeugten Vorschläge. Zum einen sollen schlechte Pläne direkt aussortiert werden, zum anderen wird überprüft, ob es ähnliche Vorschläge schon in vorangegangenen Iterationen des Verfahrens gab.[149] Sind die bisherigen Ergebnisse zufriedenstellend, wird der beste Vorschlag an die andere Partei übermittelt. Falls die bisherigen Pläne nicht den Qualitätsansprüchen des Verfahrens entsprechen, werden weitere Vorschläge erzeugt, wobei andere Parameter zu Grunde gelegt werden.

Der Gesamtablauf des Profit-Sharing bei einem Kunden und einem Lieferanten ist in Abbildung 3.3 dargestellt.

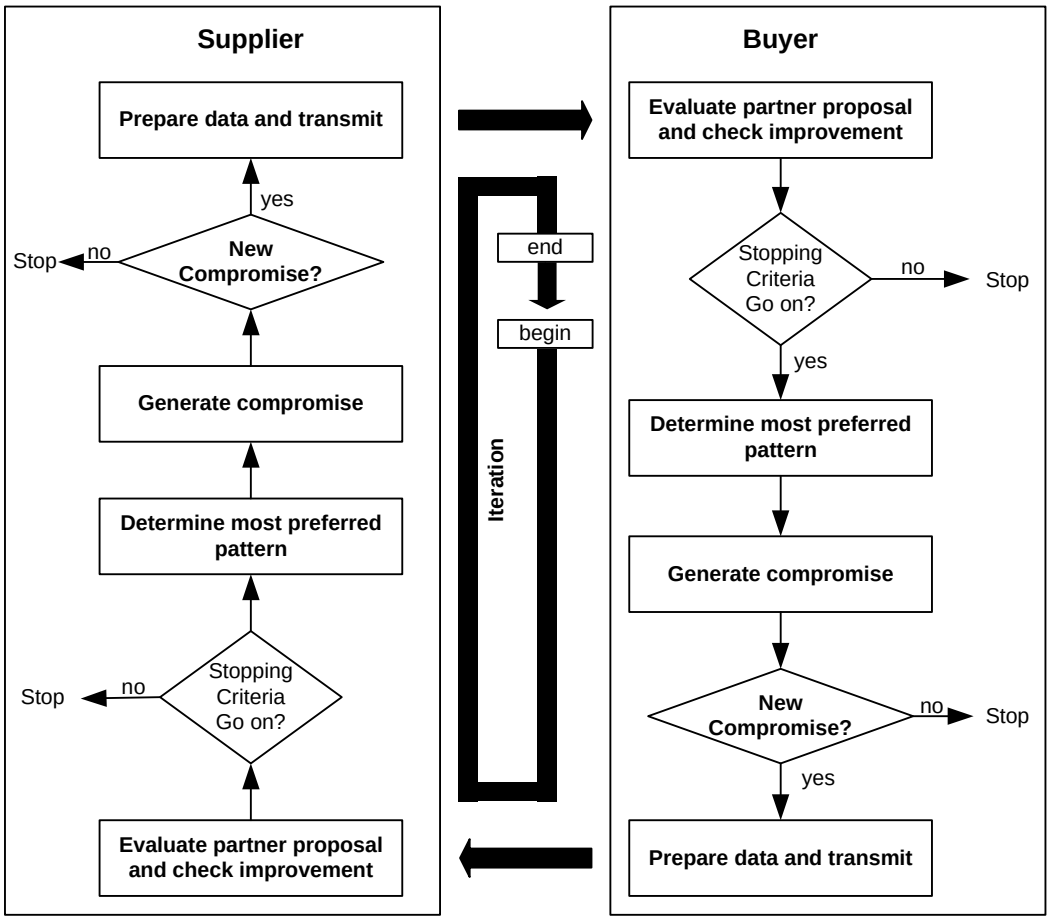


Abbildung 3.3: Ablauf des Profit-Sharing nach Dudek (vgl. [Dude04])

Basierend auf einem Grundverfahren, das einen Kunden und einen Lieferanten beinhaltet und eine Planung für eine Periode durchführt, erweitert Dudek das Verfahren um mehrere Aspekte. Zunächst wird gezeigt, dass ein erweitertes Verfahren auch für mehrere Käufer oder mehrere Lieferanten angewendet werden kann. Zusätzlich wird das Verfahren dahingehend erweitert, dass es in einer rollierenden Planung angewendet werden kann.

Als letzte Erweiterung werden die Zahlungsflüsse zwischen den Parteien diskutiert, die die Grundlage der Verhandlung bilden. Im Sinne der hierarchischen Planung wechseln sich Kunde und Lieferant in ihrer Rolle als Top- und Basis-Ebene ab. Bildet der Kunde die Top-Ebene, so

[149] *"From real life negotiations we know that making the same counter proposal twice is of little value, since the partner's reaction to it is already known"* [Dude04].

bestimmt er den Bestellplan des Lieferanten und übermittelt diesen. Bei einem Gegenvorschlag wird durch den Lieferanten eine Zahlung geboten, die, im Falle einer Zustimmung des Kunden zu dem alternativen Plan, durch den Lieferanten geleistet wird.[150] Ein Aspekt, der in der Arbeit von Dudek angesprochen wird, ist die Problematik, dass Zahlungen auf Grundlage eines Plans vereinbart werden, der aber im Kontext einer rollierenden Planung im Anschluss nicht immer wie vereinbart umgesetzt werden kann. Zur Lösung dieses Problems wurde von Dudek eine Heuristik zur Anpassung der Bonuszahlungen bei Planänderungen entwickelt. Bei dem von Dudek vorgeschlagenen Verfahren bleibt die Kosten- und Kapazitätssituation aller Parteien zumindest weitestgehend geschützt. Ein Problem, das bei Anwendung des Profit-Sharing-Ansatzes auftreten kann, ist die genaue Aufteilung der Einsparungen, die erzielt werden können. Kann der Lieferant durch einen alternativen Lieferplan bspw. 100 Geldeinheiten sparen, so wird er versuchen, möglichst viel von diesem Gewinn für sich zu behalten, und nur einen so großen Teil an den Kunden weitergeben wollen, dass dieser den Vorschlag so eben annimmt.[151] Mögliche Lösungen für diese Problematik werden in [Dude04] aus spieltheoretischer Sicht diskutiert. Zur Bewertung des entwickelten Verfahrens werden die Ergebnisse sowohl mit einem Upstream Planning-Ansatz als auch mit einem Zentralplanungsansatz verglichen. Dabei konnten 70% der ursprünglichen Lücke zwischen dem Zentralplanungsansatz und dem Upstream Planning geschlossen werden. Allerdings merkt Dudek an, dass teilweise erhebliche Rechenzeit erforderlich war, da zumeist mehrere Iterationen durchgeführt wurden, in denen jeweils mehrere Modelle gelöst wurden.

3.1.2.2.4 Koordinationsansatz von Sucky

Die Dissertation von Sucky[152] basiert auf der Annahme, dass zentrale oder hierarchische Planungsansätze praxisrelevante Problemstellungen des Supply Chain Management nicht adäquat abbilden und zufriedenstellend lösen können. Dies begründet er vor allem damit, dass die Annahme vollständiger Information und die Aufgabe der Autonomie der Parteien unrealistisch ist. Aus diesen Annahmen heraus untersucht er dezentrale Koordinationsmechanismen im Bereich der Produktions-, Beschaffungs- und Transportprozesse in Supply Chains. Der Allokation von Gewinnen in Win-Win-Situationen und der Kompensation in Win-Loose-Situationen misst er dabei eine besondere Bedeutung zu. Im Rahmen der Analyse wird ein Ausschnitt einer Supply Chain betrachtet, der einen Kunden, einen Lieferanten und die Beschaffung eines Produktes beinhaltet. Der Zulieferer führt dabei eine simultane Produktions- und Transportplanung durch. Sucky geht von einem antagonistischen Verhalten der Akteure aus und untersucht das Design von Kontrakten im Rahmen bilateraler Verhandlungen mittels der kooperativen Spieltheorie.[153] Dabei wird das Planungsproblem als kooperatives Zwei-Personen-Nichtkonstantsummenspiel formuliert. Bei der Untersuchung werden unterschiedliche Machtverhältnisse und Informationsstände der Akteure berücksichtigt. Dabei werden Verhandlungssituationen mit beidseitig vollständiger Information, mit einseitig vollständiger Information und mit beidseitig unvollständiger Information betrachtet. Dazu wurden symmetrische und asymmetrische Machtverhältnisse unterschieden. Für die Annahme der symmetrischen Machtverteilung wird ein dynamisches Verhandlungsmodell entwickelt, das den Verhandlungsprozess als Folge von Angeboten und gegenseitigen Konzessionen modelliert. Für den asymmetrischen Fall werden analog zum Verfahren von Dudek Ausgleichszahlungen untersucht, die an den stärkeren Akteur

[150] Vgl. Abschnitt 2.1.
[151] Zumindest wenn antagonistisches Verhalten unterstellt wird.
[152] Vgl. [Suck04b].
[153] Zur Spieltheorie vgl. u.a. [Holl09].

entrichtet werden müssen, um ihn zu einer Abweichung von seinem zuvor optimalen Bestellplan zu bewegen. Sucky analysiert mit Hilfe eines Verhandlungsmodells aus Sicht des stärkeren Akteurs, welche Ausgleichszahlung dieser vom schwächeren Akteur fordern kann. Besitzen beide Akteure vollständige Information und ist das Machtverhältnis asymmetrisch, können die Kosten des Gesamtproblems minimiert werden, wobei der stärkere Akteur die kompletten Einsparungen für sich vereinbaren kann. Verfügt mindestens einer der Akteure über vollständige Information, so wird gezeigt, dass eine gesamtkostenminimale Politik bestimmt werden kann. Die Verteilung der Einsparungen sind dabei abhängig davon, welcher Akteur die Machtposition besitzt. Dabei stellt die Ermittlung der Bestell- und Produktionspolitik sowie die Zahlung, die dem starken Akteur angeboten werden soll, für den schwachen Akteur ein Entscheidungsproblem unter Risiko dar. Dieser versucht mit Hilfe einer Wahrscheinlichkeitsverteilung, die möglichen Ausprägungen, die sich durch sein Angebot auf die Kosten des starken Akteurs ergeben, zu bestimmen. Darauf aufbauend bildet er ein umfangreiches Angebotsmenü, das er dem stärkeren Akteur vorschlägt. Laut Sucky muss dieses Menü mehreren Bedingungen genügen.[154] Dieses Planungsproblem wird in der Literatur als Screening, Selbstwahlmechanismus oder Self-Selection bezeichnet. Sucky gelingt es für den betrachteten Fall *„das optimale, den Erwartungswert der relevanten Kosten des schwächeren Akteurs minimierende Angebotsmenü allgemeingültig“* [Suck04b] herzuleiten. Aus seinen theoretischen Erkenntnissen wurde eine Software-Applikation zur Verhandlungsunterstützung entwickelt, dessen Kern die Erstellung des Angebotsmenüs bei asymmetrischer Machtverteilung und beidseitig unvollständiger Information bildet.

Zusammenfassend lässt sich über Suckys Arbeit sagen, dass diese einen wertvollen Beitrag zur theoretischen Fundierung der Abstimmung zwischen autonomen Partnern hervorgebracht hat. Dabei wurde besonders die Anwendbarkeit von Methoden der Spieltheorie demonstriert. Allerdings ist die angenommene Situation immer noch sehr vereinfacht, da diese nur eine Periode betrachtet und daher eine Anwendung im rollierenden Kontext mit einer mehrperiodigen Planung im operativen Kontext nicht gegeben ist.

3.1.2.2.5 Reduzierung der Planungsnervosität

Im Kontext der kooperativen Planung wird der rollierende Aspekt häufig vernachlässigt, da in der Regel eine stark vereinfachte und statische Situation analysiert wird. Wird der rollierende Kontext betrachtet, so besteht ein wichtiges Problem darin, Pläne zwischen zwei Planungsschritten so zu verändern, dass Änderungen der Umwelt für alle Beteiligten in einer kooperativen Weise in die zu aktualisierenden Pläne integriert werden. Ist dies nicht der Fall und finden häufige Änderungen statt, so ist davon auszugehen, dass der Nutzen der kooperativen Planung stark beeinträchtigt ist.

Um gute Prognosen vorheriger Planungen zu belohnen, wird in [Egri08] ein Kompensationsschema vorgeschlagen, durch das der Lieferant eine Kompensation für ungenaue Prognosen des Kunden erhält. Dabei wird die Ungenauigkeit einer Periode t (e_t) durch die gewichtete absolute Differenz des realisierten Bedarfs der Periode und den zuvor übermittelten Planwerten für diese Periode wie in Formel (3.4) berechnet.[155]

$$e_t = \sum_{j=t-n'}^{t-1} \alpha_{t-j} \cdot |\, l_{t,j} - ql_t| \tag{3.4}$$

[154] Diese werden als Teilnahme- und Self-Selection-Bedingungen bezeichnet.
[155] Die Variablenbenennung erfolgt in eigener Schreibweise und weicht daher vom Original ab.

Für einen Horizont von n' vorherigen Planungen werden die Prognosefehler gemessen, die sich jeweils aus der Differenz der geplanten Menge zum Zeitpunkt j ($l_{t,j}$) und der nachher tatsächlich eingetreten Menge ql_t errechnen. In Abhängigkeit vom Abstand zu t werden die Differenzen mit den Faktoren α_{t-j} gewichtet und aufsummiert.[156] Egri schlägt zum einen eine einfache Kompensation vor, die die Zahlung für die abgelaufene Periode als Summe der normalen Preise und der mit einem Faktor multiplizierten Prognosefehler berechnet. Zum anderen schlägt er eine Möglichkeit vor, bei der erst nach Ablauf einer gewissen Anzahl an Perioden eine Kompensation für die durchschnittliche Abweichung zu entrichten ist.

Dudek betrachtet in [Dude04] den rollierenden Aspekt im Kontext seines Profit-Sharing-Verfahrens, indem er neben dem aus der Literatur bekannten fixen Horizont einen weiteren Horizont einführt, den er als Verhandlungshorizont bezeichnet und der sinnvollerweise größer als der fixe Horizont, aber kleiner als der Planungshorizont ist. Die Größe des Verhandlungshorizontes sollte seiner Meinung nach in Abhängigkeit der Nervosität des Planungsumfeldes festgelegt werden. Die verschiedenen Horizonte im Kontext der rollierenden Planung sind in Abbildung 3.4 dargestellt.

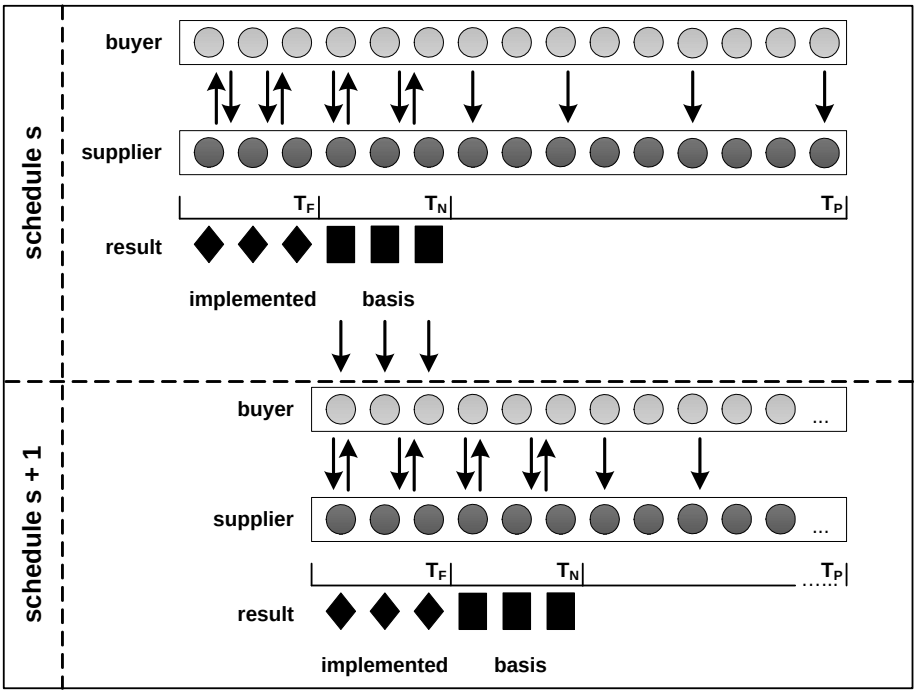


Abbildung 3.4: Rollierende Planung nach Dudek (vgl. [Dude04])

Sobald sich Kunde und Lieferant auf einen Bestell- bzw. Lieferplan geeinigt haben, werden die vereinbarten Mengen für einen gewissen Zeitraum, den Verhandlungshorizont T_N, festgehalten. Dabei werden die Pläne bis zur eingefrorenen Zone T_F implementiert und können nicht weiter verändert werden. Die zwischen der eingefrorenen Zone und dem Verhandlungshorizont festgelegten Bestellpläne dienen der rollierenden Planung im nächsten Planungsschritt als Vorgabe und können in diesem nur gegen eine Kompensationszahlung durch den Kunden erhöht werden. Eine Verringerung der Mengen ist gar nicht vorgesehen, da davon ausgegangen wird, dass diese, bspw. aus einer Bedarfssenkung resultierenden, Bestellüberschüsse gelagert werden. Trotz Einführung des Verhandlungshorizontes wird eine Planung weiterhin für den gesamten Planungshorizont T_P durchgeführt. Dies geschieht auch bei der anschließenden Bewertung der

[156] Die Summe der Gewichtungen über n' beträgt dabei eins.

Kundenvorschläge durch den Lieferanten. Bei der Evaluierung der Gegenvorschläge wird durch den Kunden allerdings nur der Verhandlungshorizont betrachtet.

3.1.3 FAZIT

Die in Anforderung 5[157] geforderte Flexibilität des vertraglichen Aspekts der Kooperation kann sich zum großen Teil an den in Abschnitt 3.1.1 vorgestellten Konzepten der Quantity Flexibility Kontrakte und der Rolling Horizon Flexibility Kontrakte anlehnen. Wie gefordert definieren diese prozentuale Ober- und Untergrenzen, die eine abnehmende Flexibilität im Zeitverlauf besitzen. Allerdings berücksichtigen die Kontrakte keine Strafzahlungen, die für Verletzungen der Korridore in beide Richtungen anfallen.

Die Rabattbestimmung nach Monahan liefert einen Ansatz, der in der Grobplanung der Lieferanten eingesetzt werden kann, um Angebote für einzelne Zeitabschnitte zu bestimmen. Da sich die Annahmen und der Kontext allerdings unterscheiden, muss Monahans Ansatz für die Problemstellung adaptiert werden. Für die Grobplanung des Kunden existiert kein Ansatz, der es ermöglicht, Flexibilitätskorridore unter Einhaltung einer längerfristigen Quote mit dem Ziel der Kostenminimierung zu planen. Da es sich dabei aber um ein generelles Problem der Planung unter Unsicherheit handelt, können Ideen der robusten Optimierung für die Konzeption beachtet werden.

Das Upstream Planning eignet sich als Basisverfahren für die rollierende Feinplanung, um eine Abstimmung zwischen den Planungsdomänen des Kunden und der Lieferanten zu schaffen und eine konsistente Planung zu ermöglichen. Zudem bietet es einen sinnvollen Benchmark, an dem die kooperativen Maßnahmen gemessen werden können. Der Profit-Sharing-Ansatz von Dudek berücksichtigt viele wichtige Aspekte, die für das zu entwerfende Profit-Sharing übernommen werden können. So kann sich die Evaluierung durch mathematische Modelle und die Bestimmung der Kosten und Ausgleichszahlungen an Dudeks Ansatz orientieren. Ein wesentlicher Unterschied besteht darin, dass in [Dude04] eine abstimmungsbasierte Planung durchgeführt wird, in der vorliegenden Arbeit allerdings eine Lösung nach einer Planungsrunde erreicht werden soll. Um nach einer Runde zu einer guten Lösung zu gelangen, kann die Idee der Erzeugung eines Angebotsmenüs von Sucky aufgegriffen werden. Dazu können durch die Lieferanten Angebote generiert werden, denen jeweils eine von der Ersparnis abhängige Ausgleichszahlung zugeordnet ist. Die Entscheidung, welche Pläne in die Tat umgesetzt werden, trifft letztendlich der Kunde. Die Idee der hierarchischen Planung soll dazu verwendet werden, um Kosten des Kunden in mathematische Modelle zur Angebotserstellung der Lieferanten aufzunehmen. Dies kann bspw. in reaktiver Weise geschehen, indem fixe Bestellkosten des Kunden bei der Angebotserstellung der Lieferanten berücksichtigt werden. Zur Reduktion der Planungsnervosität bietet sich der Ansatz von Egri an. Dabei soll der Kunde allerdings keine Strafe für Änderungen der Bestellpläne zahlen[158], sondern am Ende des Vertragshorizontes für die Prognosegenauigkeit belohnt werden. Im Kontext des Profit-Sharing kann zur Reduktion der Planungsnervosität auf den von Dudek vorgeschlagenen Verhandlungshorizont zurückgegriffen werden.

Als zusammenfassendes Fazit lässt sich festhalten, dass kein Ansatz existiert, der das in Kapitel 2 beschriebene Problem der kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung komplett abdeckt. Allerdings konnten für Teilaspekte des Problems vielversprechende Ansätze identifiziert werden, die in die Konzeption einfließen sollen.

---

[157] Vgl. Abschnitt 2.6.1.
[158] Dies erfolgt ja bereits in der Grobplanung.

3.2 ANSÄTZE ZUR LÖSUNG DER PRODUKTIONSPLANUNGSAUFGABE

In diesem Abschnitt werden Verfahren vorgestellt, die zur Lösung einer statischen Produktionsaufgabe herangezogen werden können und kein dynamisches Umfeld mit sich verändernden Daten berücksichtigen. Da im Kontext dieser Arbeit keine Planung im wirklichen Kurzfristbereich von Stunden und Minuten betrachtet wird, liegt der Fokus auf Big-Bucket-Problemen, die keine Reihenfolge einzelner Lose und damit auch keine reihenfolgeabhängigen Rüstzeiten betrachten.[159]

3.2.1 CAPACITATED LOTSIZING PROBLEM (CLSP)

Das **Capacitated Lotsizing Problem (CLSP)**[160] ist ein einstufiges, dynamisches Mehrprodukt-Losgrößenplanungsproblem mit einer Big-Bucket Zeitstruktur, das Produktionskapazitäten einer oder mehrerer Maschinen berücksichtigt. Das CLSP bildet die Grundlage zahlreicher Losgrößenplanungsverfahren.[161] Je nach Autor unterscheidet sich das exakte Problem hinsichtlich einzelner Elemente wie bspw. der Einbeziehung von Rüstzeiten und der Verwendung mehrerer Ressourcen.[162] Das folgende Modell beschreibt das CLSP unter Einbeziehung von Rüstzeiten und der Beachtung mehrerer Ressourcen:

Modell CLSP[163]**:**

$$Minimize\ Z = \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} y_{kt} \cdot h_k + s_{kt} \cdot s_k + q_{kt} \cdot p_{kt} \tag{3.5}$$

subject to

$$y_{kt} = y_{k,t-1} + q_{kt} - d_{kt} \qquad k = 1,2,\ldots,K; \quad t = 1,2,\ldots,T \tag{3.6}$$

$$y_{k0} = 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K \tag{3.7}$$

$$y_{kT} = 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K \tag{3.8}$$

$$y_{kt} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K; \quad t = 1,2,\ldots,T \tag{3.9}$$

$$\sum_{k=1}^{K_j} (tb_{jk} \cdot q_{kt} + tr_{jk} \cdot s_{kt}) \leq b_{jt} \qquad j = 1,2,\ldots,J; \quad t = 1,2,\ldots,T \tag{3.10}$$

$$q_{kt} - bigm \cdot s_{kt} \leq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K; \quad t = 1,2,\ldots,T \tag{3.11}$$

$$q_{kt} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K; \quad t = 1,2,\ldots,T \tag{3.12}$$

$$s_{kt} \in \{0,1\} \qquad k = 1,2,\ldots,K; \quad t = 1,2,\ldots,T \tag{3.13}$$

Variablen	Bedeutung
q_{kt}	Losgröße für Produkt *k* in Periode *t*
s_{kt}	binäre Rüstvariable für Produkt *k* in Periode *t*
y_{kt}	Lagerbestand für Produkt *k* am Ende von Periode *t*

[159] Eine Übersicht über Small-Bucket-Probleme und die dazugehörigen Lösungsverfahren findet sich u.a. in [DrKi97], [Temp06] und der dort angegebenen Literatur.
[160] Vgl. u.a. [BMT83], [TTM89], [Salo91], [Ders95], [DrKi97], [KFW03] und [Temp06].
[161] Vgl. u.a. [Kimm98].
[162] Vgl. u.a. [QuKu08].
[163] Vgl. [Temp06].

Mengen	Bedeutung
$\boldsymbol{J}$	Menge der Ressourcen *j* (mit einem Laufindex *1…J*)
$\boldsymbol{K}$	Menge der zu planenden Produkte *k* (mit einem Laufindex *1…K*)
$\boldsymbol{K_j}$	Menge der Produkte *k*, die auf Ressource *j* produziert werden können (mit einem Laufindex *1…K_j*)
$\boldsymbol{T}$	Menge der Perioden des Planungszeitraums (mit einem Laufindex *1…T*)

Parameter	Bedeutung
$\boldsymbol{b_{jt}}$	Kapazität der Ressource *j* in Periode *t*
$\boldsymbol{bigm}$	große Zahl
$\boldsymbol{d_{kt}}$	Bedarf für Produkt *k* in Periode *t*
$\boldsymbol{h_k}$	Lagerkostensatz für Produkt *k*
$\boldsymbol{p_{kt}}$	Produktionskostensatz für Produkt *k* in Periode *t*
$\boldsymbol{tb_{jk}}$	Stückbearbeitungszeit für Produkt *k* an Ressource *j*
$\boldsymbol{tr_{jk}}$	Rüstzeit für Produkt *k* an Ressource *j*
$\boldsymbol{s_k}$	Rüstkostensatz für Produkt *k*

Die **Zielfunktion** (3.5) minimiert die Gesamtkosten, die sich aus der Summe von Lagerkosten, Rüstkosten und Produktionskosten aller Produkte ergeben. Die Lagerkosten für jede Periode t errechnen sich für jedes Produkt k aus dessen Lagerbestand zum Ende einer Periode y_{kt} multipliziert mit dem produktabhängigen, periodenunabhängigen Lagerkostensatz h_k. Der nächste Term beschreibt die Kosten für Rüstvorgänge. Dabei fallen für jedes Produkt für jede Periode, in der es gerüstet wird (ausgedrückt durch die binäre Rüstvariable s_{kt}) Rüstkosten in Höhe von s_k an. Der letzte Kostenterm beschreibt die Produktionskosten pro Produkt und Periode, die sich aus der Losgröße q_{kt} und dem periodenabhängigen Produktionskostensatz p_{kt} ergeben. [164]

Die Formeln (3.6) bis (3.13) beschreiben die **Restriktionen** des Modells. Restriktion (3.6) bildet für jedes Produkt die Lagerbilanzgleichung ab. Dabei errechnet sich der Lagerbestand y_{kt} am Ende jeder Periode *t* aus dem Lagerbestand zum Ende der Vorperiode $y_{k,t-1}$ zuzüglich der in der Periode geplanten Losgröße q_{kt} und abzüglich des Bedarfs d_{kt}, der für das Produkt in der Periode anfällt. Dabei gilt die Annahme, dass ein in *t* hergestelltes Los direkt zur Bedarfsbefriedigung in t verwendet werden kann. Die Restriktionen (3.7) und (3.8) legen die Anfangs- und Endlagerbestände aller Produkte auf null fest[165], Restriktion (3.9) verhindert negative Lagerbestände. Das Lager besitzt keine Kapazitätsbeschränkung. Die Betrachtung der Produktionskapazität findet in Restriktion (3.10) statt, wobei unterschiedliche Ressourcen j beachtet werden. Die Menge K_j ist dabei eine Abbildung der Produkte k, die auf Ressource j produziert werden können. Die Einhaltung der einzelnen Ressourcenkapazitäten wird für jede Ressource *j* und jede Periode *t* sichergestellt, indem dafür gesorgt wird, dass die Summe aus Produktions- und aus Rüstzeiten aller Produkte *k* in Periode *t* die maximale Periodenkapazität der Ressource in dieser Periode nicht übersteigt. Die Produktionszeit eines Produktes k auf der Ressource j wird durch den periodenunabhängigen Parameter tb_{jk} angegeben. Multipliziert mit der geplanten Losgröße des Produktes ergibt sich die durch die Produktion benötigte Kapazität des Produktes *k* in Periode *t*. Die produkt- und ressourcenabhängige Rüstzeit wird zur Produktionszeit addiert, sobald eine Produktion stattfindet. Durch Restriktion (3.11) wird dafür gesorgt,

[164] Falls die Produktionskosten im Zeitablauf konstant sind, können diese auch aus der Zielfunktion enfernt werden (vgl. [Temp06]).
[165] Der Endlagerbestand von null ist eigentlich redundant, da Lagerkosten durch die Zielfunktion minimiert werden (vgl. [Temp06]).

dass Rüstkosten und -zeiten nur dann für ein Produkt k in einer Periode t anfallen, falls dieses auch in dieser Periode produziert wird. Dabei wird die binäre Rüstvariable s_{kt} auf eins gesetzt, sobald eine Produktion des Produktes in der entsprechenden Periode stattfindet. Um dies zu erreichen, wird der Hilfsparameter *bigm* verwendet, der eine große Zahl darstellt, die in diesem Fall größer definiert werden muss als jede realistische Losgröße, also keine Beschränkung für diese darstellt. Wird eine Losgröße von mindestens eins geplant, so zwingt *bigm* die binäre Rüstvariable auf eins, um den linken Term auf einen Wert kleiner oder gleich null zu setzen. Wird kein Los eingeplant, so wird s_{kt} aufgrund der Minimierung der Kosten in der Zielfunktion immer einen Wert von null annehmen. Die positive Losgröße wird für jedes Produkt durch (3.12) sichergestellt und die binäre Rüstvariable durch (3.13) definiert.

3.2.2 ERWEITERUNGEN/ABWANDLUNGEN DES CLSP

Dem dargestellten Modell zur Lösung des CLSP liegen einige Annahmen zugrunde, von denen, wie bereits erwähnt, in anderen Formulierungen des Modells abgewichen wird. Ausführliche Übersichten über die unterschiedlichen Modellformulierungen sind u.a. in [QuKu08] und [Temp06] zu finden. Tabelle 3.1 gibt eine Übersicht über die Elemente, die laut Kenntnis des Autors in jeder Formulierung des CLSP enthalten sind, und zeigt eine Auswahl wichtiger Elemente, die optional in verschiedenen Formulierungen des Problemtyps enthalten sind.

Feste Elemente des CLSP	Auswahl optionaler Elemente des CLSP
mehrere Produkte[166]	Produktionskosten
Lagerkosten	mehrere Ressourcen
Rüsten	Verspätungen/Rückstände
Beschränkung der Produktionskapazität	Lagerbeschränkung
	Rüstzustandsübertragung
	Reihenfolgebildung
	parallele Maschinen
	mehrere Produktionsstufen
	Zusatzkapazitäten

Tabelle 3.1: Übersicht über Elemente des CLSP in verschiedenen Modellformulierungen

Die in der linken Spalte aufgeführten festen Elemente jeder CLSP-Formulierung wurden im Rahmen der Beschreibung des Modells bereits erläutert. Dabei kann das Rüsten auf unterschiedliche Weise im Modell abgebildet werden. Die Möglichkeiten bestehen darin, entweder nur Rüstkosten, nur Rüstzeiten oder wie im dargestellten Modell beide Aspekte zu berücksichtigen.[167] Die im Modell enthaltenen Produktionskosten werden nicht in allen Formulierungen verwendet.[168] Das Gleiche gilt für die Modellierung mehrerer Ressourcen. Anstatt eine Modellierung mehrerer Ressourcen vorzunehmen, wird in einigen Modellformulierungen eine aggregierte Produktionskapazität für alle Produkte angenommen.[169]

Eine gerade für viele Realprobleme sinnvolle Erweiterung des CLSP besteht in der Betrachtung von möglichen Verspätungen bzw. Rückständen.[170] Da Unternehmen in der Realität häufig mit einer sehr beschränkten Kapazitätssituation konfrontiert sind, ist es oftmals nicht möglich, die

[166] Falls nur ein Produkt in der Menge der Produkte enthalten ist, ändert sich die Modellformulierung nicht.
[167] Vgl. [Ders95].
[168] Produktionskosten entfallen u.a. in [BMT83] und [DrKi97].
[169] Vgl. u.a. [TTM89] und [DrKi97].
[170] Im Englischen wird der Begriff des „backorder“ oder „back-logging“ verwendet. Eine Bezeichnung für diese Variante des CLSP ist CLSP-BO (vgl. [QuKu08]).

Bedingung zu erfüllen, alle Bedarfe fristgerecht zu produzieren.[171] Um überhaupt einen gültigen Plan bestimmen zu können, wird im Modell erlaubt, Produkte nach ihrer Bedarfsperiode zu produzieren. Ist dies der Fall, so werden für jede Mengeneinheit und für jede Periode, in der ein Rückstand besteht, Verspätungskosten angesetzt. Die Modellierung des Rückstandes erfolgt über die Aufnahme der Rückstandskosten in der Zielfunktion und über die Erweiterung der Lagerbilanzgleichung. Die Lagerbilanzgleichung[172] wird dabei so erweitert, dass zusätzlich zum Bedarf, der in Periode t für Produkt k zu erfüllen ist, auch noch der Rückstand aus der Vorperiode $r_{k,t-1}$ auszugleichen ist. Wird das Bedarfsvolumen nicht eingeplant[173], so wird dies in der Rückstandsvariablen r_{kt} gespeichert. Die resultierende Lagerbestandsgleichung unter Einbeziehung von Rückständen lautet wie folgt:[174]

$$y_{kt} = y_{k,t-1} + q_{kt} - d_{kt} + r_{kt} - r_{k,t-1} \qquad k=1,2,\ldots,K; \quad t=1,2,\ldots,T \qquad (3.14)$$

Die Betrachtung von Rückständen wird u.a. in [PoWo88] und [CMG+01] vorgenommen. Eine Modellierung des CLSP, die Lagerbeschränkungen betrachtet, ist in [SeHe90] zu finden.

Das einstufige CLSP kann durch Änderung der Lagerbilanzgleichung in das mehrstufige Multi-Level Capacitated Lot Sizing Problem (MLCLSP) umgewandelt werden. Ähnlich dem CLSP war und ist das MLCLSP Gegenstand vieler Forschungsaktivitäten und wurde schon vielfach erweitert bzw. abgewandelt.[175] Die Modellierung mehrerer Produktionsstufen erfolgt im MLSCLSP durch folgende Lagerbilanzgleichung:

$$y_{kt} = y_{k,t-1} + q_{k,t-mvz_k} - \left(\sum_{i \in N_k} a_{ki} \cdot q_{it}\right) - d_{kt} \qquad k=1,2,\ldots,K; \quad t=1,2,\ldots,T \qquad (3.15)$$

Die Menge der Nachfolger eines Produktes k wird durch N_k modelliert. Die Anzahl eines Produktes k, die in eine Mengeneinheit des Nachfolgeproduktes i eingeht, wird mit a_{ki} bezeichnet. Dieser Direktbedarfskoeffizient multipliziert mit der geplanten Menge des Nachfolgers q_{it} ergibt den Sekundärbedarf von k für das Nachfolgeprodukt i. Die Summe über alle Nachfolgeprodukte beschreibt den gesamten Sekundärbedarf von Produkt k. Durch Addition des Sekundärbedarfs mit dem Primärbedarf errechnet sich der Gesamtbedarf von Produkt k in Periode t. Eine weitere Änderung im Vergleich zur Lagerbilanzgleichung des CLSP (vgl. (3.6)) besteht in der Mindestvorlaufzeit eines Produktes mvz_k. Diese soll sicherstellen, dass das Produkt rechtzeitig zur Befriedigung der Bedarfe der Nachfolgerprodukte zur Verfügung steht.

Eine Modellierung von Zusatzkapazität wird in [ÖzBi98] vorgenommen. Dabei wird Restriktion (3.10) folgendermaßen erweitert:

$$\sum_{k=1}^{K_j} (tb_{jk} \cdot q_{kt} + tr_{jk} \cdot s_{kt}) \leq (b_{jt} + bz_{jt}) \cdot ac_{jt} \qquad j=1,2,\ldots,J; \quad t=1,2,\ldots,T \qquad (3.16)$$

$$bz_{jt} \leq mbz_{jt} \qquad j=1,2,\ldots,J; \quad t=1,2,\ldots,T \qquad (3.17)$$

[171] Vgl. [QuKu08].
[172] Vgl. (3.6).
[173] Dies kann entweder daraus resultieren, dass eine Einplanung nicht möglich ist oder der Rückstand aufgrund der Kostenparameter Teil der optimalen Lösung ist. Sollte ein Rückstand um jeden Preis vermieden werden, so sollten die Kosten für einen Rückstand im Vergleich zu den anderen Kosten sehr hoch angesetzt werden.
[174] Vgl. [QuKu08].
[175] Unterschiedliche Modellformulierungen wurden u.a. in [Ross03] und [Temp06] vorgestellt. Eine ausführliche Übersicht über die Forschungsaktivitäten in diesem Bereich ist in [BSH+08] zu finden.

Restriktion (3.16) besagt, dass pro Ressource j in Periode t zusätzlich zur normalen Kapazität b_{jt} eine Menge an Zusatzkapazität bz_{jt} geplant werden kann. Die Binärvariable ac_{jt} gibt dabei an, ob Ressource j in Periode t aktiv ist. (3.17) begrenzt die Höhe der Zusatzkapazität durch eine maximale Zusatzkapazität mbz_{jt}.

Ein ausführlicher Überblick über weitere Anpassungen des CLSP findet sich in [QuKu08].

3.2.3 FAZIT

Zur Lösung der Produktionsplanungsaufgabe des Kunden und der Lieferanten bietet es sich an, das CLSP zu verwenden und um problemspezifische Elemente zu erweitern. Durch das CLSP werden bereits maximale Produktionskapazitäten unter Beachtung von Rüstzeiten sowie Lagerkosten und Rüstkosten modelliert. Eine Erweiterung um Lagerbeschränkungen ist problemlos möglich. Die Rückstandsmodellierung kann wie dargestellt übernommen werden. Zur Einbeziehung der Engpassteile in das Modell des Kunden kann auf eine Modellierung der Engpassprodukte ähnlich zu den Nachfolgerprodukten im MLCLSP zurückgegriffen werden. Die Kapazitätsmodellierung der Lieferanten kann sich in Grundzügen an die beschriebene Modellierung anlehnen, muss jedoch so angepasst werden, dass Kapazitätseinheiten mit fester Menge an Zusatzkapazität geplant werden.

3.3 ANSÄTZE ZUR LÖSUNG DER BESCHAFFUNGSPLANUNGSAUFGABE

3.3.1 BESCHAFFUNGSPLANUNG UNTER EINHALTUNG LÄNGERFRISTIGER RESTRIKTIONEN

Einige wenige Ansätze der Beschaffungsplanung betrachten Restriktionen, die über einen längerfristigen Zeitraum eingehalten werden müssen. In [BaAn97] wird eine optimale Bestellpolitik für den Einprodukt-Fall unter der Bedingung, dass für das Produkt mindestens eine bestimmte Menge über einen längerfristigen Horizont bestellt werden muss, hergeleitet. Dabei bestellt der Kunde in kürzerfristigen Perioden, deren Bedarf unsicher ist, und versucht Rabatte auszunutzen. In [SaYo94] wird ein Verfahren vorgestellt, das zwei verschiedene Beschaffungsstrategien kombiniert, zum einen auf Basis eines jährlichen Vertrages und zum anderen auf Basis kurzfristiger Preise. Dabei wird der jährliche Vertrag vor Beginn des Jahres mit dem jeweiligen Zulieferer festgelegt. Die darin vereinbarte Menge muss unabhängig von den später tatsächlich eintretenden Bedarfen abgenommen werden.[176] Wird kurzfristig bestellt, so liegt in der Regel der zu zahlende Marktpreis höher als der vereinbarte Vertragspreis. Allerdings kann der Kunde die Mengen vollständig flexibel festlegen. Das Ziel des Kunden besteht nun darin, bei der Erstellung der Beschaffungspläne einen guten Tradeoff aus Flexibilität und Kosten zu erzielen. Dabei ist eine Aussage der Arbeit, dass nicht alle Produkte durch Verträge beschafft werden sollten.[177] Ein ähnlicher Ansatz wird in [BoWu01] verfolgt. Dabei versucht der Käufer Benzin für elektrische Anlagen unter unsicherem Bedarf und unsicherer Preissituation zu beziehen. Zu Beginn eines Jahres werden langfristige Verträge abgeschlossen, die Mindestabnahmemengen definieren. Zu Beginn jedes Monats kann der Kunde dann ähnlich zu [SaYo94] entscheiden, ob er Benzin aus dem Vertrag oder zum jetzigen Marktpreis beschafft. Die Erstellung des Bestellplans erfolgt durch ein 2-Phasen-Schema, indem zu Beginn des Jahres in der ersten Phase Mindestabnahmemengen für jeden Monat bestimmt werden. In der zweiten

[176] Diese Art von Vertrag wird auch als Business Volume Discount bezeichnet.
[177] Das Verfahren wurde bei einem regionalen Telefonanbieter getestet, wobei eine Einsparung von 15% erzielt werden konnte.

Phase werden zu Beginn jeden Monats, basierend auf der aktuellen Situation, detaillierte Bestellpläne erstellt.

Der Bezug zwischen geplanten Mengen einzelner Zeitabschnitte und Mindest- und Maximalmengen für einen längerfristigen Horizont wird in [BoWu01] wie folgt modelliert:[178]

$$minl_z \leq l_z + \sum_{j=z+1}^{T} l_j \leq maxl_z \qquad z = 1,2,\ldots,Z \qquad (3.18)$$

Dabei beschreibt $minl_z$ die Mindestmenge, die vom Zeitabschnitt z an bis zum Ende des Planungshorizontes T noch bestellt werden darf, und $maxl_z$ die entsprechende Maximalmenge. Die geplante Liefermenge in z plus die Summe der Liefermengen der noch ausstehenden Zeitabschnitte muss sich zwischen den beiden Grenzen befinden.

3.3.2 KURZFRISTIGE BESCHAFFUNGSPLANUNG

In den letzten Jahren wurden einige Verfahren entwickelt, die eine Vielzahl relevanter Aspekte der Beschaffungsplanung mit Mengenrabatten berücksichtigen. Vier dieser Verfahren werden im Folgenden näher betrachtet.

3.3.2.1 Ansatz von Tempelmeier

Tempelmeier entwickelt in seiner Arbeit [Temp02] ein Bestellverfahren für den Einprodukt-Fall bei dynamischem Bedarf. Dabei kann aus mehreren Lieferanten ausgewählt werden, die zeitabhängige Stufenrabatte oder Blockrabatte anbieten.[179] Sowohl für den Fall von Stufen-, als auch von Blockrabatten wird eine neue mathematische Modellformulierung entwickelt. Dabei gelten folgende Annahmen:

- Die Beschaffung wird für ein Produkt geplant.
- Der Bedarf ist deterministisch und dynamisch.
- Zu Beginn und am Ende des Planungshorizontes ist das Lager leer.
- Rückstände sind nicht erlaubt.
- Es existieren mehrere Lieferanten, die alle die folgenden Eigenschaften aufweisen:
    - Zeitabhängige Rabattstrukturen mit mehreren Rabattstufen
    - Zeitabhängige, fixe, nicht produktübergreifende Bestellkosten
    - Spezifische Lieferperioden (z.B. Lieferung immer Montags)
    - Spezifische Vorlaufzeiten
    - Zeitabhängige minimale und maximale Bestellmengen.
- Die Lagerkosten sind vom Bestellpreis abhängig.
- Bedarfe einer Periode können durch Lieferungen von mehreren Lieferanten befriedigt werden.
- Es existieren keine Kapazitätsbeschränkungen.

[178] Die Restriktion wurde an die eigene Notation angepasst und um Elemente reduziert, die im Kontext dieser Arbeit keine Relevanz besitzen.

[179] Auch eine Mischung aus beiden Rabattformen ist möglich. Als Motivation gibt er an, dass die meisten Arbeiten auf diesem Gebiet sich bis dahin mit isolierten Aspekten eines kompletten Problems beschäftigten. Zudem wurden in Diskussionen mit Fachleuten aus der Praxis wichtige Problemelemente identifiziert, die in einem automatisierten Entscheidungsunterstützungssystem für die Beschaffung enthalten sein sollten. Die dabei identifizierten Problemelemente sind dynamische Bedarfe, mehrere konkurrierende Zulieferer, mehrere Rabattstufen, sich im Zeitverlauf ändernde Preise und Kosten sowie lieferantenspezifische Lieferpläne.

Die entwickelte mathematische Modellformulierung für den Fall von Stufenrabatten wird als $UMSOQP_{VAD}$ (Uncapacitated Multi-Supplier Order Quantity Problem with Time-Varying All-units Discounts) bezeichnet. Dabei basiert die Formulierung auf der wohlbekannten Analogie des Losgrößenproblems zum Standortproblem.[180] Für jeden Lieferanten, jede Rabattstufe und jede Periode wird im Modell ein möglicher Standort eingeführt, für jeden Periodenbedarf ein Nachfragestandort. Pfeile von einem möglichen Standort zu einem Nachfragestandort stellen die möglichen Lieferungen dar. Zusätzlich wird dafür gesorgt, dass nur eine Rabattstufe pro Lieferant und Periode gewählt werden kann. Die Modellformulierung lautet wie folgt:[181]

Modell $UMSOQP_{VAD}$:

$$Minimize\ Z = \sum_{\tau=1}^{T}\sum_{t=\tau}^{T}\sum_{l=1}^{L}\sum_{r=1}^{R_\tau^l} h_{\tau tr}^l \cdot qd_{\tau tr}^l + \sum_{\tau=1}^{T}\sum_{l=1}^{L}\sum_{r=1}^{R_\tau^l}(bkfix_\tau^l \cdot ra_{\tau r}^l + l_{\tau r}^l \cdot pra_{\tau r}^l) \tag{3.19}$$

subject to

$$\sum_{\tau=1}^{t}\sum_{l=1}^{L}\sum_{r=1}^{R_\tau^l} qd_{\tau tr}^l = 1 \qquad t = 1,2,\dots,T \tag{3.20}$$

$$\sum_{t=\tau}^{T} qd_{\tau tr}^l \cdot d_t = l_{\tau r}^l \qquad l = 1,2,\dots,L;\ \tau = 1,2,\dots,T;\ r = 1,2,\dots,R_\tau^l \tag{3.21}$$

$$l_{\tau r}^l \le rog_{\tau r}^l \cdot ra_{\tau r}^l \qquad l = 1,2,\dots,L;\ \tau = 1,2,\dots,T;\ r = 1,2,\dots,R_\tau^l \tag{3.22}$$

$$l_{\tau r}^l \ge (rog_{\tau,r-1}^l + 1) \cdot ra_{\tau r}^l \qquad l = 1,2,\dots,L;\ \tau = 1,2,\dots,T;\ r = 2,3,\dots,R_\tau^l \tag{3.23}$$

$$\sum_{r=1}^{R_\tau^l} ra_{\tau r}^l \le a_\tau^l \qquad l = 1,2,\dots,L;\ \tau = 1,2,\dots,T \tag{3.24}$$

$$qd_{\tau tr}^l \le ra_{\tau r}^l \qquad t = \tau,\tau+1,\dots,T;\ r = 1,2,\dots,R_\tau^l;\ d_t > 0 \tag{3.25}$$

$$ra_{\tau 0}^l = 0 \qquad l = 1,2,\dots,L;\ \tau = 1,2,\dots,T \tag{3.26}$$

$$l_{\tau r}^l \ge 0 \qquad l = 1,2,\dots,L;\ \tau = 1,2,\dots,T;\ r = 1,2,\dots,R_\tau^l \tag{3.27}$$

$$ra_{\tau r}^l \in \{0,1\} \qquad l = 1,2,\dots,L;\ \tau = 1,2,\dots,T;\ r = 1,2,\dots,R_\tau^l \tag{3.28}$$

$$qd_{\tau tr}^l \ge 0 \qquad \tau = 1,2,\dots,T;\ t = \tau,\tau+1,\dots,T;\ l = 1,2,\dots,L;\ r = 1,2,\dots,R_\tau^l \tag{3.29}$$

Variablen	Bedeutung
$\boldsymbol{l_{\tau r}^l}$	Bestellmenge in Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Periode τ
$\boldsymbol{qd_{\tau tr}^l}$	Anteil des Bedarfs in Periode *t*, der beim Lieferanten *l* in Periode τ mit Rabattstufe *r* beschafft wird
$\boldsymbol{ra_{\tau r}^l}$	Binärvariable für die Auswahl einer Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Periode τ

Mengen	Bedeutung
$\boldsymbol{L}$	Menge der Lieferanten *l* (mit einem Laufindex *1…L*)
$\boldsymbol{R_\tau^l}$	Menge der Rabattstufen *r* bei Lieferant *l* (mit einem Laufindex *1…R*^{l}) in Periode τ
$\boldsymbol{T}$	Menge der Perioden des Planungszeitraums (mit einem Laufindex *1…T*)

[180] Vgl. Abschnitt 2.2.

[181] Die Variablenbenennung erfolgt in eigener Schreibweise und weicht daher von der Benennung des Originalmodells ab.

Parameter	Bedeutung
$\boldsymbol{a_\tau^l}$	Binärparameter. Gibt an, ob Lieferant *l* in Periode τ liefern kann.
$\boldsymbol{bkfix_\tau^l}$	fixe Bestellkosten bei Lieferant *l* in Periode τ
$\boldsymbol{d_t}$	Bedarf in Periode *t*
$\boldsymbol{h_{\tau tr}^l}$	Lagerkosten für den gesamten Bedarf der Periode *t*, falls dieser beim Lieferanten *l* in Periode τ mit Rabattstufe *r* beschafft wird
$\boldsymbol{pra_{\tau r}^l}$	Stückpreis in Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Periode τ
$\boldsymbol{rog_{\tau r}^l}$	Obergrenze der Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Periode τ

In der Zielfunktion des Modells werden Lagerkosten und Bestellkosten, bestehend aus einem fixen und einem variablen Teil, minimiert. Dabei sind die angesetzten Lagerkosten vom Einkaufspreis, also dem erreichten Rabatt, abhängig. Durch die Restriktionen (3.20) und (3.21) wird die Lagerung abgebildet und dafür gesorgt, dass keine Verspätungen eintreten können. Die Restriktionen (3.22) und (3.23) modellieren die Ober- und Untergrenzen der Rabattstufen. Durch (3.24) wird sichergestellt, dass immer nur eine Rabattstufe pro Lieferant und Periode gewählt wird. Zudem kann durch die Restriktion abgebildet werden, dass keine Lieferungen in einer Periode möglich sind.[182] Restriktion (3.25) besagt, dass der Anteil einer Rabattstufe am Bedarf einer Periode höchstens eins betragen darf und nur dann positiv sein kann, wenn die Rabattstufe des Lieferanten gewählt wird. Durch (3.26) wird der Beginn der jeweils ersten Rabattstufe auf null gesetzt. Die restlichen Restriktionen sorgen für die Einhaltung der Wertebereiche der Variablen des Modells.

Eine heuristische Umsetzung des Modells wurde (umprogrammiert) in die Software „Advanced Planner and Optimizer“ (APO)[183] der SAP AG integriert.[184]

3.3.2.2 Ansatz von Reith-Ahlemeier

Der Untersuchungsgegenstand der Dissertation von Reith-Ahlemeier [Reit02] weist viele Gemeinsamkeiten zum vorgestellten Ansatz von Tempelmeier auf, indem ebenfalls Verfahren für eine integrierte Lieferantenauswahl und Bestellmengenplanung bei zeitabhängigen Rabatten und dynamischem Bedarf entwickelt werden. Wie in [Temp02] werden die alternativen Lieferanten mit positiven Vorlaufzeiten, im Zeitverlauf variierenden Rabattstrukturen und gesperrten Lieferperioden modelliert. Zusätzlich werden einige weitere Beschränkungen betrachtet:

- Maximale, periodenabhängige Handlingkapazitäten der Lieferanten.
- Maximale Lagerkapazitäten auf Seiten des Kunden.
- Maximale, periodenabhängige Lieferantenkapazitäten.
- Periodenabhängige, lieferantenspezifische Mindestabnahmemengen.

Maximale, periodenabhängige Lieferantenkapazitäten werden dabei angelehnt an die eigene Notation wie folgt modelliert:

$$\sum_{k \in K^l} tb_{jk}^l \cdot \sum_{r=1}^{R_{kt}^l} q_{ktr}^l \leq b_{jt}^l \cdot o_t^l \qquad l = 1,2,\ldots,L; \quad t = 1,2,\ldots,T \quad j = 1,2,\ldots,J^l \tag{3.30}$$

[182] Dies ist genau dann der Fall, wenn a_τ^l den Wert null besitzt.
[183] Vgl. u.a. [BaLa06].
[184] Vgl. [Stad07].

Dabei entspricht tb_{jk}^{l} der Stückbearbeitungszeit des Lieferanten l für das Produkt k auf Ressource j. Diese Bearbeitungszeit multipliziert mit der gelieferten Menge des Produktes q_{ktr}^{l} darf die Ressourcenkapazität b_{jt}^{l} für das Produkt in der Periode nicht überschreiten.[185]

Mindestabnahmemengen werden durch folgende Restriktion abgebildet:

$$\sum_{k \in K^l} \sum_{r=1}^{R_{kt}^l} q_{ktr}^l \geq mb_t^l . o_t^l \qquad l = 1,2,\ldots,L; \quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (3.31)$$

Dabei werden die Mindestabnahmemengen mb_t^l für eine Periode t und einen Lieferanten l für den Fall modelliert, dass diese für die Summe aller Produkte des Lieferanten K^l gelten.

Lieferzeiten der Lieferanten werden in Reith-Ahlemeiers Ansatz nicht explizit anhand einer Vorlaufzeitverschiebung modelliert. Es wird argumentiert, dass die bestellten Mengen für die Periode geplant werden, in der sie eintreffen, und nicht für die Periode, in der die Bestellung erfolgt. Daher muss die Bestellung eine bestimmte Periodenanzahl früher erfolgt sein. Die fixen Bestellkosten werden in zwei einzelne Bestandteile aufgeteilt. Der eine Teil der Kosten fällt immer an, sobald irgendein Produkt bei einem Lieferanten bestellt wird. Zusätzlich können pro Produkt, das bei einem Lieferanten in einer Periode bestellt wird, nochmals fixe Bestellkosten anfallen.

Da die exakte Lösung des Problems zu einer sehr langen durchschnittlichen Rechenzeit führte und für einige Probleminstanzen nicht möglich war, wurden in der Arbeit drei Heuristiken zur Problemlösung entwickelt, mit denen vielversprechende Ergebnisse erzielt wurden.

3.3.2.3 Ansatz von Goossen et al.

Ein weiterer Ansatz, der sich mit der Bestellmengenplanung bei mehreren Zulieferern, die Stufenrabatte anbieten, beschäftigt, wird in der Arbeit von Goossens, Maas, Spieksma und Klundert vorgestellt.[186] Die Stufenrabatte, die von den Lieferanten angeboten werden, sind dabei wiederum produkt- und periodenabhängig.

Die Autoren untersuchen vier Varianten des Problems, wobei die ersten drei Varianten auf eine Periode begrenzt sind. In der ersten Variante kann der Marktanteil der Zulieferer begrenzt sein. Dies wird dadurch abgebildet, dass für einen Lieferanten entweder untere und obere Grenzen für ein Produkt oder für die Summe der Bestellungen über alle Produkte eingeführt werden. In der zweiten Variante kann der Käufer eine höhere Bestellung als benötigt durchführen, um einen geringeren Preis einer höheren Rabattstufe zu erreichen und dadurch im Gesamten Kosten einzusparen.[187] Da in der Praxis durch den Kauf einer zu großen Menge oftmals zusätzliche Kosten anfallen[188], werden nichtnegative Kosten für jede bestellte zusätzliche Einheit erhoben, wobei nicht näher definiert wird, wofür diese Kosten anfallen. In der dritten untersuchten Variante wird die Anzahl an Zulieferern begrenzt. Dies wird dadurch begründet, dass durch Bestellung bei einer zu großen Anzahl an Zulieferern zusätzliche Managementkosten entstehen, die vermieden werden sollten. Die Anzahl an Zulieferern kann sowohl für ein Produkt als auch für alle Pro-

[185] Die Bestellmengen werden für jede Rabattstufe R_{kt}^l, die für jedes Produkt k, jeden Lieferanten l und alle Perioden t gepflegt sind, angegeben. Bei o_t^l handelt es sich um eine lieferantenbezogene binäre Bestellvariable.
[186] Vgl. [GMS+07].
[187] Vgl. Abschnitt 2.3.
[188] Vgl. [CPT04].

dukte begrenzt werden. In der vierten Variante wird das Problem auf eine mehrperiodige Sichtweise erweitert. Dabei können sich die Rabatte mit der Zeit ändern und die Aufgabe besteht nun zusätzlich darin, zu planen, wann die Bestellungen ausgelöst werden sollen. Dabei bilden neben den anfallenden Bestellkosten die Lagerkosten, die durch vorgezogene Bestellungen entstehen, das Zielkriterium der Planung.

Zur Lösung der Probleme werden drei exakte Algorithmen eingesetzt. Der erste Algorithmus ist ein Min-Cost-Flow[189] basierter Branch&Bound-Algorithmus. Dabei wird ein Branching-Baum so gebildet, dass in jedem Knoten ein Min-Cost-Flow-Problem gelöst werden muss. Der Baum ist so konstruiert, dass jedem Level des Baums ein Zulieferer zugeordnet ist und ein Branch für jedes Intervall des Zulieferers existiert. Beim zweiten Algorithmus handelt es sich um einen Branch&Cut-Algorithmus, der die Standardeinstellungen des CPLEX-Solvers verwendet.[190] Dabei werden durch CPLEX sogenannte Flow-Cover-Cuts gebildet. Im dritten Algorithmus werden diese Schnitte durch CPLEX unterbunden und es wird ein alternativer Branch&Bound-Ansatz angewandt, der u.a. Schattenpreise verwendet, um die Branching-Variable zu bestimmen. Getestet wurden die Algorithmen mit Instanzen, die 50 Zulieferer und 100 Produkte umfassten. Daher ist der Ansatz eher im Kontext von Produkten zu sehen, die durch viele alternative Lieferanten beschafft werden können.[191]

3.3.2.4 Ansatz von Stadtler

Stadtler behandelt in [Stad07] das gleiche allgemeine Problem, das schon die Grundlage von Reith-Ahlemeier bildete.[192] Allerdings wurde von Reith-Ahlemeier eine nichtlineare Zielfunktion für Blockrabatte verwendet, so dass keine Benchmarks für diesen Fall möglich waren. Stadtler stellt in seiner Arbeit ein allgemeines lineares Modell auf, das durch Standardsolver gelöst werden kann und bei dem die Art des Rabattes durch die Eingabedaten bestimmt wird. Somit ist es durch dieses Modell möglich, für den Einprodukt- und den Mehrprodukt-Fall unter Auswahl von Lieferanten sowohl Stufen- als auch Blockrabatte zu berücksichtigen. Vorlaufzeiten werden nicht explizit berücksichtigt, können aber über Indexverschiebungen abgebildet werden. Im Gegensatz zu den anderen drei vorgestellten Ansätzen werden zur Berechnung der Lagerkosten sowohl die Fixkosten als auch die variablen Kosten, die für die Anschaffung der gelagerten Güter aufgewendet wurden, einbezogen.

Die Modellformulierungen resultieren laut Stadtler in sehr engen Schranken, so dass viele Testinstanzen gelöst werden konnten. Die Tests zeigen, dass optimale oder fast optimale Lösungen[193] oftmals in kurzer Zeit möglich sind.[194] Stadtler bemerkt, dass seine Modellformulierung nur für einmalige Planungen und nicht im rollierenden Kontext getestet wurde.[195] In einer

[189] Vgl. u.a. [SMS06].
[190] Die Autoren verwenden die Version Ilog CPLEX 8.1.
[191] Dabei kamen alle drei Algorithmen schnell zu exakten Lösungen. Je nach Charakteristik der getesteten Instanzen erzielten die einzelnen Algorithmen unterschiedlich gute Ergebnisse, so dass keine Aussage über eine generelle Güte der Algorithmen getroffen werden konnte.
[192] Vgl. [Reit02].
[193] Fast optimale Lösungen entstanden in den Fällen, in denen eine Obergrenze für die Laufzeit erreicht wurde und bis dahin noch keine optimale Lösung gefunden wurde.
[194] Für einige große Testinstanzen wurde jedoch nach vier Minuten keine gültige Lösung für den Fall von Stufenrabatten gefunden.
[195] Dies gilt für alle in diesem Abschnitt vorgestellten Verfahren. Eine rollierende Planung wird im Rahmen der Beschaffungsplanung selten erwähnt. In den meisten Arbeiten wird von einem statischen Umfeld ausgegangen (vgl. [Temp06]). Dabei ist es gerade unter der Annahme, dass periodenabhängige Rabattstrukturen bei verschiedenen Lieferanten vorliegen können, nicht ausreichend, den

rollierenden Planung kann es daher zu End-Effekten kommen.[196] Um dies zu verhindern, empfiehlt Stadtler das Modell so zu erweitern, dass Bonusse für Bestellungen nahe am Planungshorizont gewährt werden.

3.3.3 FAZIT

Eine kurzfristige Beschaffungsplanung unter gleichzeitiger Einhaltung längerfristiger Quoten, wie sie in dieser Arbeit behandelt wird, existiert laut Kenntnis des Autors derzeit nicht. Ansätze, die längerfristige Restriktionen betrachten, weisen Ähnlichkeiten zum hier entwickelten Ansatz auf. Dadurch, dass andere Annahmen bestehen, wie bspw. die Möglichkeit, am freien Markt zu beschaffen, können sie aber nur teilweise zur Lösung der Problemstellung verwendet werden. Die Modellierung der Einhaltung längerfristiger Bestellmengen im Bezug auf kürzerfristige Bestellentscheidungen durch Bonser und Wu kann in ähnlicher Weise für die Berücksichtigung der Grobplanungsergebnisse innerhalb der Feinplanung genutzt werden.

Die vorgestellten Ansätze decken in Summe alle Anforderungen für den Problembereich der kurzfristigen Beschaffungsplanung ab. Die Modellierung von Stufenrabatten bei mehreren Lieferanten kann analog zum Ansatz von Tempelmeier geschehen. Mindest- und Maximalmengen bei einzelnen Lieferanten können wie in Reith-Ahlemeier abgebildet werden. Die Einführung von Strafkosten bei Verlassen der Korridore kann ähnlich zu den Mindest- und Maximalmengen modelliert werden.

3.4 ANSÄTZE ZUR PRODUKTIONSPLANUNG MIT INTEGRIERTER BESCHAFFUNG

3.4.1 ANSATZ NACH PRENTIS UND KHUMAWALA

Nach Tempelmeier ist der Ansatz von Prentis und Khumawala[197] der einzige, „*der das Losgrößenproblem bei Eigenproduktion gemeinsam mit dem Bestellmengenproblem für fremdbezogene Produkte unter Berücksichtigung von Mengenrabatten in einer mehrstufigen Erzeugnisstruktur*“ betrachtet.[198] Laut Kenntnis des Autors existiert auch kein weiteres Verfahren, das die gleiche Aufgabe ohne Berücksichtigung von Rabatten löst.

Prentis und Khumawala stellen ein mehrstufiges Modell mit genereller Produktstruktur auf, das an die Vorgehensweise eines PPS-Systems[199] angelehnt ist. Im Modell werden die Preise für die fremdbezogenen Produkte durch Stufenrabatte abgebildet. Das Modell ist so formuliert, dass die Elemente, die eigenproduziert werden, und die Elemente, die fremdbezogen werden, in einer gemeinsamen Menge aller Produkte zusammengefasst werden. Für die Produkte werden dann entweder Preise für die Produktion oder die Bestellung, Losgrößen oder Bestellaufträge bzw. Rüstkosten oder fixe Bestellkosten angesetzt. Im Modell wird nicht danach unterschieden, von welchen Lieferanten die Produkte bezogen werden. Die Modellformulierung lautet wie folgt:[200]

Planungshorizont als abgeschlossen zu betrachten. Arbeiten, die den rollierenden Aspekt betrachten, sind u.a. [MDB95] und [Şeny09]. Einige Ansätze, die sich nicht explizit mit der rollierenden Beschaffungsplanung, aber mit der Beschaffungsentscheidung unter Unsicherheit beschäftigen, werden in [AHH07] erwähnt.

[196] End-Effekte werden in Abschnitt 3.5.1 näher erläutert.

[197] Vgl. [PrKh89].

[198] Vgl. [Temp06].

[199] Vgl. Abschnitt 2.2.

[200] Die Formulierung der Originalarbeit wurde auf die Schreibweise dieser Arbeit übertragen.

Modell Prentis und Khumawala:

$$Minimize\ Z = \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} y_{kt} \cdot h_{kt} + p_{kt}^{(pi_k)} \cdot x_{kt} + fix_k \cdot z_{kt} \tag{3.32}$$

subject to

$$w_{kt} = -y_{k0} + \sum_{r=1}^{T} d_{kr} - e_{kr} + \sum_{i \in N_k} a_{ki} \cdot x_{it} \qquad k=1,2,\dots,K; \quad t=1,2,\dots,T \tag{3.33}$$

$$u_{kt} = \max\,[0; w_{kt} - \max\,[\{w_{k0,\dots,w_{k,t-1}}\}] \qquad k=1,2,\dots,K; \quad t=1,2,\dots,T \tag{3.34}$$

$$x_{k,t-lt_k} = \begin{cases} 0, if \sum_{r=1}^{t-1} x_{k,r-lt_k} \geq \sum_{r=1}^{t} u_{kr} \\ \sum_{a=t}^{k \leq T} u_{ka}\ , otherwise \end{cases} \qquad k=1,2,\dots,K; \quad t=1,2,\dots,T \tag{3.35}$$

$$y_{kt} = y_{k,t-1} + x_{k,t-lt_k} - u_{kt} \qquad k=1,2,\dots,K; \quad t=1,2,\dots,T \tag{3.36}$$

$$x_{kt} \leq bigM \cdot z_{kt} \qquad k=1,2,\dots,K; \quad t=1,2,\dots,T \tag{3.37}$$

$$b_{kt}^{(2)} \geq u_{kt} \qquad k=1,2,\dots,K; \quad t=1,2,\dots,T \tag{3.38}$$

$$p_{kt}^{(pi_k)} \cdot x_{kt} = \begin{cases} p_{kt}^{(pi_k)} \cdot x_{kt}, \ \ if \quad 0 < x_{kt} \leq b_{kt}^{(1)} \\ p_{kt}^{(pi_k)} \cdot b_{kt}^{(1)} + p_{kt}^{(pi_k)} \cdot \left(x_{kt} - b_{kt}^{(1)}\right) \cdot o_{kt}, \\ \quad if \quad b_{kt}^{(1)} < x_{kt} \leq b_{kt}^{(2)} \end{cases} \qquad k \in G; \quad t=1,2,\dots,T \quad lt_k \leq 1 \tag{3.39}$$

$$p_{kt}^{(pi_k)} = \begin{cases} p_{kt}^{(1)}, if \quad 0 < x_{kt} < rug_{kt}^{(1)} \\ p_{kt}^{(2)}, if \quad rug_{kt}^{(1)} \leq x_{kt} < rug_{kt}^{(2)} \\ \dots \\ \dots \\ p_{kt}^{(e_i)}, \quad if \quad rug_{kt}^{(e_i-1)} \leq x_{kt} < rug_{kt}^{(e_i)} \end{cases} \qquad k \in H; \quad t=1,2,\dots,T \tag{3.40}$$

$$p_{kt}^{(1)} > p_{kt}^{(2)} > \dots > p_{kt}^{(e_i)} \qquad k \in H; \quad t=1,2,\dots,T \tag{3.41}$$

$$y_{k0}, y_{kt}, e_{kt}, d_{kt}, p_{kt}^{(pi_k)}, h_{kt}, fix_k\ , o_{kt} \qquad k=1,2,\dots,K; \quad t=1,2,\dots,T \tag{3.42}$$

$$z_{kt} \in \{0,1\} \qquad k=1,2,\dots,K; \quad t=1,2,\dots,T \tag{3.43}$$

Variablen	Bedeutung
$\boldsymbol{x_{kt}}$	Losgröße bzw. geplante Bestellung für Produkt *k* in Periode *t*
$\boldsymbol{y_{kt}}$	Lagerbestand für Produkt *k* zum Zeitpunkt *t* ($y_{k0} = 0$)
$\boldsymbol{z_{kt}}$	Binärvariable. Gibt an, ob Produkt *k* in Periode *t* gerüstet bzw. bestellt wird

Mengen	Bedeutung
$\boldsymbol{G}$	Menge der selbst produzierten Produkte ($G \subset K$)
$\boldsymbol{H}$	Menge der gekauften Produkte ($H \subset K$)
$\boldsymbol{K}$	Menge der zu planenden Produkte *k* (mit einem Laufindex *1…K*) ($K = G \cup H$)
$\boldsymbol{N_k}$	Menge der Nachfolger von Produkt *k*
$\boldsymbol{T}$	Menge der Perioden des Planungszeitraums (mit einem Laufindex *1…T*)

Parameter	Bedeutung
$\boldsymbol{a_{ki}}$	Anzahl an Einheiten von Produkt *k*, die in Produkt *i* eingehen
$\boldsymbol{b_{kt}^{(1)}}$	„normales Kapazitätslimit“ für Produkt *k* in Periode *t*

$\boldsymbol{b_{kt}^{(2)}}$	maximale Kapazität für Produkt *k* in Periode *t*
$\boldsymbol{bigm}$	große Zahl
$\boldsymbol{d_{kt}}$	unabhängiger Bedarf für Produkt *k* in Periode *t*
$\boldsymbol{e_{kt}}$	bestätigter Eingang von Produkt *k* in Periode *t* (gegeben)
$\boldsymbol{fix_k}$	fixe Rüst- bzw. Bestellkosten für Produkt *k*
$\boldsymbol{h_{kt}}$	Lagerkosten für Produkt *k* in Periode *t*
$\boldsymbol{lt_k}$	Vorlaufzeit für Produkt *k*
$\boldsymbol{o_{kt}}$	Faktor für zusätzliche Produktionskosten durch Fremdvergabe oder Überstunden, wenn „normales Kapazitätslimit“ $b_{kt}^{(1)}$ für Produkt *k* in Periode *t* überschritten wird
$\boldsymbol{pi_k}$	Preisindex für Produkt *k* ($pi_k = 1$: konstante Preise; $pi_k = 1, \dots, e_i$: Stufenrabatte nach Mengen sortiert)
$\boldsymbol{p_{kt}^{(pi_k)}}$	Produktions- bzw. Einkaufspreis für ein Produkt *k* in Periode *t*
$\boldsymbol{rug_{kt}^{(pi_k)}}$	Untergrenzen der Rabattstufen für Produkt *k* in Periode *t*
$\boldsymbol{u_{kt}}$	Nettobedarf für Produkt *k* in Periode *t*
$\boldsymbol{w_{kt}}$	summierter Bedarf minus Initiallagerbestand minus Eingang plus abhängiger Bedarf von Nachfolgerprodukten für Produkt *k* in Periode *t* ($w_{k0} = 0$)

Die Zielfunktion (3.32) setzt sich aus Lagerkosten, Produktions- bzw. Bestellkosten und Rüstkosten bzw. fixen Bestellkosten zusammen. Dabei sind Lager-, Produktions- und Bestellkosten periodenabhängig. Lagerkosten sind in der Modellformulierung nicht vom Einkaufspreis abhängig.

In Restriktion (3.33) wird der summierte Bedarf für ein Produkt k in einer Periode t aus dem Initiallagerbestand, dem als sicher verbuchten Eingang in t und dem durch Nachfolgerprodukte ausgelösten Bedarf bestimmt. Der mehrstufige Aspekt wird durch einen Parameter abgebildet, der angibt, wie viele Einheiten eines Produktes *k* in ein Produkt *i* eingehen. Die Nettobedarfe für eine Periode werden in (3.34) ermittelt. (3.35) besagt, dass Bedarfe einer Periode nicht auf mehrere Bestellungen bzw. mehrere Lose aufgeteilt werden[201] und berücksichtigt durch Einbeziehung der Vorlaufzeit die Mehrstufigkeit. Restriktion (3.36) bildet die Lagerbestandsgleichung unter Einbeziehung von Vorlaufzeiten ab. Rüstkosten bzw. fixe Bestellkosten werden durch (3.37) korrekt gesetzt. (3.38) prüft, ob die Maximalkapazität einer Periode größer als der Nettobedarf ist, um unter den gegebenen Annahmen eine gültige Lösung zu garantieren. Die betrachtete Kapazität ist sowohl vom Produkt als auch von der Periode abhängig und wird in eine Standardkapazität und eine Maximalkapazität unterteilt. Dabei entstehen bei der Aufstockung von einer Standardkapazität Zusatzkosten.[202] Dies wird in Restriktion (3.39) für alle selbst produzierten Produkte modelliert. (3.40) und (3.41) modellieren die Stufenrabatte für fremdbezogene Teile. Durch (3.42) und (3.43) werden die richtigen Wertebereiche der Variablen und Parameter gesetzt.

Zur Lösung des Problems, das die Autoren zur Zeit der Veröffentlichung als das evtl. komplexeste ihnen bekannte Losgrößenproblem bezeichnen, wird ein Branch&Bound-Ansatz verwendet. Durch die nicht konvexe Kostenfunktion und die mehrperiodige Formulierung mit generelle Produktstruktur ist eine Anpassung des normalen Branch&Bound-Ansatzes notwendig. Dazu werden spezielle untere Schranken definiert. Die Ergebnisse des Ansatzes werden mit bekannten Heuristiken verglichen, wobei eine Kosteneinsparung von 11-21% erzielt wird.

[201] Dies ist laut den Autoren wichtig für ihr angewandtes Branch&Bound-Verfahren, führt aber evtl. zu teureren Gesamtergebnissen.
[202] Diese Aufstockung wird bspw. durch Überstunden oder Auswärtsvergabe der Aufträge erklärt.

3.4.2 FAZIT

Das Modell von Prentis und Khumawala betrachtet einige Aspekte passend zu den Anforderungen dieser Arbeit. So werden bspw. wie gefordert Stufenrabatte und Zusatzkapazitäten modelliert. Allerdings bestehen auch gravierende Unterschiede, die es nicht als sinnvoll erscheinen lassen, das Modell als Basis für die Modellierung der integrierten Produktions- und Beschaffungsplanung in dieser Arbeit zu nutzen. Zum einen wird nicht nach Lieferanten unterschieden, was einen Kernaspekt des vorgestellten Problems darstellt. Des weiteren werden keine Minimal- und Maximalabnahmemengen sowie keine Verspätungen und Lagerbeschränkungen betrachtet.

3.5 ANSÄTZE FÜR EINE ROLLIERENDE PLANUNG

Die in Abschnitt 3.2 bis 3.4 beschriebenen Verfahren sind dazu geeignet, optimale oder zumindest gute Lösungen für ein Planungsproblem unter Berücksichtigung des zum Zeitpunkt der Planung aktuellen Informationsstandes zu liefern. Für den Einsatz in zeitlich offenen Entscheidungsfeldern mit unvorhersehbaren Umweltentwicklungen und zeitlichen Interdependenzen bietet sich aufgrund ihrer beschriebenen Charakteristik die rollierende Planung an.[203]

3.5.1 DESIGNKRITERIEN DER ROLLIERENDEN PLANUNG

Die Ausprägung der rollierenden Planung hängt von mehreren Designkriterien ab, die einen großen Einfluss auf die letztlich sinnvolle Anwendbarkeit für ein spezifisches Planungsproblem besitzen. Diese Herausforderungen haben zu reger Forschungsaktivität geführt, die immer noch anhält.[204] Neben der Auswahl der involvierten Planungsstufen muss für jede Planungsstufe folgendes festgelegt werden:[205]

- Länge des Planungshorizontes (Planreichweite).
- Fortschreibungsrhythmus (Wahl des Planabstandes).
- Länge des Überlappungszeitraumes.
- Länge der eingefrorenen Zone.
- Verschachtelung der übergeordneten mit der tieferen Stufe.
- Konkretisierung der übergeordneten in feinere Stufen.

Eine wichtige Designaufgabe besteht darin, die Reichweiten und Planabstände der verschiedenen Planungsebenen innerhalb und untereinander abzustimmen. Dabei besteht ein enger Zusammenhang zwischen dem Planabstand und der Planreichweite, aus denen direkt die Länge des Überlappungszeitraumes abgeleitet werden kann.[206] Ist das Verhältnis zu groß, geht der Sinn einer rollierenden Planung weitgehend verloren, da die meisten Entscheidungen endgültig getroffen werden und die Pläne so nur geringfügig bzgl. der veränderten Informationslage angepasst werden können. Ist das Verhältnis allerdings zu klein, so werden einzelne Perioden sehr häufig geplant, eine Realisierung findet allerdings nur für sehr wenige Perioden statt. Dadurch kommt es zum Problem der Planungsnervosität, auf das später noch detaillierter eingegangen wird. Zusammengefasst bedeutet dies, dass der Fortschreibungsrhythmus in der Lage sein sollte, einen *„Ausgleich zwischen der Stabilität der Pläne und der Fähigkeit zur Anpassung an*

[203] Vgl. Abschnitt 2.4.
[204] Ein umfassender Überblick über das gesamte Forschungsfeld der rollierenden Planung ist in [CHS02] zu finden.
[205] Vgl. [Troß92].
[206] Vgl. [SKH04].

Umweltbedingungen" herzustellen.[207] Der Planabstand *D* sollte zudem so festgelegt werden, dass er größer als die Wirkungsdauer einzelner Entscheidungen ist, d.h., dass der Systemzustand sich zwischen zwei Planungsläufen durch Planrevisionen verändern können muss. Zudem sollte er im besten Fall ein Teiler von *T* sein.[208] Nach [VeNa99] ist die Häufigkeit der Planungsaktualisierung eines der Haupt-Designkriterien der rollierenden Planung. Zur Bestimmung der Ausprägungen der einzelnen Parameter der rollierenden Planung wird in [SKH04] eine simulative Vorgehensweise vorgeschlagen, die die Parameter simultan bestimmt.

Ein weiterer elementarer Punkt der rollierenden Planung ist der Umgang mit der sich verändernden Informationsbasis. Daraus entstehen mehrere Probleme. Da in einer rollierenden Planung wie bereits in Abschnitt 2.4 erwähnt mindestens eine Grob- und eine Feinplanung durchgeführt wird und sich diese Planungsbereiche aufgrund der Schachtelung überlappen, kommt es in der Regel dazu, dass verschiedene Werte für einen Zeitbereich miteinander konkurrieren.[209] So kann bspw. für ein erstes Quartal eines Jahres ein Prognosewert aus dem letzten Jahr vorliegen, aber mittlerweile eine unterschiedliche Summe für dieses Quartal, basierend auf einer feineren monatlichen Planung mit aktualisierten Informationen, vorliegen. Die Frage hierbei ist, welchem Wert ein größeres Gewicht beigemessen werden soll.[210] Bei dem Zusammenspiel von zwei Planungsstufen muss zudem festgelegt werden, inwieweit eine höher aggregierte Stufe durch Änderungen einer tieferen Stufe angepasst werden soll. Beispielsweise wäre es möglich, eine Jahresplanung schon nach mehreren Monaten anzupassen.[211] Dazu müsste eine Abstimmung über die Jahresplanung allerdings in einem kürzerfristigen Abstand erfolgen, z.B. monatlich.[210] Ein weiteres Problem besteht in der Behandlung von aktualisierten Informationen innerhalb eines Überlappungsbereichs einer Planungsstufe. Wird jede aktualisierte Information direkt in einen revidierten Plan umgesetzt, so entsteht eine hohe Planungsnervosität, die sich vor allem auf andere Planungsbereiche negativ auswirken kann.[212] Allerdings sollten neue Informationen auch nicht komplett außer Acht gelassen werden, da ansonsten Einsparpotentiale verschenkt werden würden.[213] Der richtige Umgang mit aktuellen Informationen bzgl. der Anpassung von Plänen ist also von entscheidender Bedeutung für den Erfolg der rollierenden Planung.

Den ersten, final zu implementierenden Perioden kommt eine besondere Bedeutung in jedem rollierenden Planungsschritt zu. Allerdings ist es nicht ausreichend, nur diese Perioden für die Planung zu betrachten, da auch die nachfolgenden Perioden einen Einfluss auf die zu treffenden Entscheidungen besitzen.[214] Dieser Einfluss wird oft anhand des Beispiels von Rüstvorgängen beschrieben, da der Rüstzustand am Ende einer Planung einen direkten Einfluss auf die Kosten der nächsten Planung besitzt.[215] Die Aufgabe besteht nun darin, eine sinnvolle Länge des Planungshorizontes zu bestimmen. Zur Bestimmung dieses Planungshorizontes existieren eine Vielzahl unterschiedlicher Untersuchungen.[216] Erste Arbeiten, die sich mit dem generellen Problem der Länge des Planungshorizontes beschäftigen, sind [MoHo55], [CCM55] und [WaWh58].

[207] Vgl. [Dang09].
[208] Vgl. [SKH04].
[209] Für den Zeitbereich liegt dann sowohl eine grobe als auch eine feinere Version vor.
[210] Vgl. [Troß92].
[211] Dazu könnten zusätzlich Toleranzwerte definiert werden, deren Über- oder Unterschreitung eine Aktualisierung auslösen würde.
[212] Vgl. u.a. [CJK79] und [Kimm98].
[213] Vgl. [CJK79].
[214] Vgl. u.a. [CHS02].
[215] Vgl. u.a. [CJK79].
[216] Als Beispiel seien die Arbeiten von [Zabe64] und [CSS92] genannt.

Für einstufige Probleme werden u.a. in [CBK82] und [RuUr93] Ansätze entwickelt, die sich damit beschäftigen, wie weit ein Horizont in der rollierenden Planung erweitert werden soll. Für eine mehrstufige Planung wird dies in [DeJe05] untersucht. Laut [BaPe79] werden mit einem längeren Planungshorizont in einer rollierenden Planung in der Regel bessere Ergebnisse erzielt, dies ist jedoch nicht immer der Fall.[217] Es wurde gezeigt, dass es einen bestimmten Punkt gibt, ab dem die Hinzunahme weiterer Perioden keinen Einfluss mehr auf die optimale Entscheidung der zu implementierenden Perioden besitzt.[218] Für gewisse Probleme kann bewiesen werden, dass eine bestimmte Planungsreichweite ausreicht, um die Optimalität der endgültigen Entscheidungen zu gewährleisten. So kann bspw. für ein Wagner-Whitin-Problem nachgewiesen werden, dass eine für einen Horizont ermittelte (Teil)Politik unabhängig von der späteren Datenentwicklung Bestandteil einer optimalen Gesamtpolitik ist.[219]

Wird der Planungshorizont zu kurz gewählt, so führt dies in der Regel zu einem Effekt, der im Deutschen meist mit End-Effekt und im Englischen mit „end effect“ oder „truncated horizon effect“ bezeichnet wird. Dieser Effekt tritt durch Kombination eines kurzen Planungshorizontes[220] mit einer Festlegung auf einen bestimmten Endzustand auf, der die Perioden nach Ende des Planungshorizontes nicht adäquat berücksichtigt.[221] Ein weit verbreitetes Beispiel besteht darin, den Lagerbestand zum Ende einer Planung auf null zu setzen.[222] Dies kann entweder explizit durch eine entsprechende Restriktion oder implizit durch die Minimierung der Lagerkosten als ein Zielkriterium hervorgerufen werden. Wird der Lagerbestand am Ende eines kurzen Planungshorizontes mit null geplant, so resultiert daraus oft, dass die Losgrößen der zu implementierenden Pläne nicht in optimaler Weise bestimmt werden, falls nach dem Planungshorizont weitere Bedarfe vorhanden sind.[223] Um den End-Effekten entgegenzutreten, wurde eine Vielzahl von Methoden vorgeschlagen. Diese bestehen bspw. darin, stabile Durchschnittsgrößen zu verwenden, um gute, durchschnittliche Vorgaben über den Endzustand zu treffen, oder darin, eine Vorausschau über den Planungshorizont hinaus in die Entscheidung aufzunehmen.[224] Für den zweiten Fall haben einige Autoren, wie bspw. Stadtler und Clark den Ansatz verfolgt, eine vereinfachte Repräsentation der späteren Perioden zu verwenden, um Lösungen schwierigerer Probleme zu ermöglichen.[225]

Der zweite große Problembereich der rollierenden Planung neben den End-Effekten liegt in der sogenannten Nervosität, die entsteht, wenn Pläne im Überlappungsbereich (erheblich) von den zuvor erstellten abweichen.[226] Besonders gravierend ist dies, wenn dadurch andere Pläne betroffen sind, wie bspw. im Kontext einer Supply Chain.[227] Einerseits ist Nervosität in einem Planungssystem immer unerwünscht, andererseits ist es auch nicht sinnvoll, Nervosität um jeden Preis zu vermeiden, da durch eine Umplanung oft kostengünstigere Losgrößen bestimmt

[217] Vgl. [Bake77].
[218] Vgl. u.a. [CHS02].
[219] Vgl. [SKH04] und die dort angegebene Literatur.
[220] Ein kurzer Planungshorizont wird häufig aus Gründen der abnehmenden Prognosegenauigkeit und steigendem Berechnungsaufwand gewählt (vgl. [FRZ01]).
[221] Vgl. u.a. [Grin83].
[222] Vgl. u.a. [FRZ01] und [CHS02].
[223] Wenn der Planungshorizont hinreichend groß ist, ist es relativ unkritisch, das System am Ende in einen Initialzustand zu überführen, der bspw. ein leeres Lager vorsieht (vgl. [SKH04]).
[224] Vgl. [SKH04].
[225] Vgl. [Stad03] und [Clar03].
[226] Vgl. u.a. [FeTz94], [Bake93] und [KaSr97].
[227] Vgl. u.a. [CJK79] und [Kimm98].

werden können.[228] Das Problem, das sich aus diesem Tradeoff ergibt, kann dadurch gelöst werden, dass die Kosten, die durch eine Revidierung des ursprünglichen Planes gespart werden könnten, mit der entstehenden Nervosität bzw. der Stabilität des Planes verglichen werden.[229] Um dies zu ermöglichen, wurden diverse Verfahren entwickelt, deren Ziel es ist, die Stabilität eines Planes zu messen. In [CJK79] werden Kosten für die Nervosität eingeführt, die messen sollen, ob die Nervosität ökonomisch tolerierbar ist. Dazu werden zwei Formen der Nervosität unterschieden und die Rüstvorgänge als Kostenträger definiert. Bei der ersten Form der Nervosität finden Losgrößenänderungen in Perioden statt, in denen der entsprechende Rüstvorgang bereits geplant wurde. In der zweiten Form wird durch eine Änderung ein neuer Rüstvorgang notwendig. Die Kosten werden zusätzlich noch nach dem Zeitpunkt der Änderung gewichtet. Dabei sind diese am Anfang hoch und sinken im Zeitverlauf. In [BKM86] wurde ein Instabilitätsmaß entwickelt, das hauptsächlich die Anzahl an Losen betrachtet, die in der ersten Periode produziert werden müssen, aber vorher nicht eingeplant waren. In [SBU88] wurde ein Maß entwickelt, das nicht nur die Änderungen in der ersten Periode, sondern auch spätere Änderungen der Losgrößen betrachtet. Weitere Stabilitätsmaße werden in [Kimm98] besprochen.

3.5.2 FAZIT

Aus den vorgestellten Designkriterien leiten sich einige Erkenntnisse für den rollierenden Aspekt des Verfahrens ab, die in der Konzeption und Umsetzung berücksichtigt werden sollten:

- Die Länge des Planungshorizontes sollte so gewählt werden, dass End-Effekte möglichst vermieden werden und somit auch ein Lagerbestand von null am Ende des Planungshorizontes sich nicht nachteilig auf die Kosten auswirkt. Es sollte eine stärkere Gewichtung zeitlich früherer Perioden vorgenommen werden können.
- Die Planungsstabilität der Lieferanten sollte durch die Einführung von Abweichungskosten für Bestellpläne zwischen zwei Planungsläufen im Kundenmodell berücksichtigt werden.
- Die Verschachtelung der Grob- und der Feinplanung muss genau definiert werden.

[228] Vgl. [CJK79].
[229] Vgl. u.a. [Kimm98].

4 ZU LEISTENDE ARBEIT

„Verantwortlich ist man nicht nur für das, was man tut, sondern auch für das, was man nicht tut."

(Laotse)

In diesem Kapitel erfolgt eine Beschreibung der Arbeiten, die zur Lösung des in Kapitel 2 beschriebenen Problems unter Berücksichtigung des in Kapitel 3 analysierten Stands der Technik in der in Kapitel 5 folgenden Konzeption und der Evaluierung in Kapitel 6 zu leisten sind.

4.1 KOOPERATIVE KUNDEN-LIEFERANTEN-BEZIEHUNG

4.1.1 VERTRAGLICHER ASPEKT

Der vertragliche Aspekt der Kunden-Lieferanten Beziehung muss in einem **Rahmenvertrag** beschrieben werden, um die Regeln für die Planung zu definieren. Dazu müssen Mengen-, Preis- und Flexibilitätsaspekte des Vertrages mitsamt ihrem zeitlichen Bezug definiert werden. Mengen und Preise sollen dabei in Form von Stufenrabatten modelliert werden. Die **Flexibilitätsmodellierung** soll sich an den in Abschnitt 3.1.1 beschriebenen Quantity Flexibility Kontrakten orientieren. Zusätzlich soll es dem Kunden möglich sein, vereinbarte Korridore gegen Strafzahlung in beide Richtungen zu verlassen.

Zur Modellierung der rollierenden Grob- und Feinplanung muss die **Zeitbetrachtung** in Bezug zu den einzelnen Planungsstufen gesetzt werden. Dies soll unter Beachtung der in Abschnitt 3.5.1 beschriebenen Designkriterien der rollierenden Planung erfolgen. Eine Zuordnung der **kooperativen Maßnahmen** zu den Planungsstufen muss vorgenommen werden und die Maßnahmen müssen detailliert werden.

4.1.2 PLANERISCHER ASPEKT

Die **rollierende Grobplanung** soll in eine Planung durch die Lieferanten und eine Planung durch den Kunden aufgeteilt werden. Dabei soll die Koordination der **Grobplanung aus Lieferantensicht** erfolgen, indem die Lieferanten Angebote in Form von Preisnachlässen planen, um ihre Kapazitätsauslastung zu optimieren. Die **Grobplanung aus Kundensicht** hat das Ziel, unter den gegebenen vertraglichen Aspekten eine für den Kunden möglichst günstige Planung der Flexibilitätskorridore unter gleichzeitiger Einhaltung der Quote zu ermöglichen.

In der **rollierenden Feinplanung** soll ein **Upstream Planning**[230] umgesetzt werden, um eine Koordination der Pläne der einzelnen Parteien zu ermöglichen. Zusätzlich müssen die Ergebnisse der Grobplanung in die mathematischen Modelle der Feinplanung integriert werden, um eine konsistente Planung über alle Parteien und beide Planungsstufen zu ermöglichen. Bei der

[230] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.1.

Konzeption der rollierenden Feinplanung ist sowohl eine Planungsvariante abzubilden, bei der der Kunde die **Planungshoheit über das Engpassteile-Lager** besitzt, als auch eine Variante, in der die Planungshoheit bei den Lieferanten liegt (VMI). Es soll ein an Dudeks Ansatz[231] angelehntes **Profit-Sharing-Verfahren** konzipiert werden, indem, wie durch Sucky vorgeschlagen[232], ein Angebotsmenü durch die Lieferanten unterbreitet wird, aus dem der Kunde eine Kombination an Liefervorschlägen wählen kann. Ein Angebot besteht dabei analog zu einem Vorschlag von Dudek aus einem Lieferplan und einer Ausgleichszahlung. Es sind mehrere Ansätze zu verfolgen, um verschiedene Liefervorschläge durch die Lieferanten zu generieren. Dabei werden Ideen der hierarchischen Planung[233] Verwendung finden, die als passend analysiert wurden, um das Kundenverhalten zu antizipieren. Der Kunde muss keinen Profit-Sharing-Vorschlag akzeptieren, sondern kann auch immer die vorher von ihm aufgestellten Bestellpläne beibehalten. Damit vorher getätigte Abstimmungen auch in einem nervösen Umfeld konsistent umgesetzt werden können, wird wie in der Arbeit von Dudek ein Verhandlungshorizont eingeführt. Um die **Planungsnervosität** generell gering zu halten, soll ein Mechanismus integriert werden, der dafür sorgt, dass der Kunde keine willkürlichen Änderungen der Bestellpläne durchführt. Um dies zu erreichen, muss der Kunde eine Kompensation erhalten. Diese Kompensation orientiert sich an dem Ansatz von Egri[234], indem die Abweichungen zwischen Bestellplänen gemessen werden und die Höhe der Kompensation durch die resultierende Prognosegenauigkeit bestimmt wird.

4.2 Planungsdomäne Kunde

Die **Grobplanung** des Kunden soll Entscheidungen unter Unsicherheit so treffen, dass die im vorigen Abschnitt genannten Ziele erreicht werden. Dazu werden Flexibilitätskorridore im Zeitverlauf neu geplant sowie konkretisiert. Das Ziel besteht darin bei der letztendlichen Realisierung der Bestellmengen eines Zeitabschnitts möglichst günstig zu bestellen, also Rabatte und Angebote auszunutzen, aber gleichzeitig im Zeitverlauf nicht zu oft von vorherigen Korridoren abzuweichen, da dadurch vertragliche Strafen entstehen. Bei jeder Entscheidung muss dabei ein Tradeoff zwischen Kostenaspekten im Sinne von Bestellpreisen und Strafkosten sowie Quotenaspekten berücksichtigt werden. Zur Konzeption der Planung sollen Ideen der robusten Optimierung[235] beachtet werden.

In der **Feinplanung** des Kunden kann die reine **Produktionsplanungsaufgabe** durch ein an die Problemstellung adaptiertes CLSP[236] modelliert werden, um die in Abschnitt 2.5.2 getroffenen Annahmen und Restriktionen abzubilden. Dabei kann auf bereits bestehende Modellierungen zurückgegriffen werden. Der Aspekt, dass Engpassteile vorhanden sein müssen, um Engpassprodukte herstellen zu können, soll dabei durch eine zum MLCLSP[237] ähnliche Modellierung der Vorgänger-Nachfolger-Beziehung abgebildet werden. Eine weitere Aufgabe besteht darin, eine kostenminimale Planung der Beschaffung des Engpassteils in das Modell zu integrieren, um ein Modell zu erzeugen, das die Interdependenzen zwischen Produktions- und **Beschaffungsplanung** berücksichtigt. Die Modellierung der Beschaffung soll Stufenrabatte mehrerer Lieferanten, fixe Bestellkosten, die in der Grobplanung festgelegten Korridore, Strafzahlungen für ein Verlassen der Korridore sowie absolute Lieferbeschränkungen der Lieferanten berücksichtigen. Dazu

[231] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.3.
[232] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.4.
[233] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.2.
[234] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.5.
[235] Vgl. Abschnitt 3.1.2.1.2.
[236] Vgl. Abschnitt 3.2.1.
[237] Vgl. Abschnitt 3.2.2.

wird das für die Produktionsplanungsaufgabe aufgestellte Modell um die beschriebenen Elemente erweitert, wobei auf die im Stand der Technik beschriebenen Restriktionen in den Abschnitten 3.3.2 und 3.4 zurückgegriffen werden kann. Das Modell muss sowohl perioden- als auch zeitabschnittsbezogene Aspekte berücksichtigen, die gegenseitig voneinander abhängen. Eine Modellierung für diesen Fall wurde in Abschnitt 3.3.1 beschrieben. Zusätzlich soll ein Eingangslager der Engpassteile modelliert werden, das es ermöglicht, günstige Preise auszunutzen und evtl. entstehende Mehrmengen an Engpassteilen zwischenzulagern. Um den rollierenden Aspekt der Planung zu berücksichtigen, wird das Modell dahingehend erweitert, dass Abweichungen zwischen zwei Bestellplänen bei einem Lieferanten möglichst gering gehalten werden. Zudem müssen die Modelle im Kontext der rollierenden Planung Zustände, die aus der letzten Planung resultieren, im Modell der nächsten Planung berücksichtigen. Dabei handelt es sich bspw. um Aspekte der Feinplanung, wie Lagerbestände oder Rückstände, oder um Aspekte, die die Verschachtelung der Grob- und der Feinplanung betreffen, wie bisher getätigte Bestellungen in einem gerade aktuellen Zeitabschnitt. Es soll zudem möglich sein, Entscheidungen zeitlich früherer Planungsperioden stärker zu gewichten als spätere.[238]

4.3 PLANUNGSDOMÄNE LIEFERANT

Die Angebote der Lieferanten im Rahmen der **Grobplanung** stellen Abwandlungen der normalen Stufenrabattstruktur zum Vorteil des Kunden dar. Zur Ermittlung der Preise wurde die Rabattbestimmung nach Monahan[239] identifiziert, die für die Problemstellung adaptiert werden muss. Da es Fälle geben kann, in denen diese Rabattbestimmung nicht sinnvoll ist, soll ein weiteres Verfahren zur Rabattbestimmung konzipiert werden. Das Ziel der Lieferanten-Grobplanung liegt in einer hohen Kapazitätsauslastung. Um die Modellierung der Kapazität im Gesamtverfahren konsistent abbilden zu können, sollen die Lieferanten im Rahmen der Grobplanung eine einfache Art der Kapazitätsplanung durchführen, dessen Ergebnisse der Feinplanung als Ausgangsbasis dienen.

Im Rahmen der **Feinplanung** soll die reine **Produktionsplanungsaufgabe** der Lieferanten wie beim Kunden durch ein an die Problemstellung adaptiertes CLSP modelliert werden. Im Gegensatz zur Planung des Kunden wird die Planung von Zusatzkapazitäten integriert, wobei ebenfalls auf bereits vorhandene Modellierungsansätze[240] zurückgegriffen werden kann, die für die Problemstellung adaptiert werden. Wird der Fall betrachtet, dass die Lieferanten für die Planung des Engpassteil-Lagers zuständig sind, muss das Produktionsplanungsmodell der Lieferanten um die Betrachtung des Lagers und die Berücksichtigung von fixen Bestellkosten erweitert werden. Dabei können Restriktionen des Kundenmodells auf das Lieferantenmodell übertragen und angepasst werden. Im Profit-Sharing sollen die Lieferanten alternative Liefervorschläge unterbreiten können. Dies bedingt, dass die Bedarfe der Kunden nicht mehr als harte Restriktionen vorgegeben werden, sondern durch die Lieferanten gelockert werden können. Um dies zu erreichen, sollen mehrere Modelle, die eine integrierte Produktions- und **Lieferplanung** der Lieferanten vornehmen, formuliert werden. Für den rollierenden Aspekt in der Planungsdomäne des Lieferanten gilt prinzipiell das Gleiche wie in der Planungsdomäne des Kunden. Dabei muss allerdings keine Verschachtelung berücksichtigt werden und Abweichungen zwischen zwei Planungsläufen können vernachlässigt werden. Zusätzlich zum Kunden soll dafür gesorgt werden, dass einmal gebuchte Zusatzkapazitäten zukünftig berücksichtigt werden.

---

[238] Vgl. Abschnitt 3.5.
[239] Vgl. Abschnitt 3.1.2.1.1.
[240] Vgl. Abschnitt 3.2.2.

4.4 EVALUIERUNG DES ANSATZES

Zur Evaluierung des Ansatzes ist eine Testplattform zu schaffen, mit der alle beschriebenen Aspekte des Problems modelliert und die Ergebnisse der Verfahren evaluiert werden können. Die Evaluierung soll dadurch erfolgen, dass alle Parteien des Szenarios voneinander unabhängige Planungen durchführen. Dabei wird eine rollierende Planung simuliert, die die Grob- und Feinplanungen aller Parteien bis zum Ende des Vertragshorizontes durchführt. Die Ergebnisse verschiedener kooperativer Maßnahmen sind dabei sowohl individuell als auch in Kombination, sowohl für das gesamte Szenario als auch für einzelne Parteien nach diversen Gesichtspunkten, auszuwerten.

Als Benchmark sollen zum einen Verfahren umgesetzt werden, die eine rollierende Planung der Referenzsituation und zum anderen eine Zentralplanung durchführen. Die Zentralplanung wird dabei sowohl im rollierenden Kontext als auch als zentrales Gesamtmodell, das eine Planung unter vollständiger Kenntnis aller relevanten Parameter durchführt, umgesetzt. Es soll möglich sein, verschiedene Kombinationen der Verfahren zusammenzuschalten, so dass unterschiedliche Grob- und Feinplanungen für Kunden und für Lieferanten über die Testplattform angesteuert und kombiniert werden können.

5 KONZEPTION

„Die Fragen stelle ich, die Antworten gebe ich auch."

(Klaus Augenthaler)

Als erster Schritt der Konzeption wird die kooperative Kunden-Lieferanten-Beziehung definiert, die die Regeln zur Planung der Beschaffung des Engpassteils vorgibt (Abschnitt 5.1). Dabei erfolgt in Abschnitt 5.1.1 eine Beschreibung der Zeitbetrachtung, an der sich die Konzeption orientiert. Im Anschluss wird ein Rahmenvertrag definiert, indem Mengen und Preise und optionale kooperative Maßnahmen beschrieben werden (Abschnitt 5.1.2). Dabei soll generell gelten, dass sich die Parteien in einem konkreten Vertrag auf eine Teilmenge der Maßnahmen einigen, aber auch zusätzliche, nicht beschriebene Maßnahmen ergänzen können. Alle beschriebenen Maßnahmen sollen in ein konkretes Planungsverfahren umgesetzt werden, das die Auswirkungen jeder einzelnen Maßnahme und Kombinationen dieser messbar macht. Dazu ist es notwendig, eine verschachtelte, rollierende Grob- und Feinplanung zu konzipieren, die jeweils aus Kunden- und Lieferantensicht durchzuführen ist und alle beschriebenen Restriktionen und Kosten beachtet. Die Restriktionen und Kosten, die aus den in Abschnitt 2.5 beschriebenen Elementen und den durch den Rahmenvertrag zusätzlich entstehenden Komponenten bestehen, werden in Abschnitt 5.1.3 zusammengefasst. Da keine Vorarbeiten existieren, die die kompletten Eigenschaften des Planungsgegenstandes berücksichtigen, muss jede Planung unter Berücksichtigung des in Kapitel 3 analysierten Stands der Technik konzipiert werden. Die einzelnen Planungsverfahren werden in Abschnitt 5.2 vorgestellt. Dabei erfolgt in Abschnitt 5.2.1 zunächst die Konzeption der Grobplanung, anschließend in Abschnitt 5.2.2 die Konzeption der Feinplanung, bevor der rollierende Aspekt und das Zusammenwirken der einzelnen Planungsverfahren in Abschnitt 5.2.3 noch einmal gesondert betrachtet wird. In Abschnitt 5.2.4 erfolgt eine Definition der Gegner, die in der Evaluierung zur Bewertung der Ansätze herangezogen werden. Da für die konkrete Konzeption zum Teil Annahmen getroffen wurden, die nicht allgemeingültig sind bzw. Vereinfachungen vornehmen, wird zum Abschluss des Kapitels in Abschnitt 5.3 die Adaptierbarkeit bzw. die direkte Verwendbarkeit des Ansatzes in anderen Szenarien bzw. unter anderen Annahmen diskutiert.

5.1 KOOPERATIVE KUNDEN-LIEFERANTEN-BEZIEHUNG

5.1.1 ZEITBETRACHTUNG

Um die verschiedenen Aspekte, die durch das Verfahren behandelt werden sollen, berücksichtigen zu können, bedarf es unterschiedlicher Zeithorizonte. Diese Horizonte und ihre Zusammenhänge sind in Abbildung 5.1 dargestellt.

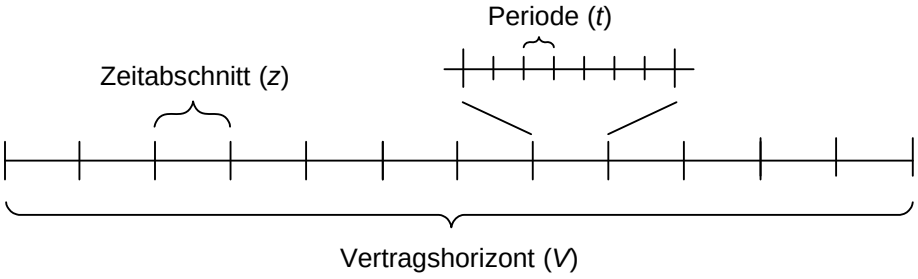


Abbildung 5.1: Zeitsicht der Planung

Die größte betrachtete Zeiteinheit ist der Vertragshorizont *V*, der die Gesamtlaufzeit des Rahmenvertrages umfasst. Dieser Horizont kann bspw. ein Jahr oder auch mehrere Jahre umfassen.[241] Die nächstkleinere Einheit, die den Vertragshorizont unterteilt, ist der Zeitabschnitt *z*, bei dem es sich bspw. um einen Monat oder um eine Woche handeln kann. In einem Zeitabschnitt werden die Flexibilitätskorridore zwischen dem Kunden und den Lieferanten abgestimmt, ohne jedoch Aussagen über die exakten Bestellmengen- und -termine zu treffen. Diese exakten Mengen und Termine der Lieferungen bzw. Bestellungen werden periodengenau geplant, wobei ein Zeitabschnitt aus mehreren Perioden *t* besteht. Da eine Big-Bucket basierte Planung durchgeführt wird, stellen Perioden (bspw. Tage) im Kontext dieser Arbeit die feinsten Zeiteinheiten dar. In der Realität kann eine anschließende detailliertere Planung dadurch erreicht werden, dass die genaue Reihenfolge durch eine nachgeschaltete Small-Bucket Planung oder durch eine manuelle Planung eines Produktionsplaners erfolgt, die den durch das beschriebene Verfahren generierten Plan konkretisiert.[242] Die feineren Zeiteinheiten beschreiben dabei die nächsthöheren Zeiteinheiten jeweils ohne Restzeit.

Aus der Annahme, dass eine rollierende Planung durchgeführt werden soll, und der oben beschriebenen Zeitsicht folgt die in Abbildung 5.2 dargestellte Planungssicht.

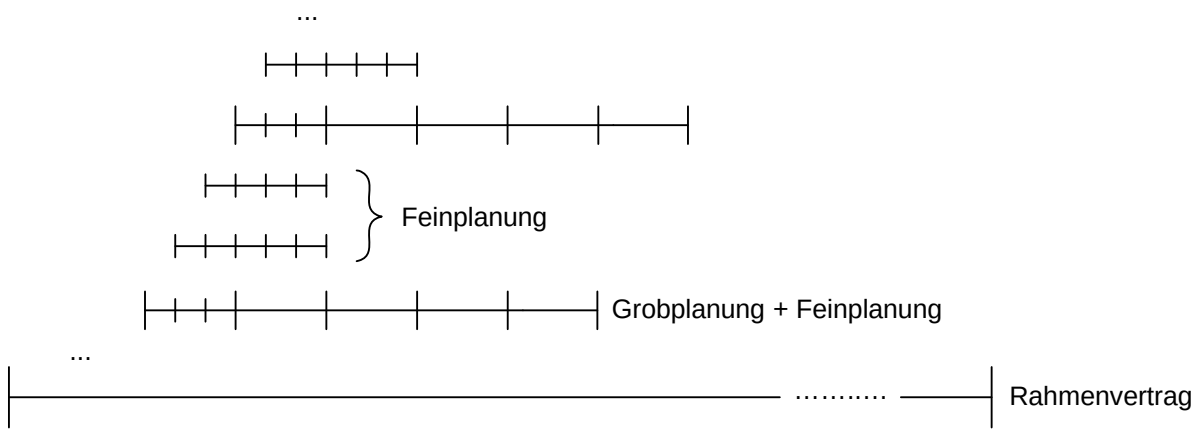


Abbildung 5.2: Planungssicht

Es wird solange eine rollierende Planung ausgeführt, bis das Ende des Vertragshorizontes erreicht ist. Die Planung der Flexibilitätskorridore wird wie bereits erwähnt als Grobplanung (GP) bezeichnet. Sobald ein Zeitabschnitt *z* vorüber ist, wird eine erneute Grobplanung für eine vorher definierte Anzahl an Zeitabschnitten durchgeführt. Die Produktionsplanung und die periodengenaue Beschaffungsplanung werden in einer Feinplanung (FP) durchgeführt, die jede

[241] Ein Rahmenvertrag über einen Produktlebenszyklus kann sich bspw. über mehrere Jahre erstrecken.
[242] Vgl. Abschnitt 5.3.2.

Periode t stattfindet. Da die Feinplanung von den aggregierten Mengen, die in der Grobplanung ermittelt wurden, abhängt, wird eine Feinplanung immer bis zum Ende eines Zeitabschnitts durchgeführt und umfasst immer mindestens einen kompletten Zeitabschnitt.[243] Durch diese Verschachtelung der Grob- und der Feinplanung kann eine konsistente Gesamtplanung erreicht werden.

Für die in 3.5.1 beschriebenen Designkriterien der rollierenden Planung gilt folgendes:

Die **Länge der Planungshorizonte** kann individuell festgelegt werden und wird gegen Ende des Vertragshorizontes kleiner. Für die Feinplanung wird angenommen, dass der Planungshorizont lang genug ist, um End-Effekte zu vermeiden. Der **Fortschreibungsrhythmus** wird als ein Zeitabschnitt in der Grobplanung bzw. eine Periode in der Feinplanung angenommen. In der Feinplanung ist der Fortschreibungsrhythmus aber prinzipiell flexibel.[244] Aus der Länge der Planungshorizonte und des Fortschreibungsrhythmus ergibt sich ein **Überlappungszeitraum** von einem Zeitabschnitt für die Grobplanung und einer Periode für die Feinplanung. Die **Länge der eingefrorenen Zone** beträgt für die Grobplanung eins und wird aus Komplexitätsgründen für die Feinplanung auf null festgelegt.[245] Die **Verschachtelung der übergeordneten mit der tieferen Stufe** erfolgt dadurch, dass Korridore aus der Grobplanung und zeitabschnittsbezogene Maximalmengen in der Feinplanung beachtet werden müssen. Zudem resultieren summierte Bestellungen der Perioden in Rabattstufen für Zeitabschnitte. Die Konkretisierung der übergeordneten in feinere Stufen erfolgt dadurch, dass periodengenaue Bestellmengen zeitabschnittsgenaue Bestellmengen konkretisieren.

5.1.2 RAHMENVERTRAG

5.1.2.1 Mengen und Preise

Die Rahmenverträge zwischen dem Kunden und seinen Lieferanten definieren einen für das beschriebene Planungskonzept fest vorgegebenen Rahmen, der durch alle in der Beziehung partizipierenden Teilnehmer zu erfüllen ist. Sobald ein Rahmenvertrag abgeschlossen ist, ist dieser auch nicht mehr verhandelbar, sondern nur noch als Vorgabe zu sehen.

Die im Rahmenvertrag festgesetzten Regeln können danach unterschieden werden, ob sie sich auf die Gesamtlaufzeit des Rahmenvertrages (Vertragshorizont V), auf einen den Vertragshorizont unterteilenden Zeitabschnitt z oder auf die den Zeitabschnitt unterteilenden Perioden t beziehen.[246]

Im Folgenden werden elementare Merkmale des Vertragshorizontes, der Zeitabschnitte und der Perioden beschrieben.

Merkmale des Vertragshorizontes:

Im Fall mehrerer beteiligter Lieferanten mit Quotenbezug ist die Laufzeit des Rahmenvertrages sinnvollerweise für jeden Lieferanten identisch zu wählen.

---

[243] Dadurch variiert die Länge des Feinplanungshorizontes.
[244] Auswirkungen eines größeren Fortschreibungsrhythmus der Feinplanung auf das Verfahren werden in Abschnitt 5.3.2 beschrieben.
[245] Auswirkungen einer eingefrorenen Zone auf die Feinplanung werden in Abschnitt 5.3.2 beschrieben.
[246] Vgl. Abschnitt 5.1.1.

Mengen**:** Am Ende des Vertragshorizontes müssen die festgelegten Quoten erfüllt worden sein.[247] Um diese Restriktion zu entschärfen, kann im Vorfeld eine erlaubte Abweichung definiert werden.

Preise: Im Rahmenvertrag werden Rabattstrukturen festgelegt, die für jeden Zeitabschnitt gelten. Die Rabatte werden in Form von Stufenrabatten angeboten.[248] In einzelnen Zeitabschnitten kann zum Vorteil des Kunden von der normalen Rabattstruktur abgewichen werden.

Merkmale eines Zeitabschnitts:

Für einen Zeitabschnitt werden Flexibilitätskorridore festgelegt[249], die im Laufe der Zeit konkretisiert und schließlich realisiert werden. Die exakten Bestellungen und Lieferungen werden im Rahmen der Feinplanung für einzelne Perioden durchgeführt und bilden in Summe die Bestellungen des Zeitabschnitts.

Mengen: Die Lieferanten kommunizieren dem Kunden Liefermengen (Kapazitäten), die pro Zeitabschnitt möglich sind. Dabei gilt, dass diese Mengen im Laufe einer normalen Koordination nur erhöht werden dürfen.[250] Die Liefermengen eines Zeitabschnitts können unabhängig von der Quote bestimmt werden. Sie richten sich nach den in den vorherigen Planungsläufen geplanten Flexibilitätskorridoren. Dabei sind auch Bestellungen möglich, die sich außerhalb der Korridore befinden.[251] Diese verursachen Strafkosten, die vom Kunden an den Lieferanten zu entrichten sind.[252] Dies lässt sich dadurch begründen, dass der Kunde sich nicht an die vorher abgesprochene Kapazität gehalten hat, was den Lieferanten im Normalfall zu nicht abgesetzten Produkten (im Falle einer zu niedrigen Bestellung) oder zu zusätzlichem Aufbau von Kapazität (im Falle einer zu hohen Bestellung) zwingt. Zusätzlich wird durch diese Strafkosten dafür gesorgt, dass eine möglichst genaue Abstimmung der Mengen erfolgt.[253]

Preise: Generell gelten die im Rahmenvertrag festgelegten Preiskonditionen. Die Lieferanten können zusätzlich für einen Zeitabschnitt Sonderkonditionen in Form von Preissenkungen anbieten. Diese Preissenkungen beziehen sich auf die Rabattstruktur. Analog zu den Mengen können auch bei den Preisen nur Änderungen vorgenommen werden, die zum Vorteil des Kunden sind. Es sind folglich keine kurzfristigen Preiserhöhungen erlaubt.

---

[247] Alternativ können, wenn kein Quotenbezug festgelegt wurde, durch den Kunden für jeden Lieferanten Mindestabnahmemengen für den Vertragshorizont definiert werden. Änderungen, die sich dadurch am Verfahren ergeben, werden in Abschnitt 5.3.1 diskutiert.
[248] Vgl. Abschnitt 2.3.
[249] Dies geschieht, sobald sich der Zeitabschnitt im Planungshorizont der Grobplanung befindet.
[250] Eine normale Koordination bedeutet, dass eine Abstimmung im Rahmen der vereinbarten Mengen planmäßig stattfindet, d.h., dass kein unvorhergesehenes Ereignis, das zu einer Nichtlieferung oder einer Verringerung der Kapazität führt, die Koordination bedingt hat. Von diesem Fall wird im Rahmen des Verfahrens ausgegangen. Überlegungen zur nicht geplanten Koordination werden in Abschnitt 5.3.2 vorgestellt.
[251] Falls dies nicht durch eine andere Restriktion verhindert wird.
[252] Durch die Annahme, dass die Lieferanten ihre Mengen immer liefern können, tritt der Fall nicht auf, dass Lieferanten ein Verlassen der Korridore verursachen.
[253] Die Höhe der Strafkosten kann parametrisiert werden, so dass bspw. eine Überschreitung des Flexibilitätskorridors, die ja vom Lieferanten durchaus gewollt sein kann, ohne Strafe für den Kunden erfolgen kann, falls dies vertraglich so festgelegt ist.

Merkmale einer Periode:

Für die einzelnen Perioden erfolgen konkrete Bestellungen bzw. in den einzelnen Perioden konkrete Lieferungen des Engpassteils.

Mengen: Die maximal möglichen Bestellmengen einer Periode werden vom Lieferanten spätestens zu Beginn der ersten Feinplanung der Periode kommuniziert.

Preise: Da die Preise sich immer auf die Rabattstruktur beziehen, die für einen Zeitabschnitt gilt, existieren keine Preise für einzelne Perioden.

Rabattstruktur und Angebote:

Ein Beispiel für eine im Rahmenvertrag festgelegte Rabattstruktur und ein Angebot für einen Zeitabschnitt ist in Tabelle 5.1 dargestellt.

	Menge	Preis
Rabattstruktur laut Vertrag	0 - 19	10 GE
	20 - 29	9 GE
	30 - 40	8 GE
Angebot	0 - 19	10 GE
	20 - 29	9 GE
	30 - 50	7 GE

Tabelle 5.1: Rabattstruktur und Angebot

Im betrachteten Zeitabschnitt verfügt der betreffende Lieferant über zusätzliche Kapazitäten, die er zur Produktion des Engpassteils nutzen könnte. Seine maximal im Zeitabschnitt lieferbare Menge steigt von 40 auf 50 und der Preis für die höchste Rabattstufe wird durch den Lieferanten um eine Geldeinheit gesenkt. Damit verfolgt er das Ziel, den Kunden zu einer größeren Bestellmenge zu bewegen.

Tabelle 5.2 fasst die beschriebenen Eigenschaften des Rahmenvertrags zusammen.

	Vertragshorizont	Zeitabschnitt	Periode
Quote	fix	variabel	variabel
Mengen Kunde → Lieferant	Quote	Flexibilitätskorridor	-
Kapazität Lieferant → Kunde	-	maximale Bestellmengen	maximale Bestellmengen
Preise	Rabattstruktur	Rabattstruktur (Angebote möglich)	-

Tabelle 5.2: Eigenschaften des Rahmenvertrages für Vertrag, Zeitabschnitt und Periode

Die kooperativen Maßnahmen des Rahmenvertrags werden im folgenden Abschnitt beschrieben.

5.1.2.2 Kooperative Maßnahmen

Zusätzlich zu den im Abschnitt 5.1.2.1 beschriebenen Elementen des Rahmenvertrages werden verschiedene Maßnahmen eingeführt, die die kooperative Partnerschaft definieren. Diese Maßnahmen können sowohl einzeln als auch in Kombination angewandt werden. Die Zuordnung dieser Maßnahmen zu den einzelnen Zeithorizonten ist in Tabelle 5.3 wiedergegeben.

Maßnahme	Bezug	Abschnitt
Aufweichung des Quotenbezugs	Vertragshorizont/Grobplanung	5.1.2.2.1
Einführung von Flexibilitätskorridoren	Grobplanung	5.1.2.2.2
Planung des Engpassteil-Lagers durch die Lieferanten	Feinplanung	5.1.2.2.3
Änderungsplanung im Rahmen der Feinplanung	Feinplanung	5.1.2.2.4
Profit-Sharing	Feinplanung	5.1.2.2.5

Tabelle 5.3: Kooperative Maßnahmen mit Planungsbezug

5.1.2.2.1 Aufweichung des Quotenbezugs

Ein erster kooperativer Ansatz ist, die Quoten nicht mehr in jedem Zeitabschnitt einzuhalten, sondern es zu ermöglichen, Abweichungen in einzelnen Zeitabschnitten zu tolerieren. Die vertraglich festgelegte Gesamtquote muss aber eingehalten werden. Der Grundgedanke dieser Maßnahme ist es, die Bestellungen dadurch besser an die Kapazitätssituation der Lieferanten anpassen zu können. Daraus lassen sich auch für den Kunden Vorteile durch Ausnutzung von Rabatten im eigentlichen Sinne und von weiteren Preisnachlässen in Form von Angeboten erzielen. Da die Gesamtquote bestehen bleibt, wird jedem Lieferanten über den Vertragshorizont gesehen die gleiche Gesamtmenge wie in der Referenzsituation zugesichert.

Um dies zu ermöglichen, müssen mindestens zwei verschiedene Zeithorizonte betrachtet werden: der Vertragshorizont V, in dem die Quoten eingehalten werden müssen, und die Zeitabschnitte z, in denen es erlaubt wird, von Quoten abzuweichen.[254]

Für den Vertragshorizont V gilt:

$$b_{eV} = \sum_{l \in L} l_V^l \tag{5.1}$$

Sowohl für die Referenzsituation als auch für den kooperativen Fall gilt, dass sich die Gesamtbestellung für das Engpassteil im Vertragshorizont b_{eV} aus den Lieferungen der einzelnen Lieferanten l_V^l in diesem Zeithorizont ergibt.

Der Vertragshorizont V ist in k Zeitabschnitte unterteilt.

$$V = \{1, \dots, k\} \tag{5.2}$$

Die Bestellung für einen einzelnen Zeitabschnitt z lässt sich in der Referenzsituation[255] immer folgendermaßen beschreiben:

$$b_{ez} = \sum_{l \in L} l_z^l \tag{5.3}$$

$$l_z^l = quo^l \cdot b_{ez} \tag{5.4}$$

Jeder Lieferant l liefert anhand seiner Quote quo^l einen Anteil der Bestellmenge des Kunden für den Zeitabschnitt in Höhe von l_z^l. Die Gesamtbestellung für einen Zeitabschnitt b_{ez} besteht folglich immer aus der quotengetreuen Lieferung aller Lieferanten.

Wird der Quotenbezug aufgeweicht, so lässt sich dies folgendermaßen beschreiben:

[254] Perioden werden in diesem Kontext nicht betrachtet.
[255] In Abschnitt 5.2.4 werden mehrere Ausprägungen der Referenzsituation beschrieben. Diese unterscheiden sich allerdings nur im Zeitraum, für den die Quote eingehalten werden muss, und lassen sich somit leicht auf die beschriebene Situation übertragen.

$$b_{ez} = \sum_{l \in L} l_z^l \tag{5.5}$$

$$l_z^l = rq_z^l \cdot b_{ez} \tag{5.6}$$

$$0 \leq rq_z^l \leq 1 \tag{5.7}$$

Die realisierte Quote der Lieferanten rq_z^l im Zeitabschnitt z kann folglich von der vertraglichen Quote abweichen.

Um aber die vertragliche Quote längerfristig zu gewährleisten, muss für jeden Lieferanten folgendes gelten:

$$\sum_{z=1}^{k} l_z^l = quo^l \cdot b_{eV} \tag{5.8}$$

Im Vertragshorizont V muss also die Quote für alle Lieferanten eingehalten werden.

5.1.2.2.2 Einführung von Flexibilitätskorridoren

Aus den in Abschnitt 2.1 genannten Gründen werden Flexibilitätskorridore eingeführt, deren Ziel es ist, eine kontinuierliche und bindende Absprache über die zu erwartenden Bestellungen zu erreichen. Gleichzeitig müssen die Flexibilitätskorridore dem Kunden einen Nutzen erbringen, da er ohne einen Anreiz in der Realität selten eine Veränderung seiner Machtposition tolerieren oder auch nur Mehraufwand in die Beziehung investieren würde. Dies lässt sich im Wesentlichen nur dadurch erzielen, dass die Lieferanten im Zuge der Vertragsverhandlungen günstigere Preise in Form von Rabatten anbieten. Daher wird an dieser Stelle davon ausgegangen, dass genau dies geschehen ist, um den Kunden dazu zu bewegen, das Konzept der Flexibilitätskorridore anzuwenden.[256]

Durch das Konzept der Flexibilitätskorridore wird der Kunde dazu angeregt, seine zukünftigen Bedarfe und die daraus resultierenden Bestellungen bei seinen Lieferanten frühzeitig und möglichst genau abzuschätzen und zu kommunizieren. Da in fernerer Zukunft jedoch nur eine ungewisse Schätzung der zukünftigen Bedarfe vorliegen kann, muss dem Kunden in seiner Bestellung jedoch eine Flexibilität eingeräumt werden, die aber abnehmen sollte, je näher der betrachtete Zeitabschnitt rückt. Demzufolge kann der Lieferant sich langfristig auf die kommenden Bestellungen einstellen und muss diese lediglich innerhalb vorher definierter Grenzen konkretisieren. Das Konzept der Flexibilitätskorridore ist vom Grundprinzip ähnlich zu der Flexibilitätsbetrachtung der in Abschnitt 3.1.1 beschriebenen Quantity Flexibility Kontrakte. Allerdings darf der Kunde im Rahmen der Quantity Flexibility Kontrakte nicht in beide Richtungen von vorher definierten Korridoren abweichen. Dies soll im Rahmen der Flexibilitätskorridore aber möglich sein, um gegebenenfalls auf Bedarfssenkungen oder Angebote anderer Lieferanten reagieren zu können.

Sollte der Kunde zu ungenaue Bestellungen kommunizieren, so dass die Flexibilitätskorridore verlassen werden müssen, erhält der Lieferant eine Strafzahlung vom Kunden. Dadurch werden zwei Ziele erfüllt:

1. Der Lieferant wird für seine unvorhergesehene Anpassung ausgezahlt (im Gegensatz zur Referenzsituation).

[256] Würde der Kunde keine Machtposition besitzen, so könnten ihn Kernlieferanten aber durchaus auch durch ihre Verhandlungsmacht zum Konzept der Flexibilitätskorridore bewegen.

2. Der Kunde ist gewillt, die Flexibilitätskorridore möglichst gut zu planen und zu koordinieren, da ansonsten Strafzahlungen fällig werden.

Abbildung 5.3 zeigt das Konzept der Flexibilitätskorridore.

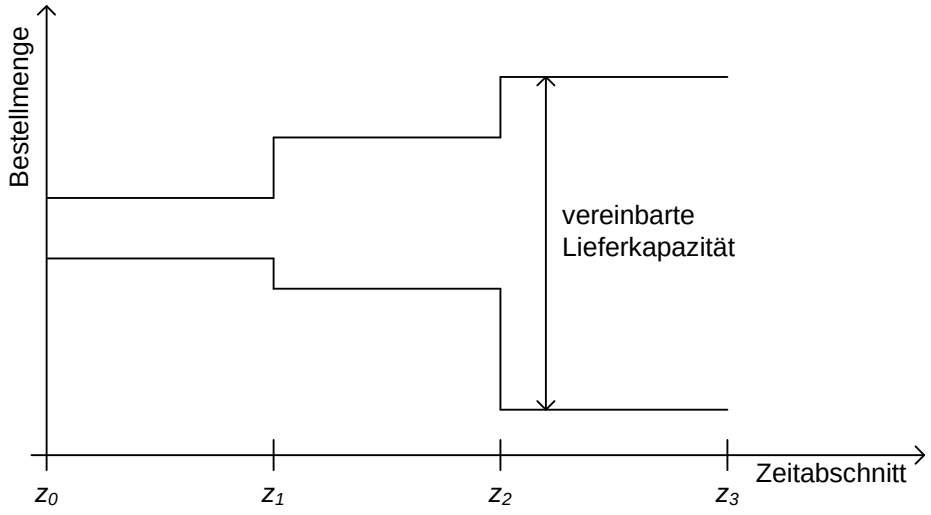


Abbildung 5.3: Flexibilitätskorridor

Diese Sicht zeigt Kapazitätsflexibilitäten in Abhängigkeit der Entfernung der Zeitabschnitte von der Heutelinie. In diesem Beispiel besitzt der Flexibilitätskorridor drei Flexibilitätsausprägungen. In der Nähe der tatsächlichen Lieferung wird eine geringe Flexibilität der Liefermenge vereinbart. Dadurch berücksichtigen die Flexibilitätskorridore, dass Bedarfe im Laufe der Zeit durch eintreffende Bestellungen (diese ersetzen oftmals prognostizierte Bedarfe) immer konkreter werden und dass die für einen Kunden bereitgestellte Kapazität eines Lieferanten flexibler gestaltet werden kann, falls der betrachtete Zeitabschnitt sich ferner in der Zukunft befindet. Eine Aufstockung der Kapazität kann im Extremfall durch Anschaffung neuer Maschinen im langfristigen Bereich erfolgen. Im Kurzfristbereich besteht die Kapazitätserhöhung meist darin, Überstunden oder Zusatzschichten zu installieren. Auch eine geringere Bestellmenge als erwartet wirkt sich in der Regel negativ für den Lieferanten aus, da dieser zumeist nicht in der Lage sein wird, seine Kapazitäten kurzfristig zu reduzieren.

Da bei der Planung der Flexibilitätskorridore vom Kunden auch schon einzuhaltende Quoten berücksichtigt werden müssen, muss der Kunde versuchen, durch eine gute Abschätzung der zukünftigen Bedarfe schon frühzeitig Korridore festzulegen, die er im späteren Verlauf ausnutzen kann. Um eine detailliertere Anpassung gewährleiten zu können, ist es sinnvoll, eine Unterscheidung hinsichtlich verschiedener Zeitabschnitte vorzunehmen. Abbildung 5.4 veranschaulicht das Konzept.

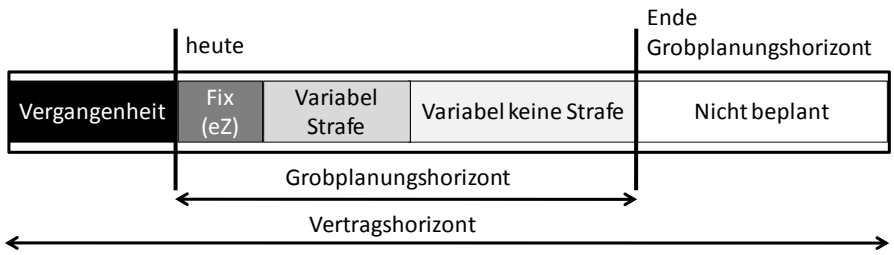


Abbildung 5.4: Betrachtung der Zeitabschnitte in Abhängigkeit der Entfernung zur Heutelinie

Die Abbildung zeigt über einen Vertragshorizont hinweg verschiedene Zeitbereiche.[257]

Vergangenheit: In diesem Bereich wurden bereits Bestellungen realisiert. Eine realisierte Quote kann berechnet werden.

Grobplanungshorizont: Von der Heutelinie an werden für einen vorher festgelegten Grobplanungshorizont Flexibilitätskorridore vereinbart.

Eingefrorene Zone (eZ): Im ersten Zeitbereich des Grobplanungshorizontes können die Flexibilitätskorridore nicht mehr neu bestimmt werden, da aufgrund der Kurzfristigkeit keine Maßnahmen mehr getroffen werden können, die eine größere Änderung der Liefermengen ermöglichen. Dies lässt sich bspw. durch bereits festgelegte Schichtmodelle der Lieferanten begründen. Trotzdem besteht eine Flexibilität, die durch den Kunden ausgenutzt werden kann.[258] Eine exakte Planung der Bestellmengen in der eingefrorenen Zone erfolgt im Rahmen der Feinplanung.

Variabel verhandelbarer Zeitbereich mit Strafe: Im darauffolgenden Zeitbereich können Flexibilitätskorridore neu definiert werden. Dabei entstehen dem Kunden allerdings Kosten, wenn er von den vorherigen Korridoren abweicht.[259] Dies lässt sich dadurch begründen, dass es den Lieferanten in diesem Zeitbereich nur noch schwer möglich ist, eine Umplanung der Produktion und damit der möglichen Lieferungen vorzunehmen.

Variabel verhandelbarer Zeitbereich ohne Strafe: Im letzten Zeitbereich des Grobplanungshorizont werden bereits Flexibilitätskorridore vereinbart, allerdings erfolgt dies zunächst unverbindlich und kann ohne eine Strafe durch den Kunden geändert werden. Der Zweck dieser Vereinbarungen liegt in der möglichst frühzeitigen Abstimmung der Liefermengen. In diesem Bereich besitzen die Lieferanten noch vielfältige Möglichkeiten, ihre produzierbaren Mengen und somit ihre möglichen Liefermengen anzupassen. Der Bereich ist optional und muss nicht in der Kunden-Lieferanten-Beziehung definiert werden. [260]

Nicht beplanter Zeitbereich: Am Ende des Vertragshorizontes kann sich noch ein gänzlich ungeplanter Zeitbereich befinden, der bei jedem rollierenden Planungsschritt kleiner wird und schließlich durch die anderen Zeitbereiche ersetzt wird.

5.1.2.2.3 Planung des Engpassteil-Lagers durch die Lieferanten

Im Rahmen dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass Engpassteile in einer derartigen Menge und Häufigkeit geliefert werden, dass zum einen nicht einzelne Engpassteile von den Lieferanten zum Kunden geliefert werden und zum anderen durch eine einzelne Lieferung keine langfristige Versorgung mit dem Engpassteil gesichert ist. Folglich wird von mehreren Lieferungen pro Zeitabschnitt ausgegangen, die jeweils Kosten verursachen und daher zu Bestellosen zusammengefasst werden, die in einem Engpassteil-Eingangslager auf Seiten des Kunden gelagert werden,

---

[257] Der Begriff der Zeitbereiche wird im Folgenden für die in Abbildung 5.4 dargestellten Bereiche unterschiedlicher Verhandlungsmöglichkeiten zur Abgrenzung des Begriffes der Zeitabschnitte verwendet. Dabei soll gelten, dass ein Zeitbereich mindestens einen und immer eine gerade Anzahl an Zeitabschnitten beinhaltet.

[258] Wird eine große Flexibilität unterstellt, so kann der Bereich der eingefrorenen Zone auch entfallen.

[259] Wie bereits erwähnt können diese Kosten auch auf null gesetzt werden und dadurch z.B. für eine Erhöhung der Korridorobergrenze entfallen.

[260] Damit für den frei verhandelbaren Bereich auch im nächsten Planungslauf keine Strafkosten anfallen, sollte dieser sinnvollerweise mindestens zwei Zeitabschnitte lang sein.

bevor sie von dort in das Engpassprodukt eingehen und dabei wieder aus dem Lager entnommen werden. Im normalen Szenario wird davon ausgegangen, dass der Kunde für die Planung des Engpassteil-Lagers verantwortlich ist. In einer nächsten Kooperationsstufe kann der Kunde die Planungshoheit über das Engpassteil-Lager an die Lieferanten abtreten.

Die Planung des Lagers durch den Kunden wird als Kooperationsstufe 1 (KS1) bezeichnet. Der Kunde besitzt in dieser Kooperationsform die Planungshoheit über das Lager und kann die exakten Liefermengen und Liefertermine bestimmen, was es ihm ermöglicht, den genauen Bestand des Lagers zu planen. In Kooperationsstufe 2 (KS2) gibt der Kunde diese Planungshoheit auf und überträgt die komplette Planung des Lagers an seine Lieferanten. Dieses Vendor Managed Inventory erfordert ein hohes Vertrauen gegenüber den Lieferanten, da keine exakten Liefermengen kommuniziert werden, sondern den Lieferanten dahingehend vertraut werden muss, dass die Engpassteile rechtzeitig zur Produktion vorrätig sind. [261] Aus Modellsicht werden die Kosten für die Lieferung und die Lagerung der Engpassteile in einem Fall beim Kunden und im anderen Fall beim Lieferanten angesiedelt. In Kooperationsstufe 1 führt der Kunde eine integrierte Planung der eigenen Produktion und der Beschaffung der Engpassteile durch. Die Ergebnisse werden in einem anschließenden Schritt an die Lieferanten übermittelt. Die Engpassteil-Bedarfe der Lieferanten resultieren in diesem Modell aus den Bestellungen des Kunden und müssen zu den Bestellzeitpunkten den Bestellmengen entsprechend im Engpassteil-Lager ankommen. In Kooperationsstufe 2 plant der Kunde analog zu Kooperationsstufe 1, allerdings unter Vernachlässigung von fixen Bestellkosten und Lagerkosten des Engpassteil-Lagers. Jeder Lieferant erhält basierend auf dem Kundenplan Bedarfe an Engpassteilen, die rechtzeitig im Lager vorhanden sein müssen. Wann diese genau geliefert und eingelagert werden, ist Teil der Planungsaufgabe der Lieferanten, welche auch die fixen Lieferkosten und die Lagerkosten der Engpassteile beim Kunden berücksichtigt.

Für beide Kooperationsstufen werden ganzzahlige Modelle erstellt und mit Solvern gelöst, um die Auswirkungen der Lagerverantwortlichkeit zu analysieren. Die Analyse geschieht vornehmlich hinsichtlich der Gesamtkosten des Supply Chain Ausschnittes, da die Vergleichbarkeit hinsichtlich der Kosten der einzelnen Parteien aufgrund der Zuordnung der Engpassteil-Lagerkosten und der bestellfixen Kosten auf unterschiedliche Parteien nicht konsistent gegeben ist. Der Ansatz unter Annahme von Kooperationsstufe 1 wird in Abschnitt 5.2.2.3, der Ansatz unter Annahme von Kooperationsstufe 2 in Abschnitt 5.2.2.4 beschrieben. Eine Untersuchung der Auswirkungen der Kosten in Abhängigkeit von der Kooperationsstufe erfolgt in Kapitel 6.

5.1.2.2.4 Änderungsplanung im Rahmen der Feinplanung

Im Abschnitt 5.1.2.2.2 wurde erläutert wie eine Abstimmung über die zu erwartenden kumulierten Liefermengen in einem Zeitabschnitt durch Flexibilitätskorridore erfolgen kann. Dadurch ist allerdings noch keine Aussage über die Abstimmung der Periodenbestellmengen getroffen. Da die Perioden rollierend geplant werden, können im Vergleich zur vorherigen Planung oftmals Änderungen der Rahmenbedingungen auftreten.

Im Rahmen einer Bestellmengenabstimmung ist es nicht ausreichend, die Mengen der Zeitabschnitte einzuhalten, wenn gleichzeitig die Periodenbestellungen aufeinanderfolgender Pla-

[261] Die Transparenz über die Planbestände des Engpassteil-Lagers geht für den Kunden verloren, da keine genauen Liefermengen und Liefertermine mehr vorgegeben werden können. Im Fall einer geänderten Situation (z.B. neue Aufträge an Engpassprodukten) ist der Kunde nicht immer genau informiert, ob die durch die Lieferanten geplanten Lieferungen hinsichtlich der neuen Situation zu einem gültigen Zustand des Bestands im Lager führen.

nungsläufe stark voneinander abweichen. Diese Abweichung kann zum einen durch eine fremdinduzierte Änderung der Endbedarfe, die der Kunde an die Lieferanten weitergeben muss, und zum anderen durch eine durch den Kunden selbst verursachte Änderung, die bspw. aus einer Neuplanung resultiert, erfolgen. Die erstgenannte Änderung kann durch kooperative Maßnahmen nicht verhindert werden[262], die letztere sehr wohl. Dazu müssen dem Kunden allerdings Anreize geschaffen werden, die Änderungen zwischen zwei Planungsläufen möglichst gering zu halten. Ohne diese Anreize wäre der Kunde nicht gewillt, auf die Situation seiner Lieferanten Rücksicht zu nehmen.

Es wird davon ausgegangen, dass die Lieferanten dem Kunden spätestens bei erstmaliger Feinplanung einer Periode deren maximale Periodenbestellmenge kommunizieren. Diese Mengen bleiben bestehen und werden anschließend durch die Lieferanten nicht mehr neu kommuniziert. In dieser Situation, in der dem Kunden maximale Bestellmengen für einzelne Perioden bekannt sind, könnte der Kunde, um seine Kosten zu minimieren, in jedem Planungsschritt eine Neuplanung unter Beachtung dieser Mengen durchführen und dabei die Bestellungen im Rahmen der Restriktionen beliebig ändern. Dies wäre allerdings eine suboptimale Situation für die Lieferanten, die im Szenario nicht nur einen Kunden beliefern und ein Produkt herstellen, sondern mehrere Kunden beliefern und mehrere Produkte herstellen. Durch eine ständige Umplanung des Kunden müssten stets Änderungen am Produktionsplan eines Lieferanten durchgeführt werden, die in der Regel mit Kosten verbunden sein werden. Um dies zu verhindern, müssen zwei Dinge geschehen:

1. Der Kunde soll zwischen zwei Planungsschritten möglichst geringe Änderungen der Bestellpläne vornehmen.
2. Der Kunde sollte einen Anreiz erhalten, dieses Vorgehen überhaupt zu akzeptieren.

Der erste Punkt wird dadurch gelöst, dass im Verfahren Strafkosten für jede Änderung der Bestellungen des Kunden in die Modelle integriert werden. Diese Strafkosten sind keine Kosten im eigentlichen monetären Sinne, sie dienen lediglich als Hilfskonstrukt, um eine möglichst geringe Änderung der Bestellungen zu ermöglichen.[263]

Die mögliche Motivation des Kunden lässt sich dadurch begründen, dass die Liefertreue und die Zufriedenheit der Lieferanten dadurch gesteigert werden können, dass die Bestellungen möglichst stabil bleiben. Allerdings ist dies schwer bzw. gar nicht monetär zu bewerten. Um eine monetäre Komponente zur Motivation des Kunden zu schaffen, kann ein Bonussystem eingeführt werden, das den Kunden am Ende der Vertragslaufzeit dafür belohnt, ein stabiles Bestellverhalten durchgeführt zu haben. Dieses Bonussystem misst, ähnlich zu dem in Abschnitt 3.1.2.2.5 vorgestellten Ansatz von Egri[264], die Abweichungen der Bestellungen zwischen zwei Planungsläufen und führt dazu eine Kennziffer ein. Diese wird bis zum Ende des Vertragshorizonts nach jeder Planung aktualisiert. Am Ende des Vertragshorizontes wird anhand der ermittelten Kennzahl eine Zahlung an den Kunden fällig. Diese Zahlungen werden im Rahmenvertrag gestaffelt festgelegt.

[262] Allerdings kann dafür gesorgt werden, dass die Änderungen möglichst gering ausfallen.
[263] Der Kostensatz hat dabei natürlich auch einen Einfluss auf andere, reale Kosten und sollte durch den Planer so eingestellt werden, dass auch andere Ziele wie bspw. geringe Lagerkosten nicht bedeutungslos werden.
[264] Vgl. [Egri08].

5.1.2.2.5 Profit-Sharing

Das Profit-Sharing erlaubt den Lieferanten, im Rahmen der Feinplanung alternative Lieferpläne vorzuschlagen. Das Ziel, eine Win-Win-Situation zu erreichen, soll dadurch ermöglicht werden, dass Lieferanten Alternativvorschläge für Lieferpläne abgeben können, die ihnen eine bessere Produktionssituation erlauben. Da dem Kunden in einem solchen Fall allerdings Zusatzkosten entstehen – er hat die Lieferungen ja bereits aus seiner Sicht möglichst kostengünstig in seinen Plan integriert – müssen die Lieferanten Ausgleichszahlungen an den Kunden leisten, damit dieser gewillt ist, die Alternativvorschläge zu akzeptieren. [265]

Um das Profit-Sharing in der Realität umsetzen zu können, muss der Kunde gewillt sein, seinen Produktionsplan als Reaktion auf die Lieferantenvorschläge überhaupt anzupassen. Daraus folgt, dass er es als Möglichkeit in Betracht zieht, seine Endprodukte zu lagern oder zu verspäten, falls er durch eine Ausgleichszahlung für die entstehenden Kosten entschädigt wird. Der Unwille, geplante Fertigstellungstermine an Endprodukten zu verschieben, lässt sich durch die Höhe der Lager- und Verspätungskosten der Endprodukte des Kunden modellieren. Werden diese sehr hoch gewählt, so werden Profit-Sharing-Vorschläge nur akzeptiert, sobald hohe Ausgleichszahlungen geboten werden.[266] Zudem gilt, dass der Kunde immer an den ursprünglichen Bestellplänen festhalten kann, also nicht gezwungen wird, Liefervorschläge zu akzeptieren.

Abbildung 5.5 stellt den Ablauf des Profit-Sharing anhand der einzelnen Schritte dar.

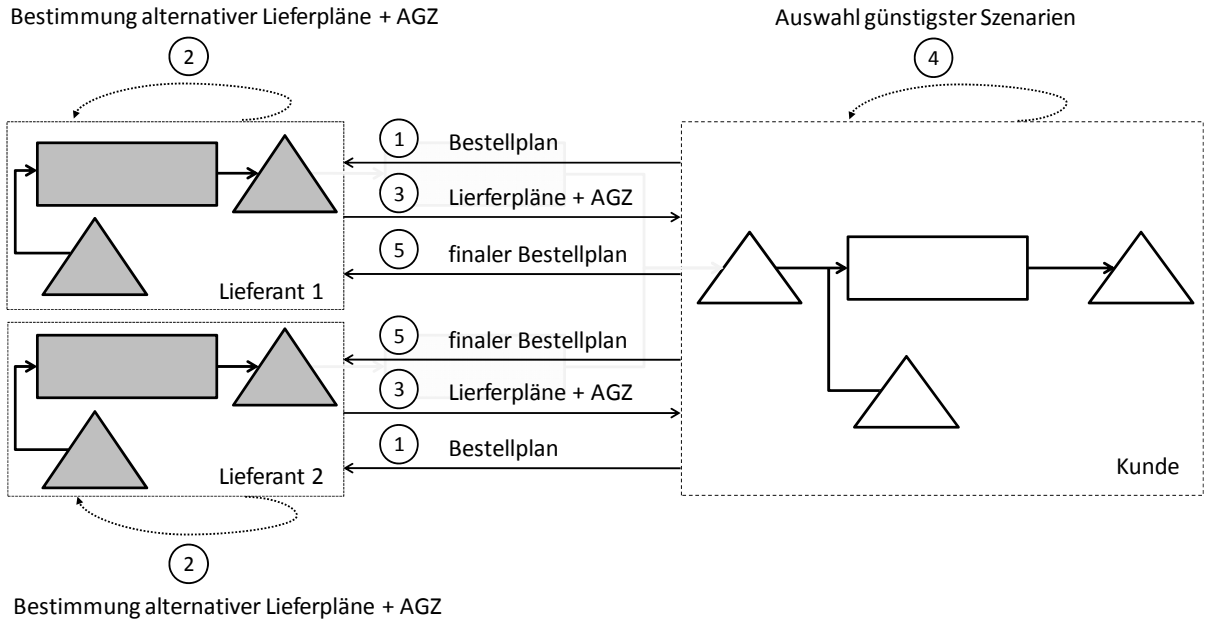


Abbildung 5.5: Ablauf des Profit-Sharing

Das Profit-Sharing beginnt mit Schritt 1, indem der Kunde nach Ablauf seiner Planung die Bestellmengen an seine Lieferanten übermittelt. Die Lieferanten generieren in Schritt 2 mehrere Liefervorschläge, die eine Ersparnis für sie ergeben[267], und bestimmen je Vorschlag eine Ausgleichszahlung, die sie dem Kunden bei Zustimmung bereit sind zu zahlen. Anschließend

[265] Vgl. [Dude04].
[266] Eine andere Möglichkeit wäre der Fall, dass die Kombination verschiedener Lieferantenpläne die aggregierten, periodenweisen Bestellmengen des Kunden nicht stark verändert, da sich die einzelnen Planabweichungen im Gesamten zum großen Teil aufheben.
[267] Vgl. [Suck04b].

werden in Schritt 3 die Liefervorschläge zusammen mit den dazugehörigen Ausgleichszahlungen an den Kunden übermittelt. In Schritt 4 ermittelt der Kunde auf Basis dieser Lieferpläne und ihrer Ausgleichszahlungen eine möglichst günstige Bestellkombination, wobei er auch seinen Produktionsplan anpassen kann. Als letzter Schritt werden die endgültigen Bestellpläne an die Lieferanten übermittelt. Da es sich entweder um den ursprünglichen Bestellplan des Kunden, der eingehalten werden muss[268], oder um eine durch den Lieferanten selbst vorgeschlagene Alternative handelt, ist eine Bestellung unter den gegebenen Annahmen immer möglich und es müssen keine weiteren Schleifen durchlaufen werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Profit-Sharing ausschließlich für Kooperationsstufe 1 detailliert beschrieben[269], da in dieser Kooperationsform aufgrund der geringen Flexibilität der Lieferanten sehr wahrscheinlich höhere Einsparpotentiale zu vermuten sind. Dabei erfolgt auch eine Beschreibung des rollierenden Aspektes, der sich vom Verfahren ohne Profit-Sharing unterscheidet.

5.1.3 Restriktionen und Kosten im Kontext der Grob- und Feinplanung

Aus dem Rahmenvertrag und den eingeführten Planungsstufen resultieren an verschiedenen Punkten im Modell Kosten und Restriktionen.[270] Abbildung 5.6 zeigt eine Gesamtübersicht aller Punkte im Modell des Szenarios, an denen Restriktionen vorliegen und Kosten betrachtet werden.

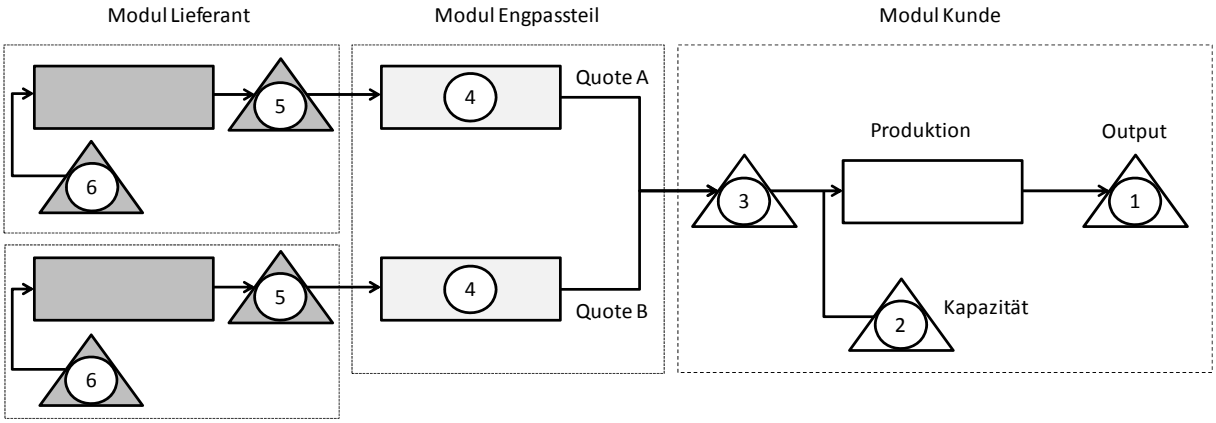


Abbildung 5.6: Punkte im Modell des Szenarios

Tabelle 5.4 gibt alle betrachteten Restriktionen, deren Zuordnung zu den Punkten im Modell und zu den Planungsstufen wieder.

[268] Dies ist keine besonders kritische Annahme, da diese Bestellung durch die ständige Absprache der Flexibilitätskorridore planmäßig möglich sein sollte. Eine Nichteinhaltung aus einer unvorhergesehenen Lieferschwierigkeit eines Lieferanten wird im Kontext dieser Arbeit nicht weiter betrachtet, aber in Abschnitt 5.3.2 kurz diskutiert.
[269] Vgl. Abschnitt 5.1.2.2.3.
[270] Vgl. Abschnitt 2.5.

Restriktionen	Punkt im Modell	Planungsschritt
Lagerkapazität Produktlager	1	FP
Produktionskapazität	2	FP
Lagerkapazität Engpassteil-Lager	3	FP
maximale Liefermenge in einer Periode	4	FP
maximale Liefermenge in einem Zeitabschnitt	4	FP, GP
Lagerkapazität Produktlager	5	FP
geplante Produktionskapazität	6	FP, GP
maximale Produktionskapazität	6	FP, GP

Tabelle 5.4: Restriktionen im Gesamtszenario

Tabelle 5.5 gibt alle betrachteten Kosten, deren Zuordnung zu den Punkten im Modell und zu den Planungsstufen wieder.

Kosten	Punkt im Modell	Planungsschritt
Lagerkosten Produktlager	1	FP
Verspätungskosten	1	FP
Rüstkosten	2	FP
Lagerkosten Engpassteil-Lager	3	FP
fixe Lieferkosten pro Bestellung	4	FP
variable Lieferkosten	4	FP, GP
Strafkosten für Verlassen der Flexibilitätskorridore	4	FP, GP
Strafkosten für Änderung der Bestellungen	4	FP
Lagerkosten Produktlager	5	FP
Verspätungskosten für Nichtengpassteile	5	FP
Kosten für Zusatzkapazität	6	FP
Rüstkosten	6	FP
Kapazitätskosten	6	FP, GP

Tabelle 5.5: Kosten im Gesamtszenario

Diese Restriktionen und Kosten bilden die Grundlage für das im nächsten Abschnitt vorgestellte Planungskonzept.

5.2 Konzeption der Planung

In der folgenden Konzeption werden für die vorher beschriebenen Rahmenbedingungen konkrete Planungsverfahren aus Kunden- und aus Lieferantensicht vorgestellt. An diese wird nicht der Anspruch gestellt, alle möglichen Ausprägungen des beschriebenen Problems zu lösen, sie bieten aber parametrisierbare und damit adaptierbare Planungsverfahren, die in einer rollierenden Planung unter den gegebenen Annahmen (und darüber hinaus) angewendet werden können.

Bei der Konzeption wird angenommen, dass im Rahmen der Grobplanung (Abschnitt 5.2.1) Flexibilitätskorridore geplant werden und dass eine zwischenzeitliche Aufweichung des Quotenbezugs möglich ist.[271] Die Ergebnisse der Grobplanung dienen der anschließenden Feinplanung (Abschnitt 5.2.2) sowohl auf Kunden- als auch auf Lieferantenseite als Input. Die mathematischen Modelle im Rahmen der Feinplanung werden so beschrieben, dass diese für einen Planungslauf gelten, der rollierende Aspekt zwischen den Planungsläufen wird in Abschnitt 5.2.3 erläutert. Um die unterschiedliche Planungsverantwortlichkeit bzgl. des Engpassteil-Lagers abzubilden[272], werden verschiedene mathematische Kunden- und Lieferantenmo-

[271] Vgl. Abschnitte 5.1.2.2.1 und 5.1.2.2.2.
[272] Vgl. Abschnitt 5.1.2.2.3.

delle formuliert. Die Änderungsplanung im Rahmen der Feinplanung[273] wird in die jeweiligen Kundenmodelle integriert. Durch die Wahl eines Änderungskostensatzes von null kann dieser Aspekt leicht aus der Planung ausgeschlossen werden. Das Profit-Sharing wird für den Fall, dass der Kunde das Engpassteil-Lager plant, durch angepasste mathematische Modelle der Parteien und Berechnungsvorschriften für die Ausgleichszahlungen konzipiert und kann mit dem Ansatz der Änderungskosten kombiniert werden.

5.2.1 GROBPLANUNG – ROLLIERENDE PLANUNG DER FLEXIBILITÄTSKORRIDORE

In diesem Abschnitt wird die rollierende Planung der Flexibilitätskorridore beschrieben. Dabei erfolgt zunächst in Abschnitt 5.2.1.1 die Konzeption der Grobplanung aus Lieferantensicht. Diese besteht zum einen aus einer Kapazitätsplanung und zum anderen aus einer Anpassung der Rabattstrukturen für einzelne Zeitabschnitte. Durch das letztere soll eine Steuerung der Flexibilitätskorridorplanung des Kunden bewirkt werden. In Abschnitt 5.2.1.2 wird die Grobplanung aus Kundensicht, die darin besteht, die Flexibilitätskorridore unter Beachtung der Quote möglichst günstig zu planen, detailliert beschrieben.

Den groben Ablauf der Grobplanung und das Zusammenspiel zwischen den Parteien zeigt Abbildung 5.7.

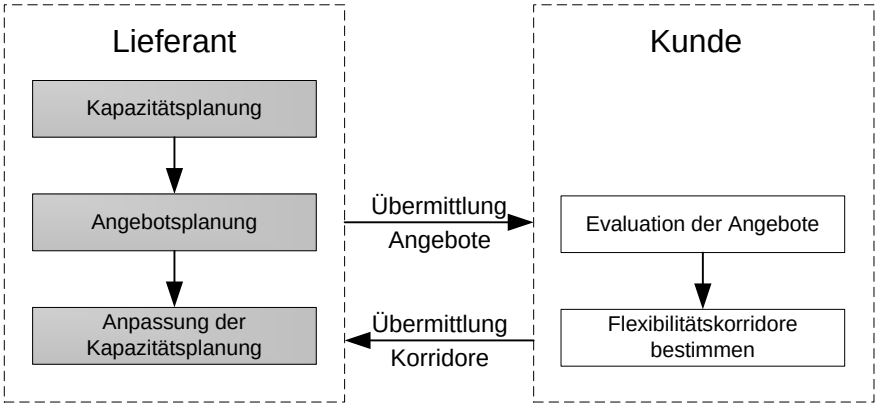


Abbildung 5.7: Ablauf der Grobplanung

Wie erwähnt beginnt der Lieferant mit der Grobplanung, die aus einer Kapazitäts- und einer Angebotsplanung besteht. Nachdem die Planung abgeschlossen ist, werden die Angebote an den Kunden übermittelt, der daraufhin seine Grobplanung durchführt. Als Ergebnis dieser werden die Flexibilitätskorridore an die Lieferanten kommuniziert. Da der Kunde nicht immer auf ein Angebot reagiert, kann der Fall eintreten, dass geplante Kapazitäten nicht benötigt werden. Daher können die Lieferanten noch einmal auf die Planung des Kunden reagieren und ihre Kapazitäten dementsprechend anpassen.

5.2.1.1 Grobplanung aus Lieferantensicht

In diesem Abschnitt wird ein Ansatz vorgestellt, der es aus Lieferantensicht ermöglichen soll, die Planung der langfristigen Flexibilitätskorridore des Kunden so zu beeinflussen, dass der Lieferant im gesamten Vertragshorizont bei gleichen Liefermengen insgesamt eine Ersparnis erzielen kann. Dies soll unter Berücksichtigung der Regeln des Rahmenvertrages dadurch möglich sein, dass der Lieferant seine Rabattstruktur so anpasst, dass die Korridorplanung des Kunden in die vom Lieferanten gewünschte Richtung läuft. Da in der langfristigen Planung auf der Ausgaben-

[273] Vgl. Abschnitt 5.1.2.2.4.

seite der Lieferanten lediglich Kapazitäten betrachtet werden, sollen die Interdependenzen der beiden Aspekte berücksichtigt werden, indem die Planung der Kapazitäten und die Planung der Angebote beide in der Grobplanung der Lieferanten stattfinden.

Der Rahmenvertrag beinhaltet die Regel, dass der Kunde bei der Vergabe von Angeboten nicht schlechter gestellt werden darf als im Zeitabschnitt zuvor.[274] Dieses hat zur Folge, dass ein einmal zugesichertes Angebot durch den Lieferanten nicht mehr zurückgezogen werden kann und im Zeitverlauf nur noch Änderungen möglich sind, die sich zum Vorteil des Kunden auswirken. Durch diese Vorgabe und deren mögliche Auswirkungen wird es essentiell zu entscheiden, für welche Zeitabschnitte Angebote gewährt werden sollen. Ein schlecht gewähltes Angebot kann leicht zu negativen Auswirkungen für den Lieferanten führen. Eine Entscheidung der Planung ist daher die Auswahl der Zeitabschnitte, für die Angebote gewährt werden sollen. Naheliegend wäre es, Angebote für den gesamten Grobplanungshorizont zu planen. Für die Flexibilitätskorridore „eingefroren“ und „mit Strafe“ ist dieses Vorgehen sinnvoll, da dem Lieferanten Ober- und Untergrenzen der Korridore und die damit verbundenen Strafkosten bekannt sind. Die Auswirkungen einer Änderung der prognostizierten Bestellmenge sind somit für den Lieferanten zumindest näherungsweise abschätzbar. Da der Kunde im Korridor „ohne Strafe“ Bestellmengen ohne Konsequenzen ändern kann, ist es nicht sinnvoll, Angebote für diesen Zeitbereich zu gewähren, da spätere Änderungen des Kunden zu negativen Auswirkungen des Angebots führen können. Um dieses Risiko auszuschließen, wird nicht der gesamte Flexibilitätskorridor „ohne Strafe“ in das Planungsverfahren einbezogen, sondern nur der erste Zeitabschnitt dieses Zeitbereichs. Dies erklärt sich dadurch, dass dieser Abschnitt durch die rollierende Planung im nächsten Grobplanungslauf des Kunden nur unter Strafzahlung verlassen werden kann. Dadurch kann dieser analog zu den anderen Zeitabschnitte im Strafbereich behandelt werden. Der Planungshorizont für die Grobplanung der Lieferanten besteht folglich aus der Länge des Grobplanungshorizontes minus der Länge des Korridors „ohne Strafe“ plus der Länge eines Zeitabschnitts.

Neben den bereits ausgeführten Annahmen gelten folgende Annahmen bei der Konzeption des beschriebenen Verfahrens:

- Kapazitätseinheiten für einen Zeitabschnitt werden immer komplett geplant.[275]
- Im ersten Zeitabschnitt ist es nicht möglich, eine Bedarfssenkung durchzuführen, da dieser bereits durch die Feinplanung beplant wurde und ansonsten Inkonsistenzen entstehen würden.
- Preise der Rabattstufen werden immer kleiner, je größer die abgenommene Menge ist.
- Es werden keine zusätzlichen Rabattstufen eingefügt.[276]

Die Beschreibung der Grobplanung aus Lieferantensicht erfolgt im Folgenden anhand des in Abbildung 5.8 dargestellten Ablaufs.

[274] Vgl. Abschnitt 5.1.2.1.
[275] Dies bedeutet, dass jede Periode des Zeitabschnitts mit der Kapazität einer Kapazitätseinheit geplant wird. Eine Erweiterung der Kapazitätsplanung auf Periodenbasis kann aber leicht vorgenommen werden. Die notwendigen Anpassungen werden in Abschnitt 5.3 kurz diskutiert. Entspricht ein Zeitabschnitt einer Woche, eine Periode einem Tag und eine Kapazitätseinheit einer Schicht, so würde dieses Vorgehen bedeuten, dass in einer Woche immer ein bestimmter Schichtbetrieb, bspw. in Form eines Zwei-Schichtbetriebs geplant wird.
[276] Die Auswirkung der Abweichung von dieser Annahme wird in Abschnitt 5.3.2 erläutert.

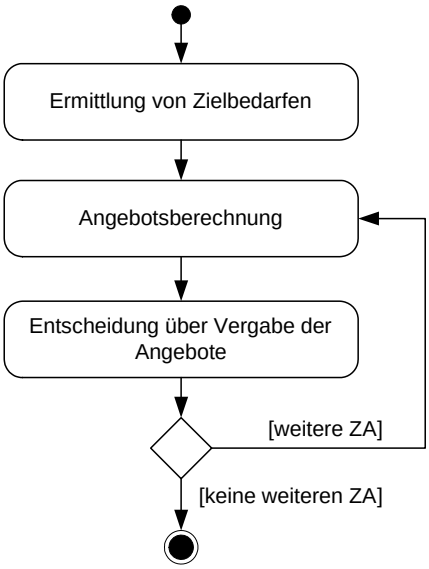


Abbildung 5.8: Ablauf der Grobplanung der Lieferanten

In einem ersten Schritt werden Zielbedarfe für jeden Zeitabschnitt ermittelt. Je nach Entscheidung werden Angebote berechnet und in einem letzten Schritt noch mit möglichen Auswirkungen des Kunden verglichen, bevor entschieden wird, ob diese auch umgesetzt werden. Die einzelnen Schritte werden im Folgenden genauer betrachtet.

5.2.1.1.1 Ermittlung von Zielbedarfen

Der erste Schritt der Planung besteht in der Ermittlung der voraussichtlich benötigten Kapazitäten für den betrachteten Horizont. Diese bilden die Basis, um Einsparpotentiale zu identifizieren. Die möglichen Angebotsaktionen für einzelne Zeitabschnitte unterscheiden sich darin, ob versucht wird, den Kunden zu einer Bedarfsminderung oder einer Bedarfssteigerung an Engpassteilen zu bewegen.

<u>Ermittlung des voraussichtlichen Kapazitätsbedarfs</u>

In diesem Schritt wird der voraussichtlich benötigte Kapazitätsbedarf für den Grobplanungshorizont des Lieferanten $GPHL$ ermittelt. Dieser Bedarf cd_{GPHL}^{l} ergibt sich aus der Summe der geschätzten Bedarfe (gb_{kz}^{l}) über alle Produkte K^{l} des Lieferanten in allen Zeitabschnitten des Horizontes.

$$cd_{GPHL}^{l} = \sum_{z=1}^{GPHL} \sum_{k=1}^{K^{l}} gb_{kz}^{l} \tag{5.9}$$

Bei der Ermittlung des Kapazitätsbedarfes wird danach unterschieden, ob es sich um ein Engpassteil oder ein Nichtengpassteil handelt. Es wird angenommen, dass Bedarfe für Nichtengpassteile nicht durch den Lieferanten beeinflussbar sind und dass Prognosen über diese vorliegen. Die Bedarfe an Engpassteilen werden für den ersten Zeitabschnitt aus den Ergebnissen der Feinplanung und für die restlichen Zeitabschnitte aus den durch den Kunden übermittelten Korridoren berechnet[277], wobei der Mittelwert der Korridore zur Berechnung verwendet wird.

[277] Zur zeitlichen Betrachtung der Planung vgl. Abbildung 5.1.

Ermittlung von Einsparpotentialen

In diesem Schritt wird versucht, mögliche Einsparpotentiale hinsichtlich der Planung von Kapazitäten zu ermitteln. Bei der Ermittlung der Einsparungen wird wiederum nach Nichtengpassteilen, deren Bedarfe nicht beeinflussbar, und nach Engpassteilen, deren Bedarfe beeinflussbar sind, unterschieden. Abbildung 5.9 zeigt eine mögliche Ausgangssituation.

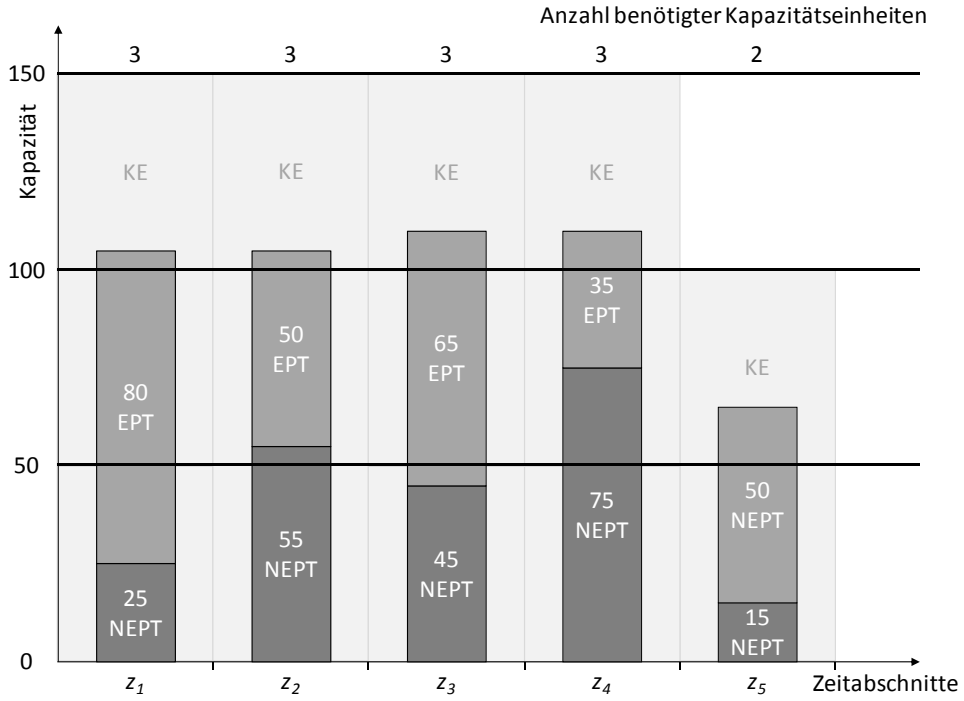


Abbildung 5.9: Ermittelte Kapazitätsbedarfe in der Lieferanten-Grobplanung

Die Abbildung zeigt eine beispielhafte Bedarfsverteilung für die Zeitabschnitte z_1 bis z_5. Dabei gelten folgende Parameter:

- Kapazität einer Kapazitätseinheit: 50
- Maximale Anzahl an Kapazitätseinheiten: 3
- Kapazitätsbedarfe für Engpassteile und Nichtengpassteile: 1
- Länge des Grobplanungshorizontes für Lieferanten (*GPHL*): 5

Durch Formel (5.10) werden die geplanten Kapazitätseinheiten berechnet.

$$gke_{GPHL}^{l} = \sum_{z=1}^{GPHL} \sum_{k=1}^{K^l} \left\lceil \frac{gb_{kz}^{l}}{c_{kez}^{l}} \right\rceil \tag{5.10}$$

Die geplanten Kapazitätseinheiten errechnen sich für jeden Zeitabschnitt aus der Summe der geschätzten Bedarfe über alle Produkte dividiert durch die Größe einer Kapazitätseinheit des Lieferanten je Zeitabschnitt c_{kez}^{l}[278] und aufgerundet auf die nächste ganze Zahl. Die Gesamtsumme der geplanten Kapazitätseinheiten gke_{GPHL}^{l} ergibt sich aus der Summe über alle Zeitabschnitte des Planungshorizontes.

[278] An dieser Stelle werden Rüstzeiten noch nicht betrachtet. Da diese in der Grobplanung nicht genau bestimmt werden können, wird angenommen, dass diese in die Wahl der Puffergröße, die im weiteren Verlauf der Beschreibung des Verfahrens erwähnt wird, einfließen.

In jedem Zeitabschnitt, in dem die Kapazitätsbedarfe nicht genau einem Vielfachen einer Kapazitätseinheit des Lieferanten entsprechen, sind Überkapazitäten vorhanden. Dies gilt für alle in Abbildung 5.9 dargestellten Zeitabschnitte. Würden die Kapazitäten wie dargestellt geplant, wären im gesamten Planungshorizont 14 Kapazitätseinheiten notwendig. Werden in einem Zeitabschnitt nur geringe Mengen einer Kapazitätseinheit benötigt, so führt dies zu einer schlechten Kapazitätsauslastung in diesem Abschnitt. Gelingt es dem Lieferanten, den Kunden dazu zu bewegen, solche Mengen in anderen Zeitabschnitten, in denen noch Kapazitäten vorhanden sind, zu bestellen, so könnte er dadurch im Gesamten weniger Kapazitätseinheiten planen. Im dargestellten Beispiel könnte der Lieferant versuchen, den Kunden dazu zu veranlassen, in z_1 anstatt 80 Engpassteile nur 75 Engpassteile zu bestellen, um eine Kapazitätseinheit zu sparen.[279] Formel (5.11) gibt die Berechnung zur Anzahl der notwendigen Kapazitätseinheiten bke_{GPHL}^{l} im Planungshorizont wieder.

$$bke_{GPHL}^{l} = \left\lceil \frac{cd_{GPHL}^{l}}{c_{kez}^{l}} \right\rceil \tag{5.11}$$

Die benötigten Kapazitätseinheiten errechnen sich als nächstgroße ganze Zahl des Ergebnisses der Division der Anzahl an geplanten Bedarfen durch die Größe einer Kapazitätseinheit des Lieferanten je Zeitabschnitt c_{kez}^{l}.

Das Ergebnis für das Beispiel aus Abbildung 5.9 lautet, dass zehn Kapazitätseinheiten benötigt werden. Eine mögliche Verteilung dieser ist in Abbildung 5.10 dargestellt.

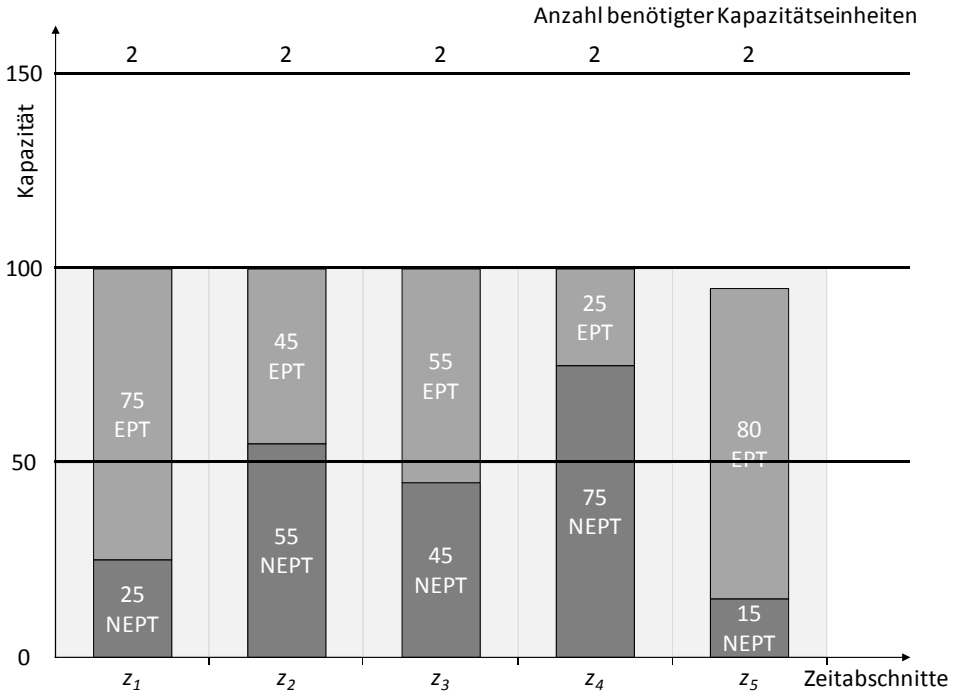


Abbildung 5.10: Mögliche Umverteilung der Kapazitätsbedarfe

Das Einsparpotential an Kapazitätseinheiten ep_{GPHL}^{l} lässt sich durch Formel (5.12) als Differenz der geplanten und der benötigten Kapazitätseinheiten im Planungshorizont berechnen.

$$ep_{GPHL}^{l} = gke_{GPHL}^{l} - bke_{GPHL}^{l} \tag{5.12}$$

[279] Die Betrachtung von Puffern wurde in dieser Rechnung vernachlässigt. Diese wird jedoch in der weiteren Beschreibung des Verfahrens noch erläutert.

Entscheidung Bedarfsminderung oder Bedarfssteigerung

Diese Planungsphase muss nur durchgeführt werden, falls im vorherigen Schritt Einsparpotentiale ermittelt wurden. Das Ziel der Phase ist eine Entscheidung, in welchen Zeitabschnitten Bedarfsminderungen und in welchen Zeitabschnitten Bedarfssteigerungen angestrebt werden. Diese Minderungen und Steigerungen können ausschließlich dadurch erreicht werden, dass der Kunde über Angebote dazu verleitet werden soll, alternative Mengen des Engpassteils zu bestellen. Die Bedarfe der Nichtengpassteile können nicht beeinflusst werden.

Zur detaillierteren Entscheidungsfindung werden drei Merkmale eingeführt, die in Abbildung 5.11 dargestellt sind.

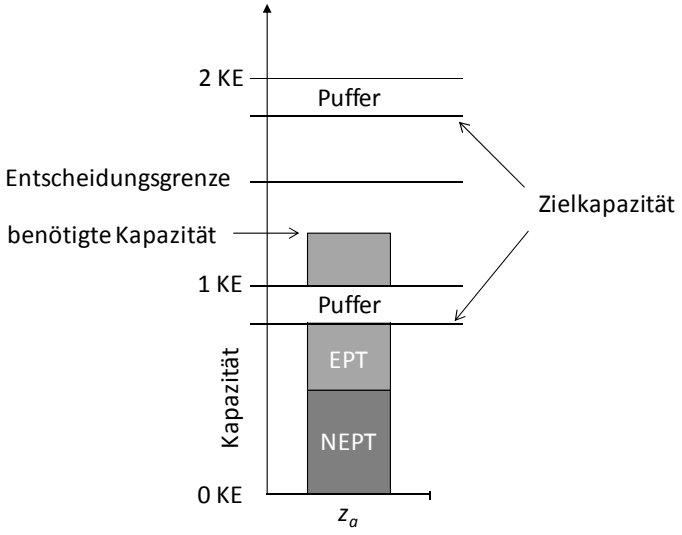


Abbildung 5.11: Merkmale zur Entscheidung der Bedarfsveränderung

Die Entscheidungsgrenze gibt die Grenze innerhalb einer Kapazitätseinheit an, ab der eine Bedarfssteigerung angestrebt werden soll. Diese wird für die Kapazitätseinheit analysiert, in der noch freie Kapazitäten vorhanden sind, und dort mit der Summe der im Gesamten benötigten Kapazität verglichen. Ist diese größer als die Entscheidungsgrenze, wird eine Bedarfssteigerung, ansonsten eine Bedarfsminderung angestrebt. Um Flexibilität gegenüber evtl. auftretenden Mehrbedarfen zu besitzen, wird ein Puffer eingeführt, dessen Größe prozentual von der Kapazität einer Kapazitätseinheit abhängt. Die Zielkapazität errechnet sich als Differenz der Kapazität ganzer Kapazitätseinheiten und des Puffers.

Anhand der drei Merkmale wird jeder Zeitabschnitt im Grobplanungshorizont der Lieferanten einzeln analysiert. Abbildung 5.12 zeigt die möglichen Fälle und die Entscheidungen, die getroffen werden.

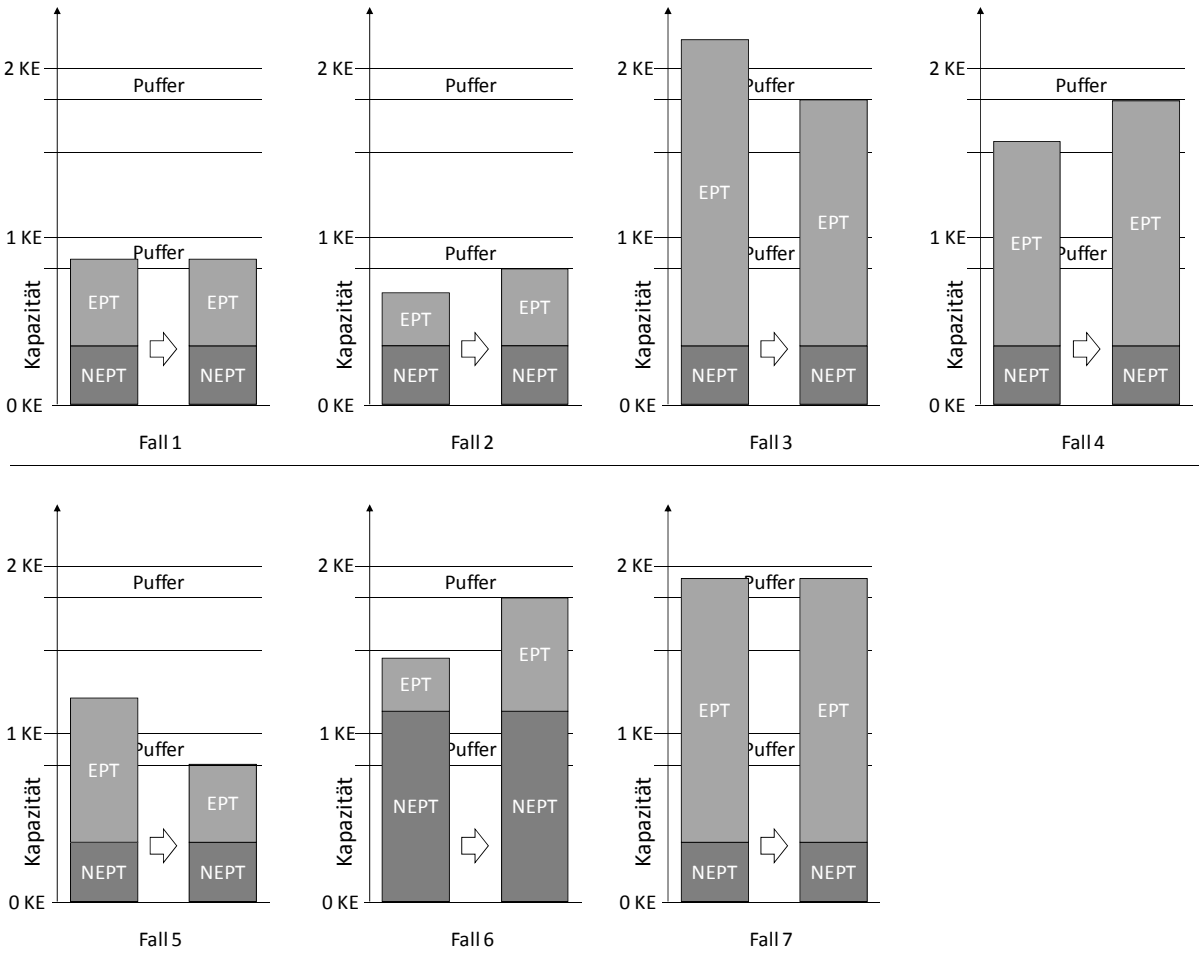


Abbildung 5.12: Entscheidung Bedarfssteigerung oder Bedarfsminderung

Auf oberster Ebene erfolgt eine Unterscheidung danach, ob die benötigte Kapazität eine Kapazitätseinheit übersteigt. Ist dies nicht der Fall, so wird geprüft, ob sich die benötigte Kapazität im Puffer der ersten Kapazitätseinheit befindet (Fall 1) oder geringer als die Zielkapazität ist (Fall 2). Befindet sich die Kapazität bereits im Puffer oder genau auf der Zielkapazität, so wird keine Aktion ausgeführt, da bereits ein guter Zustand zu erwarten ist. Befindet sich die benötigte Kapazität unterhalb der Zielkapazität, so wird eine Erhöhung der Bedarfe auf die Zielkapazität angestrebt. Übersteigt die benötigte Kapazität eine Kapazitätseinheit, so wird als nächstes geprüft, ob sie geringer als die Zielkapazität ist oder in den Puffer fällt. Ist das letztere der Fall, so wird wie in Fall 1 keine Änderung der Bedarfe angestrebt (Fall 7). Ist die benötigte Kapazität geringer als die Zielkapazität, fällt also nicht in den Puffer, so wird als nächstes überprüft, ob die Entscheidungsgrenze über- oder unterschritten wird. Befindet sich die benötigte Kapazität oberhalb der Entscheidungsgrenze, so muss noch geprüft werden, ob diese auch oberhalb der Maximalkapazität liegt. Ist dies der Fall, so wird eine Bedarfsminderung auf die Maximalkapazität minus Puffer (Fall 3), ansonsten eine Bedarfserhöhung (Fall 4) angestrebt. Befindet sich die benötigte Kapazität unterhalb der Entscheidungsgrenze, so hängt die Aktion von der benötigten Kapazität für Nichtengpassteile ab. Ist diese kleiner als die nächstniedrigere Zielkapazität, so kann eine Bedarfsminderung versucht werden (Fall 5), ansonsten wird eine Bedarfserhöhung angestrebt (Fall 6).

An dieser Stelle wird noch einmal die Summe der jetzt geplanten Kapazitätseinheiten bestimmt und geprüft, ob diese die Mindestanzahl noch erfüllen.[280] Ist dies der Fall, so wird nichts mehr unternommen, um nicht zu viele Angebote zu gewähren. Sind zu wenige Kapazitätseinheiten eingeplant, so wird eine Bedarfssteigerung für den Zeitabschnitt, in dem die Differenz zwischen Bedarf und Entscheidungsgrenze am geringsten war und für den eine Bedarfssenkung bestimmt wurde, angestrebt.

Nach Abschluss dieses Schrittes stehen die Aktionen fest, die in den einzelnen Zeitabschnitten durchgeführt werden sollen. Im nächsten Schritt werden die Angebote für die Zeitabschnitte berechnet.

5.2.1.1.2 Angebotsberechnung

Die Berechnung der Angebote unterscheidet sich darin, ob eine Bedarfssteigerung oder eine Bedarfssenkung durchgeführt werden soll.

Ziel: Bedarfssteigerung

Unter den gegebenen Annahmen des Szenarios besteht die einzige Möglichkeit des Lieferanten, den Kunden dazu zu bewegen, größere Mengen des Engpassteils in einem Zeitabschnitt abzunehmen, darin, diesem einen im Vergleich zur normalen Rabattstruktur zusätzlichen Preisrabatt zu gewähren. Zur Berechnung des Rabattes wird zunächst anhand der im vorherigen Schritt ermittelten Zielkapazität der Zielbedarf berechnet. Für die Rabattstufe des Zielbedarfs wird ein Preisrabatt ermittelt, der vom normalen Preis subtrahiert wird.

Der Preisrabatt wird auf zwei verschiedene Arten berechnet, zum einen auf Grundlage von Monahan[281] und zum anderen nach einem Verfahren, das zusätzliche Rabatte aufgrund ungenutzter Kapazitäten vergibt.

Zur Entscheidung, welche Berechnungsgrundlage gewählt wird, wird zunächst anhand der fixen Bestellkosten des Kunden und der Rüstkosten des Lieferanten für Engpassteile der Wert K^* aus dem Verfahren von Monahan berechnet. Ist der aktuelle Bedarf an Engpassteilen im betrachteten Zeitabschnitt d_{ez} multipliziert mit K^* nicht größer als der Zielbedarf zd_{ez}, dann kann sich angelehnt an Monahan ein Rabatt für den Lieferanten lohnen. In diesem Fall wird ein Rabatt nach Monahan berechnet. Ist der Zielbedarf nach Monahan zu klein, wird ein Rabatt aufgrund ungenutzter Kapazität gewährt. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 5.13 wiedergegeben.

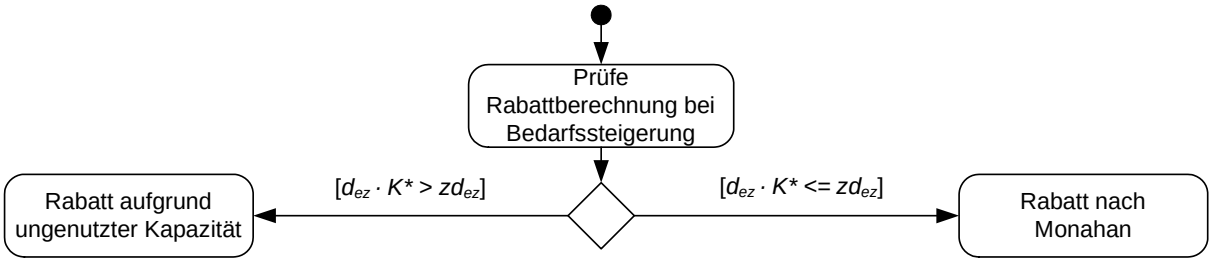


Abbildung 5.13: Entscheidung für Rabattberechner

[280] Würden im skizzierten Fall von Abbildung 5.9 nur Bedarfssenkungen durchgeführt, so würde eine Kapazitätseinheit zu wenig eingeplant werden.
[281] Vgl. Abschnitt 3.1.2.1.1.

Rabatt nach Monahan

Beim Rabatt nach Monahan wird der in Abschnitt 3.1.2.1.1 beschriebene „revised unit discount" angewandt.[282] Der neue Preis für ein Engpassteil in der betreffenden Rabattstufe wird anhand Formel (5.13) berechnet.

$$pn_z = pa_z - \frac{s_e}{zd_{ez}} \cdot \frac{K^* - 1}{K^*} \tag{5.13}$$

Der neue Preis pn_z für den Zeitabschnitt z errechnet sich aus dem alten Preis pa_z abzüglich des Rabatts nach Monahan, dessen Berechnung die Rüstkosten des Engpassteils s_e, den Zielbedarf an Engpassteilen zd_{ez} und den Faktor K^* beinhaltet.

Rabatt aufgrund ungenutzter Kapazität

Dem Rabatt aufgrund ungenutzter Kapazität liegt die Idee zugrunde, dass jede ungenutzte Kapazität Kosten verursacht, die durch zusätzliche Bestellungen verringert werden können. Das Ziel ist es, einen Teil der Kosten für ungenutzte Kapazitäten in einen verminderten Preis für Engpassteile einzurechnen und damit dem Kunden einen Anreiz für die Bedarfssteigerung zu bieten. Zur Ermittlung der Kapazitätskosten werden diese zunächst auf eine Mengeneinheit heruntergebrochen und mit der Anzahl ungenutzter Kapazität multipliziert. Diese Kosten werden anschließend dazu benutzt, einen Preisnachlass zu berechnen. Dies geschieht durch Formel (5.14).

$$pn_z = \frac{(zd_{ez} \cdot pa_z) - (fuk \cdot \frac{kk \cdot uk}{ck})}{zd_{ez}} \tag{5.14}$$

Der Term $zd_{ez} \cdot pa_z$ entspricht den Kosten, die zum Planungszeitpunkt für den Zielbedarf anfallen würden, indem dieser mit dem aktuellen Preis multipliziert wird. Von diesem subtrahiert werden die mit einem Faktor multiplizierten Kosten für ungenutzte Kapazität. Der Faktor *fuk* gibt dabei an, mit welchem Prozentsatz die Einsparungen in den Preis einfließen sollen. Der Term $\frac{kk \cdot uk}{ck}$ gibt die Kosten für die ungenutzte Kapazität an, indem die Kosten pro Kapazitätseinheit *kk* durch die Menge an Kapazität pro Kapazitätseinheit *ck* dividiert und mit der Anzahl an ungenutzter Kapazität *uk* multipliziert werden. Das Ergebnis des Divisors ist folglich der gesamte Betrag, der im Zeitabschnitt durch Verkäufe des Engpassteils eingenommen werden soll. Dieser wird durch den Zielbedarf zd_{ez} dividiert, um den Preis pro Mengeneinheit und damit den Zielpreis für die Rabattstufe zu ermitteln.

Ziel: Bedarfssenkung

Wird eine Bedarfssenkung angestrebt, so soll der Anreiz für den Kunden nicht durch den Preis, sondern durch die Änderung von Rabattgrenzen erfolgen. Da aus den Regeln des Rahmenvertrages hervorgeht, dass der Kunde durch Angebote nicht schlechter gestellt werden darf, ist es nicht möglich, Preise innerhalb einer Rabattstruktur zu erhöhen, um den Kunden zu einer Bestellung geringerer Mengen zu veranlassen. Daraus folgt, dass zur Steuerung einer Bedarfsminderung die Obergrenze einer Rabattstufe reduziert wird, damit die nächste Rabattstufe bei einer geringeren Menge beginnt. Dies stellt die einzige Mengenänderung dar, die erfolgen kann und nicht zum Nachteil des Kunden führt. Daher wird im Rahmen der Bedarfsminde-

[282] Obwohl die Annahme von Monahan, dass der komplette Bedarf in einer Bestellung erfolgt, im beschriebenen Szenario nicht immer gegeben ist, ist die Grundidee der Preisberechnung sinnvoll, da der Rabatt für den kompletten Zeitabschnitt gilt.

rung die Obergrenze der Rabattstufe, in die der Zielbedarf nach aktuellem Rabattschema fällt, auf den Zielbedarf abzüglich einer Mengeneinheit gesetzt. Daraus folgt, dass die Untergrenze der nächsten Rabattstufe dem Zielbedarf entspricht. Befindet sich der Zielbedarf in der letzten Rabattstufe, so erfolgt keine Änderung der Rabattgrenzen.

Da der Kunde jetzt für einen geringeren Bedarf einen günstigen Preis erzielen kann, ist es ihm wahrscheinlich möglich, bei anderen Lieferanten größere Mengeneinheiten zu günstigen Preisen zu beziehen, was ihm als Anreiz dienen könnte, den Rabatt wie gewünscht auszunutzen.

5.2.1.1.3 Entscheidung über Vergabe des Angebotes

Bevor das berechnete Angebot an den Kunden weitergegeben wird, wird in einem abschließenden Schritt abgeschätzt, ob der Kunde durch die neuen Konditionen überhaupt Einsparungen erzielen kann. Dazu werden anfallende Strafzahlungen des Kunden, die durch die geplante Entscheidung entstehen würden, kalkuliert und mit den resultierenden Einsparungen vergleichen. Als Vergleichsgrößen dienen die antizipierte Ersparnis des Kunden durch die gewährten Rabatte und die anfallenden Strafzahlungen durch Ausnutzen dieser. Abbildung 5.14 stellt diese Entscheidung dar.

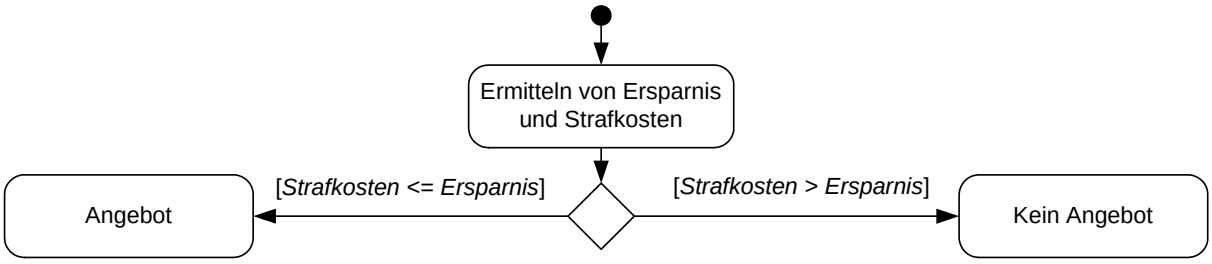


Abbildung 5.14: Entscheidung über Angebot

Im Falle einer Bedarfssenkung kann dabei keine Ersparnis errechnet werden, da der durch den Lieferanten angebotene Preis konstant ist und die Rabattstrukturen der anderen Lieferanten nicht bekannt sind. In diesem Falle sind zwei Strategien denkbar. Bei der ersten Strategie wird eine Bedarfssenkung, wenn immer Strafkosten anfallen, abgelehnt, bei der zweiten Strategie werden diese ignoriert und es wird eine Bedarfssenkung angestrebt.

Letztlich sei zum Konzept der Berechnung von Angeboten angemerkt, dass die geplanten Mengen niemals sicher realisiert werden, da der Kunde auch gleichzeitig Angebote anderer Lieferanten erhalten kann, die dem planenden Lieferanten nicht bekannt sind. Generell sollte diese Vorgehensweise allerdings eine bessere Kapazitätsauslastung und damit eine Kostenreduktion der Lieferanten bewirken können. Der beschriebene Ansatz lässt sich noch auf vielfältige Weise erweitern. Eine mögliche Erweiterung könnte darin bestehen, zu erlauben, Preise einzelner Rabattstufen auch niedriger als die der nächsthöheren Rabattstufe anzusetzen, um dadurch eine genauere Steuerung der Bestellmengen zu ermöglichen.

5.2.1.2 Grobplanung aus Kundensicht

In diesem Abschnitt wird ein Ansatz vorgestellt, der es aus Kundensicht ermöglicht, die Flexibilitätskorridore unter Einbeziehung aller relevanten Aspekte der kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung möglichst sinnvoll zu vereinbaren und zu konkretisieren. Dabei soll in einer rollierenden Planung trotz Unsicherheit bzgl. des Bedarfes am Ende des Vertragshorizontes eine möglichst kostengünstige Beschaffung bei gleichzeitiger Erfüllung der Quote realisiert werden.

In diesem Abschnitt wird die Planung der Flexibilitätskorridore als eigenständiges Modul beschrieben, so dass sie auch unabhängig von einer Feinplanung ausgeführt werden kann.[283] Die Planungsergebnisse in Form der Flexibilitätskorridore dienen dem in Abschnitt 5.2.2 beschriebenen Verfahren der Produktions- und Beschaffungsplanung als Input und werden dort durch einzelne Bestellungen konkretisiert.

Folgende vereinfachende Annahmen werden für die Grobplanung zusätzlich zu den Annahmen aus Abschnitt 2.5 getroffen:

- Es wird davon ausgegangen, dass schon eine Abstimmung der Mengen mit den Lieferanten erfolgt ist und daher die Abweichungen, falls diese während der Planung entstehen, kundenseitig verursacht werden.
- Es wird kein Lager betrachtet.

In jedem Planungsschritt existieren sechs verschiedene Zeitbereiche, die unterschiedlich zu betrachten sind:

1. Ein Zeitbereich, der seit der letzten Planung realisiert wurde.
2. Ein Zeitbereich, in dem die Beschaffungsmengen geplant werden.
3. Ein Zeitbereich, in dem der Korridor das letzte Mal angepasst werden kann.
4. Ein Zeitbereich, in dem vorher schon geplante Flexibilitätskorridore konkretisiert werden können bzw. müssen und in dem Anpassungen außerhalb der vorher vereinbarten Flexibilitätskorridore nur gegen eine Strafzahlung möglich sind.
5. Ein Zeitbereich, in dem die vorher schon geplanten Flexibilitätskorridore ohne Strafzahlungen angepasst werden können.
6. Ein Zeitbereich, für den das erste Mal Flexibilitätskorridore geplant werden.

Die sechs Zeitbereiche sind in Abbildung 5.15 dargestellt. Dabei wird sowohl das Planungsergebnis der letzten Planung zum Zeitpunkt z_0 als auch das aktuelle Planungsergebnis zum Zeitpunkt z_1 visualisiert.

[283] Das Zusammenspiel mit der Feinplanung wird in Abschnitt 5.2.3 beschrieben.

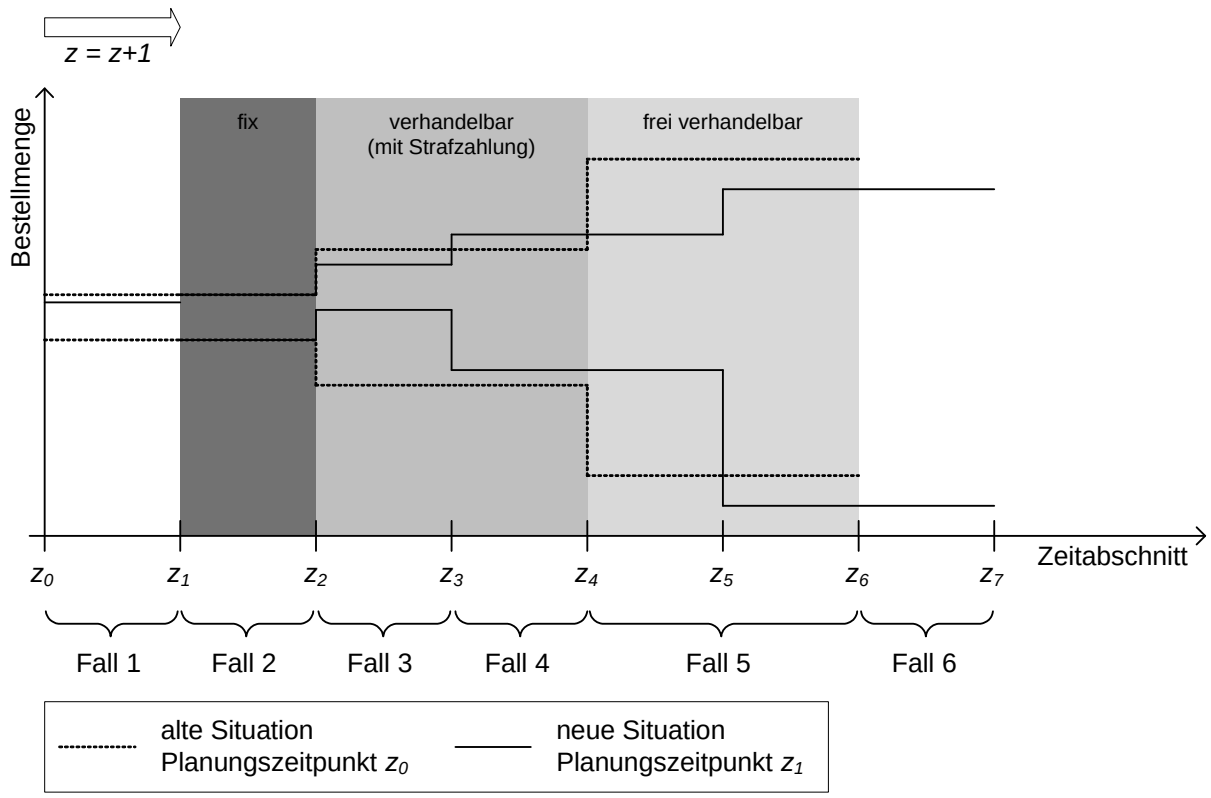


Abbildung 5.15: Zeitbereiche und rollierende Anpassung eines Flexibilitätskorridors

Die verschiedenen Bereiche stellen ein generelles Konzept dar, durch das es möglich ist, eine große Anzahl an Lieferbeziehungen darzustellen. Es kann angenommen werden, dass die ersten drei Fälle und der letzte Fall eine Länge von einem Zeitabschnitt besitzen, wenn die Grobplanung im Zyklus von einem Zeitabschnitt durchgeführt wird. Die Länge des Zeitbereichs für die Fälle 4 und 5 kann sich über mehrere Zeitabschnitte erstrecken. Sind einzelne Bereiche für eine Lieferbeziehung irrelevant, so kann deren Dauer als null angesehen werden.[284]

Beschaffungsrealisierung (Fall 1)

Im Fall 1 wurde seit dem letzten Planungsdurchlauf eine konkrete Menge an Engpassteilen vom betrachteten Lieferanten an den Kunden geliefert. Diese Menge stellt eine Summe für den betrachteten Zeitabschnitt dar und ist in der Regel durch mehrere Einzellieferungen realisiert worden. Wird der Korridor verlassen, so fallen Strafkosten pro Mengeneinheit, die sich außerhalb des Korridors befindet, an. Diese sind abhängig davon, ob eine Über- oder eine Unterschreitung stattgefunden hat. In Abbildung 5.15 hat eine Beschaffungsrealisierung innerhalb des vorher vereinbarten Korridors stattgefunden, so dass keine Strafzahlung fällig wurde.

Beschaffungsmengenplanung (Fall 2)

Im Fall 2, der eingefrorenen Zone, kann der Korridor nicht mehr neu bestimmt werden.[285] Daher besteht die Aufgabe für diesen Bereich nicht darin, einen Korridor, sondern konkrete Bestellmengen unter Beachtung der Korridore zu planen. Dabei kann der Kunde, sofern dies andere Restriktionen erlauben, gegen Strafzahlungen vom vorherigen Korridor abweichen. Im Beispiel

[284] Beispielsweise kann ein Lieferant eine so große Flexibilität aufweisen, dass keine eingefrorene Zone notwendig ist, oder der frei verhandelbare Bereich kann entfallen.
[285] Die eingefrorene Zone kann bspw. durch bereits festgelegte Schichtmodelle und Arbeitspläne des Lieferanten begründet sein.

wurde der Korridor in der eingefrorenen Zone bestätigt. Wird die Feinplanung in die Grobplanung integriert, so entfällt dieser Fall, da die genauen Bestellmengen für die eingefrorene Zone im Rahmen der Feinplanung bestimmt werden.[286]

Kapazitätsplanungsrealisierung (Fall 3)

Im Fall 3 müssen die Korridore endgültig planerisch festgelegt werden.[287] Die abgestimmten Mengen weisen ebenfalls wieder eine Flexibilität nach oben und nach unten auf und der Kunde kann vom vorherigen Korridor gegen Strafzahlungen abweichen. Im Beispiel wurde der Korridor innerhalb der vorher festgelegten Grenzen konkretisiert.

Kapazitätsplanung im Strafbereich (Fall 4)

Im Fall 4 werden vorher bestehende Flexibilitätskorridore konkretisiert. Dabei kann dies sowohl eine Konkretisierung bei Abnahme der Flexibilität als auch bei gleichbleibender Flexibilität bedeuten. Wird der vorher vereinbarte Flexibilitätskorridor verlassen, so hat dies eine Strafzahlung zur Folge. Im Beispiel besitzt der Zeitabschnitt das gleiche Flexibilitätsniveau wie zuvor und wurde nach oben verschoben. Dadurch entstehen Strafkosten für den Kunden, die sich in Abhängigkeit der Höhe der Abweichung errechnen.[288]

Kapazitätskonkretisierung im freien Bereich (Fall 5)

Im Fall 5 wurden analog zu Fall 4 ebenfalls bestehende Flexibilitätskorridore konkretisiert. Allerdings geschieht dies in diesem Zeitbereich auf freiwilliger Basis. Um eine erhöhte Planungssicherheit auch schon für fernere Zeitabschnitte zu gewährleisten, werden Mengen bereits abgestimmt. Diese können allerdings noch straffrei neu koordiniert werden. Dies lässt sich durch die Möglichkeit der Lieferanten begründen, ab einem bestimmten Zeitpunkt ihre Kapazität relativ frei zu planen. Dieser Zeitbereich kann optional entfallen. Im Beispiel wurde ein Korridor nach unten verschoben, was keine Strafzahlungen verursacht.

Beschaffungsneuvereinbarung (Fall 6)

Im Fall 6 wird ein Flexibilitätskorridor für einen Zeitabschnitt vereinbart, für den vorher noch kein Korridor existierte. Dieser neue Korridor kann durch den Kunden frei bestimmt werden und dient hauptsächlich dazu, Informationen über die erwartete Bestellmenge bzw. die erwartete Kapazitätssituation frühzeitig zu kommunizieren.

Wie bereits zuvor erläutert besteht das Hauptziel der Flexibilitätskorridorplanung darin, unter Beachtung der Quoten eine möglichst günstige Beschaffung des Engpassteils im Vertragshorizont zu erreichen. Dazu wird im Folgenden ein Verfahren vorgestellt, das es aus Kundensicht erlaubt, Angebote und Rabatte der Lieferanten auszunutzen und gleichzeitig die Quote im Vertragshorizont einzuhalten. Zunächst wird in Abschnitt 5.2.1.2.1 ein Verfahren vorgestellt, das die Zeitabschnitte des Grobplanungshorizontes hinsichtlich bestehender Angebote sortiert, um diese möglichst gut auszunutzen. Die Planung für einen einzelnen Zeitabschnitt wird in Abschnitt 5.2.1.2.2 vorgestellt. Da zu Beginn des Vertragshorizontes noch keine Korridore existieren, wird schließlich in Abschnitt 5.2.1.2.3 ein mathematisches Modell für eine erste Initialplanung vorgestellt.

[286] Vgl. Abschnitt 5.2.2.
[287] Daraus folgt, dass die Korridorflexibilität von Fall 2 und 3 identisch sein muss.
[288] Plant der Kunde intelligent, so würde der dargestellte Fall wahrscheinlich nicht entstehen, da für den Kunden Strafzahlungen anfallen, obwohl dieser nur einen geringfügigen Flexibilitätsvorteil erreicht.

5.2.1.2.1 Sortierung der Zeitabschnitte

Die Grobplanung des Kunden wird mittels einer Heuristik durchgeführt, deren erster Schritt in einer Sortierung der Zeitabschnitte des Planungshorizontes besteht, nach deren Reihenfolge im Anschluss eine Planung der Flexibilitätskorridore für jeden Zeitabschnitt durchgeführt wird.

Eine Grundidee des Verfahrens ist, die Zeitabschnitte, in denen Angebote der Lieferanten vorliegen, bevorzugt zu behandeln. Dies geschieht dadurch, dass diese in der Planung vorgezogen werden. Durch die Zeitabschnitte ohne Angebote kann dann anschließend dafür gesorgt werden, dass die aktuelle Quote wieder an die vertraglich festgelegte Quote angeglichen wird, falls es durch Ausnutzung von Angeboten zu Abweichungen gekommen ist. Abbildung 5.16 stellt den groben Ablauf der Planung dar.

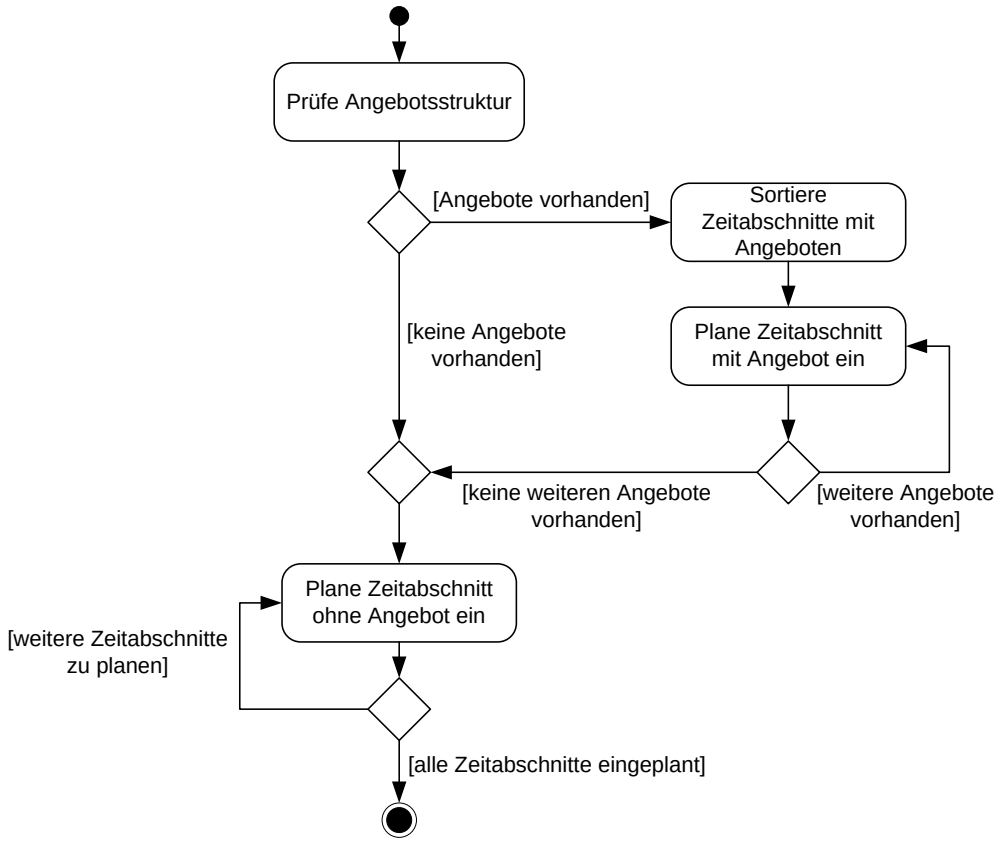


Abbildung 5.16: Planung der Zeitabschnitte in der Grobplanung des Kunden

Im Rahmen der Heuristik werden die Zeitabschnitte des Planungshorizontes zunächst in zwei Mengen unterteilt:

- *AmA*: Menge aller Abschnitte, in denen mindestens ein Lieferant seine Preisstruktur verändert.
- *AoA*: Menge aller Abschnitte, in denen keine Angebote bestehen.

Es ist nicht davon auszugehen, dass jedes Angebot dem Kunden den gleichen Nutzen erbringt. Daher soll die Sortierung es ermöglichen, Zeitabschnitte mit Angeboten in eine für den Kunden möglichst vorteilhafte Sequenz zu bringen. Dies führt zu dem Vorgehen, dass Zeitabschnitte mit Angeboten zuerst bewertet und dann anhand der Bewertung sortiert und geplant werden. Zur Sortierung werden im Folgenden drei Verfahren vorgestellt.

Angebotssortierung durch Partitionierung

Der Grundgedanke dieses Verfahrens ist, dass Zeitabschnitte mit Angeboten in zwei Bereichen miteinander konkurrieren, zum einen bezüglich der Rabattstrukturen der Lieferanten und zum anderen bezüglich der Flexibilitätskorridore des Zeitabschnitts.

Zuerst werden die Zeitabschnitte mit Angebot anhand ihrer Korridore untersucht. Ausgehend von der Annahme, dass Angebote in Abschnitten ohne Strafkosten potentiell besser ausgenutzt werden können als in Abschnitten mit Strafkosten werden zwei Partitionen gebildet. Die Partition der Zeitabschnitte mit Strafkosten wird weiter unterteilt. Dazu wird analog zu Formel (5.15) für jeden Zeitabschnitt eine Gesamtflexibilität $mFlex_z$ berechnet.

$$mFlex_z = \sum_{l=1}^{L} flex_z^l \tag{5.15}$$

Der Wert $flex^l_z$ bezeichnet dabei die Flexibilität des Korridors für Lieferant l in Zeitabschnitt z. Abschnitte mit gleicher Gesamtflexibilität werden in einer Korridor-Partition zusammengefasst, die Sortierung der Partitionen erfolgt nach absteigender Gesamtflexibilität.

Um eine bessere Sortierung innerhalb der Korridor-Partitionen der Menge AmA zu erreichen, wird für jeden Zeitabschnitt das Durchschnittspreisverhältnis dRS_z über alle Rabattstufen aller Lieferanten berechnet. Dazu erfolgt zunächst für jeden Lieferanten die Ermittlung des Rabattstruktur-Grundwertes gRS^l.

$$gRS^l = \sum_{r=1}^{R^l} \left(pra_r^l \cdot \frac{|r|}{lmz^l} \right) \tag{5.16}$$

Für jede Rabattstufe der im Vertrag ausgehandelten Rabattstruktur[289] wird der Preis pra_r^l mit dem Anteil multipliziert, den die Rabattstufe an der möglichen gesamten Bestellmenge des Lieferanten besitzt. Der Anteil errechnet sich aus der Stufengröße[290] $|r|$ dividiert durch die Maximalkapazität des Lieferanten lmz^l. Die Summe über alle Rabattstufen ergibt den Rabattstruktur-Grundwert des Lieferanten.

Anschließend kann für jeden Zeitabschnitt z der Menge AmA das Durchschnittspreisverhältnis dRS_z wie in Formel (5.17) ermittelt werden.

$$dRS_z = \sum_{l=1}^{L} \left(\frac{aRS_z^l}{gRS^l} \right) \tag{5.17}$$

Dazu wird zunächst der Wert aRS^l_z für die in dem Zeitabschnitt aktuell geltenden Rabattstufen bei Lieferant l analog zu Formel (5.16) berechnet. Dieser wird normiert durch die Division mit dem Rabattstruktur-Grundwert gRS^l. Die Summe aller normierten Werte der Lieferanten bildet dann das Durchschnittspreisverhältnis dRS_z.

Innerhalb der Korridor-Partitionen der Menge AmA kann dann aufsteigend nach dem Durchschnittspreisverhältnis dRS_z sortiert werden.

Abbildung 5.17 verdeutlicht den Aufbau der Partitionen.

---

[289] Vgl. Abschnitt 5.1.2.1.

[290] Die Stufengröße errechnet sich aus der Obergrenze der Stufe abzüglich der Obergrenze der darunterliegenden Stufe.

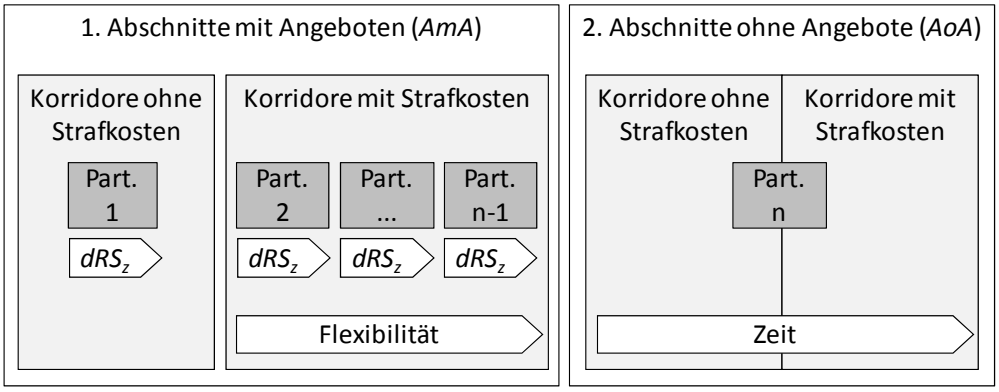


Abbildung 5.17: Angebotssortierung durch Partitionierung

Die Angebote werden in Leserichtung von links nach rechts sortiert.

<u>Angebotssortierung mit faktorisierter Flexibilität</u>

Das im vorherigen Abschnitt vorgestellte Verfahren der Partitionierung basiert auf einer strikten Trennung der Betrachtung der Flexibilitätskorridore und der Preisstrukturen. Dadurch werden Zeitabschnitte mit Angeboten, die zwar nur minimale Stufengrenzen-Veränderungen enthalten, aber dabei in straffreien Abschnitten liegen, immer gegenüber möglicherweise besseren Angeboten in Strafkostenbereichen bevorzugt.

Um dieses Problem zu lösen, kann ein Verhältnis zwischen Kosten und Flexibilität hergestellt werden. Dazu wird für jeden Zeitabschnitt z in der Menge AmA die Bewertung zb_z erstellt. Diese errechnet sich analog zu Formel (5.18), indem das Durchschnittspreisverhältnis mit dem Flexibilitätszuschlag $flexZ_z$ gewichtet wird.

$$zb_z = dRS_z \cdot (1 + flexZ_z) \tag{5.18}$$

Der Flexibilitätszuschlag errechnet sich nach Formel (5.19).

$$flexZ_z = \left(100 - \frac{mFlex_z}{L}\right) \cdot flexG \tag{5.19}$$

Dabei wird die Durchschnittsflexibilität des Zeitabschnitts gebildet. Ausgehend von 100 als maximaler Flexibilität wird dann die fehlende Restflexibilität mit dem Flexibilitätsgewicht $flexG$ multipliziert. Die Berechnung wird für alle Zeitabschnitte der Menge AmA durchgeführt und diese werden nach aufsteigender Zeitabschnittsbewertung zb_z sortiert.[291]

<u>Sortierung in Abhängigkeit der Quotenrelevanz</u>

Die Quotenrelevanz ist eine Kennzahl, die die Wichtigkeit der Quote bzgl. der Planungsentscheidung angibt und die im Abschnitt 5.2.1.2.2 detailliert erläutert wird. Die Quotenrelevanz beeinflusst in hohem Maße die Kosten sowie die Möglichkeit, Angebote auszunutzen. Die beiden vorgestellten Verfahren werden nur eingesetzt, wenn die Quotenrelevanz nicht zu hoch ist. Ansonsten erfolgt die Sortierung der Zeitabschnitte ohne Rücksicht auf Angebote in zeitlich umgekehrter Reihenfolge. Dadurch können zunächst Zeitabschnitte ohne Strafkosten bzw. Zeitabschnitte mit größerer Flexibilität zum Quotenausgleich genutzt werden, um bei der Anpassung Strafkosten zu sparen.

[291] Das Flexibilitätsgewicht stellt einen wichtigen Parameter des Verfahrens dar.

5.2.1.2.2 Planung eines Zeitabschnitts

Die Zeitabschnitte werden nach einem der im vorherigen Abschnitt beschriebenen Sortierverfahren sortiert und in der entsprechenden Reihenfolge nacheinander geplant. Für jeden Zeitabschnitt wird zunächst eine Beschaffungsmengenplanung durchgeführt, die die exakten Planbestellmengen für jeden Lieferanten bestimmt.[292] Diese geben für die Planungssituation an, wie der Kunde aus seiner Sicht im Idealfall bestellen würde. Basierend auf den Planbestellmengen werden in einem nächsten Schritt Flexibilitätskorridore geplant, falls dies für den betrachteten Zeitabschnitt möglich ist.[293] Dabei sollen die Korridore nicht einfach symmetrisch um die Planbestellmengen gelegt werden, sondern sowohl Preis- als auch Sicherheitsaspekte berücksichtigen.

5.2.1.2.2.1 Beschaffungsmengenplanung

Um die Wichtigkeit der Quote in die Bestimmung der Planbestellmengen einzubeziehen, wird ein Maßstab eingeführt, der als Quotenrelevanz bezeichnet und im Folgenden erläutert und hergeleitet wird. Die Quotenrelevanz soll dabei dafür sorgen, dass robuste Entscheidungen unter Unsicherheit getroffen werden.

Berechnung der Quotenrelevanz

Um eine Entscheidung zu treffen, ob die Einhaltung der Quote für einen zu planenden Zeitabschnitt eine hohe oder eine eher niedrige Relevanz besitzt, wird eine Berechnungsvorschrift für diesen Sachverhalt eingeführt. Dies hat den Sinn abzuwägen, ob die Ausnutzung eines Angebotes bzw. Rabattes oder aber die Einhaltung bzw. Wiederherstellung der Quote eine größere Relevanz besitzt.

Die Grundidee ist folgende: Sind nur noch wenige Zeitabschnitte bis zum Ende des Vertragshorizontes zu planen und besitzt die bis zu diesem Zeitpunkt realisierte (und auch schon die für die nächsten Zeitabschnitte geplante[294]) Quote eine große Abweichung von der im Vertrag festgelegten, so muss derart geplant werden, dass die Quote erreicht wird, unabhängig davon, ob Rabatte oder Angebote ausgenutzt werden können. Befindet sich dagegen das Ende des Vertragshorizontes noch in weiter Ferne und ist zusätzlich die bisher realisierte (und geplante) Quote annähernd erfüllt, so können und sollen die Angebote unabhängig von der Quote bestmöglich genutzt werden. Alle Situationen, die zwischen diesen beiden Extremen liegen, erfordern eine genauere Betrachtung der Situation und können mit Hilfe der Quotenrelevanz und eines weiteren berechneten Kostenfaktors bewertet und geplant werden.

Genereller Ablauf zur Herleitung der Quotenrelevanz

Die Berechnung der Quotenrelevanz wird für jeden Lieferanten gesondert durchgeführt. Dies hat die Ursache, dass nicht nur die aktuelle Quote über die Quotenrelevanz entscheidet, sondern auch die Möglichkeit, die Abweichung aufzuholen, welche von den bisherigen Flexibilitätskorridoren und den generellen Kapazitäten der Lieferanten abhängt. Da diese sich unterscheiden können, kann dies auch in einem Zwei-Lieferanten-Fall zu einer unterschiedlichen Quotenrelevanz der Lieferanten führen. Das Maximum dieser Ergebnisse bildet anschließend die Quotenrelevanz für den Zeitabschnitt.

---

[292] Vgl. Abschnitt 5.2.1.2.2.1.
[293] Vgl. Abschnitt 5.2.1.2.2.2. Möglich ist dies für die Fälle 3 bis 6 aus Abbildung 5.15.
[294] Die geplanten Zeitabschnitte im Strafbereich müssen hier auch schon beachtet werden, da Strafkosten vermieden werden sollten.

Generell ist die Berechnung der Quotenrelevanz davon abhängig, ob ein Lieferant einen Rückstand oder einen Vorsprung im Vergleich zur Quote aufweist. Diese beiden Fälle werden jeweils für einen Lieferanten im Folgenden hergeleitet.

Berechnung der Quotenrelevanz für den Fall Rückstand

Die Quotenrelevanz für einen Lieferanten qr^l für den Fall, dass er bis zu einem Zeitabschnitt weniger geliefert hat, als dies seiner Quote entsprechen würde, berechnet sich als Verhältnis vom aktuellen Rückstand des Lieferanten rs^l zu seinem geschätzten Aufholpotential ahp^l.

$$qr^l = \frac{rs^l}{ahp^l} \tag{5.20}$$

Der bisherige Rückstand lässt sich einfach als Differenz der bisher laut Quote zu liefernden Menge (Quote quo^l multipliziert mit der gesamten bisherigen Beschaffungsmenge $gesb$) und der bisher gelieferten Menge des Lieferanten gel^l bestimmen.

$$rs^l = quo^l \cdot gesb - gel^l \tag{5.21}$$

Die Bestimmung des Aufholpotentials ist ein wenig komplexer und kann auch nur näherungsweise geschehen, da die zukünftigen Informationen in der Regel unvollständig und unsicher sind.

Das Aufholpotential lässt sich in zwei Bereiche unterteilen:

- Aufholpotential in den Zeitabschnitten, für die bereits verbindliche Flexibilitätskorridore festgelegt wurden ahp^l_{gep}.
- Aufholpotential in den bis dato noch ungeplanten Zeitabschnitten ahp^l_{ungep}, zu denen in dieser Betrachtung auch die Zeitabschnitte aus der Kapazitätskonkretisierung im freien Bereich (Fall 4 aus Abbildung 5.15) fallen.

Die Summe dieser Aufholpotentiale ergibt das gesamte Aufholpotential ahp^l für den betrachteten Lieferanten.

$$ahp^l = ahp^l_{gep} + ahp^l_{ungep} \tag{5.22}$$

Das Aufholpotential $ahpgep^l_z$ eines bereits geplanten Zeitabschnittes errechnet sich dadurch, dass der betrachtete Lieferant die Obergrenze der Flexibilität des Zeitabschnitts theoretisch voll ausnutzt. Es lässt sich als Differenz aus der Obergrenze des Flexibilitätskorridors $ogfk^l_z$ und dem Wert, der dem Lieferanten laut Quote für diesen Zeitabschnitt zusteht wlq^l_z, berechnen.

Der Wert laut Quote errechnet sich aus der Gesamtbeschaffung für den Zeitabschnitt $gesbes_z$ und der Quote des Lieferanten.

$$wlq^l_z = gesbes_z \cdot quo^l \tag{5.23}$$

Jetzt kann das Aufholpotential für den Zeitabschnitt z berechnet werden.

$$ahpgep^l_z = ogfk^l_z - wlq^l_z \tag{5.24}$$

Dies lässt sich für jeden einzelnen relevanten Zeitabschnitt berechnen (vom aktuell zu realisierenden Zeitabschnitt bis zum letzten Zeitabschnitt, in dem verbindliche Flexibilitätskorridore vorliegen) und ergibt in Summe den Wert ahp^l_{gep} des in den vorliegenden verbind-

lichen Flexibilitätskorridoren möglichen Aufholpotentials. Die verbindlichen Abschnitte starten dabei mit dem aktuellen Zeitabschnitt *aktza* und erstrecken sich über die Länge der fixen Zone *lfix* und der Länge der Abschnitte mit Strafkosten *lsk*.

$$ahp_{gep}^{l} = \sum_{z=aktza}^{aktza+lfix+lsk} ahpgep_{z}^{l} \tag{5.25}$$

Da für die restlichen Perioden noch keine verbindlichen Planungen vorliegen, wird das Aufholpotential in diesen Perioden geschätzt. Als Ausgangspunkt für diese Schätzung dienen die bisherigen Gesamtbestellmengen. Aus diesen wird die Durchschnittsmenge pro Zeitabschnitt db_z gebildet.[295]

$$db_z = \frac{gesb}{aktza - 1} \tag{5.26}$$

Anhand dieser Menge kann die zu erwartende Liefermenge des betrachteten Lieferanten pro Zeitabschnitt $erwlm^l_z$ bestimmt werden.

$$erwlm_z^l = quo^l \cdot db_z \tag{5.27}$$

Das Aufholpotential eines ungeplanten Zeitabschnitts $ahpungep_z^l$ ist das Minimum zweier Werte:

- Kapazität des betrachteten Lieferanten pro Zeitabschnitt $capa_z^l$.
- Gesamte erwartete Liefermenge pro Zeitabschnitt.

minus der erwarteten Liefermenge laut Quote.

$$ahpungep_z^l = min\,(capa_z^l;\, db_z) - erwlm_z^l \tag{5.28}$$

Um das Aufholpotential des gesamten ungeplanten Bereichs zu bestimmen, muss dieser Wert nur noch mit der Anzahl der Zeitabschnitte in diesem Bereich (bis zum Ende des Vertragshorizontes *V*) multipliziert werden.

$$ahp_{ungep}^{l} = (V - lfix + lsk) \cdot ahpungep_z^l \tag{5.29}$$

Damit ist das Gesamtaufholpotential des Lieferanten im Falle eines Quotenrückstandes beschrieben.

Berechnung für den Fall Vorsprung

Die Berechnung für einen Quotenvorsprung verläuft weitestgehend analog zum Fall des Quotenrückstandes.

Statt von einem Rückstand wird von einem Vorsprung vs^l gesprochen, anstatt des Aufholpotentials wird das Abgabepotential agp^l bestimmt.

Die Quotenrelevanz berechnet sich folglich als:[296]

[295] Sollten die Bedarfe näher bekannt sein, so können diese auch direkt zur Berechnung herangezogen werden, falls diese vom bisherigen Durchschnittswert abweichen.
[296] Vgl. (5.20).

$$qr^l = \frac{vs^l}{agp^l} \tag{5.30}$$

wobei der Vorsprung folgendermaßen berechnet wird:[297]

$$vs^l = gel^l - quo^l \cdot gesb \tag{5.31}$$

Das Abgabepotential agp^l wird genau wie das Aufholpotential aus zwei einzelnen Potentialen berechnet, dem Abgabepotential im bereits verbindlich geplanten Horizont agp^l_{gep} und dem im restlichen unverbindlichen Horizont agp^l_{ungep}.

$$agp^l = agp^l_{gep} + agp^l_{ungep} \tag{5.32}$$

Der Unterschied bei der Berechnung von agp^l liegt darin, dass die Untergrenze des Flexibilitätskorridors $ugfk^l_z$ vom Wert laut Quote subtrahiert wird, um das Abgabepotential für einen Zeitabschnitt zu ermitteln.

$$agpgep^l_z = wlq^l_z - ugfk^l_z \tag{5.33}$$

Nun muss noch die Summe über die betroffenen Zeitabschnitte gebildet werden und agp^l_{gep} ist berechnet.

Bei der Bestimmung des Abgabepotentials in den ungeplanten Zeitabschnitten wird zunächst analog zum Fall Rückstand die erwartete Liefermenge des betrachteten Lieferanten für diese Zeitabschnitte bestimmt. Das Abgabepotential pro ungeplantem Zeitabschnitt berechnet sich, indem die Differenz der durchschnittlichen erwarteten Menge pro Zeitabschnitt db_z und der Summe der Kapazität der anderen Lieferanten $sumcap_z$ von der erwarteten Menge pro Zeitabschnitt subtrahiert wird.

$$agpungep^l_z = erwlm^l_z - max\,(0;\ db_z - sumcap_z) \tag{5.34}$$

Die Summe des Abgabepotentials aller ungeplanten Zeitabschnitte ist somit:

$$agp^l_{ungep} = (V - lfix + lsk) \cdot agpungep^l_z \tag{5.35}$$

Genereller Ablauf der Quotenrelevanzbestimmung

Für jeden Lieferanten wird eine der oben genannten Rechnungen durchgeführt, um die Quotenrelevanz zu bestimmen. Anschließend wird die Quotenrelevanz mit dem größten absoluten Betrag als Richtlinie für die Beschaffungsentscheidung herangezogen.

$$qr = max\,(|qr^l|) \tag{5.36}$$

In Abhängigkeit der errechneten Quotenrelevanz wird entschieden, nach welchem Verfahren die Planbestellmengen für den Zeitabschnitt ermittelt werden.

Abbildung 5.18 zeigt den Ablauf der Beschaffungsmengenplanung.

[297] Vgl. (5.21).

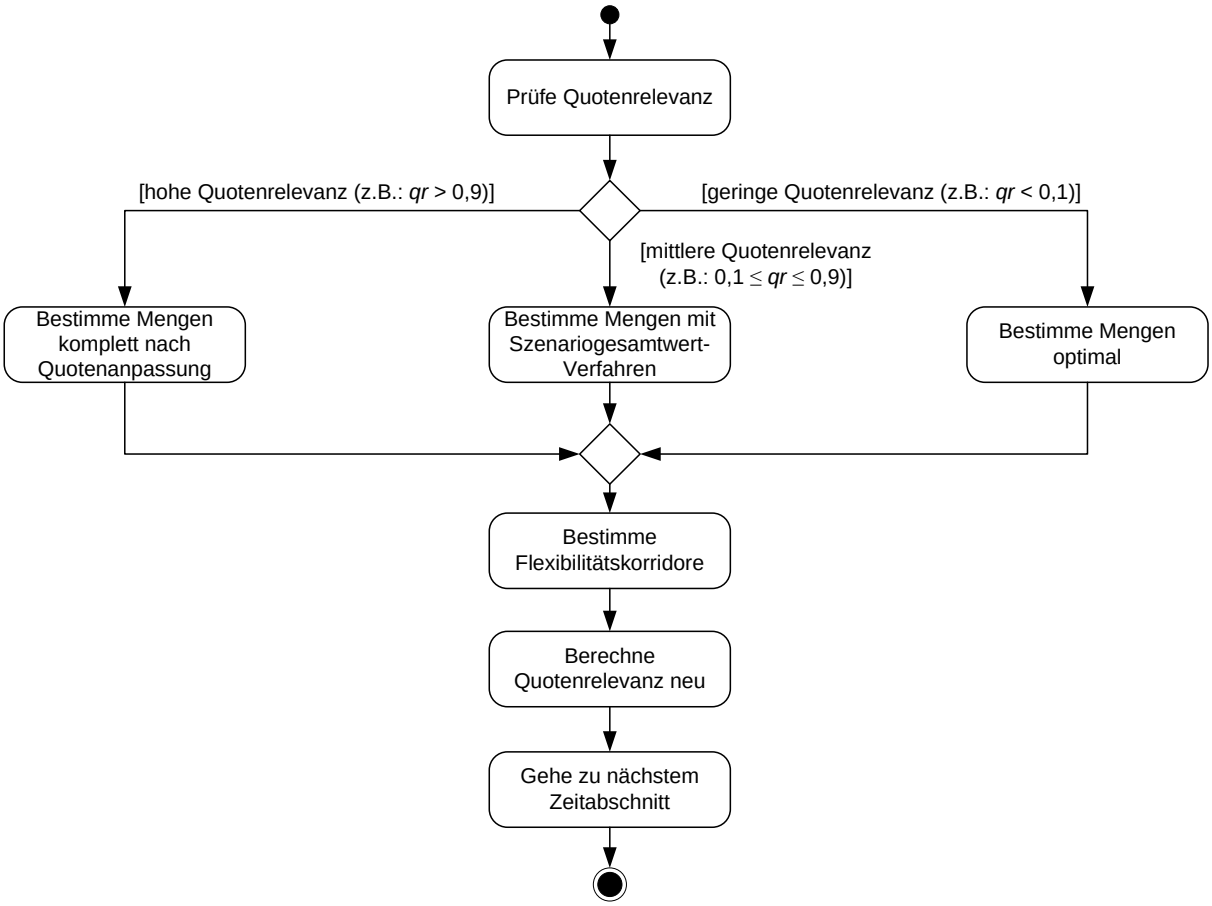


Abbildung 5.18: Planung eines Zeitabschnitts in der Grobplanung des Kunden

Nachdem die Quotenrelevanz bestimmt wurde, werden drei generelle Unterscheidungen vorgenommen:

1. Quotenrelevanz gering (z.B.: $qr < 0{,}1$).
2. Quotenrelevanz mittel (z.B.: $0{,}1 \leq qr \leq 0{,}9$).
3. Quotenrelevanz hoch (z.B.: $qr > 0{,}9$).[298]

Im Falle einer **geringen Quotenrelevanz** kann die Quote für die Beschaffungsentscheidung dieses Zeitabschnitts komplett vernachlässigt werden. Aus der geringen Quotenrelevanz leitet sich ab, dass die Quoten bis zum Planungszeitpunkt nahezu eingehalten wurden und/oder dass in Zukunft noch genügend Planungsflexibilität vorhanden ist, um die Quote anzunähern. Es kann folglich kostenoptimal entschieden werden, welche Mengen bei welchen Lieferanten bestellt werden. Eine exakte Lösung kann durch einen Solver mittels des folgendes Integer Programms berechnet werden.

Linearisiertes Modell für den zu planenden Zeitabschnitt *z*:

$$Minimize\ Z = \sum_{l=1}^{L} ue_z^l \cdot sko_z^l + un_z^l \cdot sku_z^l + \sum_{l=1}^{L} \sum_{r=1}^{R^l} co_{zr}^l \tag{5.37}$$

[298] Die Entscheidung, wann genau eine Quotenrelevanz als gering oder hoch anzusehen ist, soll durch den Benutzer konfiguriert und angepasst werden können. Die angegebenen Werte dienen an dieser Stelle nur als Beispiel.

subject to

$$\sum_{l=1}^{L} l_z^l = d_z \tag{5.38}$$

$$l_z^l \leq lmz_z^l \qquad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.39}$$

$$l_z^l + un_z^l \geq fku_z^l \qquad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.40}$$

$$l_z^l - ue_z^l \leq fko_z^l \qquad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.41}$$

$$\sum_{r=1}^{R^l} ra_{zr}^l = 1 \qquad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.42}$$

$$l_z^l - bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \leq rog_{zr}^l \cdot ra_{zr}^l \qquad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.43}$$

$$l_z^l + bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \geq rug_{zr}^l \cdot ra_{zr}^l \qquad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.44}$$

$$co_{zr}^l \leq bigm \cdot ra_{zr}^l \qquad l = 1,2,\ldots,L;\ r = 1,2,\ldots,R^l \tag{5.45}$$

$$co_{zr}^l - l_z^l \cdot pra_{zr}^l \leq bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \qquad l = 1,2,\ldots,L;\ r = 1,2,\ldots,R^l \tag{5.46}$$

$$l_z^l \cdot pra_{zr}^l - co_{zr}^l \leq bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \qquad l = 1,2,\ldots,L;\ r = 1,2,\ldots,R^l \tag{5.47}$$

$$ra_{zr}^l \in \{0,1\} \qquad l = 1,2,\ldots,L;\ r = 1,2,\ldots,R^l \tag{5.48}$$

Variablen	Bedeutung
$\boldsymbol{co_{zr}^l}$	Kosten für Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{l_z^l}$	Bestellmenge bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{ra_{zr}^l}$	Binärvariable für die Auswahl einer Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{ue_z^l}$	Überschreitung des Flexibilitätskorridors bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{un_z^l}$	Unterschreitung des Flexibilitätskorridors bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*

Mengen	Bedeutung
$\boldsymbol{L}$	Menge der Lieferanten *l* (mit einem Laufindex *1…L*)
$\boldsymbol{R^l}$	Menge der Rabattstufen *r* bei Lieferant *l* (mit einem Laufindex *1…R*^{l})

Parameter	Bedeutung
$\boldsymbol{bigm}$	große Zahl
$\boldsymbol{d_z}$	Bedarf für Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{fko_z^l}$	Flexibilitätskorridorobergrenze Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{fku_z^l}$	Flexibilitätskorridoruntergrenze Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{lmz_z^l}$	maximale Bestellmenge bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{pra_{zr}^l}$	Preis von Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{rog_{zr}^l}$	Obergrenze von Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{rug_{zr}^l}$	Untergrenze von Rabattstufe *r* bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{sko_z^l}$	Kostensatz für eine Überschreitung des Flexibilitätskorridors bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{sku_z^l}$	Kostensatz für eine Unterschreitung des Flexibilitätskorridors bei Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
$\boldsymbol{z}$	zu planender Zeitabschnitt

Da es sich nur um die Planung eines Zeitabschnitts handelt, setzen sich die Gesamtkosten aus den Einkaufskosten des Engpassteils bei jedem Lieferanten und den Strafkosten, die durch evtl.

Flexibilitätskorridorverletzungen entstehen, zusammen (5.37).[299] Der linke Teil der Zielfunktion beschreibt dabei die Strafkosten, der rechte die Bestellkosten. Restriktion (5.38) sorgt dafür, dass genau die Anzahl an Engpassteilen bestellt wird, die dem Bedarf des Zeitabschnitts entspricht.[300] (5.39) beschränkt die jeweiligen Bestellmengen auf die absoluten Kapazitäten der Lieferanten. Die Restriktionen (5.40) und (5.41) bilden Flexibilitätskorridorverletzungen ab. Durch (5.42) bis (5.47) werden die Rabatte modelliert.[301] Dabei wurde darauf geachtet, dass das Modell linear ist, so dass es problemlos durch einen Solver gelöst werden kann.

Weist die **Quotenrelevanz** einen **mittleren Wert** auf, so sollte die Entscheidung, welche Mengen bestellt werden, nicht rein unter Kostengesichtspunkten gefällt werden. Um einen robusten Plan zu erreichen[302], muss zusätzlich zu den Kosten die Quote als Auswahlkriterium in die Entscheidung einbezogen werden. Das Verfahren, dass dies ermöglicht, wird als Szenariogesamtwertverfahren (SGWV) bezeichnet und besteht darin, mögliche sinnvolle Bestellszenarien zu bestimmen, diese hinsichtlich der Quote und der Kosten zu bewerten und anschließend das beste Szenario auszuwählen.

Grundsätzlich kommen folgende sinnvolle Beschaffungsmengen je Lieferant in Frage:

- null.
- Planbestellmenge des letzten Planungslaufs.
- Untergrenzen der Rabattstufen (exklusive der ersten Rabattstufe).
- Untergrenze des geltenden Flexibilitätskorridors.
- Obergrenze des geltenden Flexibilitätskorridors.
- Maximale Kapazität des Lieferanten.
- Gesamtbedarf des Kunden.

Für jede gültige Kombination *s* der Beschaffungsmengen, im Weiteren auch als Szenario bezeichnet, werden in einem nächsten Schritt die Kosten $cost_{zs}$ analog zu Formel (5.49) berechnet.

$$cost_{zs} = \sum_{l=1}^{L} l_z^l \cdot pra_{zr}^l + ue_z^l \cdot sko_z^l + un_z^l \cdot sku_z^l \tag{5.49}$$

Die Kosten berechnen sich aus der Summe der Bestellpreise, genauer aus der Bestellmenge l_z^l bei Lieferant *l* multipliziert mit dem Preis für die erreichte Rabattstufe pra_{zr}^l, und den anfallenden Strafkosten einer möglichen Über- bzw. Unterschreitung (ue_z^l bzw. un_z^l).

Um die Quote in die Entscheidungsfindung einfließen zu lassen, wird zunächst der Normierungsfaktor nf_z berechnet, der sich aus der Division der geringsten Kosten $minc_z$ und dem Bedarf für den betrachteten Zeitabschnitt d_z errechnet (vgl. (5.50)) und somit ermöglicht, Kosten und Quotenauswirkungen zu vergleichen.

---

[299] Wie vorher bereits angedeutet, werden die Lagerkosten an dieser Stelle vernachlässigt.
[300] Da in der Grobplanung keine Lagerhaltung betrachtet wird, darf die Bestellmenge nicht größer sein als der Bedarf. Falls der Gesamtbedarf die Summe der maximalen Liefermengen der Lieferanten überschreitet, so kann das Modell keine gültige Lösung generieren. Daher wird bei der Erstellung des Modells überprüft, ob die maximalen Gesamtliefermengen des Zeitabschnitts den Bedarf decken können. Ist dies nicht der Fall, so werden die Liefermengen als Parameter in Höhe der maximalen Liefermengen an das Modell übergeben.
[301] Eine detaillierte Beschreibung der Rabattmodellierung erfolgt im Kontext der Feinplanung in Abschnitt 5.2.2.
[302] Vgl. Abschnitt 3.1.2.1.2.

$$nf_z = \frac{minc_z}{d_z} \tag{5.50}$$

Um die Kosten und die Quotenveränderungen der einzelnen Szenarien abwägen zu können und einen Wert für die Szenariobewertung sb_{zs} zu errechnen, wird von den Kosten jedes einzelnen Szenarios $cost_{zs}$ dessen Aufholmenge hinsichtlich der Quote am_{zs} subtrahiert. Geringere Kosten und eine höhere Aufholmenge sind stets vorteilhaft, so dass ein möglichst geringer Gesamtwert das beste Szenario beschreibt. Die Aufholmenge wird noch mit der Quotenrelevanz multipliziert, um je nach Situation eine stärkere Gewichtung auf die Kosten oder auf die Quote legen zu können. Schließlich wird dieser Quotenwert noch mit dem Normierungsfaktor multipliziert, so dass Formel (5.51) für die Bewertung der Szenarien entsteht.

$$sb_{zs} = cost_{zs} - (am_{zs} \cdot qr \cdot nf_z) \tag{5.51}$$

Um den Einfluss der Quotenrelevanz auf die Entscheidung noch detaillierter abbilden zu können, wird der Schwellenwert *verS* eingeführt, ab dem die Wirkung der Quotenrelevanz mit einem Faktor *intens* zunimmt. Der Schwellenwert kann dabei frei gewählt werden, sollte jedoch zwischen der Schwelle für die mittlere Quotenrelevanz und der Schwelle der hohen Quotenrelevanz liegen.[303] Wird diese zusätzliche Detaillierung vorgenommen, so resultiert die Szenariobewertung in Formel (5.52).

$$sb_{zs} = cost_{zs} - (am_{zs} \cdot qr \cdot nf_z \cdot intens) \tag{5.52}$$

Das selektierte Szenario ist das mit dem geringsten berechneten Wert.

Im Falle einer **hohen Quotenrelevanz** soll das Szenario so bestimmt werden, dass die Quote maximal angepasst wird. Preise, Angebote und Flexibilitätskorridore werden in einem solchen Fall komplett vernachlässigt.[304] Dieser Fall sollte eigentlich kaum vorkommen, da das beschriebene Vorgehen, falls die Quotendifferenz zu groß wird, dafür sorgt, dass die Quote nur in seltenen Fällen noch weiter in diese Richtung tendieren wird.[305]

Der Ablauf der Beschaffungsmengenplanung bei hoher Quotenrelevanz ist in Abbildung 5.19 dargestellt.

[303] Entspricht *verS* der Schwelle für die mittlere Quotenrelevanz, so wird der Einfluss der Quotenrelevanz von Beginn an gesteigert. Entspricht der Wert der Schwelle für die hohe Quotenrelevanz, wird keine Intensivierung des Einflusses der Quotenrelevanz vorgenommen.

[304] Existiert im Vertrag eine Toleranz für die Quoteneinhaltung, so kann bei einer hohen Quotenrelevanz geprüft werden, ob es nicht doch möglich ist, kostengünstiger zu bestellen und innerhalb der Toleranz zu bleiben. Eine hohe Quotenrelevanz kann gegen Ende des Vertragshorizontes trotz nur geringer Quotenabweichungen durch ein sehr niedriges Aufholpotential zu Stande kommen. Um eine teure Planung nach Quoten in solch einem Fall nicht unnötig durchzuführen, wird die erlaubte Toleranz für jeden Lieferanten mit hoher Quotenrelevanz mit der bisherigen Abweichung verglichen. Liegt die Abweichung innerhalb der Toleranz, so wird der Quotenrelevanz-Wert auf einen Wert knapp unterhalb der Grenze für die hohe Quotenrelevanz gesetzt.

[305] Eine hohe Quotenrelevanz kann bspw. dann vorkommen, wenn die Annahme aufgegeben wird, dass Lieferanten immer die Menge liefern können, die zuvor geplant wurde.

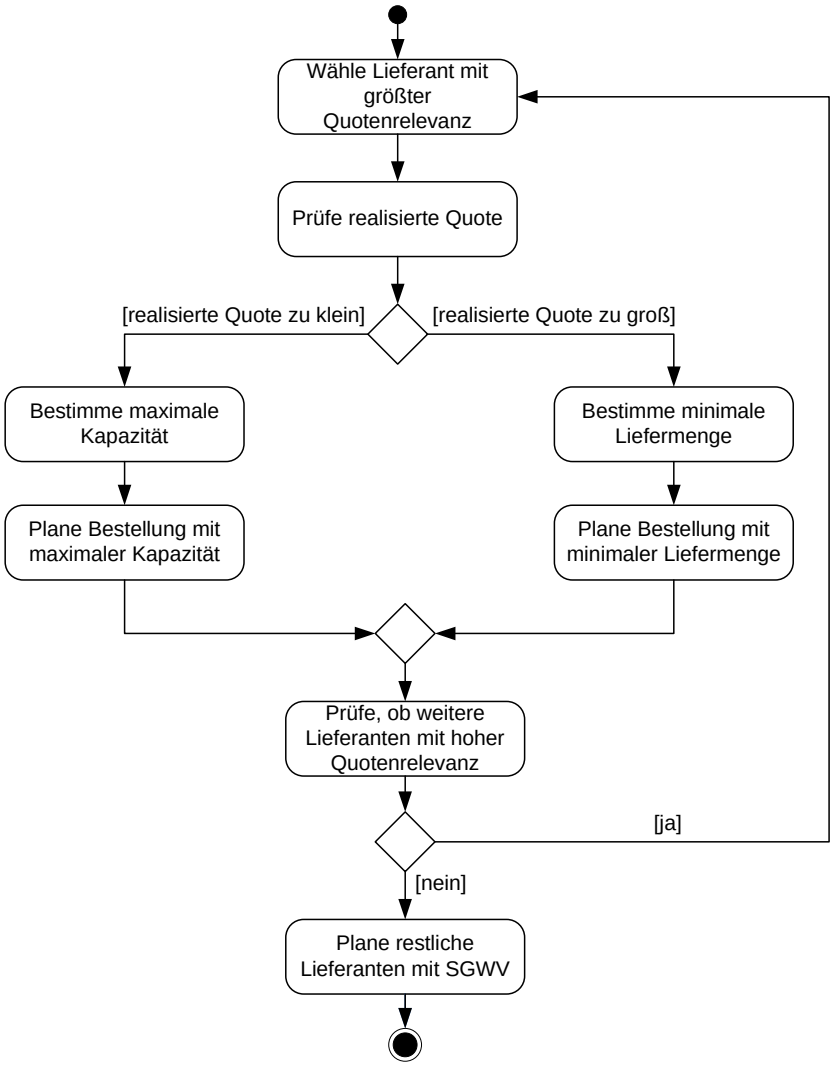


Abbildung 5.19: Ablauf der Beschaffungsmengenplanung bei hoher Quotenrelevanz

Auf oberster Ebene muss danach unterschieden werden, ob der Lieferant mit der höchsten Quotenrelevanz (zumindest einer der Lieferanten muss ja eine hohe Quotenrelevanz aufweisen) gegenüber seiner Quote im Vorsprung oder im Rückstand ist. Im Falle eines Rückstandes wird versucht, die Maximalkapazität des Lieferanten auszunutzen. Im Falle eines Vorsprungs wird ein anderes Vorgehen verfolgt. Für den Lieferanten mit der maximalen Quotenrelevanz wird die minimale Liefermenge bestimmt, die notwendig ist, um die Versorgung des Kunden mit dem Engpassteil zu gewährleisten. Diese kann entweder null betragen oder aus dem Bedarf minus der Summe der maximalen Kapazität der Alternativlieferanten bestehen.

Nachdem die Bestellmenge für einen Lieferanten auf diese Weise geplant wurde, wird geprüft, ob weitere Lieferanten mit hoher Quotenrelevanz existieren. Ist dies der Fall, wird die Planung wiederholt, aber unter Ausschluss des schon betrachteten Lieferanten und Verrechnung der bereits geplanten Mengen. Dies geschieht so lange, bis kein Lieferant eine hohe Quotenrelevanz aufweist. Die Planung für die restlichen Lieferanten erfolgt mit dem Szenariogesamtwertverfahren, das im Kontext der Planung für eine mittlere Quotenrelevanz vorgestellt wurde.

Der in Abbildung 5.18 dargestellte Schritt der Flexibilitätskorridorplanung wird im nächsten Abschnitt erläutert.

5.2.1.2.2.2 Flexibilitätskorridorplanung

Nachdem die Bestellmenge für einen Zeitabschnitt bestimmt wurde, werden anschließend anhand der Mengen Flexibilitätskorridore für alle Lieferanten gebildet. Diese sollten nicht trivial bestimmt werden, indem einfach ein Korridor symmetrisch um die Planmenge gelegt wird, sondern es sollten ebenfalls Aspekte wie Rabatte, Kapazitäten und Strafkosten Berücksichtigung finden.

In einem ersten Schritt werden dabei für jeden Lieferanten individuell Korridore generiert, die alle die jeweilige Planbestellmenge l_z^l enthalten. Dazu wird zunächst anhand der Planbestellmenge eine Unter- und eine Obergrenze für mögliche Korridormittelwerte errechnet. Diese Werte werden so ermittelt, dass die Planbestellmenge, falls ein Korridor mit der aktuellen Flexibilität $flex_z^l$des zu planenden Zeitabschnitts um die Werte gelegt werden würde, gerade noch innerhalb des Korridors liegen würden. Die Untergrenze aller Korridormittelwerte $kmwug_z^l$, die dies ermöglicht, berechnet sich folgendermaßen:

$$kmwug_z^l = \left\lceil \frac{l_z^l}{1 + flex_z^l} \right\rceil \tag{5.53}$$

Durch das Aufrunden wird sichergestellt, dass sich die Planbestellmenge innerhalb des möglichen Korridors um diesen Wert befindet.

Analog wird eine Obergrenze aller Korridormittelwerte $kmwog_z^l$, die einen Korridor um den Planwert bilden, berechnet:

$$kmwog_z^l = \left\lfloor \frac{l_z^l}{1 - flex_z^l} \right\rfloor \tag{5.54}$$

Bei der Berechnung der möglichen Korridorunter- und -obergrenzen erfolgt eine Unterscheidung danach, ob sich die ermittelte Planbestellmenge innerhalb oder außerhalb des zuletzt gültigen Korridors befindet.

Falls sich die Planbestellmenge im Korridor befindet, wird dafür gesorgt, dass der Korridor eingehalten wird. Die mögliche Korridoruntergrenze $mkug_z^l$ und die mögliche Korridorobergrenze $mkog_z^l$ errechnen sich dabei wie folgt:

$$mkug_z^l = Max((\lceil kmwug_z^l - (kmwug_z^l \cdot flex_z^l) \rceil)\,; fku_z^l) \tag{5.55}$$

$$mkog_z^l = Min((\lfloor kmwog_z^l + (kmwog_z^l \cdot flex_z^l) \rfloor); fko_z^l) \tag{5.56}$$

Um sicherzustellen, dass die Planbestellmenge zugleich innerhalb des zu planenden Korridors und des alten Korridors liegt, wird als mögliche neue Korridoruntergrenze das Maximum zweier Werte bestimmt. Ein Wert ist der zuvor bestimmte kleinste Korridormittelwert abzüglich dessen Flexibilität nach unten.[306] Falls dieser Wert sich im alten Korridor befindet, wird er als mögliche Korridoruntergrenze gewählt, ansonsten wird die alte Korridoruntergrenze fku_z^l als mögliche neue Korridoruntergrenze bestimmt. Das Vorgehen für die Bestimmung der möglichen Korridorobergrenze ist analog. In diesem Fall wird die alte Korridorobergrenze fko_z^l als neue mögliche Obergrenze bestimmt, falls der maximal mögliche Wert, der sich aus dem berechneten höchstmöglichen Mittelwert zuzüglich der Flexibilität ergibt, außerhalb des alten Korridors liegt.

[306] Dieser Wert wird aufgerundet, um die vertraglich festgelegte Flexibilität nicht zu überschreiten.

Falls sich die Planbestellmenge außerhalb des Korridors befindet, werden folgende Grenzen festgelegt:

$$mkug_z^l = Max((\lceil kmwug_z^l - (kmwug_z^l \cdot flex_z^l)\rceil)\ ;0) \tag{5.57}$$

$$mkog_z^l = Min((\lfloor kmwog_z^l + (kmwog_z^l \cdot flex_z^l)\rfloor); lmz_z^l) \tag{5.58}$$

Da der alte Korridor in diesem Fall bereits verlassen wurde, wird der neue Korridor nur noch dadurch eingeschränkt, dass die neue Planbestellmenge in diesem enthalten sein muss und keine negativen Mengen bzw. keine Mengen, die über die maximale Lieferkapazität lmz_z^l hinausgehen, enthalten sind.

Für die Ermittlung der Korridore wird so vorgegangen, dass ausgehend von der möglichen Untergrenze $mkug_z^l$ der erste Korridor erstellt wird, anschließend die Untergrenze ug_z^l um eins erhöht wird und das Ganze solange wiederholt wird, bis die mögliche Obergrenze $mkog_z^l$ bei einem Intervall überschritten wurde. Die Berechnung des Korridors anhand der Untergrenze ug_z^l erfolgt in zwei Schritten. Zunächst wird der Mittelwert mw_z^l und anschließend die Obergrenze og_z^l berechnet.

$$mw_z^l = \left\lfloor \frac{ug_z^l}{(1 - flex_z^l)} \right\rfloor \tag{5.59}$$

$$og_z^l = \lfloor mw_z^l + (mw_z^l \cdot flex_z^l)\rfloor \tag{5.60}$$

Nachdem die Korridore für alle Lieferanten bestimmt wurden, werden sie untereinander kombiniert. Jede dieser Kombinationen bildet ein **Gesamtszenario**, das anschließend auf seine Eignung untersucht wird. Die Anzahl an Gesamtszenarien Sum_{GS} ergibt sich durch Multiplikation der Anzahl der Szenarien der einzelnen Lieferanten SA_l.

$$Sum_{GS} = \prod_{l=1}^{L} SA_l \tag{5.61}$$

Aus jedem Gesamtszenario lässt sich ein **Gesamtkorridor** für den betrachteten Zeitabschnitt berechnen. Die Berechnung der Gesamtkorridoruntergrenze $gkug_z$ und der Gesamtkorridorobergrenze $gkog_z$ lässt sich dabei wie folgt aus den Szenariountergrenzen der Lieferanten sug_z^l und den Szenarioobergrenzen der Lieferanten sog_z^l berechnen.

$$gkug_z = \sum_{l=1}^{L} sug_z^l \tag{5.62}$$

$$gkog_z = \sum_{l=1}^{L} sog_z^l \tag{5.63}$$

Vier Eigenschaften dienen zur Entscheidungsfindung, welches der Gesamtszenarien ausgewählt wird.

Größe des Gesamtkorridorpuffers: Der Gesamtkorridorpuffer gkp_z beschreibt in diesem Zusammenhang die Größe des Puffers zwischen dem Bedarf d_z und den Grenzen des Gesamtkorridors. Er wird sowohl hinsichtlich der oberen als auch der unteren Grenze berücksichtigt und lässt sich daher als das Minimum der Differenz des Bedarfs und der unteren Gesamtkorridorgrenze und dem Bedarf und der oberen Gesamtkorridorgrenze beschreiben.

$$gkp_z = Min\,(d_z - gkug_z;\ gkog_z - d_z) \tag{5.64}$$

Dabei ist der Gesamtkorridorpuffer am größten, wenn sich der Gesamtkorridor symmetrisch um den Gesamtplanwert verteilt.

- **Mögliche Rabattausnutzung:** Zur Analyse der durch die Korridore erreichbaren Rabattstufen wird als Kennzahl die Summe der Preise der jeweils obersten, erreichbaren Rabattstufen der einzelnen Lieferanten $porsk_z^l$ gebildet. Diese Kennzahl der möglichen Rabattausnutzung mRA_z berechnet sich wie folgt:

$$mRA_z = \sum_{l=1}^{L} porsk_z^l \tag{5.65}$$

- **Höhe der Strafkosten eines Szenarios:** Zur Bestimmung der Höhe der Strafkosten eines Szenarios wird für jedes Gesamtszenario ein Strafkostenwert gsk_z aus der Summe der einzelnen Strafkosten der Lieferantenszenarien sk_z^l berechnet.

$$gsk_z = \sum_{l=1}^{L} sk_z^l \tag{5.66}$$

- **Auswirkung hinsichtlich der Quote:** Die Auswirkung hinsichtlich der Quote für einen Lieferanten anq_z^l errechnet sich in Abhängigkeit davon, ob der Lieferant momentan im Rückstand oder im Vorsprung ist wie folgt:

$$\begin{aligned} anq_z^l &= sog_z^l - wlq_z^l \quad &, falls\ Rückstand \\ anq_z^l &= wlq_z^l - sug_z^l \quad &, falls\ Vorsprung \end{aligned} \tag{5.67}$$

Im Falle eines Rückstandes wird der Wert laut Quote von der Szenarioobergrenze des Lieferanten sog_z^l subtrahiert, um das Aufholpotential zu bestimmen. Im Falle eines Vorsprungs wird die Szenariountergrenze des Lieferanten sug_z^l vom Wert laut Quote subtrahiert, um das Abgabepotential zu bestimmen. Die Summe der Auswirkungen jedes Lieferanten ergibt die Auswirkung hinsichtlich der Quote aq_z des Gesamtszenarios.

$$aq_z = \sum_{l=1}^{L} anq_z^l \tag{5.68}$$

Die Idee der Auswahl des Gesamtszenarios besteht darin, nacheinander mehrere Filter anzuwenden, die Szenarien nach und nach aus der Auswahl eliminieren und letztendlich ein Szenario auswählen. Die Filter können dabei konfiguriert werden, so dass es bspw. möglich ist, einen minimalen Gesamtkorridorpuffer von 50 Mengeneinheiten als Filterkriterium anzugeben.[307] Der Planer soll je nach Risikoeinstellung[308] entscheiden können, welche Eigenschaften eines Gesamtszenarios am wichtigsten sind.[309] Abbildung 5.20 zeigt das Vorgehen des Verfahrens.

[307] So können auch mehrere Szenarien, die ein Kriterium erfüllen, selektiert werden. Ist ein Kriterium nicht möglich, so kann direkt das oder die Szenarien, die das Kriterium am ehesten erfüllen, selektiert werden.

[308] Für ausführliche Informationen zur Risikoeinstellung vgl. [Scho01].

[309] Dabei sind die Kriterien des Gesamtkorridorpuffers und der Auswirkung hinsichtlich der Quote einer Risikoaversion und die mögliche Rabattausnutzung und die Höhe der Strafkosten eher einer Risikosympathie zuzuordnen.

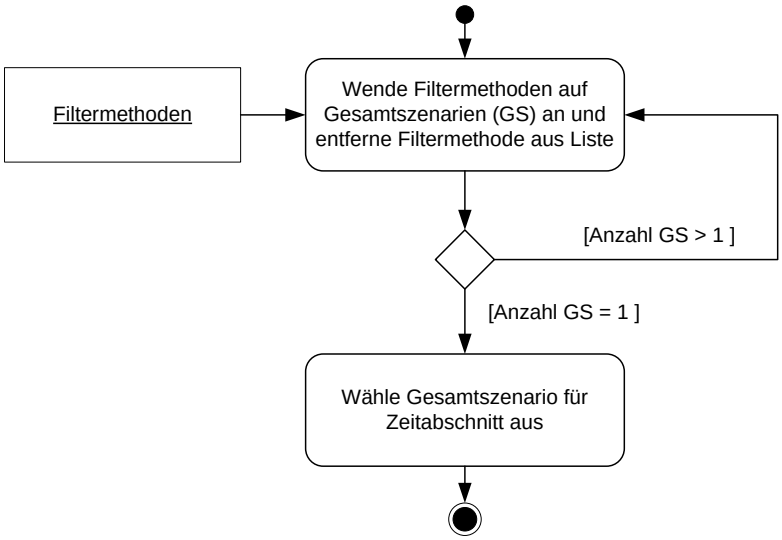


Abbildung 5.20: Bestimmung der Flexibilitätskorridore

In einem ersten Durchlauf wird die vom Planer priorisierte Filtermethode angewandt, um Gesamtszenarien aus der Auswahlliste zu entfernen. Bleibt nach dieser Auswahl genau ein Szenario übrig, so wird dieses ausgewählt, ansonsten wird der nächste Filter auf die restlichen Szenarien angewandt, bis ein Szenario letztlich für den Zeitabschnitt ausgewählt wird.

5.2.1.2.3 Initialplanung

Das Ziel der Initialplanung besteht darin, die Flexibilitätskorridore, die das Ergebnis der ersten Grobplanung darstellen, so zu bestimmen, dass die zu späteren Zeitpunkten durchgeführten Änderungen an diesen im Sinne der Planungsrobustheit[310] minimal sind. Die Relevanz der Initialplanung hängt weitestgehend vom Verhältnis der Länge des Planungshorizontes zur Länge des Vertragshorizontes ab. Bei einem im Verhältnis zum Vertragshorizont langen Planungshorizont kann eine Initialplanung, die nur nach Kostengesichtspunkten vorgeht, leicht dazu führen, dass die Quotenrelevanz hoch ist und damit spätere Entscheidungen stark eingeschränkt werden.

Um dieses Problem zu lösen, wird die Initialbelegung mit einem ganzzahligen Modell durchgeführt, das den gesamten initialen Planungshorizont plant und dabei eine vorgegebene maximale Quotenabweichung für den Planungshorizont einhält.

Modell Initiale Grobplanung Kunde:

$$Minimize\ Z = \sum_{l=1}^{L}\sum_{z=1}^{GP}\sum_{r=1}^{R^l} co_{zr}^{l} \tag{5.69}$$

subject to

$$(\sum_{z=1}^{GP}\sum_{l=1}^{L} l_z^l) \cdot quo^l - \sum_{t=1}^{GP} l_z^l \leq eqa \qquad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.70}$$

$$(\sum_{z=1}^{GP}\sum_{l=1}^{L} l_z^l) \cdot quo^l - \sum_{t=1}^{GP} l_z^l \geq -\ eqa \qquad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.71}$$

[310] Vgl. Abschnitt 3.1.2.1.2.

$$\sum_{l=1}^{L} l_z^l = d_z \qquad z = 1,2,\ldots,GP \qquad (5.72)$$

$$l_z^l \leq lmz_z^l \qquad z = 1,2,\ldots,GP; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.73)$$

$$l_z^l \geq 0 \qquad z = 1,2,\ldots,GP; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.74)$$

$$\sum_{r=1}^{R^l} ra_{zr}^l = 1 \qquad z = 1,2,\ldots,GP; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.75)$$

$$l_z^l - bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \leq rog_{zr}^l \cdot ra_{zr}^l \qquad z = 1,2,\ldots,GP; \quad l = 1,2,\ldots,L; \; r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.76)$$

$$l_z^l + bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \geq rug_{zr}^l \cdot ra_{zr}^l \qquad z = 1,2,\ldots,GP; \quad l = 1,2,\ldots,L; \; r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.77)$$

$$co_{zr}^l \leq bigm \cdot ra_{zr}^l \qquad z = 1,2,\ldots,GP; \quad l = 1,2,\ldots,L; \; r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.78)$$

$$co_{zr}^l - l_z^l \cdot pra_{zr}^l \leq bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \qquad z = 1,2,\ldots,GP; \quad l = 1,2,\ldots,L; \; r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.79)$$

$$l_z^l \cdot pra_{zr}^l - co_{zr}^l \leq bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \qquad z = 1,2,\ldots,GP; \quad l = 1,2,\ldots,L; \; r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.80)$$

$$ra_{zr}^l \in \{0,1\} \qquad z = 1,2,\ldots,GP; \quad l = 1,2,\ldots,L; \; r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.81)$$

Variablen	Bedeutung
co_{zr}^l	Kosten für Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
l_z^l	Bestellmenge in Zeitabschnitt z bei Lieferant *l*
ra_{zr}^l	Binärvariable für die Auswahl einer Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*

Mengen	Bedeutung
GP	Menge der Zeitabschnitte des Grobplanungshorizontes (mit einem Laufindex *1…GP*)
L	Menge der Lieferanten *l* (mit einem Laufindex *1…L*)
R^l	Menge der Rabattstufen *r* bei Lieferant *l* (mit einem Laufindex *1…R*^{l})

Parameter	Bedeutung
$bigm$	große Zahl
d_z	Bedarf für den Zeitabschnitt *z*
eqa	erlaubte Quotenabweichung
lmz_z^l	Maximale Bestellmenge in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
pra_{zr}^l	Preis für Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
quo^l	Quote bei Lieferant *l*
rog_{zr}^l	Obergrenze der Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
rug_{zr}^l	Untergrenze der Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*

Da zum Zeitpunkt der Initialbelegung noch keine Strafkosten anfallen, liegt der Fokus der Zielfunktion (5.69) nur auf den Kosten, die für die Rabattstufen der Lieferanten für jeden Zeitabschnitt des Planungshorizontes gebildet werden.

Die Restriktionen (5.70) und (5.71) ermöglichen es, der Initialplanung erlaubte Quotenabweichungen in Höhe des Wertes *eqa* vorzugeben. Für Szenarien mit vielen Zeitabschnitten kann dieser Wert hoch gewählt werden, um rein aus Kostensicht zu optimieren. Je kleiner der Vertragshorizont ist, desto geringer sollte *eqa* gewählt werden, um eine höhere Quoteneinhaltung zu erreichen.

Um die Lösbarkeit des Modells und damit seine Robustheit weiter zu erhöhen, wird eine Anpassung der Bedarfe d_z vorgenommen, bevor diese an das Modell übergeben werden. Übersteigen die Bedarfe eines Zeitabschnitts z die summierten maximalen Liefermengen der Lieferanten lm_z^l, ist das Modell aufgrund von Restriktion (5.73) nicht lösbar. Um eine Verschiebung auf spätere Zeitabschnitte zu ermöglichen, wird der Bedarfsüberhang $bedUe_z$ eingeführt. Dieser entspricht der fehlenden Kapazität der Lieferanten, die notwendig wäre, um den Bedarf eines Zeitabschnittes zu decken, und wird laut Formel (5.82) berechnet.

$$bedUe_z = max\left(0\,;\; d_z - \sum_{l=1}^{L} lmz_z^l\right) \tag{5.82}$$

Für jeden Zeitabschnitt wird dann der Bedarf d_z als Minimum aus der summierten maximalen Liefermenge der Lieferanten und der Summe aus eigentlichem Bedarf und Überhang des vorherigen Zeitabschnittes neu festgelegt.

$$d_z = min\left(\sum_{l=1}^{L} lmz_z^l\,;\; d_z + bedUe_z\right) \tag{5.83}$$

Durch die Bedarfsanpassung werden Verspätungen antizipiert und die zukünftigen Korridorgrenzen werden planungsrobuster.

Ein Grobplanungsschritt ist beendet, nachdem alle Zeitabschnitte des Planungshorizontes geplant wurden. Die Grobplanung wird rollierend bis zum Ende des Vertragshorizontes wiederholt. Die exaktere Beschaffungsplanung, die die in der Grobplanung definierten Korridore als Vorgabe für die Bestell- bzw. Liefermengen erhält, erfolgt in der im nächsten Abschnitt beschriebenen Feinplanung.

5.2.2 FEINPLANUNG – ROLLIERENDE PRODUKTIONS- UND BESCHAFFUNGSPLANUNG

Die Ergebnisse der Grobplanung werden in der Feinplanung konkretisiert. Dabei werden sowohl die Produktionspläne der Kunden und Lieferanten als auch die Bestell- und Lieferpläne für die Engpassteilversorgung ermittelt. Die Feinplanung wird nahezu vollständig durch ganzzahlige Modelle beschrieben, die durch einen Solver wie CPLEX oder MOPS gelöst werden können.[311]

Zunächst werden in Abschnitt 5.2.2.1 alle Variablen, Mengen und Parameter aufgezeigt, die in den darauf folgenden Modellen verwendet werden. Anschließend wird in Abschnitt 5.2.2.2 ein Basismodell formuliert, das die Grundlage für alle später folgenden Modelle bildet. Darauf folgend wird in Abschnitt 5.2.2.3 das Verfahren für Kooperationsstufe 1 vorgestellt. Dabei wird zunächst der generelle Ablauf des Verfahrens vorgestellt, bevor die Modelle für den Kunden und die Lieferanten beschrieben werden. Abschließend wird der optionale Schritt des Profit-Sharing, der nur in Kooperationsstufe 1 Anwendung finden soll, erläutert. Nachdem das Verfahren für Kooperationsstufe 1 vorgestellt wurde, wird in Abschnitt 5.2.2.4 das Verfahren für Kooperationsstufe 2 erläutert.

[311] Für die Feinplanung des Kunden wurde zusätzlich eine Heuristik entwickelt, die in [RBD+10] beschrieben ist.

5.2.2.1 Variablen, Mengen und Parameter der Feinplanung

Im Folgenden werden die Variablen, Mengen und Parameter, die in den nachfolgenden Modellen verwendet werden, eingeführt.[312] Falls ein Element sowohl für den Kunden als auch die Lieferanten verwendet wird, so wird es mit einem hochgestellten (*l*) gekennzeichnet.[313]

Variablen	Bedeutung
abw_t^l	Abweichung im Vergleich zur letzten Bestellung in Periode *t* bei Lieferant *l*
co_{zr}^l	Kosten für Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
o_t^l	Binärvariable für Bestellung in Periode *t* bei Lieferant *l* (je nach Modell stellt die Variable die Lieferung durch Lieferant *l* anstatt der Bestellung dar)
$q_{kt}^{(l)}$	Losgröße für Produkt *k* in Periode *t*
ql_{et}^l	Liefermenge des Engpassteils *e* in Periode *t* durch Lieferant *l*
l_t^l	Bestellmenge in Periode *t* bei Lieferant *l* (in Kooperationsstufe 2: Bedarfsanforderung für Periode *t* bei Lieferant *l*)
ra_{zr}^l	Binärvariable für die Auswahl einer Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$r_{kt}^{(l)}$	Rückstand für Produkt *k* zum Zeitpunkt *t*
$s_{kt}^{(l)}$	binäre Rüstvariable für Produkt *k* in Periode *t*
ue_z^l	Überschreitung des Flexibilitätskorridors in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
un_z^l	Unterschreitung des Flexibilitätskorridors in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$ye_t^{(l)}$	Lagerbestand des Engpassteils *e* im Engpassteil-Lager zum Zeitpunkt *t*
$y_{kt}^{(l)}$	Lagerbestand für Produkt *k* zum Zeitpunkt *t*
z_t^l	Anzahl an Zusatzkapazitätsaufstockungen in Periode *t* bei Lieferant *l*

Mengen	Bedeutung
E^l	Engpassteil ($E^l \in K^{(l)}$) (Es wird genau ein Engpassteil pro Lieferant produziert.)
$K^{(l)}$	Menge der zu planenden Produkte $k^{(l)}$ (mit einem Laufindex $1 \ldots K^{(l)}$)
L	Menge der Lieferanten *l* (mit einem Laufindex *1…L)*
N_e	Menge der Produkte mit Engpassteil
NH	Menge der Perioden des Verhandlungszeitraums (mit einem Laufindex *1…NH*)
PH	Menge der Perioden des Prognosezeitraums (mit einem Laufindex *NH+1…T*)
R^l	Menge der Rabattstufen *r* bei Lieferant *l* (mit einem Laufindex $1 \ldots R^l$)
T	Menge der Perioden des Planungszeitraums (mit einem Laufindex *1…T*)
W	Menge an Perioden, die vorher bereits geplant wurden (mit einem Laufindex *1…W*)
Z	Menge der Zeitabschnitte des Planungszeitraums (mit einem Laufindex *1…Z*)

Parameter	Bedeutung
ak_t^l	Änderungskostensatz in Periode *t* bei Lieferant *l*
al_z^l	bereits gelieferte Menge von Lieferant *l* in Zeitabschnitt *z*
az^l	Ausgleichszahlung von Lieferant *l*
$bigm$	große Zahl
$bkfix^l$	fixe Bestellkosten bei Lieferant *l* (je nach Modell fixe Lieferkosten für Lieferant *l)*
$bmax^l$	maximale Kapazität bei Lieferant *l* (entspricht der Menge pro geplanter Kapazitätseinheit (zk^l) multipliziert mit der maximalen Menge an KE ($maxke^l$))
$b_t^{(l)}$	Kapazität in Periode *t* (entspricht beim Lieferanten der Anzahl geplanter Kapazitätseinheiten in *t* (gke^l_t) multipliziert mit der Menge pro KE (zk^l))

[312] Da in den einzelnen Modellen oftmals gleiche Modellelemente enthalten sind, wird aus Gründen der Lesbarkeit im Text auf eine Aufzählung der einzelnen Bezeichnungen für jedes Modell verzichtet.
[313] In den Modellen entfällt das *l*, falls es sich um den Kunden handelt, und wird ohne Klammern verwendet, falls es nur die Lieferanten betrifft.

$c^{(l)}$	Kapazität des Produktlagers
$c_{etl}^{(l)}$	Kapazität des Engpassteil-Lagers
$dc_{kt}^{(l)}$	Strafkostensatz für Verspätung des Produktes *k* in Periode *t*
$d_{kt}^{(l)}$	Bedarf für Produkt *k* in Periode *t*
lmp_t^l	Maximale Liefermenge in Periode *t* bei Lieferant *l*
lmz_z^l	Maximale Liefermenge in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
eqa	erlaubte Quotenabweichung
fko_z^l	Flexibilitätskorridorobergrenze in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
fku_z^l	Flexibilitätskorridoruntergrenze in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
gke_t^l	Anzahl der geplanten Kapazitätseinheiten des Lieferanten *l* für Periode *t*
h_e	Lagerkostensatz für Engpassteile
$h_p^{(l)}$	Lagerkostensatz für Produkte
kke^l	Kosten pro Kapazitätseinheit bei Lieferant *l*
kzk^l	Kosten pro Zusatzkapazitätseinheit *zk* bei Lieferant *l*
lb_t^l	letzte geplante Bestellung für Periode *t* bei Lieferant *l*
$maxke^l$	maximale Menge an Kapazitätseinheiten bei Lieferant *l*
pra_{zr}^l	Preis für Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
quo^l	Quote bei Lieferant *l*
rog_{zr}^l	Obergrenze der Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
rug_{zr}^l	Untergrenze der Rabattstufe *r* in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$s_k^{(l)}$	Rüstkostensatz für Produkt *k*
sko_z^l	Kostensatz für eine Überschreitung des Flexibilitätskorridors in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
sku_z^l	Kostensatz für eine Unterschreitung des Flexibilitätskorridors in Zeitabschnitt *z* bei Lieferant *l*
$tb_k^{(l)}$	Stückbearbeitungszeit für Produkt *k*
$tr_k^{(l)}$	Rüstzeit für Produkt *k*
$yinit_e^{(l)}$	Initiallagerbestand für das Engpassteil *e* im Engpassteil-Lager
$yinit_k^{(l)}$	Initiallagerbestand für Produkt *k*
zk^l	Menge pro Zusatzkapazitätseinheit bei Lieferant *l*

5.2.2.2 Basismodell

Das Basismodell bildet die Grundlage für alle im weiteren Verlauf der Arbeit vorgestellten Modelle. Es bildet die Aspekte ab, die sowohl für den Kunden als auch für die Lieferanten gelten. In den nachfolgenden Abschnitten wird das Basismodell um die jeweils problemspezifischen Zusatzelemente erweitert.

Basierend auf den in den Abschnitten 2.5.2 und 2.5.3 vorgestellten Modulen für Kunde und Lieferant kann ein Basismodul, das für alle Parteien gilt, definiert werden. Die Annahmen des Basismoduls sind wie folgt:

- Die Bedarfe an Produkten können nicht beeinflusst werden.
- Es werden mehrere Produkte hergestellt, die alle produktabhängige Mengen einer periodenabhängigen Kapazität verbrauchen.
- Die Beschaffung der Produktionsfaktoren wird vernachlässigt.
- Die Lagerkosten sind für alle Produkte identisch.
- Das Rüsten ist reihenfolgeunabhängig (Big-Bucket-Annahme) und verbraucht Rüstzeit.

Tabelle 5.6 gibt eine Übersicht über die Restriktionen im Basismodul.

Restriktionen	Punkte im Modell[314]
Lagerkapazität	1, 5
Produktionskapazität	2, 6

Tabelle 5.6: Restriktionen im Basismodul

Tabelle 5.7 gibt eine Übersicht über die Kosten im Basismodul.

Kosten	Punkte im Modell
Lagerkosten	1, 5
Verspätungskosten	1, 5
Rüstkosten	2, 6

Tabelle 5.7: Kostenbetrachtung im Basismodul

Aus diesen Anforderungen lässt sich das folgende mathematische Modell, das Ähnlichkeiten zu dem in Abschnitt 3.2.1 vorgestellten CLSP aufweist, formulieren.[315]

Basismodell:

$$Minimize\ Z = \sum_{k=1}^{K^{(l)}} \sum_{t=1}^{T} y_{kt}^{(l)} \cdot h_p^{(l)} + r_{kt}^{(l)} \cdot dc_{kt}^{(l)} + s_{kt}^{(l)} \cdot s_k^{(l)} \tag{5.84}$$

subject to

$$y_{kt}^{(l)} = y_{k,t-1}^{(l)} + q_{kt}^{(l)} - d_{kt}^{(l)} + r_{kt}^{(l)} - r_{k,t-1}^{(l)} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{(l)};\quad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.85}$$

$$y_{k0}^{(l)} = yinit_k^{(l)} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{(l)} \tag{5.86}$$

$$y_{kt}^{(l)} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{(l)};\quad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.87}$$

$$\sum_{k=1}^{K^{(l)}} y_{kt}^{(l)} \leq c^{(l)} \qquad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.88}$$

$$r_{kt}^{(l)} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{(l)};\quad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.89}$$

$$\sum_{k=1}^{K^{(l)}} (tb_k^{(l)} \cdot q_{kt}^{(l)} + tr_k^{(l)} \cdot s_{kt}^{(l)}) \leq b_t^{(l)} \qquad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.90}$$

$$q_{kt}^{(l)} - bigm \cdot s_{kt}^{(l)} \leq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{(l)};\quad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.91}$$

---

[314] Vgl. Abbildung 5.6.

[315] Die in Abschnitt 3.2.1 beschriebene Basisform des CLSP wird dahingehend reduziert, dass alle Produkte auf einer einzigen Ressource produziert und dass Produktionskosten vernachlässigt werden. Die Lagerkosten für alle hergestellten Produkte werden als identisch angenommen. Neben den im CLSP ebenfalls enthaltenen Lagerkosten und Rüstkosten werden zusätzlich Verspätungskosten eingeführt, die bei nicht fristgerechter Erfüllung von Bedarfen entstehen. Eine weitere Anpassung im Vergleich zum CLSP besteht darin, dass das Lager zu Beginn und am Ende der Planung nicht leer sein muss und zugleich eine Kapazitätsbeschränkung aufweist.

$$q_{kt}^{(l)} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{(l)}; \quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.92)$$

$$s_{kt}^{(l)} \in \{0,1\} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{(l)}; \quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.93)$$

Zielfunktion

Die Zielfunktion (5.84) minimiert die Gesamtkosten, die sich aus Lagerkosten, Verspätungskosten und Rüstkosten zusammensetzen.

Die **Lagerkosten** werden durch den Term $y_{kt}^{(l)} \cdot h_p^{(l)}$ repräsentiert. Dabei beschreibt $y_{kt}^{(l)}$ den Lagerbestand eines Produktes k zum Zeitpunkt t. Dieser Lagerbestand wird für jeden Zeitpunkt t des Planungshorizontes für alle betrachteten Produkte k mit dem Kostensatz $h_p^{(l)}$ multipliziert. Der Kostensatz ist dabei für alle Produkte des betrachteten Unternehmens identisch.

Die **Verspätungskosten** lassen sich dem gleichen Punkt im Modell zuordnen. Durch $r_{kt}^{(l)}$ wird der Rückstand eines Produktes k zu einem Zeitpunkt t dargestellt. Ein Rückstand ist dabei immer ein Bedarf eines Produktes, der zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht erfüllt ist, also sozusagen ein negativer Lagerbestand.[316] Jeder Rückstand wird im Modell, in Abhängigkeit vom Produkt, mit dem Strafkostensatz $dc_{kt}^{(l)}$ multipliziert. Dabei ist der Rückstand durch Einbeziehung des Indizes t auch zeitabhängig, so dass ein Rückstand, der sich näher am jeweiligen Planungszeitpunkt befindet, stärker bestraft werden kann als ein Rückstand, der eine spätere Periode betrifft.[317] Die Idee dahinter ist, dass im Kontext einer rollierenden Planung ein Rückstand, der für eine spätere Periode eingeplant wird, wahrscheinlich eher noch vermieden werden kann als ein Rückstand in naher Zukunft. Da letztendlich nicht die Planung die Kosten verursacht sondern das, was im Nachhinein tatsächlich eingetreten ist, ist dieser Tatbestand für die rollierende Planung von Bedeutung. Durch die Modellierung soll getestet werden, inwieweit sich eine Änderung der Rückstandskosten in Abhängigkeit des Abstandes der Perioden auf das Gesamtergebnis auswirkt.[318]

Die **Rüstkosten** fallen bei jedem Rüstvorgang an und sind produkt-, aber nicht zeitabhängig. Durch die Binärvariable $s_{kt}^{(l)}$ wird abgebildet, ob ein Produkt k in einer Periode t gerüstet wird. Ist dies der Fall, so entstehen dadurch produktabhängige Rüstkosten in Höhe von $s_k^{(l)}$.

Restriktionen

Die Beschreibung der Restriktionen erfolgt anhand der Punkte im Modell.

Modul Produktlager (Punkt im Modell: 1, 5):

Die Restriktionen (5.85) bis (5.89) verwalten den Lagerbestand der Produkte und sorgen dafür, dass sich dieser innerhalb der erlaubten Grenzen bewegt. Die Lagerbestandsgleichung der Produkte wird durch (5.85) dargestellt. Der Lagerbestand eines Produktes k am Ende einer Periode

[316] Zur Modellierung der Rückstände vgl. Abschnitt 3.2.2.
[317] Die angesetzten Rückstandskosten für zukünftige Perioden werden im Folgenden als Planverspätungskosten bezeichnet.
[318] Eine Kostengewichtung in Abhängigkeit der Periode kann aus den genannten Gründen prinzipiell auch für die Lagerkosten oder für alle Kosten getestet werden.

t wird dabei durch $y_{kt}^{(l)}$ abgebildet. Er errechnet sich aus dem Lagerbestand zum Ende der letzten Periode $y_{k,t-1}^{(l)}$ zuzüglich der Zugangs- und abzüglich der Abgangsmengen der Periode t. Als Zugang zum Lager wird die in der Periode produzierte Menge des Produktes $q_{kt}^{(l)}$ verrechnet. Zusätzlich wird in der Lagerbestandsgleichung der Rückstand eines Produktes zu einem Zeitpunkt t verwaltet, indem der Rückstand vom Ende der letzten Periode $r_{k,t-1}^{(l)}$vom Lagerbestand subtrahiert wird und der Rückstand am Ende der aktuellen Periode $r_{kt}^{(l)}$ zum Lagerbestand addiert wird. Initialrückstände zu Beginn einer Planung werden nicht im Modell aufgenommen, da davon ausgegangen wird, dass zwischen zwei rollierenden Planungsschritten eine Neuberechnung der Nettobedarfe durchgeführt wird. Falls es im letzten Planungslauf zu einem Rückstand in der jetzigen Periode null gekommen ist, wird dieser in einem Zwischenschritt zum Nettobedarf für die Periode eins des nächsten Planungslaufs addiert.[319] Der Lagerbestand zum Planungszeitpunkt $y_{k0}^{(l)}$wird in Restriktion (5.86) auf einen Eingangswert $yinit_k^{(l)}$gesetzt. Restriktion (5.87) stellt sicher, dass keine negativen Lagerbestände auftreten können. In (5.88) wird die Einhaltung der Lagerkapazität $c^{(l)}$gewährleistet, indem dafür gesorgt wird, dass zu keinem Zeitpunkt die Summe aller eingelagerten Produkte die Kapazität des Lagers übersteigt. Restriktion (5.89) garantiert, dass ein Rückstand keine negativen Werte annehmen kann.

Modul Produktionskapazität (Punkt im Modell: 2, 6):

Durch Restriktion (5.90) werden unter Beachtung von Produktions- und Rüstzeiten erfüllbare Produktionsmengen sichergestellt. Die Kapazität ist periodenabhängig und wird durch $b_t^{(l)}$ dargestellt. Um einen gültigen Plan zu erzeugen, muss gelten, dass die Summe der Produktionszeiten und der Rüstzeiten für jede Periode kleiner als die Kapazität der Periode ist. Die produktabhängigen Produktionszeiten $tb_k^{(l)}$ für eine Einheit eines Produktes werden dabei mit der geplanten Menge des Produktes multipliziert, um die reinen Produktionszeiten zu errechnen. Zusätzlich werden die produktabhängigen Rüstzeiten $tr_k^{(l)}$addiert, sobald das betreffende Produkt in der Periode produziert wird. Dies wird durch die Binärvariable $s_{kt}^{(l)}$ angegeben. Dieser Rüstvorgang wird durch (5.91) erzwungen, indem der Hilfsparameter $bigm$ dafür sorgt, dass $s_{kt}^{(l)}$auf eins gesetzt wird, sobald die produzierte Menge größer als null ist. Restriktion (5.92) verhindert negative Losgrößen und (5.93) verwaltet die binäre Rüstvariable.

5.2.2.3 Kooperationsstufe 1 – Kunde plant Engpassteil-Lager

5.2.2.3.1 Ablauf der Planung

Der Ablauf der Planung in Kooperationsstufe 1 ist in Abbildung 5.21 dargestellt.

[319] Zusätzlich sind durch diese Verspätung nach Ablauf des letzten Planungsschrittes „reale Kosten“ entstanden, die im Sinne einer rollierenden Planung aufsummiert werden, um am Ende eine Aussage über die Kosten der Planung treffen zu können (vgl. Abschnitt 5.2.3).

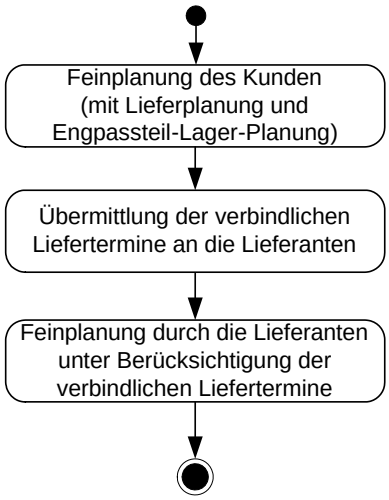


Abbildung 5.21: Ablauf der Planung in Kooperationsstufe 1

Im ersten Schritt wird unter Berücksichtigung der in der Grobplanung bestimmten Korridore eine Feinplanung durch den Kunden durchgeführt. In dieser Planung werden die Lieferungen der Lieferanten terminlich und mengenmäßig festgelegt, wodurch auch eine Planung des Engpassteil-Lagers erfolgt. Die Kosten für die Lagerung der Engpassteile im Engpassteil-Lager und die Kosten für die Lieferungen der Lieferanten werden modellmäßig dem Kunden zugeordnet. Die aus der Kundenplanung resultierenden Liefertermine werden in einem zweiten Schritt an die Lieferanten übermittelt. Im Anschluss wird die Planung der Lieferanten durchgeführt. Dabei müssen die vom Kunden vorgegebenen Lieferpläne von den Lieferanten exakt eingehalten werden. Falls kein Profit-Sharing durchgeführt wird, ist dies das Ende eines Feinplanungsschrittes, der rollierend jede Periode wiederholt wird, bis der Vertragshorizont erreicht ist. Die Kooperationsstufe 1 entspricht damit im Wesentlichen dem Upstream Planning[320], erweitert um Aspekte des vorgestellten Ansatzes.

5.2.2.3.2 Modell des Kunden

Um die Elemente abzubilden, die zusätzlich zu einer reinen Produktionsplanung des Kunden für die Planung der Beschaffung des Engpassteils im gegebenen Kontext notwendig sind, muss das in Abschnitt 5.2.2.2 vorgestellte Basismodell erweitert werden.

Nach Erweiterung des Basismodells entsteht folgendes Modell zur Lösung der Feinplanungsaufgabe des Kunden in Kooperationsstufe 1:[321]

[320] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.1.

[321] Da es sich um ein Kundenmodell handelt, entfällt das hochgestellte *(l)* für alle Elemente des Basismodells, die sowohl für den Kunden als auch die Lieferanten gültig sind. Im Folgenden erfolgt die Beschreibung der Modelle immer derart, dass das Modell komplett dargestellt wird und bei den Bezeichnern auf Abschnitt 5.2.2.1 verwiesen wird. In der dem Modell folgenden Erläuterung der Zielfunktion und Restriktionen wird immer Bezug zum Basismodell und den vorherigen Modellen genommen, so dass nicht alle Elemente bei jedem Modell erneut erklärt werden.

Modell Kunde KS1:

$$Minimize\ Z = \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} y_{kt} \cdot h_p + r_{kt} \cdot dc_{kt} + s_{kt} \cdot s_k + \sum_{t=1}^{T} y_{et} \cdot h_e + \sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} o_t^l \cdot bkfix^l + \sum_{l=1}^{L}\sum_{z=1}^{Z}\sum_{r=1}^{R^l} co_{zr}^l + \sum_{l=1}^{L}\sum_{z=1}^{Z} ue_z^l \cdot sko_z^l + un_z^l \cdot sku_z^l + \sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{W} abw_t^l \cdot ak_t^l \quad (5.94)$$

subject to

$$y_{kt} = y_{k,t-1} + q_{kt} - d_{kt} + r_{kt} - r_{k,t-1} \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \quad (5.95)$$

$$y_{k0} = yinit_k \qquad k=1,2,\dots,K \quad (5.96)$$

$$y_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \quad (5.97)$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_{kt} \leq c \qquad t=1,2,\dots,T \quad (5.98)$$

$$r_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \quad (5.99)$$

$$\sum_{k=1}^{K} (tb_k \cdot q_{kt} + tr_k \cdot s_{kt}) \leq b_t \qquad t=1,2,\dots,T \quad (5.100)$$

$$q_{kt} - bigm \cdot s_{kt} \leq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \quad (5.101)$$

$$q_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \quad (5.102)$$

$$s_{kt} \in \{0,1\} \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \quad (5.103)$$

$$ye_t = ye_{t-1} - \sum_{k \in N_e} q_{kt} + \sum_{l=1}^{L} l_t^l \qquad t=1,2,\dots,T \quad (5.104)$$

$$ye_0 = yinit_e \quad (5.105)$$

$$ye_t \geq 0 \qquad t=1,2,\dots,T \quad (5.106)$$

$$ye_t \leq c_{etl} \qquad t=1,2,\dots,T \quad (5.107)$$

$$l_t^l \geq 0 \qquad t=1,2,\dots,T;\quad l=1,2,\dots,L \quad (5.108)$$

$$l_t^l \leq lmp_t^l \qquad t=1,2,\dots,T;\quad l=1,2,\dots,L \quad (5.109)$$

$$(\sum_{t \in Z} l_t^l) + al_z^l \leq lmz_z^l \qquad z=1,2,\dots,Z;\quad l=1,2,\dots,L \quad (5.110)$$

$$l_t^l - bigm \cdot o_t^l \leq 0 \qquad t=1,2,\dots,T;\quad l=1,2,\dots,L \quad (5.111)$$

$$o_t^l \in \{0,1\} \qquad t=1,2,\dots,T;\quad l=1,2,\dots,L \quad (5.112)$$

$$\sum_{r=1}^{R^l} ra_{zr}^l = 1 \qquad z=1,2,\dots,Z;\quad l=1,2,\dots,L \quad (5.113)$$

$$(\sum_{t \in Z} l_t^l) + al_z^l - bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \leq rog_{zr}^l \cdot ra_{zr}^l \qquad z=1,2,\dots,Z;\quad l=1,2,\dots,L;\quad r=1,2,\dots,R^l \quad (5.114)$$

$$(\sum_{t\in Z} l_t^l) + al_z^l + bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \geq rug_{zr}^l \cdot ra_{zr}^l \qquad z=1,2,\ldots,Z;\quad l=1,2,\ldots,L;\quad r=1,2,\ldots,R^l \qquad (5.115)$$

$$co_{zr}^l \leq bigm \cdot ra_{zr}^l \qquad z=1,2,\ldots,Z;\quad l=1,2,\ldots,L;\quad r=1,2,\ldots,R^l \qquad (5.116)$$

$$co_{zr}^l - (((\sum_{t\in Z} l_t^l) + al_z^l)\,.\,pra_{zr}^l) \leq bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \qquad z=1,2,\ldots,Z;\quad l=1,2,\ldots,L;\quad r=1,2,\ldots,R^l \qquad (5.117)$$

$$(((\sum_{t\in Z} l_t^l) + al_z^l)\,.pra_{zr}^l) - co_{zr}^l \leq bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \qquad z=1,2,\ldots,Z;\quad l=1,2,\ldots,L;\quad r=1,2,\ldots,R^l \qquad (5.118)$$

$$ra_{zr}^l \in \{0,1\} \qquad z=1,2,\ldots,Z;\quad l=1,2,\ldots,L;\quad r=1,2,\ldots,R^l \qquad (5.119)$$

$$fku_z^l - ((\sum_{t\in Z} l_t^l) + al_z^l) \leq un_z^l \qquad z=1,2,\ldots,Z;\quad l=1,2,\ldots,L \qquad (5.120)$$

$$((\sum_{t\in Z} l_t^l) + al_z^l) - fko_z^l \leq ue_z^l \qquad z=1,2,\ldots,Z;\quad l=1,2,\ldots,L \qquad (5.121)$$

$$un_z^l \geq 0 \qquad z=1,2,\ldots,Z;\quad l=1,2,\ldots,L \qquad (5.122)$$

$$ue_z^l \geq 0 \qquad z=1,2,\ldots,Z;\quad l=1,2,\ldots,L \qquad (5.123)$$

$$lb_t^l - l_t^l + abw_t^l \geq 0 \qquad t=1,2,\ldots,W;\quad l=1,2,\ldots,L \qquad (5.124)$$

$$l_t^l - lb_t^l + abw_t^l \geq 0 \qquad t=1,2,\ldots,W;\quad l=1,2,\ldots,L \qquad (5.125)$$

<u>Zielfunktion</u>

Die Zielfunktion (5.94) setzt sich aus insgesamt sechs verschiedenen Kostenblöcken zusammen.

Im ersten Block werden die bereits aus dem Basismodell bekannten Kostenarten **Lagerkosten**, **Verspätungskosten** und **Rüstkosten** betrachtet.[322] Diese fallen jeweils für jedes Produkt k und jede Periode t an. Den zweiten Teil der Zielfunktion bilden die **Lagerkosten für das Engpassteil**, die in Kooperationsstufe 1 durch den Kunden getragen werden. Der Term y_{et} stellt dabei den Lagerbestand an Engpassteilen am Ende der Periode t dar.[323] Dieser Lagerbestand wird für jede Periode des Planungshorizontes mit den zeitunabhängigen Lagerhaltungskosten h_e multipliziert.

Alle weiteren Kosten lassen sich den Punkten 4 des Modells zuordnen und betreffen die Bestellung an sich (3. und 4. Term) und die Abstimmung der Bestellungen im Zeitverlauf (5. und 6. Term). Den dritten Kostenteil bilden die **fixen Lieferkosten**, die in Kooperationsstufe 1 durch den Kunden getragen werden. Dabei existiert für jeden Lieferanten ein zeitunabhängiger Kostensatz $bkfix^l$, der bei jeder Bestellung anfällt. Ob bei einem Lieferanten in einer Periode bestellt wird, wird durch die Binärvariable σ_t^l dargestellt. Die gesamten fixen Lieferkosten eines Planungslaufes errechnen sich aus der Summe über alle Lieferanten und alle Perioden des Planungshorizontes. Im nächsten Kostenblock werden die **bestellvariablen Kosten** zu den Gesamtkosten addiert. Im Gegensatz zu vorherigen Elementen der Zielfunktion werden die bestellvariablen Kosten nicht für jede Periode, sondern für jeden Zeitabschnitt z bestimmt, da diese von der im Zeitabschnitt bestimmten Menge und dem zugeordneten Preis des Rabattschemas abhängen. Damit ein lineares Modell entsteht, das durch einen normalen Solver gelöst werden kann, werden die Kosten für jede Rabattstufe jedes Lieferanten für alle Zeitabschnitte aufsummiert. Die Kosten, die für eine Rabattstufe r eines Lieferanten in einem Zeitabschnitt z

[322] Vgl. Abschnitt 5.2.2.2. Dabei sind die Lagerkosten und Verspätungkosten Punkt 1 und die Rüstkosten Punkt 2 im Modell zugeordnet (vgl. Abbildung 5.6).
[323] In Abbildung 5.6 ist dies Punkt 3 im Modell.

anfallen, werden dabei durch die Variable co_{zr}^{l} beschrieben. Durch diese Modellierung wird verhindert, dass in der Zielfunktion eine Multiplikation einer Binärvariablen, die angibt, ob eine Rabattstufe gewählt wird, mit der Menge und dem Preis in dieser Rabattstufe notwendig wird. Durch diese Multiplikation dreier Variablen würde ein nichtlineares Modell entstehen. Die genaue Beschreibung der Modellierung der Rabattstufenkosten erfolgt in den Erläuterungen der Restriktionen des Modells. Den fünften Kostenteil der Zielfunktion bilden die Kosten für die Unterschreitung und die Überschreitung der vorher vereinbarten **Flexibilitätskorridore** bei den jeweiligen Lieferanten.[324] Da die Korridore in der Grobplanung bestimmt werden, werden die Kosten für komplette Zeitabschnitte und nicht für einzelne Perioden bestimmt. Die mengenmäßige Überschreitung eines Korridors bei einem Lieferanten in einem Zeitabschnitt wird durch die Variable ue_{z}^{l}, die Unterschreitung durch die Variable un_{z}^{l} angegeben. Durch die Wahl der Strafkostensätze (sko_{z}^{l} für eine Überschreitung und sku_{z}^{l} für eine Unterschreitung) kann die Gewichtung einer Über- und einer Unterschreitung bestimmt werden. Die Mengen, um die in einem Zeitabschnitt abgewichen wird, werden mit dem jeweiligen Strafkostensatz multipliziert, wobei die Strafkosten zwischen den verschiedenen Zeitabschnitten schwanken können.[325] Dadurch kann leicht abgebildet werden, dass eine Verletzung eines Korridors, die näher an der Heutelinie liegt, schwerer wiegt als eine Verletzung in einem späteren Zeitabschnitt.

Der letzte Teil der Zielfunktion beschreibt den Aspekt der **Abweichungen** zwischen den Bestellungen der letzten Planung und der aktuellen Planung.[326] Für diese Abweichung werden alle Bestellungen, die bereits in einem vorherigen Planungslauf getätigt wurden, berücksichtigt. Um dies darzustellen, wird die Menge W eingeführt, die die Perioden, die bereits geplant wurden, enthält. Für jede Periode in dieser Menge und für jeden Lieferanten werden die Abweichungen der Bestellungen im Vergleich zur letzten Planung durch die Variable abw_{t}^{l} gemessen. Dazu werden absolute Abweichungen betrachtet und mit einem perioden- und lieferantenabhängigen Strafkostensatz ak_{t}^{l}bewertet. Dieser Strafkostensatz sollte sinnvollerweise größer sein, wenn die Änderung sich nahe am Planungszeitpunkt befindet, und kleiner, wenn die Änderung weiter in der Zukunft liegt. Die Begründung hierfür ist wiederum die unterschiedliche Flexibilität der Lieferanten in Abhängigkeit der Periode.

<u>Restriktionen</u>

Die Beschreibung der Restriktionen erfolgt modular anhand der Punkte im Modell. Sollten einzelne Module nicht benötigt werden, so können die Restriktionen und die zugehörigen Kosten der Zielfunktion entfallen.

Modul Produktlager (Punkt im Modell: 1):

Die Restriktionen (5.95) bis (5.99) bilden die aus dem Basismodell bekannte Modellierung des Produktlagers ohne Änderung ab.

[324] Vgl. Abschnitt 5.1.2.2.2.
[325] Dabei werden die Strafkosten linear angesetzt. Da dem Kunden keine genauen Informationen über die Kapazitätssituation des Lieferanten vorliegen, wäre es auch nicht möglich zu beurteilen, ob eine größere Unter- oder Überschreitung für einen Lieferanten besser oder schlechter als eine kleinere Unter- oder Überschreitung des Korridors ist. Daher erscheint eine nichtlineare Modellierung der Abweichungen nicht als sinnvoll.
[326] Vgl. Abschnitt 5.1.2.2.4.

Modul Produktionskapazität (Punkt im Modell: 2):

Die Restriktionen (5.100) bis (5.103) bilden die aus dem Basismodell bekannte Modellierung der Produktionskapazität unter Einbeziehung von Produktions- und Rüstzeiten ohne Änderung ab.

Modul Engpassteil-Lager (Punkt im Modell: 3):

Durch die Restriktionen (5.104) bis (5.107) wird das Engpassteil-Lager modelliert. In der Lagerbilanzgleichung des Engpassteil-Lagers (5.104) wird der Lagerbestand des Engpassteils e am Ende einer Periode t durch ye_t abgebildet. Er errechnet sich aus dem Lagerbestand am Ende der Vorperiode ye_{t-1} abzüglich der verbrauchten und zuzüglich der gelieferten Engpassteile in der Periode. Der Verbrauch an Engpassteilen wird dadurch modelliert, dass zunächst eine Menge an Produkten N_e definiert wird, die ein Engpassteil als Input benötigt. Dabei ist N_e eine Teilmenge aller Produkte K.[327] Dadurch, dass die Annahme getroffen wurde, dass alle Engpassprodukte genau ein Engpassteil benötigen, reicht es aus, als Abgang aus dem Engpassteil-Lager die Summe der Losgrößen aller Engpassprodukte in der jeweiligen Periode $\sum_{k \in N_e} q_{kt}$ zu bilden. Auf der Zugangsseite des Engpassteil-Lagers werden die Lieferungen an Engpassteilen aller Lieferanten in der jeweiligen Periode verrechnet. Eine Lieferung eines Lieferanten in einer Periode wird dabei durch die Variable l_t^l abgebildet. Da die Annahme gilt, dass die Lieferungen einer Periode in dieser Periode immer planmäßig erfolgen und direkt zum Verbrauch zur Verfügung stehen, bildet die Summe $\sum_{l=1}^{L} l_t^l$ den gesamten Zugang im Engpassteil-Lager für die betrachtete Periode.

Modul Bestellung/Lieferung (Punkt im Modell: 4):

Die restlichen Restriktionen (5.108) bis (5.125) lassen sich alle dem Modul Bestellung/Lieferung zuordnen. Dabei kann dieses Modul noch in folgende Teilmodule untergliedert werden:

- Teilmodul Mengen und Fixkosten.
- Teilmodul Rabatte.
- Teilmodul Flexibilitätskorridore.
- Teilmodul Bestellabweichungen.

<u>Teilmodul Mengen und Fixkosten</u>

Durch die Restriktionen (5.108) bis (5.112) werden die Bestellungen an Engpassteilen durch die maximalen Liefermengen der Lieferanten beschrieben und die Fixkosten für die Lieferungen verwaltet. Durch (5.108) wird die Liefermenge pro Lieferant und Periode l_t^l im nichtnegativen Bereich und durch (5.109) innerhalb der maximalen Periodenbestellmenge lmp_t^l gehalten. Da für die Lieferanten sowohl maximale Periodenbestellmengen als auch maximale Bestellmengen für Zeitabschnitte definiert sind[328], wird in (5.110) die Einhaltung der maximalen Bestellmengen pro Zeitabschnitt, die nicht der Summe aus den maximalen Periodenbestellmengen entsprechen muss, modelliert. An dieser Stelle kommt ein zeitlicher Aspekt des Verfahrens zum Tragen, der in den bisherigen Modellelementen noch keine Relevanz besaß. Wie aus Abbildung 5.2 ersichtlich, startet eine Feinplanung oftmals auch inmitten eines Zeitabschnitts. Da für diesen Zeitabschnitt Restriktionen gelten und Kosten bestimmt werden, muss dafür gesorgt werden, dass

[327] Vgl. die Modellierung der Nachfolger im MLCLSP in Abschnitt 3.2.2.
[328] Vgl. Abschnitt 2.5.3.

nicht nur die geplanten Werte dieses Zeitabschnitts berücksichtigt werden, sondern auch die in dem Zeitabschnitt bereits getätigten Lieferungen der Lieferanten. Diese getätigten Lieferungen werden durch den Parameter al_z^l für jeden Lieferanten und Zeitabschnitt abgebildet und dem Modell als Parameter übergeben.[329] Um die maximale Liefermenge nicht zu überschreiten, wird in (5.110) dafür gesorgt, dass die Summe aus bereits getätigten Lieferungen eines Lieferanten und den geplanten Bestellungen bei diesem Lieferanten im gleichen Zeitabschnitt $\sum_{t \in Z} l_t^l$ nicht größer als die maximale Liefermenge des Zeitabschnitts für den Lieferanten werden kann.

Durch Restriktion (5.111) werden die fixen Bestellkosten verwaltet, in dem die Binärvariable o_t^l für eine Lieferung eines Lieferanten in einer Periode auf eins gesetzt wird, sobald die Liefermenge größer als null ist. Die Modellierung erfolgt dabei analog zur Modellierung der Rüstkosten.[330] In (5.112) wird die Binärvariable definiert.

Teilmodul Rabatte

Die Restriktionen (5.113) bis (5.119) modellieren den variablen Teil der Bestellkosten, die durch die Rabattstruktur definiert werden. Dabei wird durch (5.113) sichergestellt, dass pro Lieferant und Zeitabschnitt nur eine Rabattstufe gewählt werden kann. Ob eine Rabattstufe für einen Lieferanten in einem Zeitabschnitt ausgewählt wird, wird durch die Binärvariable ra_{zr}^l abgebildet. (5.114) stellt sicher, dass eine Rabattstufe nur dann gewählt wird, wenn die bestellte Menge unterhalb deren Obergrenze rog_{zr}^l liegt. Eine Überschreitung der Untergrenze der gewählten Rabattstufe rug_{zr}^l wird durch (5.115) sichergestellt.[331] Da beide Restriktionen für ganze Zeitabschnitte gelten, müssen auch hier sowohl die bereits gelieferten als auch die geplanten Mengen eines Zeitabschnitts berücksichtigt werden. Durch die Restriktionen (5.116) bis (5.118) werden die Kosten für die Bestellungen in jeder möglichen Rabattstufe für jeden Lieferanten und Zeitabschnitt berechnet. Wie zuvor bereits angedeutet, verhindert diese Modellierung, dass in der Zielfunktion durch die Modellierung der Rabatte Nichtlinearitäten auftreten. In (5.116) wird sichergestellt, dass, falls eine Rabattstufe nicht gewählt wird, für diese auch keine Kosten co_{zr}^l anfallen. Durch (5.117) und (5.118) werden die anfallenden Kosten berechnet, indem die Mengen des Zeitabschnitts mit dem Preis der Rabattstufe pra_{zr}^l multipliziert werden. Der jeweils rechte Teil der Restriktion wird null, sobald die Rabattstufe gewählt wird. Ist dies der Fall, so wird durch das Zusammenspiel der Restriktionen (5.117) und (5.118) dafür gesorgt, dass die angesetzten Kosten den tatsächlichen Kosten, resultierend aus Menge mal Preis, entsprechen. Dies wird dadurch erreicht, dass sowohl eine Subtraktion der tatsächlichen Kosten von den angesetzten Kosten als auch eine Subtraktion der angesetzten Kosten von den tatsächlichen Kosten kleiner als null sein müssen. Daher ist nur ein Wert von null möglich und die angesetzten Kosten sind korrekt.

Teilmodul Flexibilitätskorridore

Die Berücksichtigung der in der Grobplanung festgelegten Flexibilitätskorridore wird durch die Restriktionen (5.120) bis (5.123) gewährleistet. Dabei wird eine Unterschreitung in (5.120) und eine Überschreitung in (5.121) modelliert. Die Menge der Unterschreitung eines Flexibilitätskorridors wird in (5.120) mindestens auf die Differenz aus der Korridoruntergrenze für Lieferant und Zeitabschnitt fku_z^l und der geplanten Lieferungen des Lieferanten für den Zeitabschnitt

[329] Natürlich kann dabei nur der jeweils erste Zeitabschnitt Werte größer als null besitzen.
[330] Vgl. (5.101).
[331] Zur Modellierung der Rabattstufen vgl. Abschnitt 3.3.2.1.

gesetzt. Ist dieser Wert positiv, so wird die Unterschreitung un_z^l auf diese Differenz gesetzt.[332] Analog wird die Überschreitung der Korridorobergrenze fko_z^l durch die Variable ue_z^l in (5.121) als Differenz aus geplanter Bestellmenge und Korridorobergrenze bestimmt. Auch in diesen Restriktionen, die sich auf komplette Zeitabschnitte beziehen, müssen neben den geplanten Mengen eventuell bereits getätigte Bestellmengen eines Zeitabschnitts berücksichtigt werden. (5.122) und (5.123) verhindern negative Über- und Unterschreitungen der Korridore.

Teilmodul Bestellabweichungen

Die Abweichungskosten im kurzfristigen Bereich werden in den Restriktionen (5.124) und (5.125) dadurch modelliert, dass die Differenzen der geplanten Periodenbestellmengen von den Periodenbestellmengen des letzten Planungslaufs bestimmt werden. Die Abweichung für einen Lieferanten und eine Periode wird dabei durch die Variable abw_t^l abgebildet. Diese Abweichung berechnet sich aus der Differenz der letzten Bestellung beim Lieferanten in der betrachteten Periode lb_t^l und der aktuell geplanten Bestellung in der Periode l_t^l. Da nicht danach unterschieden werden soll, ob eine Abweichung nach oben oder eine Abweichung nach unten stattgefunden hat, wird durch die Kombination aus (5.124) und (5.125) der Betrag der Abweichung gebildet. Dies wird nur für Perioden der Menge W durchgeführt, die beim letzten Planungslauf bereits geplant wurden.[333]

5.2.2.3.3 Modell der Lieferanten

Auch zur Modellierung der Lieferanten müssen im Vergleich zum Basismodell zusätzliche Elemente eingeführt werden. In Kooperationsstufe 1 sind die Lieferanten nicht für die Planung des Engpassteil-Lagers zuständig und tragen auch nicht die Kosten für die geplanten Lieferungen.

Das Modell der Lieferanten muss dazu geeignet sein, die Auswirkungen der Bestellpläne des Kunden auf die Kosten der Lieferanten und damit auf die Kosten für den gesamten Supply Chain Ausschnitt bewerten zu können. Dazu wurden in Abschnitt 2.5.3 wichtige Annahmen getroffen, die in das Lieferantenmodell integriert werden müssen. Nach Einbau der zusätzlichen Anforderungen entsteht folgendes Modell zur Lösung der Planungsaufgabe für einen Lieferanten in Kooperationsstufe 1:

Modell Lieferanten KS1:

$$Minimize\ Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K^l} y_{kt}^l \cdot h_p^l + r_{kt}^l \cdot dc_{kt}^l + s_{kt}^l \cdot s_k^l + \sum_{t=1}^{T} z_t^l \cdot kzk^l \tag{5.126}$$

subject to

[332] Ein höherer Wert würde bei einer Lösung des Modells nicht gewählt werden, da ansonsten höhere Kosten als notwendig entstehen würden, was dem Zielkriterium der Kostenminimierung widerspricht.
[333] Diese relativ simple Modellierung kann selbstverständlich nicht alle Aspekte abdecken, die eine Ähnlichkeit zwischen zwei Bestellplänen betreffen. So ist die Abweichung in diesem Modell bspw. unabhängig davon, um wie viele Zeiteinheiten eine Bestellung wirklich verschoben wurde. Um eine genauere Betrachtung zu ermöglichen, wäre eine Erweiterung des Modells notwendig. Dies würde allerdings die Komplexität des Modells erheblich erhöhen. Da unnötige Änderungen aber auch durch diese Modellierung verhindert werden und die für die Lieferanten ungünstigen Änderungen durch den Profit-Sharing-Schritt korrigiert werden können, wird aus Gründen der Laufzeit auf eine genauere Modellierung der Änderungen verzichtet.

$$y_{kt}^{l} = y_{k,t-1}^{l} + q_{kt}^{l} - d_{kt}^{l} + r_{kt}^{l} - r_{k,t-1}^{l} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.127)$$

$$y_{k0}^{l} = yinit_{k}^{l} \qquad k = 1,2,\ldots,K \qquad (5.128)$$

$$y_{kt}^{l} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.129)$$

$$\sum_{k=1}^{K^{l}} y_{kt}^{l} \leq c^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.130)$$

$$r_{kt}^{l} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K;\quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.131)$$

$$r_{et}^{l} = 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.132)$$

$$\sum_{k=1}^{K^{l}} (tb_{k}^{l} \cdot q_{kt}^{l} + tr_{k}^{l} \cdot s_{kt}^{l}) \leq b_{t}^{l} + z_{t}^{l} \cdot zk^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.133)$$

$$b_{t}^{l} + z_{t}^{l} \cdot zk^{l} \leq bmax^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.134)$$

$$q_{kt}^{l} - bigm \cdot s_{kt}^{l} \leq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.135)$$

$$q_{kt}^{l} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.136)$$

$$s_{kt}^{l} \in \{0,1\} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.137)$$

$$z_{t}^{l} \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.138)$$

Zielfunktion

Die Zielfunktion (5.126) setzt sich aus zwei verschiedenen Kostenblöcken zusammen.

Im ersten Block werden die bereits aus dem Basismodell bekannten **Lagerkosten**, **Verspätungskosten** und **Rüstkosten** betrachtet, die für jedes Produkt k und jede Periode t anfallen. Obwohl die Engpassteile laut Annahme anders betrachtet werden als die anderen Produkte, werden sie in der Zielfunktion nicht von diesen unterschieden. Die Unterscheidung erfolgt innerhalb der Restriktionen.

Den zweiten Kostenteil bilden die **Kosten für Zusatzkapazitäten**. Dabei wird vereinfachend davon ausgegangen, dass Lieferanten maximal eine bestimmte Kapazität pro Periode planen können, die ein Vielfaches einer definierten Kapazitätseinheit beträgt (vgl. Abschnitt 2.5.3). Die Anzahl an gewählten Zusatzkapazitätseinheiten eines Lieferanten in einer Periode wird durch die Menge z_{t}^{l} angegeben. Jede Mengeneinheit wird mit dem lieferantenabhängigen und zeitunabhängigen Kostensatz kzk^{l} multipliziert, um die Kosten für die Zusatzkapazität einer Periode zu bestimmen. Die Kosten für alle Perioden werden summiert, um die Gesamtkosten für Zusatzkapazitäten im Planungshorizont zu bestimmen.

Restriktionen

Modul Produktlager (Punkt im Modell: 5):

Das Produktlager wird durch die Restriktionen (5.127) bis (5.132) abgebildet. Dabei entsprechen die Restriktionen (5.127) bis (5.131) der aus dem Basismodell bekannten Modellierung. Restriktion (5.132) sorgt für die Unterscheidung zwischen der Behandlung von Engpassteilen und Nichtengpassteilen, indem der Rückstand für Engpassteile r_{et}^{l} für jeden Zeitpunkt des Planungshorizontes auf null gesetzt wird. Dadurch wird die Annahme abgebildet, dass Nichtengpassteile Rückstände aufweisen können, Engpassteile aber nicht.

Modul Produktionskapazität (Punkt im Modell: 6):

Die Restriktionen (5.133) bis (5.138) bilden die Modellierung der Produktionskapazität ab und erweitern diese im Vergleich zum Basismodell um die mögliche Kapazitätsaufstockung. Restriktion (5.133) sorgt wie bekannt für eine Einhaltung der Produktionskapazität unter Berücksichtigung von Produktions- und Rüstzeiten. Die geplante Kapazität b_t^l kann für jede Periode um eine Menge an Zusatzkapazität erweitert werden. Um die Modellierung nicht unnötig zu verkomplizieren und vor allem auch den Lösungsraum nicht zu stark wachsen zu lassen und dadurch eine hohe Laufzeit hervorzurufen, wird die Annahme getroffen, dass eine fixe Menge zk^l pro Zusatzkapazitätseinheit z_t^l existiert, um die bzw. um deren Vielfaches die Kapazität aufgestockt werden kann. Die Gesamtkapazität ist durch Restriktion (5.134) begrenzt, indem sie immer kleiner als eine lieferantenabhängige Maximalkapazität pro Periode $bmax^l$ sein muss.[334] Die Restriktionen (5.135) bis (5.137) entsprechen den aus dem Basismodell bekannten Restriktionen. In (5.138) wird schließlich dafür gesorgt, dass im Modell keine Kapazitäten abgebaut werden, indem eine negative Anzahl an Zusatzkapazitäten verboten wird.

5.2.2.3.4 Profit-Sharing

Nachdem der Kunde seine Planung durchgeführt und die resultierenden Bestellpläne an die Lieferanten übermittelt hat, kann der in Abschnitt 5.1.2.2.5 beschriebene Schritt des Profit-Sharing zur Anwendung kommen. Abbildung 5.22 gibt den Ablauf des Profit-Sharing wieder.

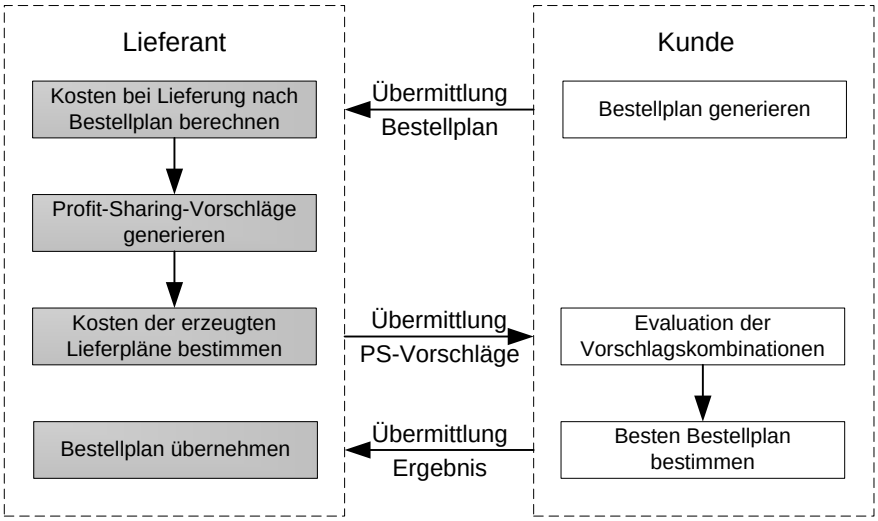


Abbildung 5.22: Ablauf des Profit-Sharing

[334] Die Maximalkapazität errechnet sich als Produkt aus der Anzahl an Kapazität pro Kapazitätseinheit und der maximal möglichen Kapazitätseinheiten pro Periode.

Nachdem der Kunde die Bestellpläne generiert und übermittelt hat, überprüft jeder Lieferant die Bestellanforderungen des Kunden und bestimmt die hierdurch entstehenden Kosten. Basis der Kostenbestimmung ist die Lösung eines analog zur Planung ohne Profit-Sharing aufgestellten mathematischen Modells. Im nächsten Schritt werden Gegenvorschläge erzeugt, die Kosteneinsparungen des Lieferanten bewirken sollen. Da die Planung der Lieferanten auf Basis mathematischer Modelle durchgeführt wird, liegt es nahe, die Profit-Sharing-Vorschläge durch Modellmodifikationen zu erzeugen. Verschiedene Ansätze zur Modifikation der Modelle werden in Abschnitt 5.2.2.3.4.1 vorgestellt.

Die berechneten Einsparungen im Vergleich zum ursprünglichen Bestellplan des Kunden bilden die Basis für die Bestimmung der Höhe der Ausgleichszahlungen. Die Lieferanten übermitteln die Profit-Sharing-Vorschläge, bestehend aus einem Lieferplan und einer positiven Ausgleichszahlung, in einem nächsten Schritt an den Kunden. Dieser prüft alle möglichen Kombinationen und ermittelt die beste Kombination, bestehend aus einem Lieferplan je Lieferant. Zu diesem Zweck wird das in Abschnitt 5.2.2.3.2 vorgestellte Kundenmodell erweitert. Die Lieferanten können keine Gegenvorschläge mehr unterbreiten, sondern müssen den durch den Kunden ausgewählten Bestellplan einhalten.[335] Dadurch besitzt der Prozess ein klar definiertes Ende und der Kunde kann frei entscheiden, ob er Profit-Sharing-Vorschläge akzeptiert.

Da Lieferanten Ausgleichszahlungen für akzeptierte Liefervorschläge zahlen, muss dafür gesorgt werden, dass die Basis dieser Zahlungen, also der jeweilige Lieferplan, wie vereinbart durchgeführt wird. Dazu muss der vereinbarte Plan fixiert werden. Bei der Generierung der Liefervorschläge bzw. der Auswahl dieser durch den Kunden ist es sinnvoll, nicht nur die erste Periode, sondern immer mehrere Perioden zugleich zu betrachten[336], um aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Daher ist es erforderlich, den vereinbarten Lieferplan über einen Zeitraum von mehreren Perioden fixieren zu können. Dies soll analog zum Profit-Sharing-Verfahren von Dudek[337] durch einen Verhandlungshorizont modelliert werden. Abbildung 5.23 zeigt die verschiedenen Horizonte im Profit-Sharing.

[335] Dabei kann es sich auch um den ursprünglichen Bestellplan handeln.
[336] Vgl. die Ausführungen zu den Designkriterien der rollierenden Planung in Abschnitt 3.5.1.
[337] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.3.

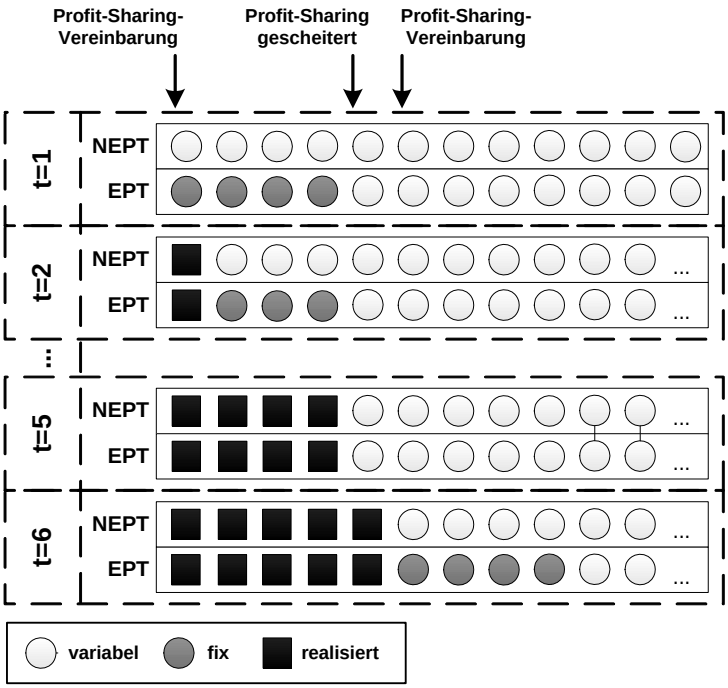


Abbildung 5.23: Horizonte im Profit-Sharing (in Anlehnung an [Dude04])

Die Planung wird rollierend ausgeführt, wobei in jedem Planungsschritt Profit-Sharing-Vorschläge ausgetauscht werden, solange keine Einigung erzielt wird. Einigen sich die Parteien auf einen Vorschlag, werden die Bestell- bzw. Liefermengen der Engpassteile für die Länge des Verhandlungshorizontes eingefroren. Der Kunde und die Lieferanten besitzen jedoch weiterhin die Möglichkeit, Nichtengpassteile und -produkte in jedem Planungslauf neu zu planen.[338] Befindet sich die rollierende Planung innerhalb des Verhandlungshorizontes, werden keine Profit-Sharing-Vorschläge ausgetauscht. Im dargestellten Beispiel wird von einem Planungshorizont von zwölf Perioden, einem Verhandlungshorizont von vier Perioden und einem Planungsintervall von einer Periode ausgegangen. Im ersten Planungsschritt (*t=1*) haben sich die betrachteten Parteien auf einen Profit-Sharing-Vorschlag geeinigt. Für die folgenden vier Perioden werden die Bestell- bzw. Liefermengen der Engpassteile eingefroren und dürfen somit nicht verändert werden. Nichtengpassteile dürfen in dieser Zeit frei geplant werden. Im zweiten Planungslauf (*t=2*) werden die inzwischen produzierten Produkte verrechnet und es wird eine rollierende Planung für die Perioden zwei bis 13 durchgeführt. Die Perioden zwei bis vier gelten als eingefroren und die Lieferungen der Engpassteile in diesen Perioden erfolgen strikt nach dem vereinbarten Lieferplan. In diesem Planungsschritt werden keine Profit-Sharing-Vorschläge ausgetauscht. Sobald die rollierende Planung die fünfte Periode erreicht, gilt der Verhandlungshorizont als abgeschlossen. Die Produktionsplanung unterliegt nun keinen Beschränkungen mehr und die Parteien tauschen erneut Profit-Sharing-Vorschläge aus. Im Beispiel konnte in der fünften Periode keine Einigung erzielt werden. Dies geschieht erst in der sechsten Periode wieder. Die Bestellungen an Engpassteilen werden für den Verhandlungshorizont eingefroren und die rollierende Planung schreitet weiter fort. Da bestimmte Restriktionen nur die Perioden des Verhandlungshorizontes betreffen, müssen diese Perioden zu einer Menge zusammengefasst werden, dem Verhandlungshorizont *NH*.

[338] Der Kunde kann auch noch Engpassprodukte umplanen, allerdings nur unter Beachtung der gegebenen Lieferungen.

5.2.2.3.4.1 Profit-Sharing aus Lieferantensicht

Im Folgenden werden sechs mathematische Modelle vorgestellt[339], die, basierend auf dem Bestellplan des Kunden, alternative Lieferpläne für die Lieferanten bestimmen, um mögliche Einsparungen für diese zu erzielen.

Profit-Sharing-Ansatz 1 – Freie Verteilung der Bedarfe über den Verhandlungshorizont

Dieses Profit-Sharing-Modell bietet einen ersten Ansatz zur Generierung eines Gegenvorschlags. Der Lieferant hat die Möglichkeit, die Bedarfe an Engpassteilen innerhalb des Verhandlungshorizontes beliebig zu verteilen, und kann die geforderten Bestellmengen für diesen Zeitraum optimal in seine Produktionsplanung integrieren. Durch dieses hohe Maß an Freiheit besteht jedoch die Möglichkeit, dass der erzeugte Vorschlag terminlich stark von der Ursprungsforderung des Kunden abweicht. Da mit steigender Abweichung auch die Akzeptanzwahrscheinlichkeit des Lieferplans sinkt, werden Vorschläge basierend auf diesem Ansatz wahrscheinlich nur bei hohen Ausgleichszahlungen oder passenden Vorschlägen eines alternativen Lieferanten akzeptiert.

Modell PS1:

$$Minimize\ Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K^l} y_{kt}^l \cdot h_p^l + r_{kt}^l \cdot dc_{kt}^l + s_{kt}^l \cdot s_k^l + \sum_{t=1}^{T} z_t^l \cdot kzk^l \tag{5.139}$$

subject to

$Modell\ Lieferanten\ KS1$ *reduziert um* (5.132), *ergänzt um:*

$$r_{et}^l \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,NH \tag{5.140}$$

$$r_{et}^l = 0 \qquad t = NH+1,NH+2,\ldots,T \tag{5.141}$$

$$\sum_{t=1}^{NH} d_{et}^l = \sum_{t=1}^{NH} ql_{et}^l \tag{5.142}$$

$$q_{et}^l = ql_{et}^l \qquad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.143}$$

$$dc_{et}^l = 0 \qquad t = 1,2,\ldots,NH \tag{5.144}$$

Der Unterschied des Modells im Vergleich zum Lieferantenmodell von Kooperationsstufe 1 besteht darin, einen vorübergehenden Rückstand an Engpassteilen im Verhandlungshorizont zu erlauben, um den Lieferanten eine Einsparung durch einen geänderten Lieferplan zu ermöglichen. Um dies im Modell abzubilden, wird Restriktion (5.132) des Lieferantenmodells von Kooperationsstufe 1 durch die Restriktionen (5.140) und (5.141) ersetzt. (5.140) erlaubt Rückstände im Verhandlungshorizont, (5.141) verbietet diese weiterhin für den Rest des Planungshorizontes. Restriktion (5.142) sorgt dafür, dass die Gesamtmenge an Engpassteil-Bedarfen im Verhandlungshorizont durch Lieferungen gedeckt wird. (5.143) formuliert die Annahme, dass ein Engpassteil-Los immer direkt geliefert wird, (5.144) die Annahme, dass eine Verspätung an

[339] Da große Teile der Modelle identisch sind, werden jeweils nur Unterschiede zu bereits vorgestellten Modellen dargestellt.

Engpassteilen im Verhandlungshorizont nicht durch Strafkosten im Modell bewertet werden soll.

Profit-Sharing-Ansatz 2 – Einführung fiktiver Verspätungskosten für das Engpassteil

Sämtliche Annahmen und Restriktionen des PS1-Modells gelten auch für diesen Ansatz. Es wird jedoch versucht, die Akzeptanzwahrscheinlichkeit des Kunden zu erhöhen. Um dieses Ziel zu erreichen, sollen die Lieferungen des erzeugten Plans möglichst nah am Ursprungsplan liegen. Durch die Einführung von Verspätungskosten wird der Handlungsspielraum des Lieferanten eingeschränkt, Bestellungen so zu verspäten, dass ein günstiger Plan entsteht. Durch diesen Ansatz vermindert sich im Vergleich zum Modell PS1 wahrscheinlich die Ersparnis des Lieferanten, es erhöht sich jedoch die Wahrscheinlichkeit, dass dieser Vorschlag akzeptiert wird.

Modell PS2:

$$Minimize\ Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K^l} y_{kt}^l \cdot h_p^l + r_{kt}^l \cdot dc_{kt}^l + s_{kt}^l \cdot s_k^l + \sum_{t=1}^{T} z_t^l \cdot kzk^l \tag{5.145}$$

subject to

$Modell\ PS1$ *reduziert um* (5.144), *ergänzt um:*

$$dc_{et}^l > 0 \qquad t = 1,2,\ldots,NH \tag{5.146}$$

Wird der Parameter dc_{et}^l auch für Engpassteile mit einem fiktiven Kostensatz belegt[340], so hat dies Auswirkungen auf die Zielfunktion. Dem Lieferanten entstehen zusätzliche Kosten, wenn Liefertermine verschoben oder Liefermengen verändert werden. Sofern die Verspätungskosten groß genug gewählt wurden, werden Rückstände nur aufgebaut, wenn sich hohe Einsparungen, wie zum Beispiel durch den Entfall zusätzlicher Kapazitätsbuchungen, ergeben.

Profit-Sharing-Ansatz 3 – Antizipation fixer Lieferkosten

In diesem Profit-Sharing-Ansatz soll die Akzeptanzwahrscheinlichkeit des Kunden weiter erhöht werden, indem Ideen der hierarchischen Planung[341] verwendet werden.[342] Der Lieferant und der Kunde können im Kontext einer Supply Chain als Teilsysteme angesehen werden, da die Bestell- und Liefermengen die Produktionsplanungen der Parteien wechselseitig beeinflussen. Änderungen in einer der Produktionsplanungen ziehen auch Änderungen in der Produktionsplanung der anderen Partei mit sich. Diesen Effekt macht sich das PS3-Modell zu Nutze, indem bestellfixe Kosten des Kunden betrachtet werden und somit dessen Reaktion auf den Vorschlag antizipiert wird.

[340] In diesem Zusammenhang ist von fiktiven Kosten die Rede, da diese Kosten in der Realität nicht anfallen. Es wird angenommen, dass, wenn der Kunde den Vorschlag des Lieferanten akzeptiert, keine Strafzahlungen durch Verspätungen anfallen. Der Kunde nimmt diesen Verzug in Kauf, da er durch eine Ausgleichszahlung zusätzlich entlohnt wird.
[341] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.2.
[342] Von der Grundidee her war dies bereits im Modell PS2 der Fall.

Modell PS3:

$$Minimize\ Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K^l} y_{kt}^l \cdot h_p^l + r_{kt}^l \cdot dc_{kt}^l + s_{kt}^l \cdot s_k^l + \sum_{t=1}^{T} z_t^l \cdot kzk^l + o_t^l \cdot bkfix^l \tag{5.147}$$

subject to

$Modell\ PS2$ *reduziert um* (5.143), *ergänzt um:*

$$y_{et}^l = y_{e,t-1}^l + q_{et}^l - ql_{et}^l \qquad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.148}$$

$$ql_{et}^l - bigm \cdot o_t^l \leq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.149}$$

Im Gegensatz zu den Modellen PS1 und PS2 wird in PS3 die Annahme aufgehoben, dass die Engpassteile immer direkt geliefert werden. Dadurch entfällt (5.143) und Restriktion (5.148) muss eingeführt werden, um die Lagerbilanz des Engpassteils abzubilden. Der Lagerbestand berechnet sich für das Ende einer Periode *t* aus dem Lagerbestand der Vorperiode zuzüglich der produzierten Engpassteile und abzüglich der gelieferten Engpassteile in *t*. Restriktion (5.149) sorgt für die Ansetzung von bestellfixen Kosten im Falle einer Lieferung.

Profit-Sharing-Ansatz 4 – Eingeschränkte Verspätungen

Der vierte Profit-Sharing-Ansatz basiert erneut auf dem Konzept der hierarchischen Planung. Als Grundidee wird angenommen, dass verspätete Lieferungen höhere Kosten durch Strafzahlungen oder Lieferungsstornierungen verursachen als vorzeitige Lieferungen, die zu Lagerungsprozessen führen.

Modell PS4:

$$Minimize\ Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K^l} y_{kt}^l \cdot h_p^l + r_{kt}^l \cdot dc_{kt}^l + s_{kt}^l \cdot s_k^l + \sum_{t=1}^{T} z_t^l \cdot kzk^l \tag{5.150}$$

subject to

$Modell\ PS2$ *ergänzt um:*

$$q_{et}^l \geq r_{e,t-1}^l \qquad t = 1,2,\ldots,NH \tag{5.151}$$

Durch Restriktion (5.151) werden die Produktionsmengen q_{et}^l im Vertragshorizont dahingend gesteuert, dass die produzierte Menge des Engpassteils in einer Periode immer mindestens dem Rückstand der Vorperiode entspricht. Somit kann die Lieferung durch den Vorschlag um maximal eine Periode verzögert werden.

Profit-Sharing-Ansatz 5 – Einbeziehung von Rabattstufen

Auch dieser Profit-Sharing-Ansatz basiert auf dem Gedanken der hierarchischen Planung und versucht die Planung des Kunden zu antizipieren. In diesem Fall geschieht dies über die Einbeziehung von variablen Kosten in die Zielfunktion des Modells. Im Kontext der Kunden-Lieferanten-Beziehung ergibt sich aus den Rabattstufen der Stückpreis für die Engpassteile. Der

Ansatz versucht zu verhindern, dass der Kunde durch einen Vorschlag knapp unterhalb einer Rabattstufengrenze landet. Dadurch würden sich die Stückkosten des Kunden erhöhen, was schnell zu einer Erhöhung der Gesamtkosten und einer Abweisung des Profit-Sharing-Vorschlags führen kann.

Modell PS5:

$$Minimize\ Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K^l} y_{kt}^l \cdot h_p^l + r_{kt}^l \cdot dc_{kt}^l + s_{kt}^l \cdot s_k^l + \sum_{z=1}^{Z}\sum_{r=1}^{R^l} co_{zr}^l \tag{5.152}$$

subject to

$Modell\ PS2$	*ergänzt um:*	
$\sum_{r=1}^{R^l} ra_{zr}^l = 1$	$z = 1,2,\ldots,Z$	(5.153)
$(\sum_{t\in Z} ql_{et}^l) + al_z^l - bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \leq rog_{zr}^l \cdot ra_{zr}^l$	$z = 1,2,\ldots,Z;\quad r = 1,2,\ldots,R^l$	(5.154)
$(\sum_{t\in Z} ql_{et}^l) + al_z^l + bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \geq rug_{zr}^l \cdot ra_{zr}^l$	$z = 1,2,\ldots,Z;\quad r = 1,2,\ldots,R^l$	(5.155)
$co_{zr}^l \leq bigm \cdot ra_{zr}^l$	$z = 1,2,\ldots,Z;\quad r = 1,2,\ldots,R^l$	(5.156)
$co_{zr}^l - (((\sum_{t\in Z} ql_{et}^l) + al_z^l)\,.\,pra_{zr}^l) \leq bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l)$	$z = 1,2,\ldots,Z;\quad r = 1,2,\ldots,R^l$	(5.157)
$(((\sum_{t\in Z} ql_{et}^l) + al_z^l)\,.\,pra_{zr}^l) - co_{zr}^l \leq bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l)$	$z = 1,2,\ldots,Z;\quad r = 1,2,\ldots,R^l$	(5.158)
$ra_{zr}^l \in \{0,1\}$	$z = 1,2,\ldots,Z;\quad r = 1,2,\ldots,R^l$	(5.159)

In die Zielfunktion (5.152) werden analog zum Modell Kunde KS1 die Stückkosten co_{zr}^l aufgenommen, die durch die Wahl einer Rabattstufe entstehen würden. Die Restriktionen (5.153) bis (5.159) dienen, wie aus dem Kundenmodell bekannt, der Bestimmung der Rabattstufe je Zeitabschnitt. Dabei wurde die Modellierung leicht modifiziert, indem anstatt der Bestellmenge des Kunden l_t^l die Liefermenge ql_{et}^l verwendet wird.

Profit-Sharing-Ansatz 6 – Zusammenführung der Ansätze PS2, PS3 und PS5

In diesem Modell werden die bereits beschriebenen Ansätze PS2, PS3 und PS5 zusammengeführt.

Modell PS6 :

$$Minimize\ Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K^l} y_{kt}^l \cdot h_p^l + r_{kt}^l \cdot dc_{kt}^l + s_{kt}^l \cdot s_k^l + \sum_{t=1}^{T} z_t^l \cdot kzk^l + o_t^l \cdot bkfix^l + \sum_{z=1}^{Z}\sum_{r=1}^{R^l} co_{zr}^l \tag{5.160}$$

subject to

$Modell\ PS5$	*reduziert um* (5.143),	*ergänzt um:*

$$y_{et}^{l} = y_{e,t-1}^{l} + q_{et}^{l} - ql_{et}^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.161)$$

$$ql_{et}^{l} - bigm \cdot o_{t}^{l} \leq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.162)$$

Das Modell lässt eine hohe Akzeptanzwahrscheinlichkeit vermuten, jedoch nur geringe Einsparungen beim Lieferanten, da dieser nur einen sehr geringen Handlungsspielraum besitzt.

Ausgleichszahlungen

Alle sechs Modelle werden in jedem Profit-Sharing Schritt durch die Lieferanten ausgeführt und die entstehenden Pläne anschließend kostenmäßig bewertet. Aus den Einsparungen gegenüber dem Basisplan errechnen sich in einem anschließenden Schritt die den Lieferplänen zugeordneten Ausgleichszahlungen.

Zur Bestimmung der Höhe der Ausgleichszahlung wird in der Literatur zwischen einem festen Betrag, einem prozentualen Anteil an der erzielten Ersparnis und einer fairen Gewinnverteilung anhand der Kosteneinsparung einer gesamten Wertschöpfungskette unterschieden.[343] In diesem Verfahren kann dabei letzteres ausgeschlossen werden, da dies eine zentrale Sicht auf alle Parteien voraussetzt, was den Annahmen dieser Arbeit widerspricht. Ein fester Betrag scheint auch nicht sinnvoll, da alleine die Festlegung eines solchen Wertes, der in der Lage ist, die Bestell- bzw. Lieferpläne häufig zum Vorteil aller Parteien zu koordinieren, für die gesamte Vertragslaufzeit sehr schwierig erscheint.[344]

Die Bestimmung der Ausgleichszahlung orientiert sich vor allem an der Differenz zwischen dem ursprünglichen Bestell- und dem gerade betrachteten Lieferplan. Dabei sollen vor allem zwei Ansätze untersucht werden:

1. Gewährung einer Ausgleichszahlung in Höhe eines prozentualen Anteils der Ersparnis des Lieferanten durch den Lieferplan.
2. Gewährung einer Ausgleichszahlung auf Basis der Ähnlichkeit des betrachteten Lieferplans zum ursprünglichen Bestellplan.

Die Berechnung des ersten Falls für einen konkreten Lieferplan ist in Formel (5.163) dargestellt.

$$agz_{lp}^{l} = (kbp^{l} - klp_{lp}^{l}) \cdot prozPS^{l} \qquad (5.163)$$

Die Ausgleichszahlung für einen Lieferplan agz_{lp}^{l} errechnet sich als Differenz der Kosten des ursprünglichen Bestellplans kbp^{l} des Lieferanten l und der Kosten des gerade betrachteten Lieferplans klp_{lp}^{l}, multipliziert mit dem festgesetzten Prozentsatz für das Profit-Sharing $prozPS^{l}$.

Die Berechnung des zweiten Falls für einen konkreten Lieferplan ist in Formel (5.164) dargestellt.

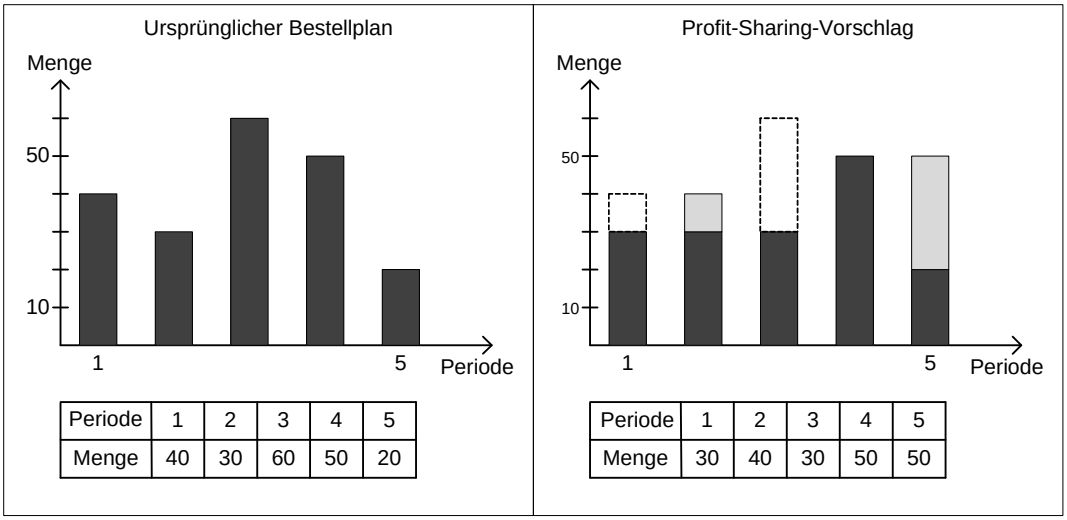
$$agz_{lp}^{l} = \left(kbp^{l} - klp_{lp}^{l}\right) \cdot \left(\frac{\sum_{t=1}^{NH} |ql_{et}^{l} - d_{et}^{l}|}{(\sum_{t=1}^{NH} d_{et}^{l}) \cdot 2}\right) \cdot fp \qquad (5.164)$$

Bei dieser Berechnung der Ausgleichszahlung wird wiederum die Kostendifferenz zwischen dem ursprünglichen Bestellplan und dem vorgeschlagenen Lieferplan gebildet. Diese wird allerdings

[343] Vgl. u.a. [Güth95] und [ErWu00].
[344] Zu Testzwecken wird dieser Ansatz aber trotzdem implementiert.

nicht immer mit dem gleichen Prozentsatz multipliziert, sondern mit einem Prozentsatz, der sich aus den Abweichungen beider Pläne berechnet. Dabei wird für jede Periode des Verhandlungshorizontes die betragliche Differenz zwischen der geplanten Lieferung ql_{et}^{l} und dem durch den Kunden gemeldeten Bedarf d_{et}^{l} gebildet und aufsummiert. Die Summe der Abweichungen im Verhandlungshorizont wird durch die Gesamtmenge des Kundenbedarfs im Verhandlungshorizont dividiert, um einen prozentualen Anteil der Abweichungen zu berechnen. Da Verschiebungen zwischen Perioden bei diesem Vorgehen doppelt gezählt werden[345], wird der berechnete prozentuale Anteil halbiert. Zur Übertragung der Differenz der Pläne auf den Prozentsatz des Profit-Sharing kann das Ergebnis noch mit einem Faktor fp multipliziert werden, der die prozentuale Abweichung der Pläne in den gewährten Prozentsatz überführt.

Abbildung 5.24 zeigt ein Beispiel für den Vergleich verschiedener Lieferpläne.



Periode	1	2	3	4	5
Menge	40	30	60	50	20

Periode	1	2	3	4	5
Menge	30	40	30	50	50

Abbildung 5.24: Vergleich verschiedener Lieferpläne

In diesem Beispiel wurde der ursprüngliche Plan so abgeändert, dass zehn Einheiten von Periode eins in Periode zwei und 30 Einheiten von Periode drei in Periode fünf verschoben wurden. Die Summe an Abweichungen beträgt dementsprechend 80. Dividiert durch die Gesamtmenge von 200 und nach Herausrechnen der doppelten Verschiebungen ergibt sich ein Wert von 0,2 bzw. 20%. Dieser kann direkt mit der Ersparnis verrechnet oder noch mit einem Faktor multipliziert werden.

5.2.2.3.4.2 Profit-Sharing aus Kundensicht

Nachdem die Lieferanten die Profit-Sharing-Vorschläge übermittelt haben, prüft der Kunde, ob diese eine rentable Alternative zum ursprünglichen Bestellplan darstellen. Hierbei muss der Kunde sämtliche Vorschlagskombinationen, inklusive der ursprünglichen gestellten Bestellanforderung, miteinander verknüpfen und evaluieren. In Abbildung 5.25 wird dieser Sachverhalt anhand eines Beispiels verdeutlicht.

[345] Werden bspw. zehn Einheiten von Periode eins nach Periode zwei verschoben, so ergibt sich für jede dieser Perioden eine Differenz von zehn.

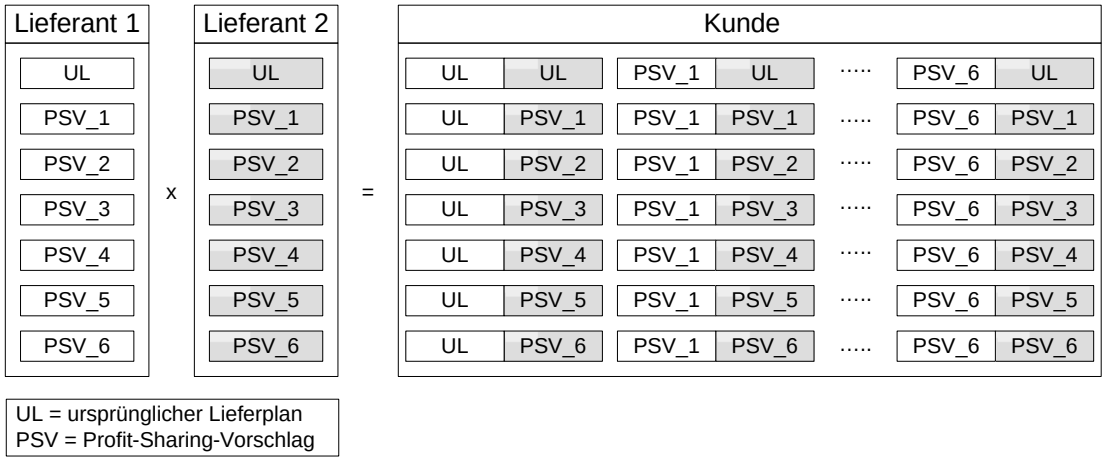


Abbildung 5.25: Evaluierung der Profit-Sharing-Vorschläge

Werden die oben beschriebenen Modelle für zwei Lieferanten gelöst, so ergeben sich aus dem Kreuzprodukt dieser Pläne 49 Kombinationen, die durch den Kunden in einem modifizierten Kundenmodell evaluiert werden.[346] In dieses Modell fließen die Liefermengen innerhalb des Verhandlungshorizontes als Parameter, da der Kunde im Vergleich zum ursprünglichen Modell seine Bedarfe innerhalb dieses Horizontes nicht mehr frei bestimmen kann, sondern an die von den Lieferanten gestellten Mengen und Termine gebunden ist. Das Modell ist zu großen Teilen identisch mit dem Modell Kunde Kooperationsstufe 1, da nicht nur der Verhandlungshorizont, sondern auch die Auswirkungen der Vorschläge auf spätere Perioden betrachtet werden.[347] Das folgende Kundenakzeptanzmodell wird für jede Vorschlagskombination durchgeführt.

Modell PS-Kunde:

$$\begin{aligned} Minimize\ Z = & \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} y_{kt}\cdot h_p + r_{kt}\cdot dc_{kt} + s_{kt}\cdot s_k + \sum_{t=1}^{T} y_{et}\cdot h_e + \sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} o_t^l \cdot bkfix^l \\ & + \sum_{l=1}^{L}\sum_{z=1}^{Z}\sum_{r=1}^{R^l} co_{zr}^l + \sum_{l=1}^{L}\sum_{z=1}^{Z} ue_z^l\cdot sko_z^l + un_z^l\cdot sku_z^l + \sum_{l=1}^{L}\sum_{t=NH+1}^{W} abw_t^l\cdot ak_t^l \end{aligned} \tag{5.165}$$

subject to

$Modell\ Kunde\ KS1$ *reduziert um* (5.109), (5.124), (5.125), *ergänzt um:*

$$l_t^l \le lmp_t^l \qquad t = NH+1, NH+2, \ldots, T;\ l = 1,2,\ldots,L \tag{5.166}$$

$$lb_t^l - l_t^l + abw_t^l \ge 0 \qquad t = NH+1, NH+2, \ldots, W;\ l = 1,2,\ldots,L \tag{5.167}$$

$$l_t^l - lb_t^l + abw_t^l \ge 0 \qquad t = NH+1, NH+2, \ldots, W;\ l = 1,2,\ldots,L \tag{5.168}$$

$$l_t^l = ql_{et}^l \qquad t = 1,2,\ldots,NH \tag{5.169}$$

Da es nicht sinnvoll erscheint, Abweichungskosten für von den Lieferanten selbst vorgeschlagene Abweichungen zu berücksichtigen, werden diese in der Zielfunktion (5.165) erst für die

[346] Genau genommen muss die Kombination aus den Ursprungsplänen nicht erneut evaluiert werden, diese ist aber zur Verdeutlichung aller möglichen Kombinationen mit aufgeführt.
[347] Vgl. die in Abschnitt 3.5.1 beschriebenen Designkriterien der rollierenden Planung.

Perioden nach dem Verhandlungshorizont angesetzt und durch die Restriktionen (5.167) und (5.168) erst für die entsprechenden Perioden betrachtet. Restriktion (5.166) ersetzt Restriktion (5.109) des Modells Kunde KS1, indem die periodenabhängigen Lieferbeschränkungen nur für die Perioden nach dem Verhandlungshorizont berücksichtigt werden.[348] Restriktion (5.169) sorgt für die korrekte Berücksichtigung der durch die Lieferanten erstellten Lieferpläne, indem die durch den Profit-Sharing-Vorschlag generierten Liefermengen ql_{et}^{l} für den Verhandlungshorizont fest vorgegeben werden. Im Gegensatz zu den anderen Modellen handelt es sich bei ql_{et}^{l} um einen Parameter und keine Variable.

Nach Lösung eines Modells für eine Szenariokombination *sk* werden die Kosten des Modells ksk_{sk} bestimmt, mit den Kosten des Basisplans *kb* verglichen und schließlich die Ersparnis der Szenariokombination esk_{sk} errechnet. Dabei sollen Möglichkeiten geschaffen werden, die Kosten im Verhandlungshorizont und im restlichen Planungshorizont unterschiedlich zu gewichten.[349] Drei verschiedene Ausprägungen werden untersucht:

1. Für die Bestimmung der Kosten wird ausschließlich der Verhandlungshorizont betrachtet. Daraus ergeben sich folgende Berechnungen:

$$kb = \sum_{t=1}^{NH} kb_t \tag{5.170}$$

$$ksk_{sk} = \sum_{t=1}^{NH} ksk_{sk,t} \tag{5.171}$$

2. Für die Bestimmung der Kosten wird der gesamte Planungshorizont mit gleichem Gewicht aller Perioden behandelt. Daraus folgt:

$$kb = \sum_{t=1}^{T} kb_t \tag{5.172}$$

$$ksk_{sk} = \sum_{t=1}^{T} ksk_{sk,t} \tag{5.173}$$

3. Für die Bestimmung der Kosten wird der gesamte Planungshorizont betrachtet. Dabei werden die Kosten der Perioden nach dem Verhandlungshorizont mit einem geringeren Gewicht *fh* bewertet. Die Kosten werden wie folgt berechnet:

$$kb = \sum_{t=1}^{NH} kb_t + (\sum_{t=NH+1}^{T} kb_t) \cdot fh \tag{5.174}$$

$$ksk_{sk} = \sum_{t=1}^{NH} ksk_{sk,t} + (\sum_{t=NH+1}^{T} ksk_{sk}) \cdot fh \tag{5.175}$$

[348] Im Verhandlungshorizont wurden die Mengen von den Lieferanten selbst vorgeschlagen und können evtl. vereinbarte maximale Periodenmengen übersteigen. Würden die Maximalmengen im Modell berücksichtigt, so wäre keine Lösung des Modells möglich.

[349] Dies entspricht der Idee der rollierenden Planung, dass Perioden, die fest geplant werden, stärker gewichtet werden sollen als spätere Perioden, diese aber auch nicht ganz vernachlässigt werden (vgl. Abschnitt 3.5.1).

Die Ersparnis des Kunden durch die Szenariokombination berechnet sich als:

$$esk_{sk} = kb - ksk_{sk} + \sum_{l=1}^{L} agz_{lp,sk}^{l} \tag{5.176}$$

Anschließend wählt der Kunde die Szenariokombination mit der größten Ersparnis und meldet die entsprechenden Bestellpläne an die Lieferanten.

5.2.2.4 Kooperationsstufe 2 – Lieferant plant Engpassteil-Lager

5.2.2.4.1 Ablauf der Planung

Der Ablauf der Planung in Kooperationsstufe 2 ist in Abbildung 5.26 dargestellt.

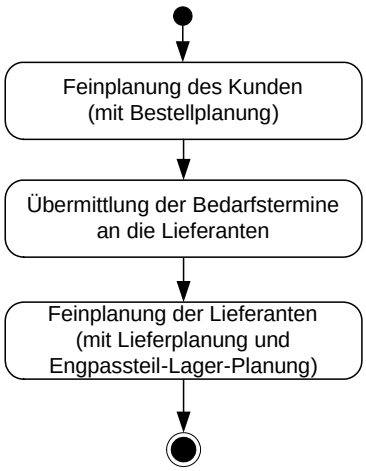


Abbildung 5.26: Ablauf der Planung in Kooperationsstufe 2

In Kooperationsstufe 2 wird zunächst unter Berücksichtigung der in der Grobplanung bestimmten Korridore ebenfalls eine Feinplanung durch den Kunden durchgeführt. Im Gegensatz zu Kooperationsstufe 1 findet in diesem Schritt allerdings keine Planung des Engpassteil-Lagers statt. Der Kunde bestimmt seinen Plan somit nur anhand von internen Kosten und Strafkosten durch Verletzung der Flexibilitätskorridore, aber nicht anhand von Bestellkosten und Kosten für die Lagerhaltung des Engpassteils. Die ermittelten Bedarfstermine werden in einem zweiten Schritt an die Lieferanten übermittelt. Diese sind allerdings im Gegensatz zu Kooperationsstufe 1 keine verbindlichen Liefertermine, sondern späteste Termine, an denen Engpassteile im Engpassteil-Lager verfügbar sein müssen.[350] Die Planung der konkreten Lieferungen und damit auch die Planung des Engpassteil-Lagers wird in Kooperationsstufe 2 durch die Lieferanten vorgenommen. Diese tragen somit modellseitig auch die Kosten für die Lieferungen und die Lagerung der Engpassteile.

5.2.2.4.2 Modell des Kunden

Das Modell des Kunden in Kooperationsstufe 2 kann als reduziertes und leicht modifiziertes Modell des Kunden aus Kooperationsstufe 1 aufgefasst werden.[351]

Im Gegensatz zur Kooperationsstufe 1 muss das Modell dahingehend verändert werden, dass die Planungsverantwortlichkeit für Bestellungen bzw. Lieferungen und die Lagerung der Engpass-

[350] Die Bedeutung der Variable l_t^l bedeutet im Kontext von Kooperationsstufe 2 "Bedarfsanforderung für Periode t bei Lieferant l".
[351] Vgl. Abschnitt 5.2.2.3.2.

teile an die Lieferanten übertragen werden. Dadurch entfallen für den Kunden die modellseitigen Kosten für die Engpassteile. Zusätzlich muss das Modell so aufgestellt werden, dass die Planung des Engpassteil-Lagers an die Lieferanten übergeht, ohne den Aspekt zu vernachlässigen, dass zur Produktion von Engpassprodukten Engpassteile benötigt werden.

Nach Anpassung an die geänderten Bedingungen entsteht folgendes Modell für den Kunden in Kooperationsstufe 2:

Modell Kunde KS2:

$$\begin{aligned} Minimize\ Z = & \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} y_{kt}\cdot h_p + r_{kt}\cdot dc_{kt} + s_{kt}\cdot s_k + \sum_{l=1}^{L}\sum_{z=1}^{Z}\sum_{r=1}^{R^l} co_{zr}^l \\ & + \sum_{l=1}^{L}\sum_{z=1}^{Z} ue_z^l\cdot sko_z^l + un_z^l\cdot sku_z^l + \sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{W} abw_t^l\cdot ak_t^l \end{aligned} \tag{5.177}$$

subject to

$$y_{kt} = y_{k,t-1} + q_{kt} - d_{kt} + r_{kt} - r_{k,t-1} \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \tag{5.178}$$

$$y_{k0} = yinit_k \qquad k=1,2,\dots,K \tag{5.179}$$

$$y_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \tag{5.180}$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_{kt} \leq c \qquad t=1,2,\dots,T \tag{5.181}$$

$$r_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \tag{5.182}$$

$$\sum_{k=1}^{K}(tb_k\cdot q_{kt} + tr_k\cdot s_{kt}) \leq b_t \qquad t=1,2,\dots,T \tag{5.183}$$

$$q_{kt} - bigm\cdot s_{kt} \leq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \tag{5.184}$$

$$q_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \tag{5.185}$$

$$s_{kt} \in \{0,1\} \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \tag{5.186}$$

$$\sum_{k\in N_e} q_{kt} = \sum_{l=1}^{L} l_t^l \qquad t=1,2,\dots,T \tag{5.187}$$

$$l_t^l \geq 0 \qquad t=1,2,\dots,T;\quad l=1,2,\dots,L \tag{5.188}$$

$$l_t^l \leq lmp_t^l \qquad t=1,2,\dots,T;\quad l=1,2,\dots,L \tag{5.189}$$

$$(\sum_{t\in Z} l_t^l) + al_z^l \leq lmz_z^l \qquad z=1,2,\dots,Z;\quad l=1,2,\dots,L \tag{5.190}$$

$$\sum_{r=1}^{R^l} ra_{zr}^l = 1 \qquad z=1,2,\dots,Z;\quad l=1,2,\dots,L \tag{5.191}$$

$$(\sum_{t\in Z} l_t^l) + al_z^l - bigm\cdot(1-ra_{zr}^l) \leq rog_{zr}^l\cdot ra_{zr}^l \qquad z=1,2,\dots,Z;\quad l=1,2,\dots,L;\quad r=1,2,\dots,R^l \tag{5.192}$$

$$(\sum_{t \in Z} l_t^l) + al_z^l + bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \geq rug_{zr}^l \cdot ra_{zr}^l \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \quad r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.193)$$

$$co_{zr}^l \leq bigm \cdot ra_{zr}^l \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \quad r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.194)$$

$$co_{zr}^l - (((\sum_{t \in Z} l_t^l) + al_z^l) \,.\, pra_{zr}^l) \leq bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \quad r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.195)$$

$$(((\sum_{t \in Z} l_t^l) + al_z^l) \,.\, pra_{zr}^l) - co_{zr}^l \leq bigm \cdot (1 - ra_{zr}^l) \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \quad r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.196)$$

$$ra_{zr}^l \in \{0,1\} \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \quad r = 1,2,\ldots,R^l \qquad (5.197)$$

$$fku_z^l - ((\sum_{t \in Z} l_t^l) + al_z^l) \leq un_z^l \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.198)$$

$$((\sum_{t \in Z} l_t^l) + al_z^l) - fko_z^l \leq ue_z^l \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.199)$$

$$un_z^l \geq 0 \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.200)$$

$$ue_z^l \geq 0 \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.201)$$

$$lb_t^l - l_t^l + abw_t^l \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,WP; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.202)$$

$$l_t^l - lb_t^l + abw_t^l \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,WP; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.203)$$

Zielfunktion

Die Zielfunktion (5.177) entspricht einer reduzierten Zielfunktion des Kunden aus Kooperationsstufe 1.[352]

Im ersten Teil werden, wie aus dem Basismodell bekannt, **Lagerkosten**, **Verspätungskosten** und **Rüstkosten** betrachtet.

Der zweite Teil der Zielfunktion aus Kooperationsstufe 1 entfällt, da die Lagerkosten für die Lagerung der Engpassteile in Kooperationsstufe 2 durch die Lieferanten getragen werden. Die fixen Bestellkosten, die für jede Lieferung von Engpassteilen anfallen, werden ebenfalls nicht mehr dem Kunden, sondern den Lieferanten zugeordnet. Daher werden diese ebenfalls aus der Zielfunktion entfernt.

Die anschließenden **bestellvariablen Kosten**, Kosten für die Verletzung von **Flexibilitätskorridoren** und für **Bestellabweichungen** entsprechen den Kosten aus dem Kundenmodell für Kooperationsstufe 1.

Auch wenn im Modell von Kooperationsstufe 2 keine eigentlichen Lieferungen mehr geplant, sondern Bedarfe angemeldet werden, wird davon ausgegangen, dass die Bedarfsanmeldungen für einen Zeitabschnitt Relevanz für Rabatte und Flexibilitätskorridore besitzen. Ansonsten wäre es für den Kunden gar nicht möglich, die Mengen und somit den erreichbaren Preis und die Einhaltung der Flexibilitätskorridore zu planen, was das ganze Konzept zumindest in Verknüpfung mit der beschriebenen Grobplanung in Frage stellen würde.

[352] Vgl. (5.94).

Restriktionen

Modul Produktlager (Punkt im Modell: 1):

Die Restriktionen (5.178) bis (5.182) bilden die aus dem Basismodell bekannte Modellierung des Produktlagers ohne Änderung ab.

Modul Produktionskapazität (Punkt im Modell: 2):

Die Restriktionen (5.183) bis (5.186) entsprechen der aus dem Basismodell bekannten Modellierung der Produktionskapazität unter Einbeziehung von Produktions- und Rüstzeiten.

Modul Engpassteil-Lager (Punkt im Modell: 3):

Das Engpassteil-Lager wird in dieser Kooperationsstufe durch den Kunden nicht betrachtet. Um den Aspekt zu modellieren, dass ein Engpassprodukt ohne Engpassteile nicht produziert werden kann, wird dem Modell Restriktion (5.187) hinzugefügt. Diese Restriktion besagt, dass der Bedarf, der durch die Herstellung eines Engpassproduktes in einer Periode entsteht, den Bedarfsanforderungen an die Lieferanten in dieser Periode entsprechen muss. Dabei hat die Variable l_t^l, wie bereits in 5.2.2.4.1 beschrieben, in dieser Kooperationsstufe die Bedeutung der Anmeldung eines Bedarfs und nicht der Festlegung einer konkreten Lieferung. Dadurch, dass die Lieferanten die entstehenden Bedarfe erfüllen müssen, reicht die Restriktion aus, um die Versorgung mit dem Engpassteil sicherzustellen, sofern dies überhaupt möglich ist. Liefern die Lieferanten wie geplant, so sind zumindest immer ausreichend Engpassteile verfügbar, um die geplanten Engpassprodukte produzieren zu können.

Modul Bestellung/Lieferung (Punkt im Modell: 4):

Die restlichen Restriktionen (5.188) bis (5.203) lassen sich alle dem Modul Bestellung/Lieferung zuordnen. Das Modul wird wie bereits in Abschnitt 5.2.2.3 anhand von vier Teilmodulen erläutert.

Teilmodul Mengen und Fixkosten

Dieses Teilmodul wird durch die Restriktionen (5.188) und (5.190) abgebildet. Analog zu den maximalen Liefermengen im Kundenmodell der Kooperationsstufe 1 werden die Bedarfsanmeldungen auch im Modell KS2 limitiert. Da keine Bestellungen modelliert werden, entfällt Restriktion (5.111) zur Modellierung der Fixkosten im Vergleich zu Kooperationsstufe 1.[353]

Teilmodul Rabatte

Die Abbildung der Rabatte durch (5.191) bis (5.197) ist analog zur Kooperationsstufe 1, da davon ausgegangen wird, dass die Summe der Bedarfsanmeldungen für einen Zeitabschnitt den Rabatt bestimmt und nicht die tatsächliche Lieferung. Ansonsten wäre es für den Kunden gar nicht möglich, die Mengen und somit den erreichbaren Preis zu planen, wenn das Verfahren wie beschrieben zusammen mit der Grobplanung ausgeführt wird.

Teilmodul Flexibilitätskorridore

Die Abbildung der Flexibilität durch die Restriktionen (5.198) bis (5.201) bleibt ebenfalls im Vergleich zur Kooperationsstufe 1 unverändert. Die Begründung ist analog zu den Rabattstufen.

[353] Durch den Wegfall der Binärvariable entfällt auch (5.112).

Teilmodul Bestellabweichungen

Die Restriktionen (5.202) und (5.203) bleiben ebenfalls bestehen, da auch eine Änderung der Bedarfsanforderungen im rollierenden Kontext möglichst gering gehalten werden sollte. Daher wird die Abweichung der Bedarfsanforderungen zwischen zwei Planungsläufen gemessen und in der Zielfunktion mit Strafkosten belegt.

5.2.2.4.3 Modell der Lieferanten

Das Modell der Lieferanten in Kooperationsstufe 2 ist ein erweitertes Modell der Lieferanten aus Kooperationsstufe 1.[354]

Im Gegensatz zur Kooperationsstufe 1 stellen die durch den Kunden übermittelten Mengen und Termine in Kooperationsstufe 2 Bedarfsanforderungen und keine fest vorgegebenen Lieferungen dar. Diese Bedarfe sind aber weiterhin für die Lieferanten bindend. Der Unterschied besteht darin, dass die einzelnen Lieferungen durch die Lieferanten unter Einbeziehung des Engpassteil-Lagers geplant werden können.

Um diesen Sachverhalt abbilden zu können, muss das Modell aus Kooperationsstufe 1 dahingehend erweitert werden, dass die Lieferungen und die Lagerung der Engpassteile zusammen mit den dadurch entstehenden Kosten integriert werden.

Neben diesen Änderungen in der Zielfunktion muss das Modell der Lieferanten dahingehend angepasst werden, dass es für die Lieferanten sowohl möglich ist, Engpassteile in einem eigenen Lager[355] als auch in einem Engpassteil-Lager auf Kundenseite[356] zu lagern. Die Lagerung in einem eigenen Lager wird notwendig, nachdem die Teile produziert wurden und bevor diese geliefert werden, die Lagerung im Engpassteil-Lager auf Kundenseite, nachdem diese geliefert und bevor sie kundenseitig in Engpassprodukte eingehen.

Nach Erweiterung um die zusätzlichen Modellelemente entsteht folgendes Modell für die Planung der Lieferanten in Kooperationsstufe 2:

Modell Lieferant KS2:

$$Minimize\ Z = \sum_{t=1}^{T}\sum_{k=1}^{K^l} y_{kt}^l \cdot h_p^l + r_{kt}^l \cdot dc_{kt}^l + s_{kt}^l \cdot s_k^l + \sum_{t=1}^{T} z_t^l \cdot kzk^l + ye_t^l \cdot h_e + o_t^l \cdot bkfix^l \tag{5.204}$$

subject to

$$ye_t^l = ye_{t-1}^l + ql_{et}^l - d_{et}^l \qquad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.205}$$

$$ye_0^l = yinit_e^l \tag{5.206}$$

$$ye_t^l \geq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.207}$$

$$ye_t^l \leq c_{etl}^l \qquad t = 1,2,\ldots,T \tag{5.208}$$

[354] Vgl. Abschnitt 5.2.2.3.3.
[355] Dies entspricht Punkt 5 im Modell.
[356] Dies entspricht Punkt 3 im Modell.

$$ql_{et}^{l} - bigm \cdot o_t^l \leq 0 \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.209)$$

$$o_t^l \in \{0,1\} \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.210)$$

$$y_{kt}^l = y_{k,t-1}^l + q_{kt}^l - d_{kt}^l + r_{kt}^l - r_{k,t-1}^l \qquad k = 1,2,\ldots,K^l \setminus E^l; \quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.211)$$

$$y_{k0}^l = yinit_k^l \qquad k = 1,2,\ldots,K \qquad (5.212)$$

$$y_{kt}^l \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^l; \quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.213)$$

$$\sum_{k=1}^{K^l} y_{kt}^l \leq c^l \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.214)$$

$$r_{kt} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K; \quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.215)$$

$$y_{et}^l = y_{e,t-1}^l + q_{et}^l - ql_{et}^l \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.216)$$

$$\sum_{k=1}^{K^l} (tb_k^l \cdot q_{kt}^l + tr_k^l \cdot s_{kt}^l) \leq b_t^l + z_t^l \cdot zk^l \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.217)$$

$$b_t^l + z_t^l \cdot zk^l \leq bmax^l \qquad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.218)$$

$$q_{kt}^l - bigm \cdot s_{kt}^l \leq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^l; \quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.219)$$

$$q_{kt}^l \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^l; \quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.220)$$

$$s_{kt}^l \in \{0,1\} \qquad k = 1,2,\ldots,K^l; \quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (5.221)$$

Zielfunktion

Die Zielfunktion (5.204) entspricht einer erweiterten Zielfunktion der Lieferanten aus Kooperationsstufe 1.[357]

Im ersten Block findet keine Veränderung statt und es werden wiederum die **Lagerkosten**, **Verspätungskosten** und **Rüstkosten** für alle Produkte und alle Perioden aufsummiert.

Der zweite Block wird dahingehend erweitert, dass neben den in Kooperationsstufe 1 schon betrachteten **Kosten für Zusatzkapazität** auch **Kosten für die Lagerung der Engpassteile** und die **Fixkosten für Lieferungen** für jede Periode in die Zielfunktion einfließen. Die Lagerung der Engpassteile erfolgt dabei geographisch auf Seite des Kunden. Für die Fixkosten wird der gleiche Kostensatz angenommen, der auch für den Kunden in Kooperationsstufe 1 anfällt.

Restriktionen

Modul Engpassteil-Lager (Punkt im Modell: 3):

Neben dem Produktlager muss im Modell auch das Engpassteil-Lager auf Kundenseite abgebildet werden. Dies geschieht mittels der Restriktionen (5.205) bis (5.208). Die Lagerbilanzglei-

[357] Vgl. (5.126).

chung (5.205) enthält auf der Zugangsseite die Lieferungen des Lieferanten in das Engpassteil-Lager des Kunden ql_{et}^{l}, die in Restriktion (5.216) aus dem lieferantenseitigen Lager als Abgang verbucht werden. Auf der Abgangsseite des Lagers werden die Bedarfsanmeldungen des Kunden für den betrachteten Lieferanten d_{et}^{l} verbucht, da diese, wie aus dem Modell des Kunden für Kooperationsstufe 2 ersichtlich[358], direkt zu Engpassprodukten weiterverarbeitet werden. In (5.206) bis (5.208) werden die Schranken des Lagers und der Initiallagerbestand verwaltet. Die modellseitige Kapazität des Lagers c_{etl}^{l} entspricht dabei einem Anteil des gesamten Lagers, der vom Lieferanten verwaltet wird. Im einfachsten Fall wird dieser Anteil für jeden Lieferanten anhand seiner Quote berechnet.

Modul Bestellung/Lieferung (Punkt im Modell: 4):

Die Restriktionen (5.209) und (5.210) lassen sich alle dem Modul Bestellung/Lieferung und innerhalb des Moduls dem Teilmodul Mengen und Fixkosten zuordnen. Alle anderen Teilmodule besitzen für die Lieferanten keine Relevanz und sind dem Kunden zugeordnet. Restriktion (5.209) sorgt dafür, dass Fixkosten für Bestellungen anfallen, sobald ein Engpassteil in einer Periode geliefert wird. Durch (5.210) wird die Binärvariable zur Verwaltung der anfallenden Fixkosten gesetzt.

Modul Produktlager (Punkt im Modell: 5):

Das Produktlager wird durch die Restriktionen (5.211) bis (5.216) abgebildet. Dabei wird Restriktion (5.211) dahingehend angepasst, dass die Restriktion nicht mehr für alle Produkte k, sondern nur noch für alle Nichtengpassprodukte des Lieferanten gilt. Dafür wird mit (5.216) eine Restriktion aufgenommen, die den Lagerbestand der Engpassteile im Produktlager des Lieferanten modelliert. Dieser Lagerbestand y_{et}^{l} zu einem Zeitpunkt t berechnet sich aus dem Lagerbestand der Vorperiode $y_{e,t-1}^{l}$ minus der gelieferten Menge in der betrachteten Periode ql_{et}^{l} plus der Losgröße an Engpassteilen q_{et}^{l} für die betrachtete Periode. Dadurch, dass in der Lagerbestandsgleichung keine Rückstände erlaubt sind, und durch die Nichtnegativitätsbedingung in (5.213) wird dafür gesorgt, dass die Engpassteile immer spätestens zum Bedarfstermin geliefert werden. In Kooperationsstufe 1 dagegen bestimmt der Bedarf zwangsläufig die Liefermenge der Periode und dadurch auch den Abgang aus dem Lager. Die Restriktionen (5.212) bis (5.215) sind analog zum Basismodell und halten die Lagerbestände des Produktlagers innerhalb der gültigen Schranken.

Modul Produktionskapazität (Punkt im Modell: 6):

Die Restriktionen (5.217) bis (5.221) sind analog zur Kooperationsstufe 1 der Lieferanten, indem wieder die aus dem Basismodell bekannte Modellierung der Produktionskapazitäten und die mögliche Aufstockung um Zusatzkapazitäten Anwendung finden.

Damit sind alle Modelle der Kooperationsstufen beschrieben. Um die Lösungsqualität des Verfahrens beurteilen zu können, werden in Abschnitt 5.2.4 mögliche Gegner, darunter auch zentrale Gegner vorgestellt. Zunächst erfolgt jedoch in Abschnitt 5.2.3 eine Erläuterung der Verfahren im rollierenden Gesamtkontext.

[358] Vgl. (5.187).

5.2.3 ZUSAMMENSPIEL DER ROLLIERENDEN GROB- UND FEINPLANUNG

Die gesamte Planung besteht aus einer Folge von Grob- und Feinplanungen, sowohl auf Kunden- als auch auf Lieferantenseite. Abbildung 5.27 visualisiert diesen Prozess.

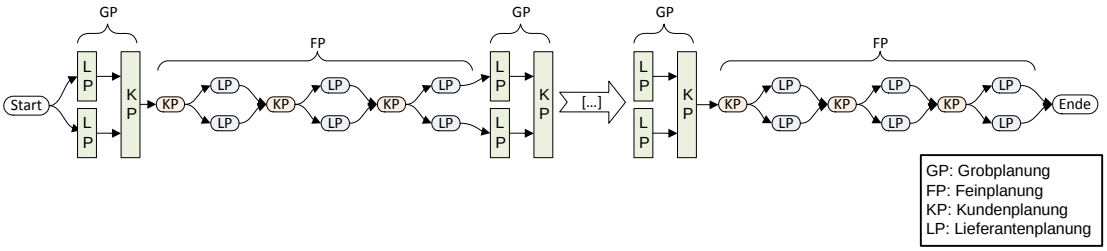


Abbildung 5.27: Zusammenspiel der rollierenden Grob- und Feinplanung

Der dargestellte Prozess umfasst den kompletten Vertragshorizont. Zu Beginn jeden Zeitabschnitts wird zunächst eine Grobplanung für jeden Lieferanten durchgeführt, da diese die folgende Grobplanung des Kunden steuern soll.[359] Anschließend folgt zunächst eine Feinplanung des Kunden und danach eine Feinplanung jedes Lieferanten. Bis zum Ende eines Zeitabschnitts wiederholt sich diese Abfolge aus Kundenfeinplanung und Lieferantenfeinplanungen. Anschließend erfolgt wieder eine Lieferantengrobplanung und der ganze Prozess beginnt von vorne, bis das Ende des Vertragshorizontes erreicht ist.

Vor jedem Planungslauf[360] werden Kosten für die gerade abgelaufene Zeiteinheit bestimmt. In Abhängigkeit davon, ob eine Periode oder ein Zeitabschnitt abgerechnet wird, fallen verschiedene **Kosten** an, die den Kostenarten aus Tabelle 5.5 entsprechen. Dabei fallen die der Feinplanung zugeordneten Kosten nach Beendigung jeder Periode und die der Grobplanung zugeordneten Kosten nach Beendigung jeden Zeitabschnitts an.

Wird eine Änderungsplanung im Rahmen der Feinplanung berücksichtigt, so werden nach jedem Planungslauf, analog zum Ansatz von Egri[361], je Lieferant Prognoseungenauigkeiten für die gerade abgelaufene Periode berechnet. Am Ende des Vertragshorizontes wird für jeden Lieferanten eine Summe aus den Werten aller Perioden gebildet, aus der sich die Kompensation errechnet, die der Kunde vom Lieferanten laut Rahmenvertrag erhält.

Im Folgenden wird für jede der vier Planungsarten dargestellt, welche **Auswirkung** die Planung **auf die anderen Planungsarten** besitzt.

<u>Grobplanung Lieferant</u>

Die Ergebnisse der Grobplanung des Lieferanten beeinflussen die Grobplanung des Kunden dahingehend, dass dieser in seiner Grobplanung versucht, Kosteneinsparungen durch Ausnutzung von Angeboten zu erzielen. Unterbreitet ein Lieferant ein neues Angebot, so wird der betreffende Zeitabschnitt in der nächsten Kunden-Grobplanung priorisiert behandelt und das Angebot fließt in die Bewertung der jeweiligen Bestellszenarien des Kunden ein. Zusätzlich wirkt sich die Grobplanung des Lieferanten auf die Feinplanung des Kunden aus, indem dieser das Angebot als relevante Rabattstruktur für den Zeitabschnitt betrachtet, sobald dieser in den Feinplanungshorizont fällt. Die Grobplanung des Lieferanten hat zudem einen Einfluss auf die

[359] Der Zwischenschritt der Kapazitätsanpassung durch die Lieferanten (vgl. Abschnitt 5.2.1.1) wurde in der Abbildung nicht berücksichtigt.
[360] Bis auf den Anfang des Vertragshorizontes.
[361] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.5.

Feinplanung des Lieferanten, da durch die Grobplanung Kapazitäten vorgegeben werden, die in der Feinplanung beachtet und nur noch durch Zusatzkapazitäten aufgestockt werden können.

Grobplanung Kunde

Die Grobplanung des Kunden wirkt sich auf die Grobplanung des Lieferanten aus, da die geplanten Flexibilitätskorridore bei der Entscheidung über Angebote und der Planung der Kapazitäten auf Lieferantenseite beachtet werden. Zudem beeinflusst die Grobplanung des Kunden für die ersten beiden Zeitabschnitte die Feinplanung des Kunden durch die Vorgabe der Korridore, die nur gegen Strafzahlung verlassen werden dürfen.

Feinplanung Kunde

Die Feinplanung des Kunden hat zunächst einmal einen direkten Einfluss auf die Produktionsplanung des Lieferanten, da durch diese Bestellpläne an die Lieferanten generiert werden. Zusätzlich besitzt die Feinplanung des Kunden Auswirkungen auf die Grobplanung des Kunden, da in der Feinplanung von den durch die Grobplanung vorgegebenen aggregierten Mengen abgewichen werden kann. Somit beeinflusst die Feinplanung immer die Mengen des gerade abgelaufenen und des nächsten Zeitabschnitts. Die Grobplanung des Lieferanten wird durch die Bestellpläne für den ersten zu planenden Zeitabschnitt beeinflusst.

Feinplanung Lieferant

Die Feinplanung des Lieferanten reagiert in der Regel nur auf andere Pläne und nimmt nur dann, wenn das Profit-Sharing-Verfahren angewandt wird, Einfluss auf die Feinplanung des Kunden.

Besonderheiten am Ende des Vertragshorizontes

Gegen Ende des Vertragshorizontes können die einzelnen Planungsläufe nicht mehr mit ihrer normalen Länge des Planungshorizontes durchgeführt werden, da dieser ansonsten den Vertragshorizont überschreiten würde. Damit keine Planung über den Vertragshorizont hinaus erfolgt, wird bei jeder Planung überprüft, ob der Planungshorizont den Vertragshorizont überschreitet. Ist dies der Fall, so wird der Planungshorizont auf die Länge der restlichen relevanten Zeiteinheit gesetzt.[362] Alle Verfahren sind so konzipiert, dass eine unterschiedliche Länge des Planungshorizontes problemlos verarbeitet werden kann.

5.2.4 MODELLIERUNG DER GEGNER

In diesem Abschnitt erfolgt eine Beschreibung der Gegner, die in Kapitel 6 zur Bewertung der erzielten Planungsergebnisse herangezogen werden. Dabei werden sowohl Gegner beschrieben, die eine Referenzsituation modellieren, als auch Gegner, die von einer Zentralplanung ausgehen.

Die Beschreibung gliedert sich nach den Planungsarten und nicht zwangsläufig danach, zur Bewertung welcher Planungsergebnisse der Gegner genutzt werden soll.

[362] Dies sind für die Grobplanungen Zeitabschnitte und für die Feinplanungen Perioden.

5.2.4.1 Gegner der Grobplanung

5.2.4.1.1 Gegner der Grobplanung des Lieferanten

In diesem Abschnitt werden drei Gegner für die Grobplanung des Lieferanten beschrieben:

- Keine Grobplanung.
- Keine Rabattbestimmung – Festlegung der Kapazitäten im Planungshorizont.
- Keine Rabattbestimmung – Festlegung der Kapazitäten spätestmöglich.

Keine Grobplanung

Wird durch den Lieferanten keine Grobplanung durchgeführt, so bedeutet dies, dass sowohl die Rabattstrukturen als auch die Kapazitäten für den gesamten Vertragshorizont fest vorgegeben sind und nicht verändert werden.

Keine Rabattbestimmung – Festlegung der Kapazitäten im Planungshorizont

Bei diesem Gegner sind die Rabattstrukturen ebenfalls für den gesamten Vertragshorizont fix, allerdings können die Kapazitäten an die aktuelle Bedarfssituation angepasst werden. In diesem Fall werden die benötigten Kapazitäten für alle Zeitabschnitte des Planungshorizontes zunächst analog zur Grobplanung des Lieferanten berechnet.[363] Anschließend werden die Kapazitäten für die einzelnen Zeitabschnitte festgelegt, indem eine Aufrundung auf die nächsthöhere Kapazitätseinheit erfolgt. Die Kapazitäten dürfen im Zeitverlauf nur noch erhöht und nicht mehr erniedrigt werden. Dadurch ist es möglich, Auswirkungen frühzeitiger Abstimmung der Kapazitäten zu messen.

Keine Rabattbestimmung – Festlegung der Kapazitäten spätestmöglich

Dieser Gegner ist weitestgehend identisch zum vorher beschriebenen, plant allerdings die Kapazität nur für den Zeitabschnitt, der darauffolgend an die Feinplanung übergeben wird. Für die Bestimmung der Kapazität dieses Zeitabschnitts wird wiederum der Bedarf berechnet und die nächsthöhere Kapazitätseinheit gewählt. Durch diesen Gegner kann die Grobplanung des Lieferanten bewertet werden, da diese die Kapazitäten zum gleichen Zeitpunkt festlegen muss.

5.2.4.1.2 Gegner der Grobplanung des Kunden

In diesem Abschnitt werden zwei Gegner für die Grobplanung des Kunden beschrieben:

- Keine Grobplanung.
- Grobplanung nach Quoten.

Die Beschreibung eines Komplettplaners als Gegner für die Grobplanung des Kunden erfolgt in Abschnitt 5.2.4.3, in dem Gegner mit vollständigem Wissen vorgestellt werden.

Keine Grobplanung

Um das Ergebnis der Grobplanung des Kunden messen zu können, soll ein Gegner implementiert werden, der komplett auf eine Grobplanung verzichtet. In diesem Fall besteht die Kundenplanung darin, eine Feinplanung durchzuführen, die Elemente der Grobplanung nicht beachtet. Um dies zu erreichen, kann das Modell Kunde KS1 gelöst werden, wobei die Strafkosten für Unter-

[363] Vgl. Abschnitt 5.2.1.1.1.

und Überschreitung der Korridore un_z^l und ue_z^l auf null gesetzt werden. Dadurch wird dafür gesorgt, dass keine Strafkosten entstehen und diese auch nicht am Ende eines Zeitabschnitts abgerechnet werden.

Grobplanung nach Quoten

Die Grobplanung nach Quoten plant unabhängig von Rabattstrukturen und möglicherweise anfallenden Strafkosten immer nach Quote. Der Ablauf ist in Abbildung 5.28 dargestellt.

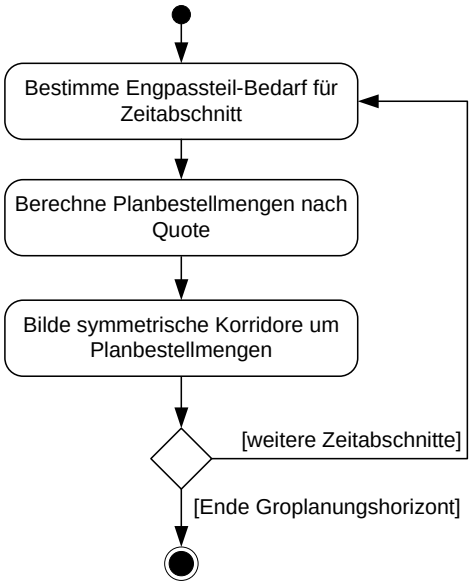


Abbildung 5.28: Ablauf Kunden-Grobplanung nach Quoten

Die geplanten Korridore fließen in das gewählte Feinplanungsverfahren des Kunden ein.

5.2.4.2 Gegner der Feinplanung

In diesem Abschnitt erfolgt zunächst die Beschreibung eines zentralen Feinplaners, der den gesamten Supply Chain Ausschnitt zugleich betrachtet (Abschnitt 5.2.4.2.1). Anschließend werden in Abschnitt 5.2.4.2.2 Gegner für die Feinplanung des Kunden vorgestellt. Eine dem Just-In-Time-Konzept ähnliche Planung wird in Abschnitt 5.2.4.2.3 beschrieben. Gegner für die Feinplanung der Lieferanten werden nicht definiert, da der Lieferant im Rahmen der Feinplanung nur reagiert.

5.2.4.2.1 Zentraler Gegner der Feinplanung

Das zentrale Modell im Kontext der rollierenden Planung soll die Versorgung mit dem Engpassteil derart planen, dass die Gesamtkosten, die sich für alle Parteien ergeben, minimal sind. Die Aufteilung dieser Kosten bzw. der sich ergebenden Umsätze zwischen den Parteien ist dabei nicht von Relevanz. Da das Modell ausschließlich der Lösung der Feinplanungsaufgabe dient, müssen die Flexibilitätskorridore der Grobplanung als Vorgabe eingehalten werden, um eine Erfüllung der Quote zu gewährleisten.

Das zentrale Modell der Feinplanung im rollierenden Kontext lautet wie folgt:

Zentrales rollierendes Modell:

$$Minimize\ Z = \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} y_{kt} \cdot h_p + r_{kt} \cdot dc_{kt} + s_{kt} \cdot s_k + \sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} o_t^l \cdot bkfix^l + \sum_{t=1}^{T} ye_t \cdot h_e$$
$$+ \sum_{l=1}^{L}\sum_{z=1}^{Z} ue_z^l \cdot sko_z^l + un_z^l \cdot sku_z^l \qquad (5.222)$$
$$+ \sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K^l}\sum_{t=1}^{T} y_{kt}^l \cdot h_p^l + r_{kt}^l \cdot dc_{kt}^l + s_{kt}^l \cdot s_k^l + \sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} z_t^l \cdot kzk^l$$

subject to

$$y_{kt} = y_{k,t-1} + q_{kt} - d_{kt} + r_{kt} - r_{k,t-1} \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \qquad (5.223)$$

$$y_{k0} = yinit_k \qquad k=1,2,\dots,K \qquad (5.224)$$

$$y_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \qquad (5.225)$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_{kt} \leq c \qquad t=1,2,\dots,T \qquad (5.226)$$

$$r_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \qquad (5.227)$$

$$\sum_{k=1}^{K}(tb_k \cdot q_{kt} + tr_k \cdot s_{kt}) \leq b_t \qquad t=1,2,\dots,T \qquad (5.228)$$

$$q_{kt} - bigm \cdot s_{kt} \leq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \qquad (5.229)$$

$$q_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \qquad (5.230)$$

$$s_{kt} \in \{0,1\} \qquad k=1,2,\dots,K;\quad t=1,2,\dots,T \qquad (5.231)$$

$$ye_t = ye_{t-1} - \sum_{k \in N_e} q_{kt} + \sum_{l=1}^{L} ql_{et}^l \qquad t=1,2,\dots,T \qquad (5.232)$$

$$ye_0 = yinit_e \qquad (5.233)$$

$$ye_t \geq 0 \qquad t=1,2,\dots,T \qquad (5.234)$$

$$ye_t \leq c_{etl} \qquad t=1,2,\dots,T \qquad (5.235)$$

$$ql_{et}^l - bigm \cdot o_t^l \leq 0 \qquad t=1,2,\dots,T;\quad l=1,2,\dots,L \qquad (5.236)$$

$$ql_{et}^l \geq 0 \qquad t=1,2,\dots,T;\quad l=1,2,\dots,L \qquad (5.237)$$

$$o_t^l \in \{0,1\} \qquad k=1,2,\dots,K^l;\quad t=1,2,\dots,T;\ l=1,2,\dots,L \qquad (5.238)$$

$$fku_z^l - (\sum_{t \in Z} ql_{et}^l) + al_z^l \leq un_z^l \qquad z=1,2,\dots,Z;\quad l=1,2,\dots,L \qquad (5.239)$$

$$(\sum_{t \in Z} ql_{et}^l) + al_z^l - fko_z^l \leq ue_z^l \qquad z=1,2,\dots,Z;\quad l=1,2,\dots,L \qquad (5.240)$$

$$un_z^l \geq 0 \qquad z=1,2,\dots,Z;\quad l=1,2,\dots,L \qquad (5.241)$$

$$ue_z^l \geq 0 \qquad z=1,2,\dots,Z;\quad l=1,2,\dots,L \qquad (5.242)$$

$$y_{kt}^{l} = y_{k,t-1}^{l} + q_{kt}^{l} - d_{kt}^{l} + r_{kt}^{l} - r_{k,t-1}^{l} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l} \setminus E^{l};\quad t = 1,2,\ldots,T;\quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.243)$$

$$y_{et}^{l} = y_{e,t-1}^{l} + q_{et}^{l} - ql_{et}^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,T;\quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.244)$$

$$y_{k0}^{l} = yinit_{k}^{l} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.245)$$

$$y_{kt}^{l} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\quad t = 1,2,\ldots,T;\quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.246)$$

$$\sum_{k=1}^{K^{l}} y_{kt}^{l} \leq c^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,T;\quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.247)$$

$$r_{kt}^{l} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\quad t = 1,2,\ldots,T;\quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.248)$$

$$\sum_{k=1}^{K^{l}} (tb_{k}^{l} \cdot q_{kt}^{l} + tr_{k}^{l} \cdot s_{kt}^{l}) \leq b_{t}^{l} + z_{t}^{l} \cdot zk^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,T;\quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.249)$$

$$b_{t}^{l} + z_{t}^{l} \cdot zk^{l} \leq bmax^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,T;\quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.250)$$

$$q_{kt}^{l} - bigm \cdot s_{kt}^{l} \leq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\quad t = 1,2,\ldots,T;\quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.251)$$

$$s_{kt}^{l} \in \{0,1\} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\quad t = 1,2,\ldots,T;\quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.252)$$

Zielfunktion

In der Zielfunktion (5.222) sind zunächst die Modellelemente, die ausschließlich den Kunden betreffen, anschließend die Modellelemente, die das Engpassteil betreffen, und zuletzt die Elemente, die die Lieferanten betreffen, aufgeführt.

Der erste Teil der Zielfunktion beschreibt die Kosten, die rein auf **Kundenseite** anfallen. Dies sind die bereits aus dem Basismodell bekannten Kosten (**Lagerkosten** für Endprodukte, **Rüstkosten** und **Verspätungskosten**), die unter der Annahme anfallen, dass keine Beschaffung eines Engpassteils geplant wird, sondern alle Inputprodukte verfügbar sind.

Der zweite bis vierte Teil der Zielfunktion beschreibt die Kosten, die für die Versorgung mit dem **Engpassteil** anfallen. Der zweite Teil beschreibt dabei die **fixen Lieferkosten**, die pro Lieferung und Lieferant anfallen. Diese müssen im Modell enthalten bleiben, da eine Lieferung immer reale Kosten verursacht. Im Gegensatz dazu können die variablen Kosten, die bis hierhin durch die Rabattstrukturen beschrieben wurden, komplett aus dem Modell entfallen. Bei diesen Kosten handelt es sich nicht um Kosten, die für den betrachteten Supply Chain Ausschnitt anfallen, sondern um Zahlungen, die zwischen den Parteien ausgetauscht werden und damit als Steuerungsinstrument für die Planung des Engpassteils aufgefasst werden können. Der dritte Teil der Zielfunktion modelliert die **Lagerung der Engpassteile** im Engpassteil-Lager. Der vierte Teil berücksichtigt die **Flexibilitätskorridore** der Grobplanung und belegt eine Verletzung dieser Korridore mit Kosten. Diese Strafkosten stellen zwar ebenfalls Steuerungskosten dar und können daher nicht zu den Gesamtkosten aller Parteien addiert werden, müssen aber berücksichtigt werden, um die Ergebnisse der Grobplanung zu beachten und somit die Einhaltung der Quote zu gewährleisten. Würde dies nicht geschehen, so könnte das Modell nicht als Vergleich zum vorher vorgestellten Ansatz dienen, da das Ziel der Quoteneinhaltung sehr wahrscheinlich nicht erreicht werden würde. Neben den variablen Kosten, die in den Zielfunktionen der Kundenmodelle von Kooperationsstufe 1 und Kooperationsstufe 2 durch Kosten für Rabattstufen ausgedrückt werden, entfallen im zentralen Modell die Steuerungskosten, die durch Abweichung von den letzten Bestellungen entstehen. Dies hat den Grund, dass

diese Kosten nur dann sinnvoll sind, wenn davon ausgegangen wird, dass eine Veränderung der Kundenbestellung negative Auswirkungen auf die Kosten der Lieferanten und damit wahrscheinlich auch auf die Kosten für alle Parteien besitzt. Dadurch, dass diese Kosten im Zentralmodell aber berücksichtigt werden, ist es nicht notwendig, Steuerungskosten anzusetzen, die evtl. sogar eine bessere Abstimmung verhindern.

Der fünfte und sechste Teil der Zielfunktion beschreibt die **Kosten** der **Lieferanten**. Der fünfte Teil summiert die **Lager-, Verspätungs- und Rüstkosten** für alle Teile, die durch die Lieferanten hergestellt werden. Der sechste Teil beschreibt Kosten, die für die Lieferanten durch Aufbau von **Zusatzkapazität** entstehen.

Restriktionen

Modul Produktlager Kunde (Punkt im Modell: 1):

Die Restriktionen (5.223) bis (5.227) bilden die aus dem Basismodell bekannte Modellierung des Produktlagers ohne Änderung ab.

Modul Produktionskapazität Kunde (Punkt im Modell: 2):

Die Restriktionen (5.228) bis (5.231) entsprechen der aus dem Basismodell bekannten Modellierung der Produktionskapazität unter Einbeziehung von Produktions- und Rüstzeiten.

Modul Engpassteil-Lager (Punkt im Modell: 3):

Das Engpassteil-Lager wird durch (5.232) bis (5.235) abgebildet. Die Modellierung entspricht dabei komplett der aus dem Modell des Kunden für Kooperationsstufe 1. Der Unterschied im Kontext des Zentralmodells ist, dass die Liefermenge ql_{et}^{l} der Lieferanten dadurch, dass deren Produktion im gleichen Modell ebenfalls geplant wird[364], unter anderen Kostengesichtspunkten bestimmt wird.

Modul Bestellung/Lieferung (Punkt im Modell: 4):

Die Restriktionen (5.236) bis (5.240) gehören dem Modul Bestellung/Lieferung an. Nur zwei der vier in Abschnitt 5.2.2 eingeführten Teilmodule werden für das Modell benötigt.

Teilmodul Mengen und Fixkosten

Die Restriktionen (5.236) bis (5.238) modellieren, wie aus den anderen Modellen bekannt, gültige Liefermengen und fixe Lieferkosten. Maximale Liefermengen pro Periode und pro Zeitabschnitt müssen im zentralen Modell nicht betrachtet werden, da diese bereits durch die im Modell einbezogene Kapazität der Lieferanten abgebildet sind.

Teilmodul Rabatte

Das Teilmodul der Rabatte kann im zentralen Modell entfallen, da es nur einen Austausch von Geld zwischen den Parteien bewirkt, aber keinen Einfluss auf die für den gesamten Supply Chain Ausschnitt relevanten Kosten besitzt.

[364] Vgl. (5.244).

Teilmodul Flexibilitätskorridore

In (5.239) bis (5.242) werden, wie bereits aus den Kundenmodellen bekannt, die Flexibilitätskorridore abgebildet. Obwohl diese in einem zentralen Modell zunächst als überflüssig erscheinen, müssen sie aus den oben genannten Gründen modelliert werden.

Teilmodul Bestellabweichungen

Dieses Teilmodul muss im zentralen Kontext nicht beachtet werden, da es nur der Steuerung zwischen den Parteien dient.

Modul Produktlager Lieferanten (Punkt im Modell: 5):

Das Produktlager auf Lieferantenseite wird durch die Restriktionen (5.243) bis (5.248) beschrieben. (5.243) modelliert die Lagerung der Nichtengpassteile, bei denen analog zu den bisherigen Lieferantenmodellen Rückstände auftreten können. Die Engpassteile im Lieferantenlager werden durch (5.244) abgebildet. Um den Bezug zum Engpassteil-Lager auf Kundenseite darzustellen, werden die Lieferungen, die diesem in (5.232) hinzugefügt wurden, in (5.244) entnommen. Durch (5.245) bis (5.248) wird das Lieferantenlager, in dem sowohl Nichtengpassteile als auch Engpassteile gelagert werden, in den erlaubten Grenzen gehalten.

Modul Produktionskapazität Lieferanten (Punkt im Modell: 6):

Die Restriktionen (5.249) bis (5.252) sind bereits aus den Lieferantenmodellen bekannt und modellieren die Produktionskapazitäten der Lieferanten.

5.2.4.2.2 Gegner der Feinplanung des Kunden

In diesem Abschnitt werden zwei Gegner der Feinplanung des Kunden beschrieben:

- Berücksichtigung von Quoten pro Zeitabschnitt.
- Berücksichtigung von Quoten alle x Perioden.

Berücksichtigung von Quoten pro Zeitabschnitt

Bei diesem Gegner wird die Feinplanung des Kunden dahingehend abgewandelt, dass die Quote in jedem Zeitabschnitt höchstens um einen vorher definierten Betrag abweichen darf. Dazu werden die Kundenmodelle um folgende Restriktionen erweitert.[365]

$$\left(\sum_{l=1}^{L}\left(\sum_{t\in Z} l_t^l\right) + al_z^l\right)\cdot quo^l - (\sum_{t\in Z} l_t^l) + al_z^l \leq eqa \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.253)$$

$$\left(\sum_{l=1}^{L}\left(\sum_{t\in Z} l_t^l\right) + al_z^l\right)\cdot quo^l - (\sum_{t\in Z} l_t^l) + al_z^l \leq -\, eqa \qquad z = 1,2,\ldots,Z; \quad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.254)$$

Durch diese beiden Restriktionen wird gewährleistet, dass die Abweichung von der Quote in jedem Zeitabschnitt höchstens der vorgegebenen Menge *eqa* entspricht.

[365] Diese entsprechen prinzipiell den Restriktionen (5.70) und (5.71) aus der Initialplanung der Kunden-Grobplanung, müssen jedoch so abgeändert werden, dass sie auch für eine Feinplanung, die inmitten eines Zeitabschnitts aufgerufen wird, gelten.

Berücksichtigung von Quoten alle x Perioden

Bei diesem Gegner kann zusätzlich vorgegeben werden, dass eine Quoteneinhaltung nicht nur für komplette Zeitabschnitte, sondern auch für alle x Perioden bindend ist, wobei x einer festen, vorzugebenden Anzahl an Perioden entspricht. Die Anzahl an Abschnitten Q, die den Vertragshorizont unterteilen und an denen die Quote eingehalten werden muss, berechnet sich wie folgt:

$$Q = \left\lceil \frac{V}{x} \right\rceil \tag{5.255}$$

Die daraus entstehenden Restriktionen lauten:

$$\left(\sum_{l=1}^{L}\left(\sum_{t\in Q} l_t^l\right) + al_z^l\right) \cdot quo^l - (\sum_{t\in Q} l_t^l) + al_z^l \leq eqa \qquad q = 1,2,\ldots,Q; \quad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.256}$$

$$\left(\sum_{l=1}^{L}\left(\sum_{t\in Q} l_t^l\right) + al_z^l\right) \cdot quo^l - (\sum_{t\in Q} l_t^l) + al_z^l \leq -eqa \qquad q = 1,2,\ldots,Q; \quad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.257}$$

Die Wahl von x wirkt sich auf die Beschaffungsflexibilität des Kunden aus, wobei diese kleiner wird, je kleiner x gewählt wird.

5.2.4.2.3 Just-In-Time-Modellierung

Die Modellierung einer Just-In-Time-Beschaffung als Gegner erfolgt dadurch, dass der Kunde eine Planung mittels des Modells Kunde KS2 durchführt und die Lieferanten eine Planung mittels des Modells Lieferant KS1 durchführen. Dies entspricht dem Sachverhalt, dass der Kunde seine Bedarfe an die Lieferanten weitermeldet, die diese genauso erfüllen müssen. Durch diese Modellierung wird keine Bündelung der Beschaffungsmengen vorgenommen, da die fixen Lieferkosten und die Lagerkosten der Engpassteile nicht modellseitig, sondern nur bei der Modellauswertung betrachtet werden. Dadurch kann der Fall abgebildet werden, dass der Lieferant die Kosten trägt, allerdings nicht frei entscheiden kann, wann die Lieferungen zu erfolgen haben.

5.2.4.3 Gegner mit vollständigem Wissen

5.2.4.3.1 Zentraler Gesamtgegner für den Vertragshorizont

Bis zu diesem Zeitpunkt wurden die Modelle immer unter der Annahme aufgestellt, dass eine rollierende Planung unter Unsicherheit durchgeführt wird. Um beurteilen zu können, inwieweit das Verfahren in der Lage ist, auf veränderliche Randbedingungen zu reagieren, wird in diesem Abschnitt ein Modell vorgestellt, das eine Lösung für das Planungsproblem unter der Annahme generiert, dass alle planungsrelevanten Informationen bereits im Vorfeld bekannt sind.[366]

Die Anforderungen an das Modell bestehen darin, die Randbedingungen des Verfahrens beizubehalten, aber alle für die zwischenzeitliche Abstimmung notwendigen zwischenbetrieblichen Abstimmungen außen vor zu lassen. Ein Unterschied zu den vorgestellten Modellen der Feinplanung besteht darin, dass die Kapazitäten der Lieferanten im zentralen Gesamtmodell geplant werden können und nicht dem Modell vorgegeben werden. Dadurch können die

[366] Dies kann so interpretiert werden, dass nachträglich, nach Abschluss des Vertragshorizontes, eine Planung mit den tatsächlich zu den jeweiligen Zeitpunkten relevanten Bedarfen durchgeführt wird. Solch eine Planung kann in der Realität natürlich nicht angewandt werden, ist aber sinnvoll, um die Abweichung der durch das Verfahren erzielten von den potentiell geringsten Kosten zu bestimmen.

Lieferanten ihre Kapazitäten hinsichtlich der tatsächlichen Bedarfe optimieren und die Modellierung der Zusatzkapazitäten kann entfallen. Da alle Informationen im Modell enthalten sind, ist es nicht mehr notwendig, eine Grobplanung durchzuführen, die, neben der Einhaltung der Quoten, hauptsächlich dazu dient, Unsicherheiten im Bedarf abzufedern. Dadurch muss aber an anderer Stelle dafür gesorgt werden, dass die Quote am Ende des Vertragshorizontes erfüllt wird.

Folgendes Modell entsteht für den Fall, dass alle Planungsparameter für den Vertragshorizont bekannt sind:

Zentrales Modell für den Vertragshorizont:

$$\begin{aligned} Minimize\ Z = & \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{V} y_{kt}\cdot h_p + r_{kt}\cdot dc_k + s_{kt}\cdot s_k + \sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{V} o_t^l \cdot bkfix^l + \sum_{t=1}^{V} ye_t \cdot h_e \\ & + \sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K^l}\sum_{t=1}^{V} y_{kt}^l \cdot h_p^l + r_{kt}^l \cdot dc_k^l + s_{kt}^l \cdot s_k^l + \sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{V} gke_t^l \cdot kke^l \end{aligned} \tag{5.258}$$

subject to

$$y_{kt} = y_{k,t-1} + q_{kt} - d_{kt} + r_{kt} - r_{k,t-1} \qquad k=1,2,\ldots,K;\quad t=1,2,\ldots,V \tag{5.259}$$

$$y_{k0} = yinit_k \qquad k=1,2,\ldots,K \tag{5.260}$$

$$y_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\ldots,K;\quad t=1,2,\ldots,V \tag{5.261}$$

$$\sum_{k=1}^{K} y_{kt} \leq c \qquad t=1,2,\ldots,V \tag{5.262}$$

$$r_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\ldots,K;\quad t=1,2,\ldots,T \tag{5.263}$$

$$\sum_{k=1}^{K}(tb_k \cdot q_{kt} + tr_k \cdot s_{kt}) \leq b_t \qquad t=1,2,\ldots,V \tag{5.264}$$

$$q_{kt} - bigm \cdot s_{kt} \leq 0 \qquad k=1,2,\ldots,K;\quad t=1,2,\ldots,V \tag{5.265}$$

$$q_{kt} \geq 0 \qquad k=1,2,\ldots,K;\quad t=1,2,\ldots,V \tag{5.266}$$

$$s_{kt} \in \{0,1\} \qquad k=1,2,\ldots,K;\quad t=1,2,\ldots,V \tag{5.267}$$

$$ye_t = ye_{t-1} - \sum_{k\in N_e} q_{kt} + \sum_{l=1}^{L} ql_{et}^l \qquad t=1,2,\ldots,V \tag{5.268}$$

$$ye_0 = yinit_e \tag{5.269}$$

$$ye_t \geq 0 \qquad t=1,2,\ldots,V \tag{5.270}$$

$$ye_t \leq c_{etl} \qquad t=1,2,\ldots,V \tag{5.271}$$

$$ql_{et}^l - bigm \cdot o_t^l \leq 0 \qquad t=1,2,\ldots,V;\quad l=1,2,\ldots,L \tag{5.272}$$

$$ql_{et}^l \geq 0 \qquad t=1,2,\ldots,V;\quad l=1,2,\ldots,L \tag{5.273}$$

$$o_t^l \in \{0,1\} \qquad t=1,2,\ldots,V;\quad l=1,2,\ldots,L \tag{5.274}$$

$$(\sum_{t=1}^{V}\sum_{l=1}^{L} ql_{et}^{l}) \cdot quo^{l} - \sum_{t=1}^{V} ql_{et}^{l} \leq eqa \qquad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.275)$$

$$(\sum_{t=1}^{V}\sum_{l=1}^{L} ql_{et}^{l}) \cdot quo^{l} - \sum_{t=1}^{V} ql_{et}^{l} \geq -eqa \qquad l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.276)$$

$$y_{kt}^{l} = y_{k,t-1}^{l} + q_{kt}^{l} - d_{kt}^{l} + r_{kt}^{l} - r_{k,t-1}^{l} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l} \setminus E^{l};\ t = 1,2,\ldots,V;\ l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.277)$$

$$y_{et}^{l} = y_{e,t-1}^{l} + q_{et}^{l} - ql_{et}^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,V;\ l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.278)$$

$$y_{k0}^{l} = yinit_{k}^{l} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\ l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.279)$$

$$y_{kt}^{l} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\ t = 1,2,\ldots,V;\ l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.280)$$

$$\sum_{k=1}^{K^{l}} y_{kt}^{l} \leq c^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,V;\ l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.281)$$

$$r_{kt}^{l} \geq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\ t = 1,2,\ldots,V;\ l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.282)$$

$$\sum_{k=1}^{K^{l}} (tb_{k}^{l} \cdot q_{kt}^{l} + tr_{k}^{l} \cdot s_{kt}^{l}) \leq gke_{t}^{l} \cdot zk^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,V;\ l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.283)$$

$$gke_{t}^{l} \leq maxke^{l} \qquad t = 1,2,\ldots,V;\ l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.284)$$

$$q_{kt}^{l} - bigm \cdot s_{kt}^{l} \leq 0 \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\ t = 1,2,\ldots,V;\ l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.285)$$

$$s_{kt}^{l} \in \{0,1\} \qquad k = 1,2,\ldots,K^{l};\ t = 1,2,\ldots,V;\ l = 1,2,\ldots,L \qquad (5.286)$$

Zielfunktion

Auf **Kundenseite** fallen in der Zielfunktion (5.258) wiederum **Lagerkosten**, **Verspätungskosten** und **Rüstkosten** an. Ein Unterschied zum rollierenden Modell besteht darin, dass die Strafkosten, die für die Verspätung von Produkten anfallen, nicht mehr von der jeweiligen Bedarfsperiode abhängen. Da es sich um eine Betrachtung im Nachhinein handelt, wird die Verspätung immer tatsächlich realisiert, im Gegensatz zur Planung im rollierenden Kontext.

Für das **Engpassteil** besteht der Unterschied im Vergleich zum rollierenden zentralen Modell darin, dass der Term, der die Abweichung von den Flexibilitätskorridoren beschreibt, entfällt. Da alle Informationen bekannt sind, wird keine Grobplanung mehr benötigt, um Flexibilitätskorridore abzustimmen. Die **fixen Lieferkosten** und die **Lagerung der Engpassteile** werden wie im rollierenden zentralen Modell abgebildet.

Auf **Lieferantenseite** fallen wiederum **Lager-, Verspätungs- und Rüstkosten** an. Anstatt der Kosten für Zusatzkapazitäten fallen im Gesamtmodell **Kosten für Kapazitäten** an.[367] Die Verspätungen der Lieferanten sind aus den schon beim Kunden erwähnten Gründen ebenfalls nicht mehr zeitabhängig.

Restriktionen

Ein wichtiger Unterschied zum zentralen rollierenden Modell besteht darin, dass die Länge des Planungshorizontes nicht mehr aus einer bestimmten Anzahl an Perioden besteht, sondern sich über alle Perioden des Vertragshorizontes, beginnend mit Periode eins, erstreckt.

[367] Vgl. Grobplanung der Lieferanten in Abschnitt 5.2.1.1.

Modul Produktlager Kunde (Punkt im Modell: 1):

Die Restriktionen (5.259) bis (5.263) bilden die aus dem Basismodell bekannte Modellierung des Produktlagers ohne Änderung ab.

Modul Produktionskapazität Kunde (Punkt im Modell: 2):

Die Restriktionen (5.264) bis (5.267) bilden die aus dem Basismodell bekannte Modellierung der Produktionskapazität ohne Änderung ab.

Modul Engpassteil-Lager (Punkt im Modell: 3):

Das Engpassteil-Lager wird durch (5.268) bis (5.271) abgebildet und entspricht der Modellierung aus dem rollierenden zentralen Modell.

Modul Bestellung/Lieferung (Punkt im Modell: 4):

Die Restriktionen (5.272) bis (5.276) gehören dem Modul Bestellung/Lieferung an.

Teilmodul Mengen und Fixkosten

Durch (5.272) bis (5.274) werden, wie aus den anderen Modellen bekannt, gültige Liefermengen und fixe Lieferkosten modelliert. Für maximale Liefermengen pro Periode und pro Zeitabschnitt gilt das Gleiche wie im rollierenden zentralen Modell.

Teilmodul Rabatte

Das Teilmodul entfällt mit der gleichen Begründung wie im rollierenden zentralen Modell.

Teilmodul Flexibilitätskorridore

Die Modellierung der Flexibilitätskorridore entfällt im zentralen Modell für den gesamten Vertragshorizont. Da keine Unsicherheiten bestehen, ist keine Grobplanung notwendig, um auf diese reagieren zu können.

Teilmodul Bestellabweichungen

Dieses Teilmodul muss im zentralen Kontext nicht beachtet werden, da nicht rollierend geplant wird und somit auch keine Änderungen an Bestellungen auftreten können.

Teilmodul Quote

Da keine Grobplanung durchgeführt wird, muss die Quote auf andere Art eingehalten werden. Um dies sicherzustellen, wurden die bereits aus anderen Modellen bekannten Restriktionen (5.275) und (5.276) hinzugefügt.[368]

Modul Produktlager Lieferanten (Punkt im Modell: 5):

Die Produktlager der Lieferanten werden durch (5.277) bis (5.282) abgebildet und entsprechen der Modellierung aus dem rollierenden zentralen Modell.

[368] Vgl. bspw. die Initialplanung in der Kunden-Grobplanung in Abschnitt 5.2.1.2.3.

Modul Produktionskapazität Lieferanten (Punkt im Modell: 6):

Die Produktionskapazitäten der Lieferanten werden durch (5.283) bis (5.286) abgebildet. Die Lieferantenkapazität in (5.283) wird dabei durch das Produkt der Menge pro Kapazitätseinheit mke^l und der Anzahl der gewählten Kapazitätseinheiten in der Periode gke_t^l bestimmt. (5.284) sorgt dafür, das die Anzahl der gewählten Kapazitätseinheiten nicht größer ist als das Maximum an Kapazitätseinheiten pro Periode und Lieferant $maxke^l$. Die Restriktionen (5.285) und (5.286) entsprechen der Modellierung aus dem rollierenden zentralen Modell.

5.2.4.3.2 Komplettplaner für die Planungsdomäne Kunde

Dieser Gegner dient als Benchmark für die Grobplanung des Kunden, indem der gesamte Vertragshorizont unter vollständiger Information geplant wird. [369]

Modell Komplettplaner Kunde

$$Minimize\ Z = \sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{V} y_{kt} \cdot h_p + r_{kt} \cdot dc_k + s_{kt} \cdot s_k + \sum_{t=1}^{V} ye_t \cdot h_e + \sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{V} o_t^l \cdot bkfix^l + \sum_{l=1}^{L}\sum_{z=1}^{V}\sum_{r=1}^{R^l} co_{zr}^l \tag{5.287}$$

subject to

$$Modell\ Kunde\ KS1 \quad \begin{matrix} reduziert\ um\ (5.120) \\ bis\ (5.125), \end{matrix} \quad ergänzt\ um:$$

$$(\sum_{t=1}^{V}\sum_{l=1}^{L} ql_{et}^l) \cdot quo^l - \sum_{t=1}^{V} ql_{et}^l \leq eqa \qquad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.288}$$

$$(\sum_{t=1}^{V}\sum_{l=1}^{L} ql_{et}^l) \cdot quo^l - \sum_{t=1}^{V} ql_{et}^l \geq -eqa \qquad l = 1,2,\ldots,L \tag{5.289}$$

Dabei gilt wie beim zentralen Modell für den Vertragshorizont, dass die Perioden t und die Zeitabschnitte z über den gesamten Vertragshorizont V laufen.

5.3 EINSETZBARKEIT DER PLANUNG UNTER ANDEREN ANNAHMEN

5.3.1 VERÄNDERUNG DES SZENARIOS

In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie sich der vorgestellte Ansatz auf ein anderes Grundszenario übertragen lässt bzw. welche Anpassungen notwendig sind, um die Einsetzbarkeit unter anderen Rahmenbedingungen zu gewährleisten. Dazu werden Fragen formuliert und anschließend beantwortet.

<u>Kann der Ansatz auch auf mehrere Supply Chain Stufen angewandt werden?</u>

Der beschriebene kooperative Ansatz ist am sinnvollsten, wenn er zwischen einem Kunden und wenigen Lieferanten angewandt wird, die für den Kunden wichtige Produktionsfaktoren liefern. Dabei dürfen die Lieferanten nicht frei austauschbar sein. Ist dies der Fall, so können einige Aspekte der Kooperation auch über mehrere Supply Chain Stufen hinweg angewandt werden. Befindet sich die Kunden-Lieferanten-Beziehung mehrere Stufen vom Endproduzenten entfernt,

[369] Dieses Modell kann nur genutzt werden, wenn die Angebote für den Zeitverlauf angegeben sind, da diese im normalen Planungsverlauf von den Lieferanten erzeugt werden.

so wird es unwahrscheinlich, dass Quoten vertraglich festgelegt werden. Allerdings können analog zu den Quantity Flexibility Kontrakten[370] frühzeitige Flexibilitätsabstimmungen durch Flexibilitätskorridore über mehrere Stufen durchgeführt werden, wenn die Beziehung den oben genannten Kriterien entspricht.[371] Für diese Beziehungen kann die beschriebene Grobplanung sowohl aus Lieferanten- als auch aus Kundensicht, ohne Berücksichtigung von Quoten, durchgeführt werden. Dies bedeutet aus Kundensicht, dass die Beschaffungsmengenplanung immer wie im Falle niedriger Quotenrelevanz optimal, rein unter Kostengesichtspunkten, durchgeführt wird[372] und der Quotenaspekt bei der Bestimmung der Flexibilitätskorridore[373] entfällt. Einige im Rahmen der Feinplanung beschriebene Aspekte können ebenfalls für mehrere Stufen und relevante Kunden-Lieferanten-Beziehungen angewandt werden. Der Aspekt der Berücksichtigung von Abweichungskosten kann problemlos angewandt werden, wenn Bonuszahlungen für geringe Abweichungen vertraglich festgelegt werden. Auch das Profit-Sharing kann in relevanten Beziehungen prinzipiell immer zwischen zwei Planungsstufen angewandt werden. Allerdings müssen bei einer Anwendung über mehrere Stufen klare Abbruchbedingungen gelten, um keine Endlosschleifen entstehen zu lassen.[374] Aus Kundensicht kann die simultane Produktions- und Beschaffungsplanung auf viele Kunden-Lieferanten-Beziehungen angewandt werden. Je nach Beziehung können Elemente wie die Berücksichtigung von Korridoren oder die Abbildung der variablen Preise über Rabatte entfallen bzw. problemlos angepasst werden.

Können auch nur ein Lieferant oder mehr als zwei Lieferanten betrachtet werden?

Die Betrachtung nur eines oder mehrerer Lieferanten stellt kein Problem dar. Dabei ist nur die Kundenplanung betroffen, die Lieferantenplanung plant autark von anderen Lieferanten. Im Rahmen der Konzeption wurden alle Aspekte der Kundenplanung so beschrieben, dass sie für eine beliebige Anzahl an Lieferanten anwendbar sind.

Was passiert, wenn keine Quote, aber Mindestabnahmemengen vorgegeben sind?

Die Berücksichtigung von Mindestabnahmemengen statt Quoten wirkt sich nur auf die Kundenplanung aus. Die größten Änderungen würden dabei in der Grobplanung des Kunden auftreten. Die Mindestabnahmemengen müssen bei der Szenariobildung berücksichtigt werden, wobei ähnlich zur Quotenrelevanz immer ein aktueller Bezugswert bzgl. des Erreichens der Mindestabnahmemenge berechnet und mit der Vorgabe verglichen werden kann. Der Unterschied besteht darin, dass dieser Wert pro Lieferant absolut und nicht von anderen Lieferanten abhängig ist. Daher besitzt der Kunde einen größeren Spielraum als bei Quotenbezug. Wenn die Mindestabnahmemengen (fast) erreicht sind, kann dieser nur noch auf Kosten abzielen. Die Flexibilitätskorridore könnten bei Mindestabnahmemengen genau wie bei Quotenbezug angewendet werden, so dass sich für die Feinplanung des Kunden prinzipiell keine Änderungen ergeben.

Können auch mehrere Engpassteile betrachtet werden?

Die Betrachtung mehrerer Engpassteile kann problemlos integriert werden, solange keine zusätzlichen Abhängigkeiten betrachtet werden, die Rabatte, Lieferkosten, Lieferbeschränkun-

[370] Vgl. Abschnitt 3.1.1.
[371] Dabei können wiederum Strafen für Über- und Unterschreitung der Korridore individuell festgelegt werden, so dass bspw. Überschreitungen der Korridore keine Strafzahlungen auslösen.
[372] Vgl. Abschnitt 5.2.1.2.2.1.
[373] Vgl. Abschnitt 5.2.1.2.2.2.
[374] Vgl. [DDK+07].

gen, Korridore und Ähnliches von mehreren Engpassteilen eines Lieferanten abhängig machen. Für die Feinplanung können vieler dieser Aspekte allerdings von anderen Arbeiten, wie bspw. von Reith-Ahlemeier[375] übernommen werden. Ansonsten kann für jedes Engpassteil und die betreffenden Lieferanten eine Grobplanung wie beschrieben stattfinden. In der Feinplanung müsste die Beschränkung der Anzahl an Engpassteilen von eins aufgehoben und eine Menge mit beliebig vielen Engpassteilen eingeführt werden. Dabei hat jedes Engpassteil wiederum einen oder mehrere Nachfolger und mögliche Lieferanten mit Rabattstrukturen und Vorgaben aus der Grobplanung.

5.3.2 VERÄNDERUNG DER PLANUNGSANNAHMEN

In diesem Abschnitt wird diskutiert, wie Änderungen zuvor getroffener Planungsannahmen in das Verfahren integriert werden können. Dazu werden wie im Abschnitt zuvor Fragen formuliert, auf die anschließend Antworten gegeben werden. Dabei findet eine Unterteilung in die Bereiche kooperative Kunden-Lieferanten-Beziehung, Zeitbetrachtung, Planungsdomäne Kunde und Planungsdomäne Lieferant statt.

Änderung der Annahmen in der kooperativen Kunden-Lieferanten-Beziehung

Was muss geändert werden, um Lieferprobleme zu integrieren?

Bei der Konzeption wurde angenommen, dass Lieferanten immer wie versprochen liefern können. Falls dies nicht der Fall ist, müssen Bestellpläne geändert werden und es muss koordiniert werden, wie die Fehlmengen beschafft werden können. Falls eine Wiedereinregelung notwendig wird, so muss diese anhand klarer Regeln und Koordinationsmechanismen zwischen den beteiligten Parteien erfolgen, um bestmöglich wieder einen gültigen Zustand zu erreichen. Ein mögliches Schema zur Klassifikation von Planungsstrategien in Abhängigkeit vom Modellzustand wird in [Heid06] vorgeschlagen. Weitere Änderungen am Konzept würden sich dadurch ergeben, dass der beschriebene Rahmenvertrag um Strafen für unvorhergesehene Probleme erweitert werden muss. Im Kontext der Feinplanung müsste zudem zwischen zwei Planungsläufen eine tatsächlich stattgefundene Lieferung modelliert werden, die von der geplanten abweichen kann.

Was muss geändert werden, um eine Verhandlung über mehrere Runden zu ermöglichen?

Eine Verhandlung über mehrere Runden könnte ähnlich zum Verfahren von Dudek[376] durchgeführt werden. In diesem Fall hätten die Lieferanten die Möglichkeit, nachdem der Kunde sich für einen Bestellplan entschieden hat, weitere Vorschläge zu kommunizieren. Dies wird allerdings dadurch verkompliziert, dass der Kunde Alternativpläne von mindestens zwei Lieferanten betrachten muss. Um dies zu koordinieren, müssten Regeln aufgestellt werden und es muss eine Abbruchbedingung für die Verhandlung definiert werden. Damit in einem solchen Fall eine Lösung erzielt werden kann und keine Schleifen entstehen, sollte der Kunde die Entscheidungsmacht behalten.

[375] Vgl. [Reit02].
[376] Vgl. Abschnitt 3.1.2.2.3.

Änderung der Annahmen der Zeitbetrachtung

Kann eine reine Grob- bzw. eine reine Feinplanung durchgeführt werden?

Eine reine Grobplanung kann problemlos durchgeführt werden. Änderungen an der beschriebenen Grobplanung würden sich sowohl für den Lieferanten als auch den Kunden nur für den jeweils ersten Zeitabschnitt einer Grobplanung ergeben. Dabei kann der Lieferant Kapazitätsreduktionen auch für den ersten Zeitabschnitt planen, da dies nicht im Widerspruch zu einer vorherigen Feinplanung steht. Der Kunde muss zusätzlich für den ersten Zeitabschnitt Mengen festsetzen, da der Korridor nicht durch die Feinplanung konkretisiert wird. Eine reine Feinplanung ist ebenfalls problemlos möglich. Eine Absprache könnte dann durch das Profit-Sharing erfolgen und Abweichungskosten könnten ebenfalls integriert werden. Variable Bestellpreise könnten weiterhin zeitabschnittsweise modelliert werden, eine Umstellung auf Perioden wäre aber auch leicht integrierbar.

Wie kann eine Small-Bucket-Planung integriert werden?

Um die Planung weiter zu detaillieren, könnten die Ergebnisse der Big-Bucket-Planung in einem nächsten Schritt verfeinert werden, indem die geplanten Mengen als Vorgaben für ein Small-Bucket-Modell dienen. Dort können diese dann bspw. stundengenau und reihenfolgeabhängig[377] geplant werden. Eine Rückkopplung müsste installiert werden, die die Ergebnisse der Small-Bucket-Planung an die Big-Bucket-Planung übergibt. Diese könnte ähnlich umgesetzt werden wie die Rückkopplung zwischen der beschriebenen Grob- und Feinplanung.[378]

Welche Anpassungen sind notwendig, um in der Feinplanung eine eingefrorene Zone zu betrachten?

Durch die explizite Einführung einer eingefrorenen Zone würde sich im Prinzip nicht viel am Gesamtablauf ändern. Aus den ersten fixen Perioden müsste der Anfangszustand an den dann beginnenden Planungshorizont übermittelt werden. Die Planung könnte ansonsten genauso stattfinden. Falls Änderungen der Umwelt in die eingefrorene Zone fallen, ändert sich der Anfangszustand der Planung entsprechend.

Wie kann ein größerer Fortschreibungsrhythmus abgebildet werden?

Auch durch die Abbildung eines größeren Fortschreibungsrhythmus ändert sich wiederum nicht viel. Zur Abstimmung mit der Grobplanung sollte der Fortschreibungsrhythmus am besten ein Teiler der Periodenlänge der Grobplanung sein. Die Änderung besteht lediglich darin, dass eine endgültige Planung für mehrere Perioden zugleich erfolgt. Diese wird festgesetzt und beim nächsten Planungslauf wird ein Anfangszustand bestimmt. Falls Änderungen der Umwelt stattgefunden haben, werden diese in den Anfangszustand integriert.

[377] Um dies zu ermöglichen, müssten zusätzlich zu den in Tabelle 5.4 beschriebenen Restriktionen reihenfolgeabhängige Rüstzeiten gepflegt werden.
[378] Vgl. Abschnitt 5.2.3.

Änderung der Annahmen in der Planungsdomäne Kunde

Wie kann die Betrachtung von Lagerbeständen in die Grobplanung integriert werden?

Um die Betrachtung von Lagerbeständen in der Grobplanung aufzunehmen, müsste die Mengenbestimmung[379] zusätzlich Lagerkosten berücksichtigen und es erlauben, Bedarfe zu überschreiten, um überhaupt eine Lagerung zu ermöglichen. Die Szenarien könnten weiterhin wie beschrieben gebildet werden, allerdings müssten vorherige Lagermengen und Lagerungen am Ende eines Zeitabschnitts berücksichtigt werden. Durch die Berücksichtigung einer Lagerung könnten günstigere Preise aus einzelnen Zeitabschnitten ausgenutzt werden, indem in diesen mehr bestellt wird, was durch eine geringere Bestellung in anderen Zeitabschnitten ausgeglichen werden könnte. Ein Problem besteht jedoch in der Modellierung der Lagerkosten, besonders im Zusammenspiel mit der Feinplanung. So wäre festzulegen, für welchen Zeitraum die Lagerkosten anzusetzen wären, ohne allerdings eine Kenntnis über die Feinplanung zu besitzen, die letztlich die genauen Lagerungen bestimmt. Im Schritt der Flexibilitätskorridorplanung[380] müsste die Lagerung sowohl als Sicherheitsaspekt als auch als Kostenaspekt berücksichtigt werden.

Wie kann die Betrachtung von Sicherheitsbeständen integriert werden?

Im einfachsten Fall können Sicherheitsbestände abgebildet werden, indem diese als feste Restriktion in die vorgestellten Modelle integriert werden. Dies ist prinzipiell identisch zur Restriktion eines Lagerbestand größer null[381], nur mit dem Wert des Sicherheitsbestandes anstatt eines Wertes von null. Komplizierter wird es, wenn eine Abwägung betrachtet werden soll, wann es aus Kostengründen sinnvoll ist, den Sicherheitsbestand zu unterschreiten. Diese müsste kostenmäßig in die Modelle integriert werden. Eine andere Möglichkeit wäre es, modellseitig eine maximale Zeitspanne einzubauen, um die der Sicherheitsbestand in aufeinanderfolgenden Perioden unterschritten werden darf.

Wie können Vorlaufzeiten integriert werden?

Eine Möglichkeit, Vorlaufzeiten zu integrieren, besteht darin, die Betrachtung der Vorlaufzeiten wie bei Reith-Ahlemeier[382] zu interpretieren, indem die modellseitigen Bestelltermine so aufgefasst werden, dass es sich um Termine handelt, an denen die Bestellungen beim Kunden eintreffen. Zum anderen könnten Vorlaufzeiten analog zum MLCLSP[383] abgebildet werden. Dann müsste zur Berechnung der Ausgangssituation immer ein bereits verbuchbarer Zugang für bestimmte Perioden, für die nicht mehr bestellt werden kann, verrechnet werden. Ähnlich wird dies im Modell von Prentis und Khumawala[384] umgesetzt.

Änderung der Annahmen in der Planungsdomäne Lieferant

Wie kann eine periodengenaue Kapazitätsplanung der Lieferanten integriert werden?

Eine periodengenaue Kapazitätsplanung der Lieferanten könnte immer dann geschehen, wenn die Kapazitäten als Vorgaben an die Feinplanung der Lieferanten übergeben werden. Die

[379] Vgl. Abschnitt 5.2.1.2.2.1.
[380] Vgl. Abschnitt 5.2.1.2.2.2.
[381] Vgl. u.a. Restriktion (5.106).
[382] Vgl. Abschnitt 3.3.2.2.
[383] Vgl. Abschnitt 3.2.2.
[384] Vgl. Abschnitt 3.4.1.

Grobplanung der Lieferanten kann dahingehend erweitert werden, dass die ermittelten Kapazitätseinheiten nicht für jede Periode eines Zeitabschnitts gelten, sondern dass eine Gesamtanzahl an Perioden für einen Zeitabschnitt geplant wird. Anhand dieser Gesamtanzahl können anschließend Rabatte gewährt werden. Um eine Verteilung der Perioden innerhalb der Zeitabschnitte zu planen, können die Perioden anhand der Bedarfe verteilt werden. Dies kann bspw. durch eine Beschäftigungsglättung erfolgen.[385]

Wie kann eine variable Anzahl an Rabattstufen geplant werden?

Um eine variable Anzahl an Rabattstufen zu planen, müsste die Grobplanung der Lieferanten so abgewandelt werden, dass auch zusätzliche Rabattstufen eingefügt werden. Dabei muss darauf geachtet werden, dass dem Kunden bei keiner Mengeneinheit im Zeitverlauf ein höherer Preis angeboten wird als in einem Zeitabschnitt zuvor. Die Grob- und die Feinplanung des Kunden beherrschen auch mehrere Rabattstufen.

[385] Vgl. u.a. das Modell AGGRPLAN von Günther und Tempelmeier [GüTe09].

6 AUSWERTUNG

„Right here, right now, you are going to face JUSTICE "

(Jack Bauer)

In diesem Kapitel erfolgt zunächst in Abschnitt 6.1 eine Beschreibung der Testplattform, die die Grundlage der darauf folgenden Ergebnisanalyse bildet. Die untersuchten Szenarien werden in Abschnitt 6.2 beschrieben, bevor in Abschnitt 6.3 eine Analyse der Ergebnisse erfolgt.

6.1 TESTPLATTFORM

Zur Auswertung der im vorherigen Kapitel beschriebenen Konzeption wurde eine Testplattform in Java, PHP und unter Anbindung des CPLEX Solvers[386] entwickelt. Diese ermöglicht es, eine rollierende Planung aller Parteien in einer unsicheren Umwelt zu simulieren. Dabei können die beschriebenen Teilaspekte in allen möglichen Kombinationen analysiert und mit den in Abschnitt 5.2.4 beschriebenen Gegnern verglichen werden. In diesem Abschnitt erfolgt eine anwendungsbezogene Beschreibung der Testplattform, die in die Bereiche Stammdaten, Verfahren, Planung und Auswertung unterteilt wird. Abbildung 6.1 zeigt einen Screenshot der Testplattform.

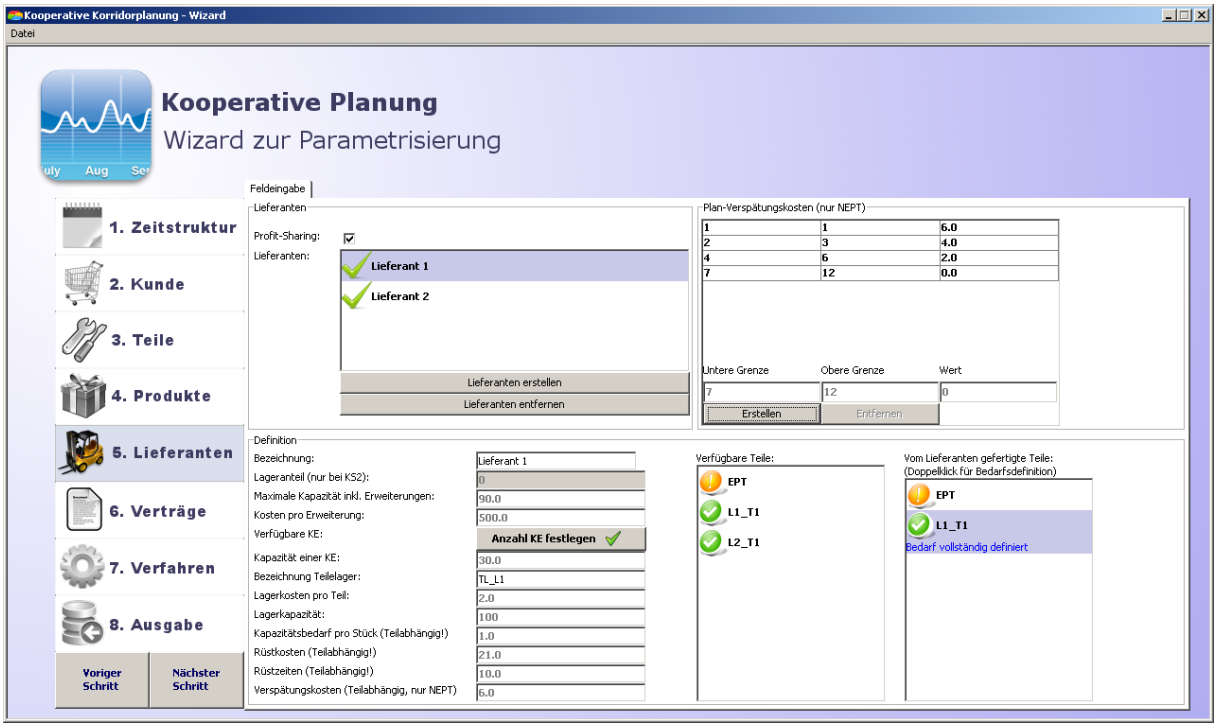


Abbildung 6.1: Screenshot der Testplattform

[386] In der Version CPLEX 12.1.

Auf der linken Seite ist dabei die Navigationsstruktur zu sehen, durch die schrittweise alle Stammdaten angelegt, die Verfahren der Planung konfiguriert und die Planung gestartet werden kann. Diese ist in acht Einzelschritte aufgeteilt, die in Abbildung 6.2 mitsamt der Inhalte jedes Schrittes dargestellt sind.

1. Zeitstruktur	Anzahl der Zeitabschnitte und Perioden
2. Kunde	Produktionskapazität, Lagerkapazitäten und -kosten
3. Teile	Definition der Engpass- und Nichtengpassteile
4. Produkte	Produktaufbau, Produktkosten, Produktbedarf
5. Lieferanten	Lieferanten, Produktionsstruktur,-kapazität und -kosten, Lagerkapazitäten und -kosten
6. Verträge	Rahmenverträge, Quoten, Flexibilität, Strafkosten, Rabattstrukturen
7. Verfahren	Auswahl der Verfahren zur Feinplanung und Grobplanung für Kunde und Lieferanten
8. Ausgabe	Ausgabeoptionen und Wahl des Gegners

Abbildung 6.2: Navigationsstruktur der Testplattform

Im Hauptfenster auf der rechten Seite der Testplattform ist die Pflege der Daten in Abhängigkeit des gerade ausgewählten Schrittes möglich. Im Beispiel aus Abbildung 6.1 ist dies Schritt fünf, die Pflege aller relevanten Daten bzgl. der Lieferanten des Szenarios.

6.1.1 Pflege der Daten

Die Pflege der Daten, die das Szenario beschreiben, erfolgt in den Schritten eins bis sechs der Navigationsstruktur. Diese kann in eine Pflege statischer und veränderlicher Daten unterteilt werden.

6.1.1.1 Pflege statischer Daten

Die Daten, die für den gesamten Vertragshorizont die gleiche Größe aufweisen, also keinen Umwelteinflüssen unterliegen, werden statisch eingegeben. Dabei können die statischen Daten nochmals in eindimensionale und mehrdimensionale Daten unterteilt werden. Eindimensionale Daten, die nur aus einem einzigen Wert bestehen, sind u.a. Lagerkapazitäten, Rüstkosten oder Rüstzeiten.[387] Mehrdimensionale Daten sind etwas komplexer, indem ein Wert abhängig von einer anderen Dimension gepflegt wird. Beispiele für mehrdimensionale Daten sind Rabattstruk-

[387] Selbstverständlich könnten diese Daten auch zeitabhängig sein, allerdings wird dies in dieser Arbeit nicht angenommen.

turen, bei denen der Preis von der Menge abhängt, und Daten, die eine Abhängigkeit zur Entfernung vom Planungszeitpunkt besitzen, um Aspekte der rollierenden Planung zu modellieren.[388] Solche periodenabhängigen Dateneingaben sind u.a. für Abweichungskosten, Strafkosten und Flexibilitätskorridore vorgesehen. Abbildung 6.3 zeigt die Eingabe statischer und periodenabhängiger Daten am Beispiel von fixen Bestellkosten und Abweichungskosten.

Vertragsinformationen
Fixe Bestellkosten: 100
Zonenlänge: eingefroren / mit Strafe / ohne Strafe 1 3 2
Intervallgrößen:
Korridore | Strafkosten (unten) | Strafkosten (oben) | Abweichungskosten

1	2	5.0
3	5	3.0
6	8	2.0
9	12	1.0
13	30	0.0

Abbildung 6.3: Eingabe statischer Daten

Die fixen Bestellkosten in der obersten Zeile werden dabei nur einmalig eingegeben und gelten unabhängig vom Zeitpunkt der Bestellung. Die Abweichungskosten im unteren Bereich werden mehrdimensional angelegt. Die linken beiden Spalten geben dabei an, für welche Perioden im Bezug zum Planungszeitpunkt die Abweichungskosten in der rechten Spalte gelten. In diesem Fall würden pro Abweichung zum vorherigen Bestellplan[389] fünf Geldeinheiten anfallen, falls diese sich in den nächsten beiden Perioden befindet, drei Geldeinheiten, falls diese sich vom Planungszeitpunkt aus in Periode drei bis fünf befindet, usw. Ab Periode 13 werden im Beispiel keine Abweichungskosten mehr angesetzt.

6.1.1.2 Pflege veränderlicher Daten

Zur Pflege von Daten, die sich durch äußere Umwelteinflüsse im Zeitverlauf ändern können, wurde eine Eingabe entwickelt, die nicht nur abbildet, ab welchem Zeitpunkt welcher Wert gilt, sondern zudem ab welchem Zeitpunkt welcher Wert für das planende Unternehmen bekannt ist. So kann sich beispielsweise der Bedarf nach einem Produkt in Periode zehn um fünf Einheiten erhöhen, dies kann aber bereits ab Periode vier bekannt sein. Dieser Zeitpunkt der Änderungsinformation ist für die realitätsnahe Abbildung verfügbarer Informationen von großer Relevanz, da dadurch Schwankungen der Umwelteinflüsse, z.B. in Form externer Bedarfe, vorgegeben werden können, die die Planung maßgeblich beeinflussen. Die Werte werden dabei immer vor Beginn der Planung komplett und damit unabhängig von den zwischenzeitlichen Planungsergebnissen gepflegt. Dies hat den Vorteil, dass verschiedene Verfahren mit der gleichen Datenbasis geplant werden können, wobei die einzelnen Planungsschritte jeweils nur die Informationen besitzen, die der Planung auch in der Realität zu diesem Zeitpunkt zur Verfügung stehen würde. Der zeitlich veränderliche Primärbedarf eines Produkts für zehn Perioden kann bspw. die in Abbildung 6.4 dargestellte Struktur besitzen.

[388] Dies resultiert, wie in Abschnitt 3.5.1 beschrieben, aus der rollierenden Planung und hat den Zweck, dass Plandaten, die weiter in der Zukunft liegen, mit einer schwächeren Gewichtung versehen werden können als Daten, deren Zeitpunkt näher am Planungsdatum liegt.
[389] Diese wird pro Mengeneinheit gerechnet (vgl. Abschnitt 5.1.2.2.4).

Periode des Kenntnisstandes

Periode der Wirkung

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10									
2	10	10								
3	12	10	12							
4	15	15	15	20						
5	20	20	20	20	20					
6	10	10	10	0	0	0				
7	13	13	15	15	15	18	18			
8	8	8	0	0	10	10	10	10		
9	5	8	13	10	5	10	12	10	20	
10	20	20	25	25	25	18	18	10	10	0

Abbildung 6.4: Modellierung veränderlicher Daten

Die Darstellung ist so zu lesen, dass die Zeilen die Wirkungsperioden und die Spalten die Kenntnisperioden darstellen. So ist bspw. für Periode eins am Anfang von Periode eins ein Bedarf von 10 bekannt, für Periode neun wird am Anfang von Periode sieben ein Bedarf von 12 angenommen. Je weiter die Wirkungsperiode vom Anfang des Vertragshorizontes entfernt ist, desto häufiger kann sich demnach im Zeitverlauf eine Änderung des geschätzten Wertes ergeben. Eine Eingabe in der Testplattform für einen großen Vertragshorizont ist in Abbildung 6.5 zu sehen.

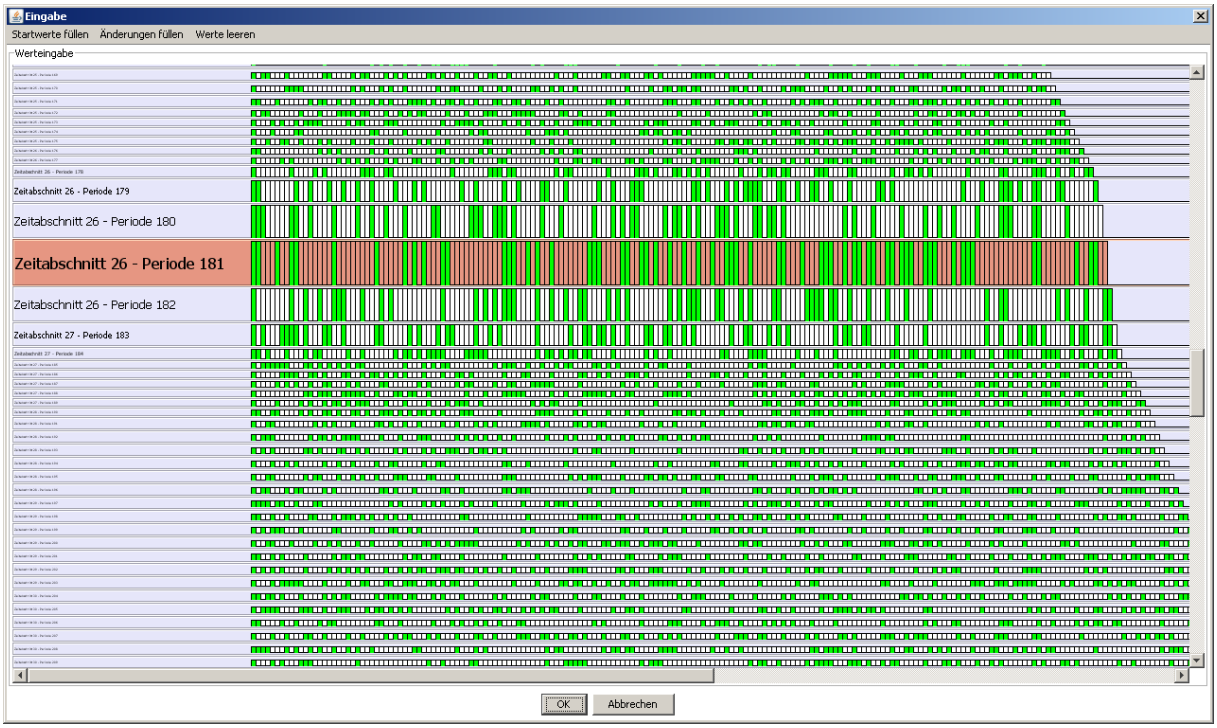


Abbildung 6.5: Eingabemaske für veränderliche Daten

Durch einen Klick auf eine Zeile lässt sich diese heranzoomen, um manuelle Änderungen vorzunehmen. Durch Klick auf eine beliebige Zelle öffnet sich ein Abfragefenster, das die Eingabe eines Wertes ermöglicht. Dadurch können in jeder beliebigen Wirkungs- und Kenntnisperiode Änderungen hinzugefügt werden. Diese werden farblich hervorgehoben, wodurch auf den ersten Blick deutlich wird, an welcher Stelle eine Änderung stattfindet. Weiterhin lässt sich durch einen Doppelklick auf eine Zeile eine detaillierte Übersicht über alle Änderungen der jeweiligen Wirkungsperiode anzeigen. Da große Eingabemengen wie in Abbildung 6.5[390] von Hand nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand vorgenommen werden können, wurden zudem Möglichkeiten geschaffen, die Daten anhand bestimmter Vorgaben automatisch zu füllen und Änderungen im Zeitverlauf ebenso automatisch vorzunehmen.

Bei der automatischen Eingabe der Startwerte, also der Werte der linken Spalte, kann dabei ein Zielwert in Kombination mit prozentualen Schwankungen nach oben und nach unten angegeben werden. Zusätzlich kann definiert werden, wie häufig dieser Wert auftreten soll. Dies kann anhand einer Dichte, anhand eines Abstandes zwischen zwei Werten und durch eine Gesamtzahl an Werten definiert werden. Zusätzlich wurde noch eine Möglichkeit geschaffen, Schwankungen in einzelnen Zeitabschnitten zu generieren, indem Summen für ganze Zeitabschnitte definiert und Periodenwerte automatisch innerhalb dieser Summen erzeugt werden. Damit kann bspw. simuliert werden, dass externe Bedarfe in einzelnen Zeitabschnitten unterschiedlich stark auftreten. Die Änderungen werden auf ähnliche Weise gepflegt. Neben den Zielwerten mit Schwankungen kann angegeben werden, wie oft im Gesamten Änderungen auftreten und ob diese bspw. nur für Startwerte größer null gelten sollen.

Veränderliche Werte können in der Testplattform für die Produktionskapazitäten aller Unternehmen, für alle Bedarfe sowie für die maximalen, periodenabhängigen Liefermengen der Lieferanten gepflegt werden.

6.1.2 AUSWAHL DER VERFAHREN

Nachdem die Schritte eins bis sechs abgeschlossen sind und alle Stammdaten vorliegen, werden die Verfahren für die einzelnen Planungsschritte in Schritt sieben ausgewählt und konfiguriert. Abbildung 6.6 zeigt einen Screenshot der dazugehörigen Maske.

[390] Dabei handelt es sich um ein Szenario mit 52 Zeitabschnitten, die jeweils sieben Perioden enthalten. Im Gesamten existieren damit ca. 65000 Eingabefelder. Davon ist nur ein Teil in Abbildung 6.5 zu sehen.

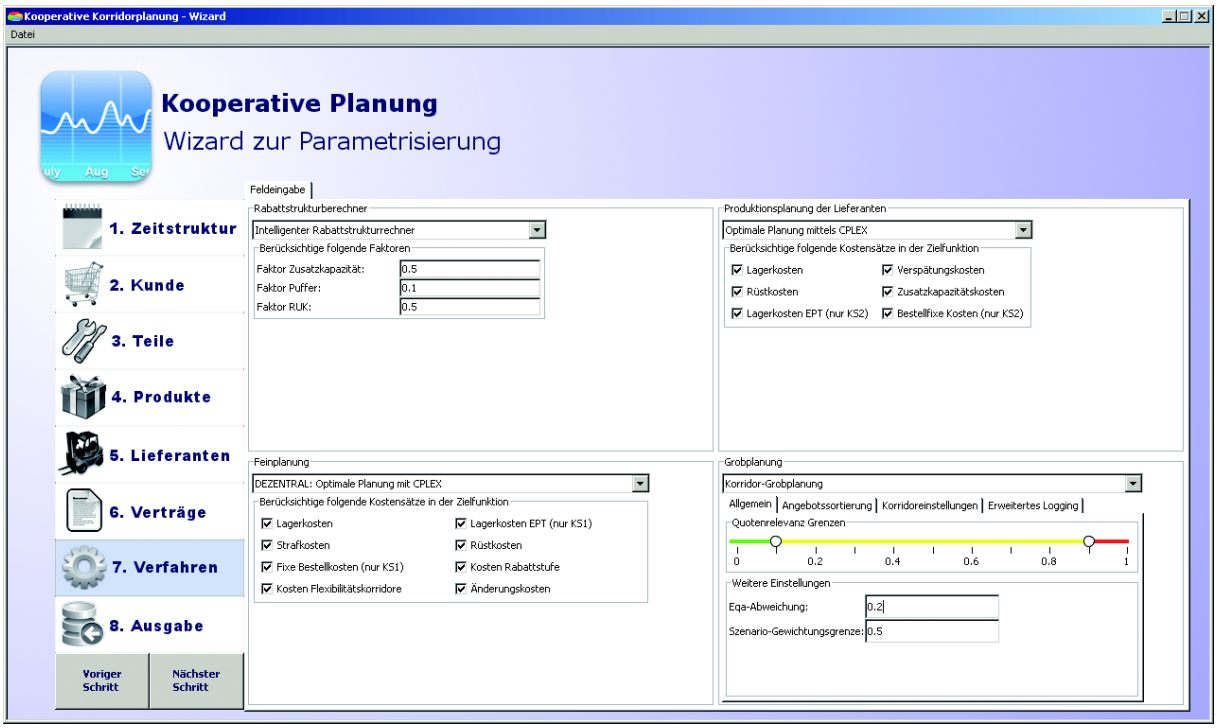


Abbildung 6.6: Auswahl und Konfiguration der Verfahren

Im linken oberen Bereich des Hauptfensters wird ein Grobplanungsverfahren des Lieferanten ausgewählt. Dabei kann aus dem in Abschnitt 5.2.1.1 beschriebenen Verfahren oder einem der in Abschnitt 5.2.4.1.1 beschriebenen Gegner gewählt werden. Falls vorhanden, können dem Verfahren Parameter übergeben werden, wie bspw. die Puffergröße oder die Entscheidungsgrenze der im Konzeptteil beschriebenen Grobplanung der Lieferanten. Im rechten oberen Bereich der Maske kann die Feinplanung der Lieferanten konfiguriert werden, wobei gezielt einzelne Kostenarten aus den Modellen entfernt werden können, falls diese nicht betrachtet werden sollen. Links unten kann die Feinplanung des Kunden für das Szenario definiert werden. Dabei kann aus den in Abschnitt 5.2.2 beschriebenen Modellen und den in Abschnitt 5.2.4.2 beschriebenen Gegnern gewählt werden. Wie beim Lieferanten können Modelle konfiguriert werden, in dem einzelne Kostenarten selektiert bzw. deselektiert werden. Im rechten unteren Bereich kann das Grobplanungsverfahren des Kunden ausgewählt und konfiguriert werden. Dabei kann das in Abschnitt 5.2.1.2 beschriebene Grobplanungsverfahren des Kunden gewählt und anhand aller beschriebenen Parameter gepflegt oder ein Gegner aus Abschnitt 5.2.4.1.2 ausgewählt werden.

Nachdem alle Stammdaten und Verfahren gepflegt wurden, kann im letzten Schritt noch einer der Gegner mit vollständigem Wissen, die in Abschnitt 5.2.4.3 beschrieben wurden, ausgewählt und schließlich die Art der Ausgabe bestimmt werden.

6.1.3 Planung

Um eine größtmögliche Transparenz auch während der Planung zu ermöglichen, wurde die Visualisierung der Planung so umgesetzt, dass einzelne Abläufe innerhalb der Gesamtplanung schrittweise durchgeführt und anschließend analysiert werden können. Abbildung 6.7 zeigt einen Screenshot einer laufenden Planung.

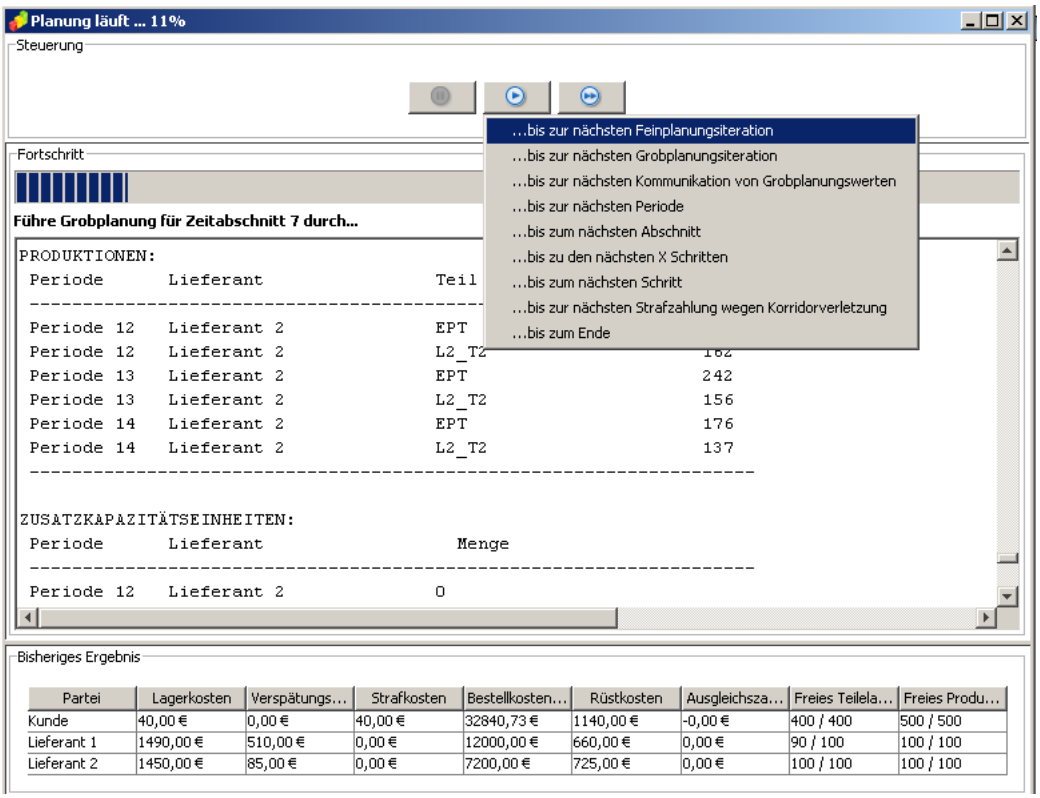
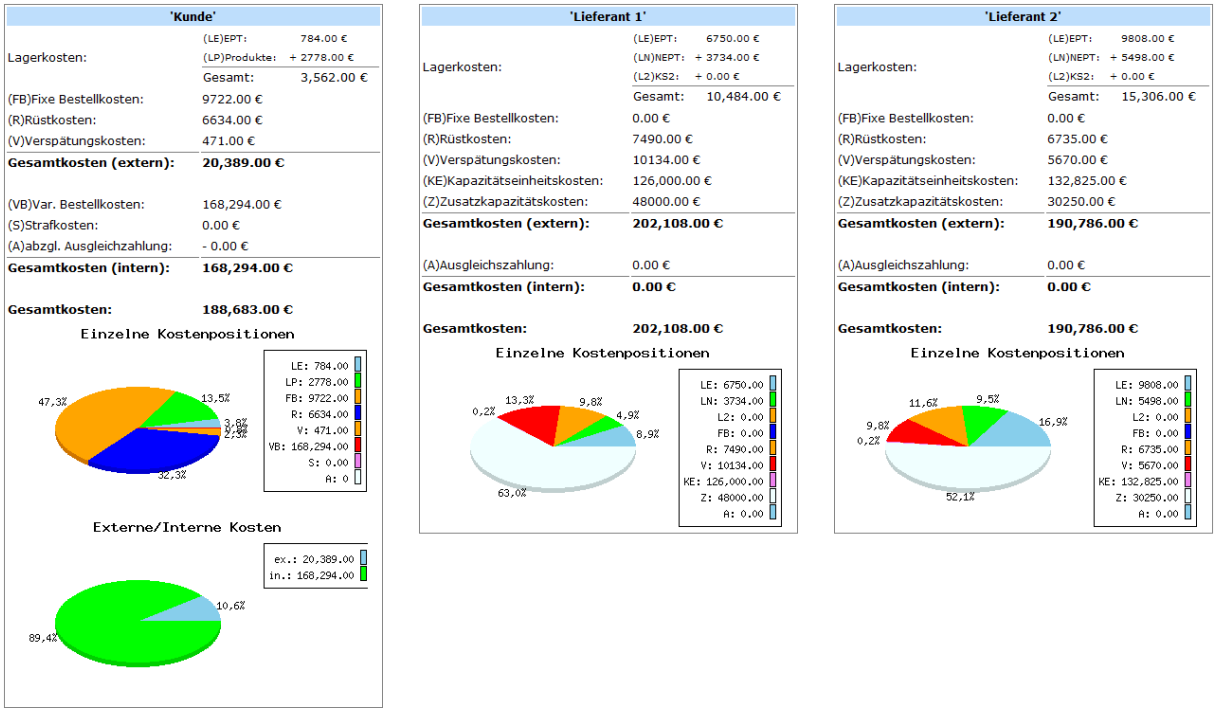


Abbildung 6.7: Visualisierung der laufenden Planung

Im oberen Bereich kann die Planung durch die im Menü angezeigten Schritte gesteuert werden. Darunter zeigt ein Fortschrittsbalken den bislang erzielten Fortschritt im Verhältnis zum gesamten Vertragshorizont an. Im Hauptfenster informiert eine Log-Ausgabe über die wichtigsten Planungsereignisse. Im unteren Bereich befindet sich schließlich eine Übersicht über alle relevanten Kosten sowie die Lagerauslastung zum aktuellen Planungszeitpunkt.

6.1.4 AUSWERTUNG

Nachdem die Planung für den gesamten Vertragshorizont abgeschlossen wurde, kann sie auf vielfältige Art analysiert werden. Dabei werden die einzelnen Szenarien und die Resultate in einer Datenbank gespeichert, so dass alle Ergebnisse jederzeit wieder nachvollzogen und Ergebnisse verschiedener Verfahren miteinander verglichen werden können. Weiterhin ist es möglich, alle aufgetretenen Kosten des Gesamtergebnisses einzeln zu analysieren und zu vergleichen. Zudem ist es möglich, die Zwischenergebnisse jeder einzelnen Planungsperiode und die dort aufgetretenen Kosten nachträglich zu visualisieren und zu analysieren. Abbildung 6.8 zeigt einen Screenshot der Ergebnisanalyse der Gesamtplanung.



'Kunde'

Lagerkosten:	(LE)EPT:	784.00 €
	(LP)Produkte:	+ 2778.00 €
	Gesamt:	3,562.00 €
(FB)Fixe Bestellkosten:	9722.00 €	
(R)Rüstkosten:	6634.00 €	
(V)Verspätungskosten:	471.00 €	
Gesamtkosten (extern):	**20,389.00 €**	
(VB)Var. Bestellkosten:	168,294.00 €	
(S)Strafkosten:	0.00 €	
(A)abzgl. Ausgleichzahlung:	- 0.00 €	
Gesamtkosten (intern):	**168,294.00 €**	
Gesamtkosten:	**188,683.00 €**	

Einzelne Kostenpositionen

Externe/Interne Kosten

'Lieferant 1'

Lagerkosten:	(LE)EPT:	6750.00 €
	(LN)NEPT:	+ 3734.00 €
	(L2)KS2:	+ 0.00 €
	Gesamt:	10,484.00 €
(FB)Fixe Bestellkosten:	0.00 €	
(R)Rüstkosten:	7490.00 €	
(V)Verspätungskosten:	10134.00 €	
(KE)Kapazitätseinheitskosten:	126,000.00 €	
(Z)Zusatzkapazitätskosten:	48000.00 €	
Gesamtkosten (extern):	**202,108.00 €**	
(A)Ausgleichszahlung:	0.00 €	
Gesamtkosten (intern):	**0.00 €**	
Gesamtkosten:	**202,108.00 €**	

Einzelne Kostenpositionen

'Lieferant 2'

Lagerkosten:	(LE)EPT:	9808.00 €
	(LN)NEPT:	+ 5498.00 €
	(L2)KS2:	+ 0.00 €
	Gesamt:	15,306.00 €
(FB)Fixe Bestellkosten:	0.00 €	
(R)Rüstkosten:	6735.00 €	
(V)Verspätungskosten:	5670.00 €	
(KE)Kapazitätseinheitskosten:	132,825.00 €	
(Z)Zusatzkapazitätskosten:	30250.00 €	
Gesamtkosten (extern):	**190,786.00 €**	
(A)Ausgleichszahlung:	0.00 €	
Gesamtkosten (intern):	**0.00 €**	
Gesamtkosten:	**190,786.00 €**	

Einzelne Kostenpositionen

Abbildung 6.8: Ergebnisanalyse der Testplattform

Dieses Beispiel zeigt nur einen Teilbereich der gesamten Auswertung, indem die Kosten, die für den Kunden und die beiden Lieferanten entstanden sind, dargestellt sind. Zusätzlich können u.a. noch Lager- und Kapazitätsauslastungen im Zeitverlauf sowie die Einhaltung der Quote betrachtet werden.

6.2 Szenarien

6.2.1 Grobplanung

In diesem Abschnitt wird zunächst ein Basisszenario beschrieben, das die Grundlage für die Auswertung der Grobplanung darstellt. Dabei wird eine Übersicht der vorhandenen statischen Einstellungen gegeben. Im Anschluss werden Instanzen des Basisszenarios beschrieben, die sich in der Höhe der Schwankung des Bedarfs im Zeitverlauf unterscheiden. Tabelle 6.1 zeigt eine Übersicht der Einstellungen des Basisszenarios der Grobplanung.

Zeitstruktur:	***Zeitabschnitte***	***Perioden***
Anzahl	52	2
Kunde (Lagerung):	***Teilelager***	***Produktlager***
Kapazität	400	500
Kosten	10 GE	10 GE
Kooperationsstufe	*Lagerverantwortlichkeit beim Kunden (KS1)*	
Kunde (Produktion):		
Kapazität	*800 pro Periode*	
Teile:	***Engpassteile***	***Nichtengpassteile***
Bezeichnung	*EPT*	*L1_T1, L2_T1*
Produkte:	***Engpassprodukte***	***Nichtengpassprodukte***
Bezeichnung	*EPP*	*NEPP*
Kapazitätsbedarf	1	1
Rüstzeit	25	22
Rüstkosten	50 GE	45 GE
Verspätungskosten	15 GE	13 GE
Eingehende Teile	*EPT*	
Bedarfe	*Zielwert/Schwankung(o./u.)/Dichte* [200/25/25/100]	*Zielwert/Schwankung(o./u.)/Dichte* [300/35/35/100]
Planverspätungskosten	*entsprechen den Verspätungskosten*	
Lieferanten (Daten):		
Bezeichnung	*Lieferant 1*	*Lieferant 2*
Kapazität/ Kapazitätseinheit	100	150
Maximale Kapazität	300	450
Kosten/ Kapazitätseinheit	750 GE	900 GE
Kosten/Zusatzkapazitätseinheit	1500 GE	1800 GE
Geplante Kapazitätseinheiten	1	1
Lagerkosten	10 GE	10 GE
Lagerkapazität	100	100
Produktion von:	***EPT***	***EPT***
Kapazitätsbedarf	1	1
Rüstkosten	40 GE	40 GE
Rüstzeiten	5	5
Produktion von:	***L1_T1***	***L2_T1***
Kapazitätsbedarf	1	1
Rüstkosten	50 GE	45 GE
Rüstzeiten	5	5
Verspätungskosten	15 GE	17 GE
Bedarfe	*Anzahl ZA/Zielwert/Schwankung* 26 ZA [50/25] 26 ZA [200/25]	*Anzahl ZA/Zielwert/Schwankung* 26 ZA [50/25] 26 ZA [250/25]
Planverspätungskosten	*entsprechen den Verspätungskosten*	
Lieferanten (Vertrag):	***Lieferant 1***	***Lieferant 2***
Fixe Bestellkosten	100 GE	110 GE
Zonen	*je 2 Zeitabschnitte* (+/- 10% / +/- 25% / +/- 50%)	
Korridore	1 ZA *eingefrorene Zone*, 3 ZA *mit Strafe*, 2 ZA *ohne Strafe*	
Strafe (unten)	Realisiert: 10 GE GP: ZA(2/3/4): (5 GE /3 GE /2 GE); FP: ZA(1/2): (5 GE /3 GE)	
Strafe (oben)	Realisiert: 8 GE GP: ZA(2/3/4): (4 GE /3 GE /2 GE); FP: ZA(1/2): (4 GE /3 GE)	
Abweichungskosten	*keine Abweichungskosten*	
Quote *EPT*	40%	60%
Maximale Bestellmenge *EPT*	*200 pro Periode*	*250 pro Periode*
Rabattstruktur *EPT*	1-100: 16 GE 101-250: 15 GE 251-400: 14 GE	1-129: 16,1 GE 130-300: 15 GE 301-500: 13,9 GE

Tabelle 6.1: Einstellungen des Basisszenarios Grobplanung

Das Szenario besteht aus einem Kunden und zwei Lieferanten. Alle Parteien stellen jeweils zwei Produkte her, wobei die Produkte der Lieferanten als Teile bezeichnet werden. Dabei stellt der Kunde ein Produkt her, das genau ein Engpassteil als Input benötigt, und ein Produkt, das ohne das Engpassteil auskommt. Die Lieferanten produzieren jeweils das *EPT* und ein anderes Teil, das nicht an den betrachteten Kunden geliefert wird. Der Vertragshorizont besteht aus 52 Zeitabschnitten mit jeweils zwei Perioden und kann daher als Jahr, das in Wochen unterteilt wird, in denen jeweils zwei Planungsläufe stattfinden, betrachtet werden. Der Kunde besitzt eine Produktionskapazität von 800 Zeiteinheiten pro Periode sowie eine Lagerkapazität von 500 Produkten und 400 Teilen. Dabei kostet die Lagerung pro Einheit jeweils zehn GE.

Die Herstellung des Engpassprodukts beansprucht eine Einheit dieser Produktionskapazität. Ein Rüstvorgang des *EPP* verbraucht 25 Zeiteinheiten und kostet 50 GE. Werden die Bedarfe des *EPP* nicht fristgerecht erfüllt, entstehen Strafkosten in Höhe von 15 GE pro verspäteter Mengeneinheit und Periode. Die Produktion eines Nichtengpassproduktes beansprucht eine Zeiteinheit. Ein Rüstvorgang des *NEPP* verbraucht 22 Zeiteinheiten und kostet 45 GE. Durch Verspätung fallen für das *NEPP* Strafkosten in Höhe von 13 GE an. Die Planverspätungskosten entsprechen für beide Produkte den Verspätungskosten. Die Bedarfe des Szenarios werden für das *EPP* so gebildet, dass zufällige Abweichungen in Höhe von 25% in beide Richtungen um einen Zielwert von 200 gebildet werden. Diese Bedarfe werden in 100% aller Fälle gebildet. Für das NEPP beträgt der Zielwert 300, die Schwankungen in beide Richtungen 35% und die Dichte ebenfalls 100%.

Die maximale Kapazität von Lieferant 1 beträgt 300 Zeiteinheiten pro Periode, wobei diese in maximal drei einzelne Kapazitätseinheiten mit einer Kapazität von 100 Zeiteinheiten aufgeteilt sind. Geplant ist dabei als Basis immer eine Kapazitätseinheit pro Periode. Eine Kapazitätseinheit kostet 750 GE pro Periode, sollte diese bereits in der Grobplanung geplant werden, und 1500 GE pro Periode, sollte diese zusätzlich in der Feinplanung gebucht werden. Lieferant 2 besitzt eine maximale Kapazität von 450 Zeiteinheiten pro Periode, die ebenfalls in drei Kapazitätseinheiten aufgeteilt und mit einem Basiswert von eins vorgegeben ist. Die normalen Kosten einer Kapazitätseinheit betragen 900 GE, die Zusatzkapazitätskosten 1800 GE. Beide Lieferanten verfügen über ein Lager mit einer Kapazität von 100 und bezahlen zehn GE für die Lagerung jedes Teils in jeder Periode. Für eine Produktion eines *EPT* werden durch beide Lieferanten eine Zeiteinheit durch die Produktion an sich sowie fünf Zeiteinheiten durch das Rüsten verbraucht. Die Rüstkosten betragen dabei für beide Lieferanten 40 GE. *L1_T1* und *L2_T1* verbrauchen zur Produktion jeweils eine Kapazitätseinheit. Lieferant 1 benötigt für den Rüstvorgang einen Aufwand von 50 GE und fünf Zeiteinheiten, Lieferant 2 rüstet zum Preis von 45 GE und benötigt dafür ebenfalls fünf Zeiteinheiten. Verspätungskosten entsprechen den Planverspätungskosten und betragen 15 GE für *L1_T1* und 17 GE für *L2_T1*. Die Bedarfe für die Teile der Lieferanten werden in diesem Szenario mit einer anderen Methode gebildet als die Bedarfe des Kunden. Diese Methode erlaubt Schwankungen zwischen einzelnen Zeitabschnitten zu erzeugen und wurde in Abschnitt 6.1.1.2 erläutert. Für beide Lieferanten wurde definiert, dass in 26 Zeitabschnitten hohe und in den restlichen niedrige Bedarfe herrschen sollen. Für *L1_T1* wurde dabei für Zeitabschnitte niedriger Bedarfe ein Zielwert von 50 und eine maximale Schwankung von 25, für Zeitabschnitte hoher Bedarfe ein Zielwert von 200 und eine Schwankung von maximal 25 angegeben. *L2_T1* besitzt die gleichen Werte, bis auf den Unterschied, dass bei Zeitabschnitten hoher Bedarfe ein Zielwert von 250 vorliegt.

Die Verträge zwischen dem Kunden und den beiden Lieferanten unterliegen den folgenden Konditionen: für Bestellungen fallen fixe Kosten in Höhe von 100 GE (Lieferant 1) bzw. 110 GE (Lieferant 2) an. Die Gestaltung der Flexibilitätskorridore und Abweichungskosten ist bei beiden

Lieferanten identisch. Dabei existieren drei Flexibilitätskorridore mit den prozentualen Abweichungen 10%, 25% und 50%, die jeweils eine Länge von zwei Zeitabschnitten umfassen. Die eingefrorene Zone hat eine Länge von einem Zeitabschnitt, der Strafbereich eine Länge von drei Zeitabschnitten und der freie Bereich eine Länge von zwei Zeitabschnitten. Gerade realisierte Zeitabschnitte werden mit Kosten von zehn GE pro unterschrittener Menge und 8 GE pro überschrittener Menge abgerechnet. Da in der Grobplanung keine Korridoranpassungen für den nächsten zu planenden Zeitabschnitt möglich sind[391], sind die Kosten für die Zeitabschnitte 2 bis 4, die im Strafbereich liegen, gepflegt. Diese betragen für Zeitabschnitt 2 für eine Unterschreitung fünf GE und für eine Überschreitung vier GE. In Zeitabschnitt 3 und Zeitabschnitt 4 werden für Über- und Unterschreitungen jeweils drei GE (ZA 3) bzw. zwei GE (ZA 4) fällig. Im Rahmen der Feinplanung dienen die angesetzten Strafkosten als Steuerung. Im ersten Zeitabschnitt werden sie mit fünf GE für eine Unter- und vier GE für eine Überschreitung angesetzt, im zweiten Zeitabschnitt mit jeweils drei GE pro Mengeneinheit außerhalb des Korridors. Kosten für Abweichungen werden im Basisszenario nicht gepflegt. Der Kunde bezieht 40% der Engpassteile von Lieferant 1 und 60% von Lieferant 2. Innerhalb einer Periode können bei Lieferant 1 maximal 200 Mengeneinheiten (ME) und bei Lieferant 2 maximal 250 ME bestellt werden. Bis zu einer aggregierten Bestellmenge pro Zeitabschnitt von 100 ME zahlt der Kunde bei Lieferant 1 16 GE pro ME, zwischen 101 und 250 ME einen Preis von 15 GE und zwischen 251 bis zu 400 ME 14 GE. Die Rabattstruktur von Lieferant 2 sieht Preise von 16,1 GE für 1 bis 129 ME, 15 GE für 130 bis 300 ME und 13,9 GE für 301 bis 500 ME vor.

Damit ist das Basisszenario beschrieben, auf dem einzelne Szenarien aufbauen, die im Folgenden erläutert werden und sich anhand der zufällig generierten Bedarfe unterscheiden. Hinsichtlich der Bedarfe wird eine Unterteilung der Szenarien in drei Fälle vorgenommen:

- Keine Bedarfsschwankungen.
- Mittlere Bedarfsschwankungen.
- Hohe Bedarfsschwankungen.

Diese Ausprägungen werden durch die Zufallsfunktion der Testplattform erstellt.[392] Die Einstellungen dazu sind in Tabelle 6.2 dargestellt.

	EPP	NEPP	L1_T1	L2_T1
(A) Keine Bedarfsschwankungen	Basiswerte: [200/25/25/100]	Basiswerte: [300/35/35/100]	Basiswerte: 26 ZA: [50/25] 26 ZA: [200/25]	Basiswerte: 26 ZA: [50/25] 26 ZA: [250/25]
(B) Mittlere Bedarfsschwankungen	Schwankungen: [210/25/25/200]	Schwankungen: [300/35/35/200]	Schwankungen: [25/25/200] (Bedarfe > 0)	Schwankungen: [25/25/200] (Bedarfe > 0)
(C) Hohe Bedarfsschwankungen	Schwankungen: [210/25/25/800]	Schwankungen: [300/35/35/800]	Schwankungen: [25/25/800] (Bedarfe > 0)	Schwankungen: [25/25/800] (Bedarfe > 0)

Tabelle 6.2: Bedarfe im Grobplanungsszenario

Die Basiswerte gelten dabei für alle Szenarien und wurden bereits in der Beschreibung des Basisszenarios erläutert. Für die Szenarien ohne Bedarfsschwankungen, die im Folgenden auch mit (A) klassifiziert werden, bleiben die einmal erzeugten Werte im Zeitverlauf bestehen. Im Falle mittlerer Bedarfsschwankungen (B) werden für das Engpassprodukt im Gesamten 200 Werte erzeugt, die sich mit einer Abweichung von 25% in beide Richtungen um einen Zielbedarf

[391] Vgl. Abschnitt 5.1.2.2.2.
[392] Vgl. Abschnitt 6.1.1.2.

von 210 bewegen und damit eine im Mittel leichte Erhöhung der Bedarfe simulieren. Diese Werte werden zufällig an irgendeiner Stelle der in Abschnitt 6.1.1.2 vorgestellten Datenstruktur veränderlicher Daten eingefügt.[393] Somit kann es vorkommen, dass für einzelne Perioden mehrere Änderungen erzeugt werden und dass die Bedarfe anderer Perioden konstant bleiben. Für das Nichtengpassprodukt werden ebenfalls 200 aktualisierte Bedarfe, in diesem Fall mit einem Zielwert von 300 und einer symmetrischen Abweichung von 35%, erzeugt. Für die Teile der Lieferanten erfolgt die Erzeugung der Abweichung auf einem anderen Weg, da durch eine rein zufällige Erzeugung aktualisierter Bedarfe der Unterschied zwischen Zeitabschnitten mit viel und Zeitabschnitten mit weniger Bedarf zum Teil aufgehoben würde. Daher werden in diesem Fall Schwankungen nur für Bedarfe erzeugt, die auch schon im Basisszenario vorhanden sind. Für diese Perioden wird in 200 Fällen eine symmetrische Schwankung von 25% um den Basisbedarf gebildet. Dabei können auch wieder mehrere Schwankungen für eine Periode auftreten. Die Klasse der hohen Bedarfsschwankungen (C) wird prinzipiell genauso gebildet wie (B) und unterscheidet sich nur darin, dass anstatt von je 200 Änderungen 800 Änderungen auftreten.

Für die beschriebenen drei Klassen von Szenarien werden jeweils drei Instanzen mit den gleichen Einstellungen der Zufallswerte gebildet, um eine größere Datenbasis für die in der Auswertung gewonnenen Erkenntnisse zu besitzen. Diese werden im Folgenden mit A1-A3, B1–B3 und C1-C3 bezeichnet. Damit existieren neun Szenarien, die analysiert werden sollen. Um eine Aussage über den Nutzen der in 5.2.1 vorgestellten Verfahren der Lieferanten- und Kundengrobplanung zu erhalten, werden unterschiedliche Kombinationen an Verfahren für die Grobplanung vorgegeben und anhand der entstandenen Kosten verglichen. Diese Verfahren sind:

- Grobplanung Lieferant:
  - Verfahren aus Abschnitt 5.2.1.1. **(GL).**
  - Keine Angebote - Festlegung der Kapazitäten im Planungshorizont **(FKP).**
- Grobplanung Kunde:
  - Verfahren aus Abschnitt 5.2.1.2. **(GK).**
  - Grobplanung nach Quoten **(GQ).**

Damit sollen Auswertungen für die 36 in Tabelle 6.3 dargestellten Szenarien durchgeführt werden.

Bedarf	Grobplanung Lieferant	Grobplanung Kunde
(A1-A3)	FKP	GQ
(A1-A3)	GL	GQ
(A1-A3)	FKP	GK
(A1-A3)	GL	GK
(B1-B3)	FKP	GQ
(B1-B3)	GL	GQ
(B1-B3)	FKP	GK
(B1-B3)	GL	GK
(C1-C3)	FKP	GQ
(C1-C3)	GL	GQ
(C1-C3)	FKP	GK
(C1-C3)	GL	GK

Tabelle 6.3: Szenarien für die Grobplanung

[393] Da es sich um insgesamt 104 Perioden handelt, kann dies an einer von ca. 5000 Stellen erfolgen.

Die Analyse erfolgt jeweils mit der in Abschnitt 5.2.2.3 beschriebenen Feinplanung der Kooperationsstufe 1.

Um die Grobplanung des Kunden isoliert zu analysieren, wird für die beschriebenen Szenarien zudem ein Fall getestet, in dem die Angebote der Lieferanten vor der Planung festgelegt werden und diese keine Grobplanung durchführen. Dabei existieren pro Lieferant jeweils in zehn Zeitabschnitten Angebote. Tabelle 6.4 zeigt die Angebote von Lieferant 1.

ZA	Kenntnis	Angebot	
4	2	251-400:	13 GE
7	4	101-200: 201-400:	15 GE 14 GE
11	5	101-250:	14,5 GE
14	11	251-400:	13,2 GE
26	24	1-50: 51-250:	16 GE 15 GE
30	26	251-450:	14 GE
32	30	1-100:	15,01 GE
40	39	251-400:	13 GE
44	40	101-250:	14,01 GE
50	46	251-400:	13,2 GE

Tabelle 6.4: Grobplanung feste Angebote - Angebote Lieferant 1

Die linke Spalte gibt an, für welchen Zeitabschnitt das Angebot gilt, die Spalte Kenntnis, ab welchem Zeitabschnitt das Angebot bekannt ist. Tabelle 6.5 zeigt die Angebote für Lieferant 2.

ZA	Kenntnis	Angebot	
3	2	130-250: 251-500:	15 GE 13,9 GE
12	6	1-69: 70-300:	16,1 GE 15 GE
15	11	301-500:	13 GE
18	12	301-500:	12,8 GE
20	18	130-300:	14,2 GE
23	22	1-129:	15,1 GE
35	30	301-500:	13,3 GE
40	36	301-540:	13,9 GE
42	40	301-500:	12,9 GE
46	43	130-279: 280-500:	15 GE 13,9 GE

Tabelle 6.5: Grobplanung feste Angebote - Angebote Lieferant 2

Die Ergebnisse der Grobplanungsanalyse werden in Abschnitt 6.3.1 vorgestellt.

6.2.2 FEINPLANUNG

Analog zur Grobplanung im vorherigen Abschnitt wird auch in diesem Abschnitt zunächst ein Basisszenario beschrieben und im Anschluss die Erstellung unterschiedlicher Bedarfe erläutert.

Nachfolgend werden in Abschnitt 6.2.2.1 weitere Instanzen des Szenarios beschrieben, die sich hinsichtlich der Kooperationsstufe und der Abweichungskosten unterscheiden und die dazu dienen, die dazugehörigen Mechanismen bzgl. der entstehenden Kosten zu analysieren. Anhand dieser Parameter werden insgesamt 36 Szenarien für die Feinplanung ohne Profit-Sharing vorgestellt. Im Anschluss werden in Abschnitt 6.2.2.2 anhand unterschiedlicher Parameter für das Profit-Sharing wiederum 36 Szenarien erläutert. Tabelle 6.6 zeigt eine Übersicht der

Einstellungen des Basisszenarios. In diesem ist die Kooperationsstufe 1 gewählt und es sind keine Bedarfsschwankungen und Abweichungskosten gepflegt.

Zeitstruktur:	***Zeitabschnitte***	***Perioden***
Anzahl	52	7
Kunde (Lagerung):	***Teilelager***	***Produktlager***
Kapazität	100	100
Kosten	2 GE	2 GE
Kooperationsstufe	*Lagerverantwortlichkeit beim Kunden (KS1)*	
Kunde (Produktion):		
Kapazität	*100 pro Periode*	
Teile:	***Engpassteile***	***Nichtengpassteile***
Bezeichnung	*EPT*	*L1_T1, L2_T1*
Produkte:	***Engpassprodukte***	***Nichtengpassprodukte***
Bezeichnung	*EPP*	*NEPP*
Kapazitätsbedarf	1	1
Rüstzeit	10	9
Rüstkosten	20 GE	18 GE
Verspätungskosten	6 GE	5 GE
Eingehende Teile	*EPT*	
Bedarfe	*Zielwert/Schwankung(o./u.)/Dichte* [50/50/50/60]	*Zielwert/Schwankung(o./u.)/Dichte* [40/20/20/30]
Planverspätungskosten	*entsprechen den Verspätungskosten*	
Lieferanten (Daten):		
Bezeichnung	*Lieferant 1*	*Lieferant 2*
Kapazität/Kapazitätseinheit	30	40
Maximale Kapazität	90	120
Kosten/Kapazitätseinheit	250 GE	275 GE
Kosten/Zusatzkapazitätseinheit	500 GE	550 GE
Geplante Kapazitätseinheiten	1	1
Lagerkosten	2 GE	2 GE
Lagerkapazität	100	100
Produktion von:	***EPT***	***EPT***
Kapazitätsbedarf	1	1
Rüstkosten	16 GE	16 GE
Rüstzeiten	10	10
Produktion von:	***L1_T1***	***L2_T1***
Kapazitätsbedarf	1	1
Rüstkosten	21 GE	19 GE
Rüstzeiten	10	10
Verspätungskosten	6 GE	7 GE
Bedarfe	*Zielwert/Schwankung(o./u.)/Dichte* [50/40/40/30]	*Zielwert/Schwankung(o./u.)/Dichte* [70/40/40/25]
Planverspätungskosten	*entsprechen den Verspätungskosten*	
Lieferanten (Vertrag):	***Lieferant 1***	***Lieferant 2***
Fixe Bestellkosten	30 GE	32 GE
Zonen	*keine Zonen*	
Korridore	*keine Korridore*	
Strafe (unten)	*keine Strafen*	
Strafe (oben)	*keine Strafen*	
Abweichungskosten	*keine Abweichungskosten*	
Quote *EPT*	40%	60%
Maximale Bestellmenge *EPT*	*80 pro Periode*	*110 pro Periode*
Rabattstruktur *EPT*	1-220: 16,5 GE 221-500: 14 GE	1-300: 16 GE 301-700: 13,8 GE

Tabelle 6.6: Einstellungen des Basisszenarios Feinplanung

Analog zur Grobplanung werden wiederum verschiedene Bedarfstypen erzeugt. Die dazugehörigen Daten finden sich in Tabelle 6.7.

	EPP	NEPP	L1_T1	L2_T1
(D) Keine Bedarfs-schwankungen	Basiswerte: [50/50/50/60]	Basiswerte: [40/20/20/30]	Basiswerte: [50/40/40/30]	Basiswerte: [70/40/40/25]
(E) Mittlere Bedarfs-schwankungen	Schwankungen: [50/50/50/5000] [0/0/0/3000]	Schwankungen: [40/20/20/5000] [0/0/0/3000]	Schwankungen: [50/40/40/5000] [0/0/0/3000]	Schwankungen: [70/40/40/5000] [0/0/0/3000]
(F) Hohe Bedarfs-schwankungen	Schwankungen: [50/50/50/15000] [0/0/0/7000]	Schwankungen: [40/20/20/15000] [0/0/0/7000]	Schwankungen: [50/40/40/15000] [0/0/0/7000]	Schwankungen: [70/40/40/15000] [0/0/0/7000]

Tabelle 6.7: Bedarfe im Feinplanungsszenario

Im Gegensatz zu den Szenarien der Grobplanung wurden die Bedarfsschwankungen in diesem Fall so erzeugt, dass zunächst jeweils eine Anzahl an Änderungen mit positivem Bedarf erzeugt wurde und anschließend Änderungen hinzugefügt wurden, bei denen Bedarfe von null entstehen.[394] Dies hat den Sinn, dass im Gegensatz zu den Grobplanungsszenarien in diesem Fall für alle Produkte Bedarfe mit einer Dichte von weniger als 100% erzeugt wurden. Werden zu diesen Bedarfen Änderungen hinzugefügt, so entstehen im Zeitverlauf zusätzliche Bedarfe. Auf der anderen Seite verschwinden Bedarfe aber nicht, wenn die Schwankung um einen Zielwert mit einem Wert von unter 100% angegeben wird. Daher wird durch das Erzeugen von Nullbedarfen ein Ausgleich zu den zusätzlichen Bedarfen erschaffen, wodurch im Gesamten eine turbulente Umwelt mit sich verändernden, mit neu hinzukommenden und mit wegfallenden Bedarfen modelliert wird. Da es sich um ein großes Szenario mit 364 Perioden und daher mit einer Datenstruktur von ca. 65000 Einträgen für die veränderlichen Bedarfe handelt, werden im Falle einer mittleren Bedarfsschwankung jeweils 5000 Werte hinzugefügt und 3000 Werte mit Nullbedarfen eingefügt. Bei einer hohen Bedarfsschwankung liegen diese Werte bei 15000 bzw. 7000 Einträgen.[395]

Für diese Szenarienklassen werden wiederum jeweils drei Instanzen mit den gleichen Zufallswerten erzeugt. Somit existieren wie in der Grobplanung neun Grundszenarien, die im Weiteren mit D1-D3, E1-E3 und F1-F3 bezeichnet werden.

Die Analyse für alle im Folgenden beschriebenen Szenarien erfolgt jeweils mit den Grobplanungsverfahren „Keine Rabattbestimmung - Festlegung der Kapazitäten im Planungshorizont“ für die Lieferanten[396] und „Grobplanung nach Quoten“ des Kunden[397], um den Fokus auf die Feinplanung zu legen und die Ergebnisse getrennt von der Grobplanung bewerten zu können. Dabei wird dem Kunden eine maximale Abweichung von 1 ME pro Zeitabschnitt im Vergleich zur Quote zugestanden.

[394] Auf eine erneute Beschreibung der Parameter zur Bedarfserzeugung wird an dieser Stelle verzichtet, da diese bereits in Abschnitt 6.2.1 erfolgt ist.
[395] Die Anzahl an Nullbedarfen wurde deshalb geringer gewählt, da diese viele der bereits erzeugten Bedarfe im Nachhinein komplett annulieren können, wohingegen Bedarfsänderungen oftmals keine besonders großen Schwankungen hervorrufen.
[396] Vgl. Abschnitt 5.2.4.1.1
[397] Vgl. Abschnitt 5.2.4.1.2.

6.2.2.1 Feinplanung ohne Profit-Sharing

In der Feinplanung ohne Profit-Sharing werden die im vorigen Abschnitt beschrieben Szenarien mit unterschiedlichen Kooperationsstufen sowie mit unterschiedlichen Ausprägungen der Abweichungskosten untersucht.

Die Ausprägung der Kooperationsstufen wird danach unterschieden, ob Kooperationsstufe 1 (KS1) oder Kooperationsstufe 2 (KS2) gewählt wurde. Die Abweichungskosten (AWK) werden danach unterschieden, ob diese gepflegt werden oder nicht. Im Falle der Berücksichtigung wurden diese für beide Lieferanten jeweils auf einen Wert von 5 GE für die jeweils nächsten zehn Perioden gesetzt.

Alle Kombinationen aus den genannten Faktoren sollen untersucht werden. Somit ergeben sich 36 Szenarien, die in Tabelle 6.8 dargestellt sind.

Bedarf	Kooperationsstufe	Abweichungskosten
(D1-D3)	KS1	nein
(D1-D3)	KS1	ja
(D1-D3)	KS2	nein
(D1-D3)	KS2	ja
(E1-E3)	KS1	nein
(E1-E3)	KS1	ja
(E1-E3)	KS2	nein
(E1-E3)	KS2	ja
(F1-F3)	KS1	nein
(F1-F3)	KS1	ja
(F1-F3)	KS2	nein
(F1-F3)	KS2	ja

Tabelle 6.8: Szenarien für die Feinplanung ohne Profit-Sharing

Die Analyse dieser Szenarien erfolgt in Abschnitt 6.3.2.1.

Zusätzlich werden die Auswirkungen von Planverspätungskosten[398] für alle Grundszenarien D1-F3 untersucht. Dabei werden die in Tabelle 6.9 dargestellten Werte für Planverspätungskosten gepflegt.

EPP	NEPP	L1_T1	L2_T1
1-1: 6	1-1: 6	1-1: 6	1-1: 7
2-3: 4	2-3: 4	2-3: 4	2-3: 5
4-6: 2	4-6: 2	4-6: 2	4-6: 2
7-PH: 0	7- PH: 0	7- PH: 0	7- PH: 0

Tabelle 6.9: Planverspätungskosten

Dabei entsprechen die Planverspätungskosten der ersten Periode den Verspätungskosten, die bei einer realen Verspätung anfallen. Ab der zweiten Periode werden diese dann geringer, da das Eintreffen der Verspätung noch nicht sicher ist. Ab Periode 7 existieren keine Planverspätungskosten mehr.

Die bisher beschriebenen Szenarien werden in Kombination mit einer Kapazitätsplanung im Rahmen der Grobplanung der Lieferanten durchgeführt. Zusätzlich werden die Planverspätungskosten noch in einer Situation analysiert, in der die Lieferanten nur die Kapazität auslesen und diese nicht im Rahmen der Grobplanung ändern können. Dabei wird auch untersucht, wie es sich auf das Ergebnis auswirkt, falls nur Lieferanten Planverspätungskosten berücksichtigen.

[398] Vgl. Abschnitt 5.2.2.2.

Die Ergebnisse der Feinplanung ohne Profit-Sharing werden in Abschnitt 6.3.2.1 vorgestellt.

6.2.2.2 Feinplanung mit Profit-Sharing

Das Verfahren des Profit-Sharing soll für die im Abschnitt 6.2.2 beschriebenen Szenarien D1-F3 anhand verschiedener Ausprägungen analysiert werden. Dabei wird anhand der Länge des Verhandlungshorizontes, anhand der Kostenbetrachtung durch den Kunden und anhand der Höhe der Ausgleichszahlung differenziert.

Bei der Betrachtung des Verhandlungshorizontes werden einmal drei und einmal fünf Perioden untersucht. Bei der Kostenbetrachtung durch den Kunden wird danach unterschieden, ob nur die Kosten im Verhandlungshorizont für die Entscheidung herangezogen werden (NH) oder ob der restliche Planungshorizont mit einem geringeren Gewicht auch in die Entscheidung einfließen soll (NH+0,5PH). Die Kosten des restlichen Planungshorizontes wurden dabei mit einem Gewicht von 0,5 versehen. Als drittes Kriterium wurde der Anteil der Einsparungen der Lieferanten gewählt, der dem Kunden als Ausgleichszahlung angeboten wird. Diese wird anhand der Ausprägungen von 50% und 70% und dem Verfahren zur Messung von Planabweichungen (PA) untersucht.[399] Damit der Kunde überhaupt Vorschläge eines Lieferanten annimmt, wurde eine Schwelle in Höhe von 80 GE gewählt, die die Ausgleichszahlungen übertreffen müssen, um eine Chance auf Erfolg zu haben. Die in Tabelle 6.10 dargestellten Szenarien ergeben sich aus diesen Merkmalen.

Bedarf	Verhandlungshorizont	Kostenbetrachtung	gewährter Prozentsatz
(D1-D3)	2	NH	50
(D1-D3)	2	NH	70
(D1-D3)	5	NH	50
(D1-D3)	5	NH	70
(D1-D3)	5	NH+0,5PH	50
(D1-D3)	5	NH+0,5PH	70
(D1-D3)	5	NH	PA
(E1-E3)	2	NH	50
(E1-E3)	2	NH	70
(E1-E3)	5	NH	50
(E1-E3)	5	NH	70
(E1-E3)	5	NH+0,5PH	50
(E1-E3)	5	NH+0,5PH	70
(E1-E3)	5	NH	PA
(F1-F3)	2	NH	50
(F1-F3)	2	NH	70
(F1-F3)	5	NH	50
(F1-F3)	5	NH	70
(F1-F3)	5	NH+0,5PH	50
(F1-F3)	5	NH+0,5PH	70
(F1-F3)	5	NH	PA

Tabelle 6.10: Szenarien des Profit-Sharing

Zusätzlich wird noch eine Kombination von Profit-Sharing mit Abweichungskosten untersucht, die den Verhandlungshorizont als Kostenbasis betrachtet und einen Prozentsatz von 50% gewährt.

Eine weitere Analyse erfolgt hinsichtlich der Auswirkungen der Lagerkosten auf Kundenseite auf die Anwendbarkeit des Profit-Sharing. Durch höhere Lagerkosten auf Kundenseite kann dabei geprüft werden, ob das Profit-Sharing auch dann sinnvoll angewendet werden kann, wenn

[399] Vgl. Abschnitt 5.2.2.3.4.1.

der Kunde nicht gewillt ist, seine End- oder Zwischenprodukte zu lagern. Die in Tabelle 6.11 dargestellten Szenarien werden untersucht.

Bedarf	LK Produkte	LK EPT	NH	Kostenbetrachtung	Prozentsatz
(D1-D3)	20	2	2	NH	70
(D1-D3)	20	2	5	NH	50
(D1-D3)	20	2	5	NH	70
(D1-D3)	20	20	2	NH	70
(D1-D3)	20	20	5	NH	50
(D1-D3)	20	20	5	NH	70
(D1-D3)	100	2	2	NH	70
(D1-D3)	100	2	5	NH	50
(D1-D3)	100	2	5	NH	70
(E1-E3)	20	2	2	NH	70
(E1-E3)	20	2	5	NH	50
(E1-E3)	20	2	5	NH	70
(E1-E3)	20	20	2	NH	70
(E1-E3)	20	20	5	NH	50
(E1-E3)	20	20	5	NH	70
(E1-E3)	100	2	2	NH	70
(E1-E3)	100	2	5	NH	50
(E1-E3)	100	2	5	NH	70
(F1-F3)	20	2	2	NH	70
(F1-F3)	20	2	5	NH	50
(F1-F3)	20	2	5	NH	70
(F1-F3)	20	20	2	NH	70
(F1-F3)	20	20	5	NH	50
(F1-F3)	20	20	5	NH	70
(F1-F3)	100	2	2	NH	70
(F1-F3)	100	2	5	NH	50
(F1-F3)	100	2	5	NH	70

Tabelle 6.11: Szenarien - Profit-Sharing mit unterschiedlichen Lagerkosten

Dabei wird nur ein Teil der vorgestellten Profit-Sharing-Konfigurationen einmal mit zehnfach höheren Produktlagerkosten, einmal mit zehnfach höheren Produkt- und Teilelagerkosten und einmal mit 50 fach höheren Produktlagerkosten analysiert.

Die Analyse der Feinplanung mit Profit-Sharing erfolgt in Abschnitt 6.3.2.2.

6.2.3 GROB- UND FEINPLANUNG

Zur Verknüpfung der Grobplanung und der Feinplanung wird das in Abschnitt 6.2.2 beschriebene Szenario um die in Tabelle 6.12 dargestellten vertraglichen Aspekte erweitert.[400]

Lieferanten (Vertrag):	*Lieferant 1 und Lieferant 2*
Zonen	1 ZA +/- 15%, 2 ZA +/- 25%
Korridore	1 ZA *eingefrorene Zone*, 2 ZA *mit Strafe*
Strafe (unten)	Realisiert: 5 GE GP: ZA(2/3): (3 GE /1 GE); FP: ZA(1/2): (5 GE /3 GE)
Strafe (oben)	Realisiert: 3 GE GP: ZA(2/3): (2 GE /1 GE); FP: ZA(1/2): (3 GE /2 GE)

Tabelle 6.12: Vertragliche Parameter des kombinierten Szenarios

[400] Zur Erläuterung sei auf Abschnitt 6.2.1 verwiesen.

Zur Analyse wird die Grobplanung mit allen Szenarien aus Tabelle 6.8 kombiniert. Zusätzlich wird eine Profit-Sharing Ausprägung (NH: 5; KB: NH; 50%) einmal mit der Grobplanung und einmal mit der Grobplanung und Abweichungskosten kombiniert.

Im Gesamten entstehen dadurch 54 zusätzliche Szenarien, die in Abschnitt 6.3.3 analysiert werden.

6.3 AUSWERTUNG

Im Rahmen der Auswertung werden sowohl die Gesamtkosten des betrachteten Supply Chain Ausschnitts als auch Kosten für jede einzelne Partei analysiert.

Dabei werden bei den Gesamtkosten alle Kosten, die lediglich zu Steuerungszwecken dienen, aus der Kalkulation ausgeschlossen. Bei diesen Kosten handelt es sich um die variablen Bestellkosten, um Kosten, die als Strafe für Korridorverletzungen anfallen, und um Ausgleichszahlungen im Rahmen des Profit-Sharing. Unabhängig davon, in welcher Höhe diese Kosten anfallen, bleiben die Kosten für den gesamten Supply Chain Ausschnitt identisch. Bei der Kalkulation der Kosten für jede einzelne Partei müssen diese Kosten aber sehr wohl beachtet werden.

Alle Kosten, die im Folgenden dargestellt werden, wurden als Mittelwert aus drei Szenarien, die jeweils identische Einstellungen der Bedarfe besitzen, für die aber andere Zufallszahlen für die Bedarfe generiert wurden, berechnet.[401]

6.3.1 GROBPLANUNG

In diesem Abschnitt erfolgt die Ergebnisanalyse der in Abschnitt 6.2.1 beschriebenen Szenarien. Neben den in Tabelle 6.3 beschriebenen Szenarien werden als Gegner ein Komplettplaner und ein Planer für die Referenzsituation dargestellt.

Um den Bezug zur Grobplanung des Lieferanten herzustellen, plant der Komplettplaner (KP_ZA) jeweils identische Kapazitäten für jede Periode eines Zeitabschnitts. Dafür fallen jedoch nur normale Kapazitätskosten an, da die Kapazitäten unter vollständiger Information sinnvollerweise rechtzeitig geplant werden können.[402]

Die Referenzsituation (RS_OK) wurde so modelliert, dass der Kunde keine Grobplanung durchführt und in der Feinplanung Quoten beachtet. Dabei werden pro Zeitabschnitt Quotenabweichungen von 1 ME toleriert. Die Lieferanten führen im Rahmen der Grobplanung keine Kapazitätsplanung durch, sondern orientieren sich an den gepflegten Daten des Szenarios. In der Feinplanung führen sie eine exakte Planung durch.

Abbildung 6.9 zeigt die resultierenden Gesamtkosten der Szenarien der Grobplanung.[403]

---

[401] Vgl. Abschnitt 6.2.

[402] Der Komplettplaner wurde nach 30 Minuten Optimierungszeit bzw. bei einem MIPGAP von 20% abgebrochen. Analysen für einzelne Szenarien haben gezeigt, dass diese Zeit ausreichen sollte, um sinnvolle, da nahe am Optimum gelegene Ergebnisse zu erzielen. Über den Vertragshorizont wurde eine gesamte Quotenabweichung von 1 ME toleriert.

[403] Die Laufzeit der Grobplanung bewegte sich in der Regel im Rahmen von 30 bis 40 Sekunden (Intel® Core™2 Duo 2,0 GHz, 2 GB RAM).

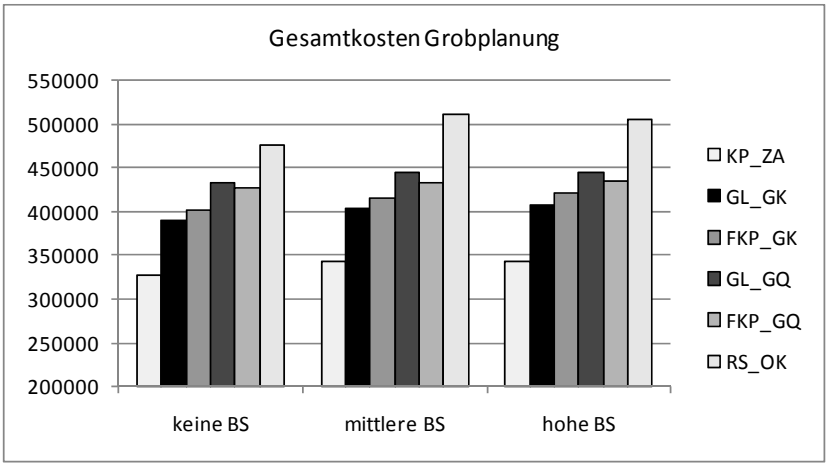


Abbildung 6.9: Gesamtkosten der Grobplanung

Tabelle 6.13 zeigt die Kosten der einzelnen Planungen sowie einen prozentualen Vergleich zu der in Abschnitt 5.2.1 vorgestellten Grobplanung GL_GK.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
GL_GK	389913	-	404400	-	406994	-	400435	-
KP_ZA	328199	84,17%	342772	84,76%	343838	84,48%	338270	84,48%
FKP_GK	401637	103,01%	414546	102,51%	422189	103,73%	412791	103,09%
GL_GQ	432358	110,89%	444946	110,03%	445372	109,43%	440892	110,10%
FKP_GQ	426763	109,45%	432597	106,97%	435562	107,02%	431641	107,79%
RS_OK	476452	122,19%	512093	126,63%	505685	124,25%	498077	124,38%

Tabelle 6.13: Gesamtkosten der Grobplanung – Vergleich zu GL_GK[404]

Unabhängig von der Höhe der Bedarfsschwankungen entsteht eine identische Reihenfolge bzgl. der Kosten der sechs untersuchten Planungskonfigurationen. Wie zu erwarten liefert die Komplettplanung die besten Ergebnisse. Die Kosten fielen dabei für alle Bedarfsschwankungen um ca. 16 Prozent geringer aus als die Kosten von GL_GK. Alle vier untersuchten Kombinationen der Grobplanungsverfahren erzielten niedrigere Kosten als die Referenzsituation, die im Schnitt 24 Prozent über den Kosten von GL_GK lag. Somit konnte durch die vorgestellte Grobplanung mehr als die Hälfte der Kosten zwischen der Referenzsituation und der Komplettplanung eingespart werden. Von den vier untersuchten Kombinationen liefert GL_GK die geringsten Gesamtkosten, gefolgt von FKP_GK, der Planungskombination, in der die Lieferanten eine reine Kapazitätsplanung durchführen und der Kunde die beschriebene Grobplanung durchführt. Diese Kombination resultiert, relativ unabhängig von den Bedarfsschwankungen in ca. drei Prozent höheren Kosten als GL_GK. Von den vier Planungskombinationen liefert die Kombination GL_GQ, in der die Lieferanten eine komplette Grobplanung durchführen, der Kunde aber nur nach Quoten plant, die schlechtesten Ergebnisse, die im Schnitt zehn Prozent über denen von GL_GK liegen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Lieferanten versuchen, das Bestellverhalten des Kunden zu steuern, dieser aber nicht darauf reagiert. Die Kombination FKP_GQ, in der die Lieferanten eine reine Kapazitätsplanung und der Kunde eine Planung nach Quoten durchführt, resultiert im Schnitt in knapp acht Prozent höheren Kosten als GL_GK.

Die Auswertung der Kosten des Kunden sind in Abbildung 6.10 dargestellt.[405]

[404] Die Kosten wurden auf ganze Beträge gerundet.

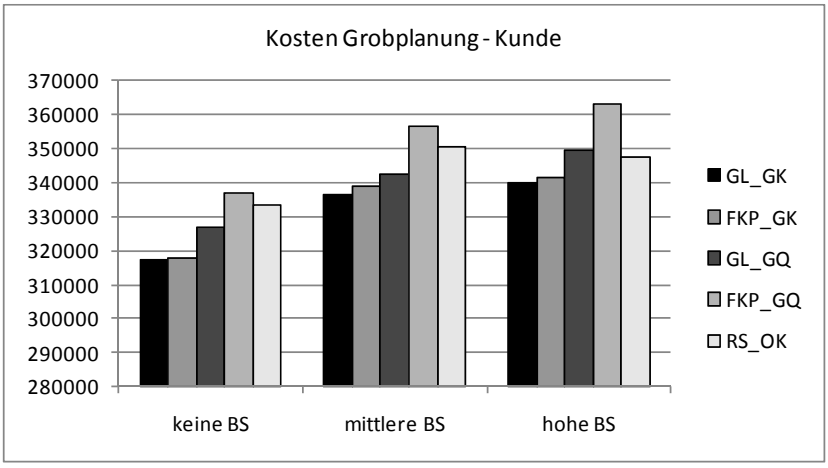


Abbildung 6.10: Grobplanung - Kosten des Kunden

Tabelle 6.14 zeigt aus Kundensicht die Kosten der einzelnen Planungen.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
GL_GK	317548	-	336490	-	340121	-	331386	-
FKP_GK	318037	100,15%	339066	100,77%	341633	100,44%	332912	100,46%
GL_GQ	326860	102,93%	342235	101,71%	349508	102,76%	339534	102,46%
FKP_GQ	336800	106,06%	356369	105,91%	363137	106,77%	352102	106,25%
RS_OK	333244	104,94%	350460	104,15%	347721	102,23%	343809	103,79%

Tabelle 6.14: Grobplanung – Kosten des Kunden

Da die Referenzsituation für den Kunden schon positiv ist, da er ohne große Rücksicht auf die Belange der Lieferanten bestellt, war es eine der Hauptaufgaben, trotzdem eine Ersparnis für den Kunden zu erzielen. Dies wurde für alle Bedarfsschwankungen erreicht, indem im Schnitt eine Ersparnis von knapp vier Prozent erzielt werden konnte. Die geringsten Kosten traten in den Fällen auf, in denen der Kunde die konzipierte Grobplanung durchführt. Im Vergleich zur Planung nach Quoten und einer reinen Kapazitätsplanung der Lieferanten konnte im Schnitt eine Ersparnis von 2,46 Prozent erzielt werden.

Die Auswertung der Kosten von Lieferant 1 sind in Abbildung 6.11 dargestellt.

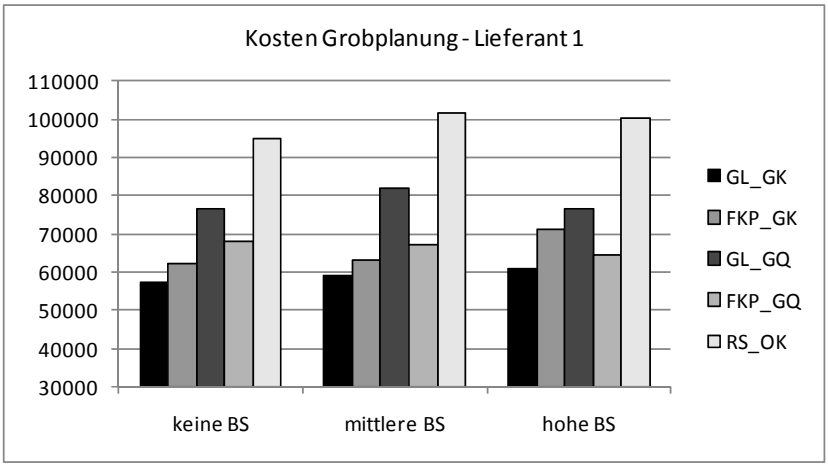


Abbildung 6.11: Grobplanung - Kosten von Lieferant 1

[405] Ein Vergleich mit dem Komplettplaner ist für die Auswertung einzelner Parteien nicht sinnvoll, da dieser ohne Beachtung von Steuerungskosten, wie Preisen und Korridoren plant.

Tabelle 6.15 zeigt die dazugehörigen Zahlen.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
GL_GK	57417	-	59222	-	60704	-	59115	-
FKP_GK	62142	108,23%	62988	106,36%	71246	117,37%	65459	110,73%
GL_GQ	76522	133,27%	81861	138,23%	76505	126,03%	78296	132,45%
FKP_GQ	68169	118,72%	67359	113,74%	64454	106,18%	66661	112,77%
RS_OK	94742	165,01%	101485	171,36%	100267	165,17%	98831	167,19%

Tabelle 6.15: Grobplanung – Kosten Lieferant 1

Im Vergleich zur Referenzsituation konnte Lieferant 1 im Schnitt über alle Szenarien eine Ersparnis von 67,19% erzielen, die damit erheblich über der des Kunden liegt. Durch die gezielte Unterbreitung von Angeboten konnten 10,73% im Vergleich zur reinen Kapazitätsplanung eingespart werden. Besonders deutlich war die Einsparung mit 17,37% bei einer hohen Bedarfsschwankung. Die schlechtesten Ergebnisse erzielte Lieferant 1, wenn er Angebote unterbreitet und der Kunde trotzdem eine Grobplanung nach Quoten durchführt, also nicht durch Angebote steuerbar ist.

Abbildung 6.12 stellt die Kosten von Lieferant 2 im Vergleich der eingesetzten Verfahren dar.

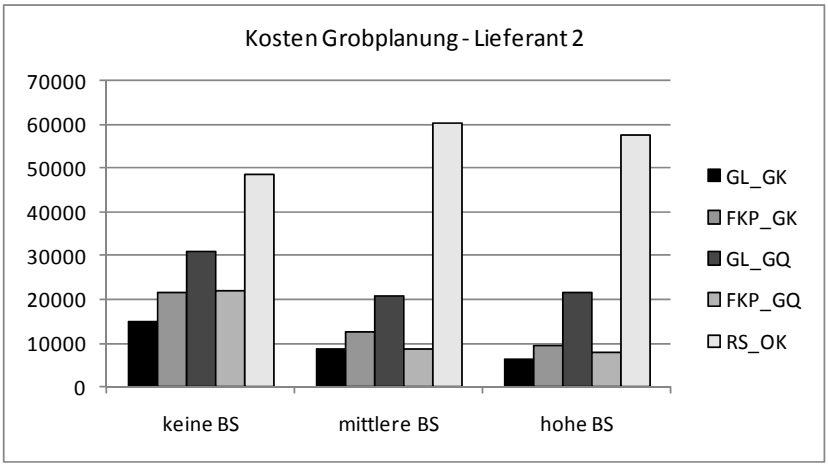


Abbildung 6.12: Grobplanung - Kosten von Lieferant 2

Tabelle 6.16 zeigt die dazugehörigen Kosten und prozentualen Vergleiche.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
GL_GK	14948	-	8688	-	6170	-	9935	-
FKP_GK	21458	143,55%	12492	143,78%	9309	150,89%	14419	145,14%
GL_GQ	31150	208,39%	20850	239,99%	21688	351,53%	24032	241,89%
FKP_GQ	21795	145,80%	8869	102,08%	7971	129,20%	12878	129,62%
RS_OK	48466	324,24%	60148	692,31%	57697	935,18%	55437	557,99%

Tabelle 6.16: Grobplanung – Kosten Lieferant 2

Die Ergebnisse sind prinzipiell analog zu denen von Lieferant 1. Da Lieferant 2 durch die gewählten Szenarienparameter insgesamt relativ geringe Kosten aufweist, ist der prozentuale Kostenunterschied noch deutlicher als bei Lieferant 1. Der sehr hohe Wert der Ersparnis zur Referenzsituation von über 550 Prozent lässt sich dadurch begründen, dass die Kosten, die dem Lieferanten anfallen, im Vergleich zu den Zahlungen, die er vom Kunden erhält, relativ gering sind.

Zusammenfassend lässt sich für das Szenario sagen, dass für alle betrachteten Fälle das Ziel erreicht wurde, für alle Parteien durch den Einsatz der konzipierten Grobplanung eine Kostenersparnis im Vergleich zur Referenzsituation zu erzielen. Dabei hat in diesem Szenario die Grobplanung des Kunden einen wichtigeren Einfluss auf die Kostenersparnis als die Grobplanung der Lieferanten. Zudem konnten die Lieferanten eine größere Ersparnis erzielen, vor allem in prozentualer Hinsicht.

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Kunden-Grobplanung bei festen Angeboten vorgestellt.[406] Da die Angebote in diesem Fall bereits vor der Planung feststehen, ist es möglich, diese einem Komplettplaner (KP_K) vorzugeben und mit dessen Ergebnissen zu vergleichen.[407] Zusätzlich erfolgt ein Vergleich zu einer Grobplanung nach Quoten (GQ). Die Gesamtkosten aus Kundensicht sind in Abbildung 6.13 dargestellt.

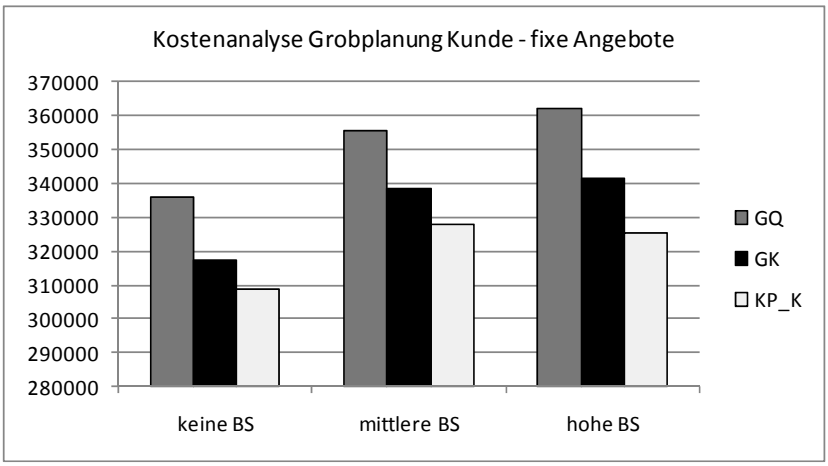


Abbildung 6.13: Kostenanalyse Grobplanung Kunde - fixe Angebote

Die Quote konnte in allen untersuchten Fällen wie gefordert eingehalten werden. Tabelle 6.17 zeigt die entstandenen Kosten.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
GK	317125	-	338192	-	341359	-	332225	-
KP_K	308973	97,43%	327696	96,90%	325541	95,37%	320737	96,54%
GQ	335917	105,93%	355335	105,07%	362007	106,05%	351087	105,67%

Tabelle 6.17: Kostenanalyse Grobplanung Kunde - fixe Angebote

Der Kunde konnte durch die konzipierte Grobplanung im Schnitt 5,67% an Kosten gegenüber der Grobplanung nach Quoten einsparen. Die Komplettplanung war dabei im Gesamten lediglich 3,46% günstiger, wobei der Unterschied mit 4,63% bei hohen Bedarfsschwankungen am stärksten ausfiel. Das Ziel der Grobplanung des Kunden wurde damit sehr gut erreicht.

6.3.2 FEINPLANUNG

In diesem Abschnitt werden zunächst die betrachteten Gegner und deren Kosten vorgestellt. Als Gegner für die Planung dienen dabei als zentrale Gegner der Komplettplaner (KP_ZA), der jeweils identische Kapazitäten für jede Periode eines Zeitabschnitts plant, und die rollierende zentrale Planung (ZP). Als dezentrale Gegner dienen eine Planung, die die Quote alle zwei Perio-

[406] Vgl. Tabelle 6.4 und Tabelle 6.5.
[407] Der Komplettplaner wurde dabei bei einem MIPGAP von 20% bzw. einer Laufzeit von 30 Minuten terminiert. Dabei wurde eine Quotenabweichung von maximal eins vorgegeben.

den einhält (Q_2P), das Upstream Planning (USP), das die Quote pro Zeitabschnitt einhält, und eine Just-In-Time Planung (JIT). Bei allen Planungen wurde eine Quotenabweichung von einer Mengeneinheit toleriert.

Abbildung 6.14 zeigt die Gesamtkosten der Gegner bei den untersuchten Bedarfsschwankungen.

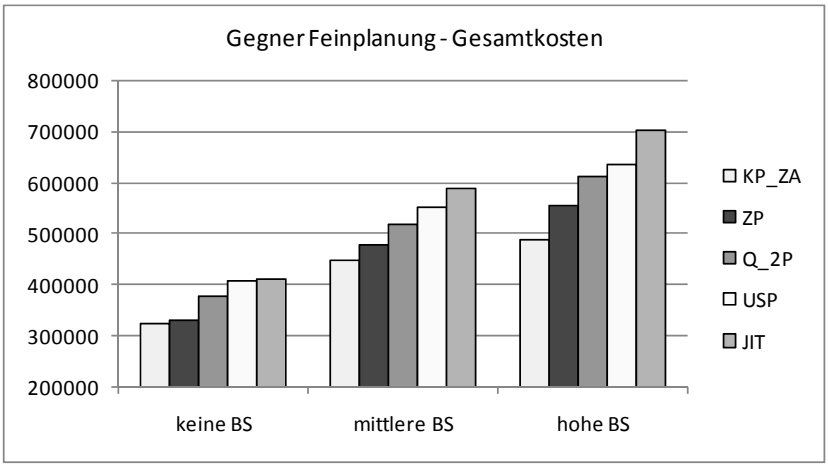


Abbildung 6.14: Gesamtkosten der Gegner in der Feinplanung

Bei der Kostenanalyse zeigt sich für alle Bedarfsschwankungen eine annähernd gleiche Rangfolge der Kosten. Wie zu erwarten erzeugt der Komplettplaner in allen Fällen die günstigste Lösung, gefolgt von der rollierenden zentralen Planung. Die Differenz zwischen den Kosten nimmt zu, je größer die Bedarfsschwankungen werden, da der zentrale rollierende Planer aufgrund der Unsicherheit zusätzliche Kosten in Kauf nehmen muss. Die Quoteneinhaltung alle zwei Perioden resultierte in den geringsten Kosten der übrigen Varianten. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Lieferanten aufgrund dieser Planung eine hohe Planungssicherheit besitzen, die sich in deren Kosten niederschlägt. Allerdings wird der Kunde in der Realität wahrscheinlich keine so strikte Bestellpolitik anstreben. Das Upstream Planning folgt als nächstes und ist bis auf den Fall ohne Bedarfsschwankung günstiger als die Just-In-Time Planung. Die hohen Kosten der JIT-Planung lassen sich dadurch erklären, dass keine Partei die fixen Bestellkosten und die Lagerkosten der Engpassteile in der Planung berücksichtigt, also keine wirkliche Planung der Bestellungen erfolgt.[408]

6.3.2.1 Feinplanung ohne Profit-Sharing

Die Ergebnisse der Feinplanung ohne Profit-Sharing zeigt Abbildung 6.15 für die in Tabelle 6.8 dargestellten Szenarien.[409]

[408] Vgl. Abschnitt 5.2.4.2.3.
[409] Die Laufzeit der Feinplanung ohne Profit-Sharing bewegte sich in der Regel im Rahmen von 5 bis 10 Minuten (Intel® Core™2 Duo 2,0 GHz, 2 GB RAM).

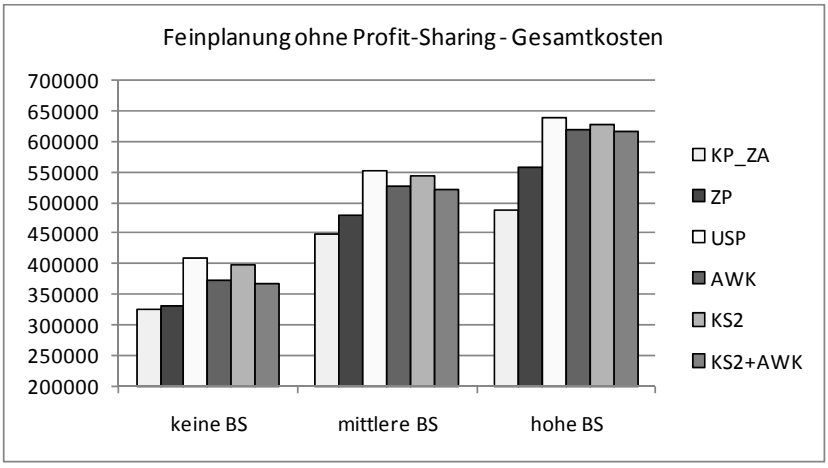


Abbildung 6.15: Gesamtkosten der Verfahren in der Feinplanung ohne Profit-Sharing

Tabelle 6.18 stellt die Kosten im Vergleich zum Upstream Planning dar.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
USP	408677	-	550595	-	637183	-	532152	-
KP_ZA	324860	79,49%	448924	81,53%	487688	76,54%	420491	79,02%
ZP	331339	81,08%	478371	86,88%	556549	87,35%	455420	85,58%
AWK	371881	91,00%	525886	95,51%	618933	97,14%	505567	95,00%
KS2	399460	97,74%	542807	98,59%	628087	98,57%	523451	98,37%
KS2+AWK	368788	90,24%	520892	94,61%	617446	96,90%	502375	94,40%

Tabelle 6.18: Gesamtkosten der Feinplanung ohne Profit-Sharing – Vergleich zum USP

Die Analyse zeigt, dass durch die Berücksichtigung von Abweichungskosten und durch die Planung des Lagers durch die Lieferanten, wie auch durch eine Kombination beider Aspekte in allen Situationen Einsparungen im Vergleich zum Upstream Planning erzielt werden konnten. Dabei konnten durch Abweichungskosten im Mittel 5% und durch Kooperationsstufe 2 im Mittel 1,63% an Einsparungen erzielt werden. Durch die Kombination beider Maßnahmen wurde eine Einsparung von 5,6% erzielt. Die Einsparungen durch Abweichungskosten nehmen ab, wenn die Bedarfsschwankungen zunehmen. Liegen keine Bedarfsschwankungen vor, so kann der Kunde problemlos an den alten Bestellplänen festhalten. Kommt es allerdings zu Schwankungen, so beeinflussen die Abweichungskosten andere Kostenarten und es kommt zu einem Tradeoff zwischen den verschiedenen Kosten. Dieser führt zum einen dazu, dass die Bestellpläne trotz Abweichungskosten nicht exakt eingehalten werden, und zum anderen, dass andere Kosten durch Berücksichtigung der Abweichungen entstehen. In einer Situation ohne Bedarfsschwankungen konnte alleine durch Berücksichtigung der Abweichungskosten nahezu die Hälfte der Kostendifferenz, die zwischen den zentralen Planern und dem Upstream Planning besteht, eingespart werden.

Abbildung 6.16 zeigt die Auswirkungen der Abweichungskosten für alle Parteien, aggregiert über alle Bedarfsschwankungen.

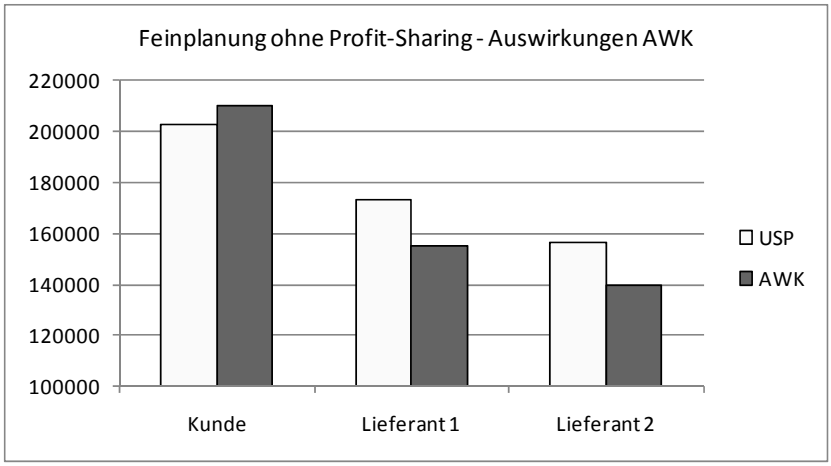


Abbildung 6.16: Feinplanung ohne Profit-Sharing - Auswirkungen Abweichungskosten

Tabelle 6.19 vergleicht die Kosten aller Parteien mit den Kosten des Upstream Planning.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
Kunde USP	186664	-	202610	-	219261	-	202845	-
Kunde AWK	191799	102,75%	209371	103,38%	229985	104,89%	210385	103,72%
Lieferant 1 USP	122353	-	191840	-	205284	-	173159	-
Lieferant 1 AWK	100957	82,51%	174438	90,93%	190279	92,69%	155225	89,64%
Lieferant 2 USP	99660	-	156145	-	212638	-	156148	-
Lieferant 2 AWK	79125	79,39%	142077	90,99%	198669	93,43%	139957	89,63%

Tabelle 6.19: Feinplanung ohne Profit-Sharing - Auswirkungen der Abweichungskosten

Da die Kompensationszahlungen, die der Kunde für geringe Planabweichungen erhält, nicht in das gemessene Ergebnis einfließen, können die resultierenden Kosten des Kunden durch die Berücksichtigung von Abweichungskosten nur größer als die des Upstream Planning sein. Diese Mehrkosten betragen im Mittel 3,72%, wobei höhere Kosten entstehen, sobald stärkere Bedarfsschwankungen auftreten. Im betrachteten Szenario würde der Kunde im Mittel ab einer Kompensationszahlung von 7541 GE einen Gewinn durch die Einführung von Abweichungskosten erzielen. Beide Lieferanten erzielen mit ca. 16000 bzw. ca. 18000 GE im Mittel Einsparungen, die diesen Betrag deutlich übertreffen. Selbst wenn die Lieferanten in diesem Beispiel einen bedeutenden Teil ihrer Einsparungen an den Kunden abgeben würden, um die Reduktion der Planungsnervosität zu belohnen, könnten alle Parteien einen Vorteil erzielen.

Abbildung 6.17 zeigt die Auswirkungen der Planverspätungskosten[410] für alle Parteien als Mittelwert über alle Bedarfsschwankungen.

[410] Vgl. Tabelle 6.9.

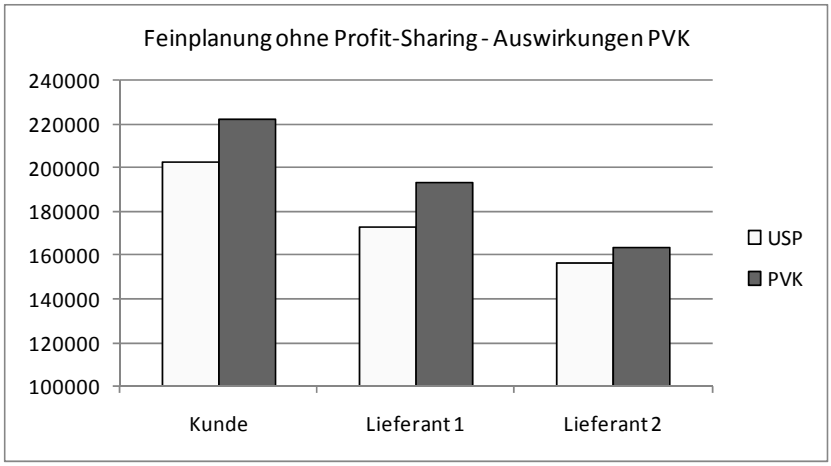


Abbildung 6.17: Feinplanung ohne Profit-Sharing - Auswirkungen Planverspätungskosten

Tabelle 6.19 vergleicht die entstehenden Kosten mit den Kosten des Upstream Planning.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
Kunde USP	186664	-	202610	-	219261	-	202845	-
Kunde PVK	201692	108,05%	220222	108,69%	244383	111,46%	222099	109,49%
Lieferant 1 USP	122353	-	191840	-	205284	-	173159	-
Lieferant 1 PVK	137400	112,30%	207555	108,19%	233836	113,92%	192939	111,42%
Lieferant 2 USP	99660	-	156145	-	212638	-	156148	-
Lieferant 2 PVK	109575	109,95%	164923	105,62%	215716	101,45%	163405	104,65%

Tabelle 6.20: Feinplanung ohne Profit-Sharing - Auswirkungen der Planverspätungskosten

Die Einführung von Planverspätungskosten resultierte im betrachteten Szenario in Mehrkosten für alle Parteien und für alle Bedarfsschwankungen.

Im Laufe der Auswertungen hat sich gezeigt, dass die Auswirkungen der Planverspätungskosten stark davon abhängen, ob eine Kapazitätsplanung der Lieferanten durchgeführt wird. Diese hat einen großen Einfluss auf die Planung von Zusatzkapazitäten. Wurden in der Grobplanung ausreichende Kapazitäten geplant, so führen die Planverspätungskosten zu Mehrkosten, da zukünftige Verspätungen in der Planung nicht ausreichend berücksichtigt werden.[411] Werden die Kapazitäten in der Grobplanung nicht geplant, so können die Planverspätungskosten den gewünschten Effekt erzielen, indem teure Zusatzkapazitäten erst dann festgelegt werden, wenn dies wirklich notwendig ist.

Abbildung 6.18 zeigt die Auswirkung von Planverspätungskosten für das gleiche Szenario, aber ohne Kapazitätsplanung der Lieferanten. Dabei wird das Upstream Planning einmal mit Planverspätungskosten, die für alle Parteien gepflegt sind (PVK_KL), und einmal mit Planverspätungskosten, die nur für die Lieferanten gepflegt sind (PVK_L), analysiert.

[411] Dies ist natürlich wiederum stark davon abhängig, wie die Planverspätungskosten gepflegt werden.

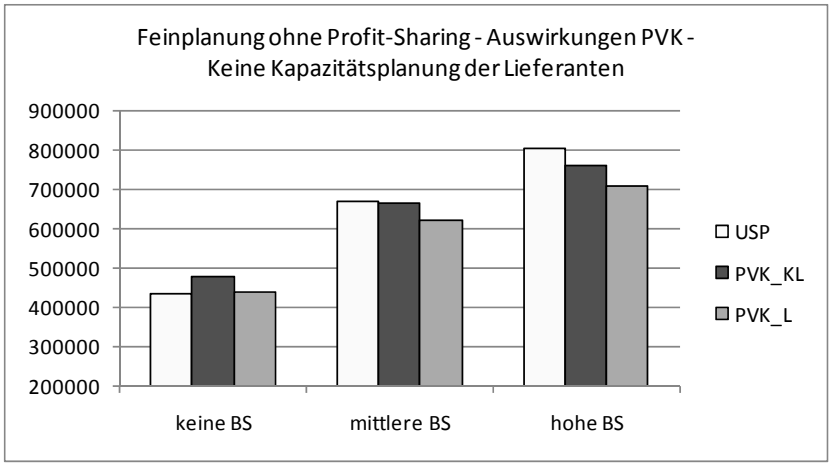


Abbildung 6.18: FP ohne PS - Auswirkungen PVK – Keine Kapazitätsplanung der Lieferanten

Tabelle 6.21 zeigt die anfallenden Kosten im Vergleich zum Upstream Planning.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
USP	433343	-	667947	-	802470	-	634587	-
PVK_KL	477006	110,08%	664857	99,54%	761806	94,93%	634556	100,00%
PVK_L	438676	101,23%	620139	92,84%	710240	88,51%	589685	92,92%

Tabelle 6.21: FP ohne PS – Keine Kapazitätsplanung der Lieferanten - Vergleich zum USP

Bei mittleren und hohen Bedarfsschwankungen konnten durch Planverspätungskosten Einsparungen erzielt werden. Dabei nimmt der Effekt zu, je größer die Schwankungen sind. Im getesteten Szenario sind die Einsparungen am größten, wenn nur die Lieferanten Planverspätungskosten berücksichtigen. Dadurch konnten im Mittel über sieben Prozent, bei hohen Bedarfsschwankungen sogar über elf Prozent im Vergleich zum Upstream Planning eingespart werden.

6.3.2.2 Feinplanung mit Profit-Sharing

Abbildung 6.19 zeigt die Gesamtkosten des Profit-Sharing mit verschiedener Parametrisierung im Vergleich zu den zentralen Gegnern und dem Upstream Planning.[412]

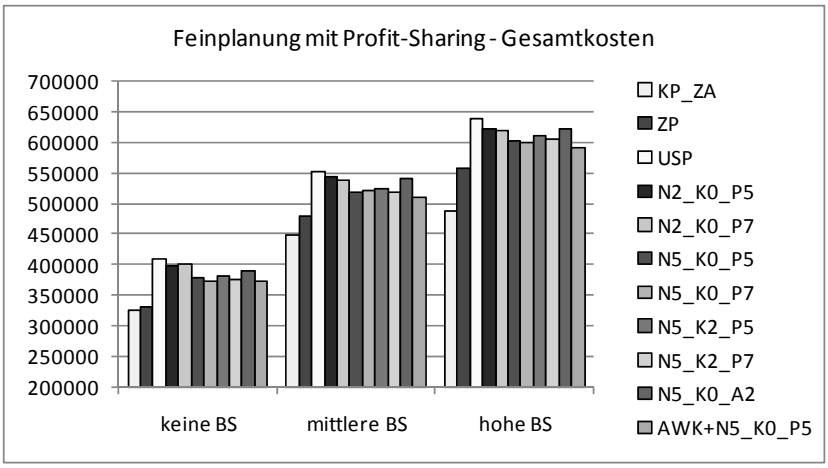


Abbildung 6.19: Gesamtkosten der Verfahren in der Feinplanung mit Profit-Sharing

[412] Vgl. Tabelle 6.10. Die Laufzeit der Feinplanung mit Profit-Sharing bewegte sich in der Regel im Rahmen von 5 bis 20 Minuten (Intel® Core™2 Duo 2,0 GHz, 2 GB RAM).

Tabelle 6.22 stellt die durchschnittlichen Einsparungen im Vergleich zum Upstream Planning dar.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
USP	408677	-	550595	-	637183	-	532152	-
KP_ZA	324860	79,49%	448924	81,53%	487688	76,54%	420491	79,02%
ZP	331339	81,08%	478371	86,88%	556549	87,35%	455420	85,58%
N2_K0_P5	397840	97,35%	542481	98,53%	623046	97,78%	521122	97,93%
N2_K0_P7	401227	98,18%	536886	97,51%	618716	97,10%	518943	97,52%
N5_K0_P5	377875	92,46%	519656	94,38%	601859	94,46%	499797	93,92%
N5_K0_P7	374047	91,53%	519819	94,41%	600597	94,26%	498154	93,61%
N5_K2_P5	382287	93,54%	524684	95,29%	610357	95,79%	505776	95,04%
N5_K2_P7	377204	92,30%	517760	94,04%	604634	94,89%	499866	93,93%
N5_K0_A2	390289	95,50%	539677	98,02%	620674	97,41%	516880	97,13%
AWK+ N5_K0_P5	373877	91,48%	509078	92,46%	591359	92,81%	491438	92,35%

Tabelle 6.22: Auswirkungen Profit-Sharing für einzelne Parteien - Vergleich zum USP

Im Vergleich zum Upstream Planning konnte für jede Parametrisierung eine Einsparung für alle Bedarfsschwankungen erzielt werden. Im Mittel lagen die Einsparungen der Gesamtkosten im Bereich von zwei bis acht Prozent. Wurde das Profit-Sharing mit Abweichungskosten kombiniert, so waren die Einsparungen am größten. Die Auswirkung der Länge des Verhandlungshorizontes hat einen relativ großen Effekt auf die Gesamtkosten des Profit-Sharing. In diesem Fall führte ein Verhandlungshorizont von zwei Perioden im Schnitt zu höheren Kosten als ein Verhandlungshorizont von fünf Perioden. Zudem konnten durch eine reine Kostenbewertung der Pläne im Verhandlungshorizont leicht geringere Kosten als durch eine zusätzliche Bewertung über den Verhandlungshorizont hinaus erzielt werden. Eine Ausgleichszahlung der Lieferanten in Höhe von 70% ihrer eingesparten Kosten lieferte in allen Fällen leicht geringere Gesamtkosten als eine Zahlung von 50%. Wurde die Ausgleichszahlung durch einen Vergleich der Ähnlichkeit der Pläne bestimmt, so wurden ebenfalls Einsparungen erzielt, allerdings konnte diese Methode die Planung für das Szenario nicht so gut steuern wie ein fester Prozentsatz.

Abbildung 6.20 stellt die Kosten des Kunden für alle getesteten Instanzen des Profit-Sharing dar.

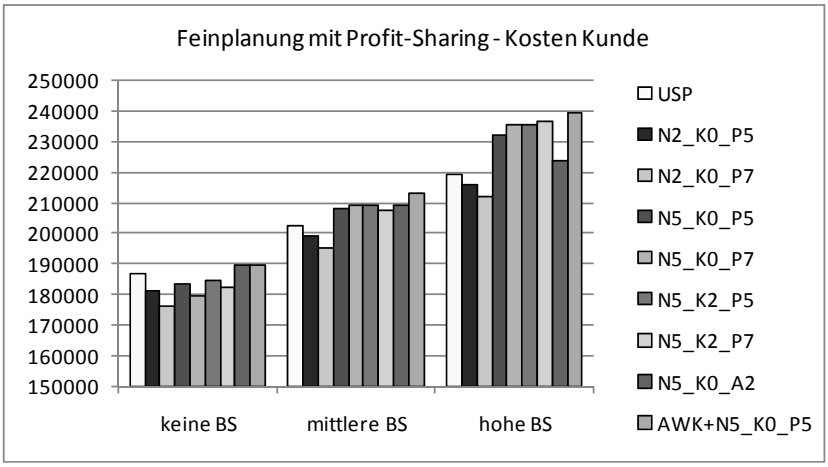


Abbildung 6.20: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Kunde

Tabelle 6.23 vergleicht die Kosten des Kunden bei Anwendung des Profit-Sharing mit den Kosten des Upstream Planning.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
USP	186664	-	202610	-	219261	-	202845	-
N2_K0_P5	181318	97,14%	199261	98,35%	215634	98,35%	198738	97,98%
N2_K0_P7	176371	94,49%	195332	96,41%	212061	96,72%	194588	95,93%
N5_K0_P5	183356	98,23%	207822	102,57%	232006	105,81%	207728	102,41%
N5_K0_P7	179489	96,16%	209227	103,27%	235416	107,37%	208044	102,56%
N5_K2_P5	184706	98,95%	209329	103,32%	235683	107,49%	209906	103,48%
N5_K2_P7	182105	97,56%	207492	102,41%	236758	107,98%	208785	102,93%
N5_K0_A2	189422	101,48%	209207	103,26%	223602	101,98%	207411	102,25%
AWK+ N5_K0_P5	189473	101,50%	213371	105,31%	239397	109,18%	214080	105,54%

Tabelle 6.23: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Kunde

Die Kosten des Kunden bei Einsatz des Profit-Sharing hängen stark von der Länge des Verhandlungshorizontes ab. So konnten bei einem Verhandlungshorizont von zwei Perioden bei allen Bedarfsschwankungen Einsparungen für den Kunden erzielt werden. Dabei wurden Einsparungen von über vier Prozent für eine gewährte Ausgleichszahlung von 70% und von über zwei Prozent für eine Ausgleichszahlung von 50% erzielt. Bei einem Verhandlungshorizont von fünf Perioden konnten nur Einsparungen erzielt werden, sofern keine Bedarfsschwankungen vorlagen. Ansonsten entstanden Mehrkosten von bis zu acht Prozent. Die hohen Kosten des Kunden bei langen Verhandlungshorizonten liegen darin begründet, dass dieser trotz des schwankenden Bedarfs an den vereinbarten Bestellplänen festhalten muss. Neben einem kurzen Verhandlungshorizont besteht eine weitere Möglichkeit, Einsparungen für den Kunden zu erzielen darin, die Ausgleichszahlungen um einen Faktor zu erhöhen, der im Verhältnis zur Länge des Verhandlungshorizontes steht, um die Einsparungen fair zu verteilen. Längere Verhandlungshorizonte könnten somit Planungssicherheit für die Lieferanten ermöglichen, die diese durch höhere Ausgleichszahlungen an die Kunden weitergeben könnten.

Abbildung 6.21 zeigt die Kosten von Lieferant 1 bei Anwendung des Profit-Sharing.

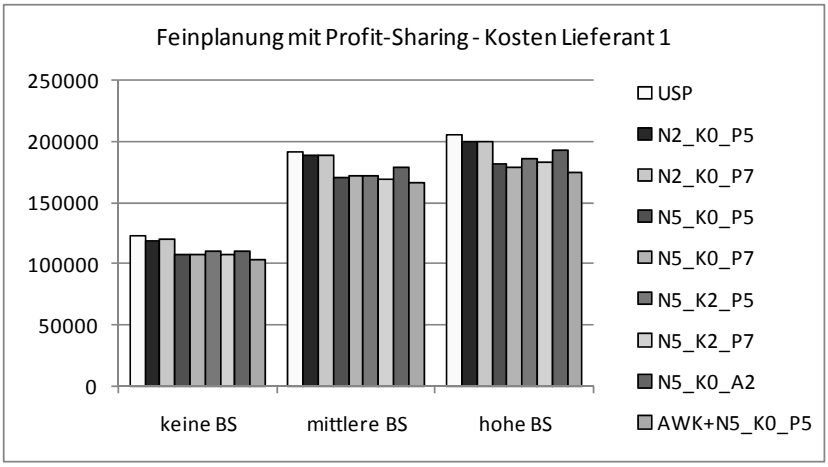


Abbildung 6.21: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Lieferant 1

Tabelle 6.24 gibt eine Überblick über die entstandenen Kosten.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
USP	122353	-	191840	-	205284	-	173159	-
N2_K0_P5	118182	96,59%	188980	98,51%	199212	97,04%	168791	97,48%
N2_K0_P7	120449	98,44%	189149	98,60%	200320	97,58%	169973	98,16%
N5_K0_P5	107930	88,21%	170957	89,11%	181816	88,57%	153568	88,69%
N5_K0_P7	107093	87,53%	171826	89,57%	178724	87,06%	152548	88,10%
N5_K2_P5	109708	89,67%	171398	89,34%	185809	90,51%	155638	89,88%
N5_K2_P7	107177	87,60%	169109	88,15%	182949	89,12%	153078	88,40%
N5_K0_A2	110876	90,62%	178508	93,05%	192770	93,90%	160718	92,82%
AWK+ N5_K0_P5	103599	84,67%	165623	86,33%	174367	84,94%	147863	85,39%

Tabelle 6.24: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Lieferant 1

Lieferant 1 konnte durch das Profit-Sharing in allen Variationen Einsparungen gegenüber dem Upstream Planning erzielen. Der Einfluss der Länge des Verhandlungshorizontes ist dabei entgegengesetzt zum Einfluss auf die Kosten des Kunden. Je größer der Verhandlungshorizont gewählt wird, desto größer ist die Planungssicherheit für den Lieferanten, der Bestellplan wird ja für diesen Bereich fixiert. Lieferant 1 konnte bei einem Verhandlungshorizont von zwei Perioden eine Ersparnis von ca. zwei Prozent und bei einem Verhandlungshorizont von fünf Perioden für feste, prozentuale Ausgleichszahlungen Ersparnisse von über zehn Prozent erzielen. Die Variante, die variable Ausgleichszahlungen durch Ähnlichkeit der Pläne ermittelt, erzielte über sieben Prozent Einsparungen. Am größten waren die Einsparungen, wenn der Kunde zusätzlich Abweichungskosten betrachtet. Dabei konnten im Mittel knapp 13 Prozent der Kosten eingespart werden. Allerdings ist in diesem Fall zu beachten, dass dafür noch Kompensationszahlungen zu leisten sind, für die aber durch die Einsparungen ein großer Spielraum besteht.

Abbildung 6.22 zeigt die Kosten von Lieferant 2 bei Anwendung des Profit-Sharing.

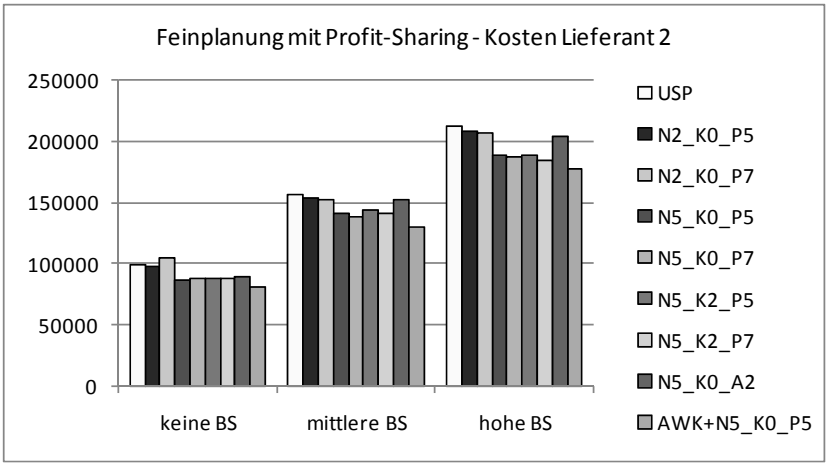


Abbildung 6.22: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Lieferant 2

Tabelle 6.25 gibt einen Überblick über die entstandenen Kosten.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
USP	99660	-	156145	-	212638	-	156148	-
N2_K0_P5	98339	98,67%	154240	98,78%	208201	97,91%	153593	98,36%
N2_K0_P7	104407	104,76%	152406	97,61%	206335	97,04%	154383	98,87%
N5_K0_P5	86589	86,88%	140877	90,22%	188038	88,43%	138501	88,70%
N5_K0_P7	87465	87,76%	138766	88,87%	186456	87,69%	137563	88,10%
N5_K2_P5	87874	88,17%	143957	92,19%	188865	88,82%	140232	89,81%
N5_K2_P7	87922	88,22%	141159	90,40%	184926	86,97%	138002	88,38%
N5_K0_A2	89991	90,30%	151961	97,32%	204302	96,08%	148751	95,26%
AWK+ N5_K0_P5	80805	81,08%	130084	83,31%	177596	83,52%	129495	82,93%

Tabelle 6.25: Feinplanung mit Profit-Sharing - Kosten Lieferant 2

Die Ergebnisse für Lieferant 2 sind sehr ähnlich zu denen von Lieferant 1. Durch eine Kombination des Profit-Sharing mit Abweichungskosten konnten in diesem Fall sogar Einsparungen von mehr als 17 Prozent erzielt werden.

Die Lagerkosten des Kunden bilden einen wichtigen Aspekt für dessen Entscheidung, ob die Einführung eines Profit-Sharing-Verfahrens überhaupt lohnenswert ist. Tabelle 6.26 gibt einen Überblick über die Ergebnisse des Profit-Sharing mit hohen Produkt- und in einem Fall auch hohen Teilelagerkosten des Kunden. Dabei werden zum einen die Gesamtkosten und zum anderen die Kosten des Kunden analysiert und mit einem Upstream Planning verglichen.

	Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
		Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
LK Produkte 20	Gesamtkosten USP	410643	-	548987	-	640312	-	533314	-
	Gesamtkosten N2_K0_P7	413667	100,74%	548934	99,99%	632260	98,74%	531620	99,68%
	Gesamtkosten N5_K0_P5	384213	93,56%	551000	100,37%	631058	98,55%	522090	97,90%
	Gesamtkosten N5_K0_P7	385908	93,98%	547730	99,77%	635447	99,24%	523028	98,07%
	Kosten Kunde USP	192302	-	206886	-	224901	-	208030	-
	Kosten Kunde N2_K0_P7	184602	96,00%	205592	99,37%	226511	100,72%	205569	98,82%
	Kosten Kunde N5_K0_P5	195197	101,51%	246342	119,07%	277310	123,30%	239616	115,18%
	Kosten Kunde N5_K0_P7	192415	100,06%	241140	116,56%	278615	123,88%	237390	114,11%
LK Produkte 20; LK EPT 20	Gesamtkosten USP	421416	-	568412	-	644580	-	544803	-
	Gesamtkosten N2_K0_P7	410412	97,39%	565145	99,43%	652152	101,17%	542570	99,59%
	Gesamtkosten N5_K0_P5	391630	92,93%	574495	101,07%	676873	105,01%	547666	100,53%
	Gesamtkosten N5_K0_P7	387212	91,88%	582903	102,55%	692700	107,47%	554272	101,74%
	Kosten Kunde USP	207246	-	227485	-	239260	-	224664	-
	Kosten Kunde N2_K0_P7	191374	92,34%	225484	99,12%	244649	102,25%	220502	98,15%
	Kosten Kunde N5_K0_P5	201348	97,15%	264655	116,34%	327586	136,92%	264530	117,74%
	Kosten Kunde N5_K0_P7	196053	94,60%	272555	119,81%	342925	143,33%	270511	120,41%
LK Produkte 100	Gesamtkosten USP	414285	-	550483	-	649421	-	538063	-
	Gesamtkosten N2_K0_P7	409962	98,96%	553420	100,53%	637133	98,11%	533505	99,15%
	Gesamtkosten N5_K0_P5	389456	94,01%	584674	106,21%	715318	110,15%	563149	104,66%
	Gesamtkosten N5_K0_P7	405847	97,96%	621120	112,83%	666820	102,68%	564596	104,93%
	Kosten Kunde USP	195882	-	211962	-	239517	-	215787	-
	Kosten Kunde N2_K0_P7	184913	94,40%	212116	100,07%	235519	98,33%	210849	97,71%
	Kosten Kunde N5_K0_P5	201314	102,77%	285826	134,85%	367514	153,44%	284884	132,02%
	Kosten Kunde N5_K0_P7	212595	108,53%	318161	150,10%	313549	130,91%	281435	130,42%

Tabelle 6.26: Feinplanung mit Profit-Sharing - Auswirkungen der Lagerkosten des Kunden

Betragen die Lagerkosten des Kunden 20 GE anstatt zwei GE, so ist es für den gesamten Supply Chain Ausschnitt im Schnitt immer noch möglich, Einsparungen durch das Profit-Sharing zu erzielen. Diese betragen allerdings im besten Fall 2,1% Prozent und fallen daher niedriger aus als im Falle geringerer Lagerkosten.[413] Der Kunde kann in den untersuchten Fällen nur Einsparungen erzielen, falls ein Verhandlungshorizont von zwei Perioden gewählt wird und die

[413] Vgl. Tabelle 6.22.

Bedarfsschwankungen nicht hoch sind. Bei einem Verhandlungshorizont von zwei Perioden betragen dessen Einsparungen über alle Bedarfsschwankungen 1,18%. Wird ein Verhandlungshorizont von fünf Perioden gewählt, so entstehen dem Kunden mehr als 14 Prozent Zusatzkosten gegenüber dem Upstream Planning. Werden neben den Lagerkosten für die Endprodukte auch die Lagerkosten für die Engpassteile von zwei GE auf 20 GE erhöht, so ergeben sich ähnliche Ergebnisse wie im Falle einer reinen Erhöhung der Produktlagerkosten. Allerdings erhöhten sich einige Kosten leicht, so dass teilweise die Kosten des Upstream Planning übertroffen werden. Daraus resultiert, dass im Falle hoher Bedarfsschwankungen alle untersuchten Profit-Sharing-Ausprägungen von den Gesamtkosten her knapp teurer als das Upstream Planning sind und im Falle mittlerer Bedarfsschwankungen nur die Profit-Sharing-Ausprägung mit einem Verhandlungshorizont von zwei Perioden knapp billiger als das Upstream Planning ist. Grundsätzlich lässt sich für die Gesamtkosten bei hohen Lagerkosten der Produkte und Engpassteile sagen, dass Profit-Sharing in den untersuchten Fällen in einem Umfeld ohne Bedarfsschwankungen gute Ergebnisse erzielt, bei mittleren Bedarfsschwankungen leicht erhöhte und bei hohen Bedarfsschwankungen höhere Kosten als beim Upstream Planning anfallen. Die Kosten des Kunden für dieses Szenario sind bei einem Verhandlungshorizont von zwei Perioden und bei keinen und mittleren Bedarfsschwankungen geringer und bei hohen Bedarfsschwankungen leicht höher als beim Upstream Planning. Wird ein Verhandlungshorizont von fünf Perioden gewählt, so fallen für den Kunden bei Bedarfsschwankungen deutlich höhere Kosten an. Bei Lagerkosten von 100 GE für Endprodukte gelten prinzipiell die gleichen Aussagen wie für die beiden anderen Fälle.

Zusammenfassend kann über die Auswirkungen von Kundenlagerkosten auf die Anwendbarkeit von Profit-Sharing-Verfahren resümiert werden, dass das Profit-Sharing bei hohen Lagerkosten auch noch sinnvoll angewandt werden kann, die möglichen Einsparungen aber deutlich geringer ausfallen als bei niedrigeren Lagerkosten. Dies liegt daran, dass der Kunde bei der Erstellung seines optimalen Plans die Lagerkosten bereits berücksichtigt und diese bei hohen Lagerkosten eine größere Bedeutung aufweisen. Findet die Planung in einem Umfeld ohne große Bedarfsschwankungen statt, so spielen die hohen Lagerkosten eine geringere Rolle, so dass Profit-Sharing in diesen Fällen eher angewandt werden kann als bei höheren Bedarfsschwankungen.

Insgesamt konnten durch den Einsatz des Profit-Sharing-Verfahrens sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Damit jede Partei einen Vorteil erlangt, ist es dabei sehr wichtig, das Verfahren richtig zu parametrisieren, besonders hinsichtlich der Länge des Verhandlungshorizontes.

6.3.3 GROB- UND FEINPLANUNG

Abbildung 6.23 zeigt die Kosten, die entstehen, wenn die Feinplanung zusammen mit der in Abschnitt 5.2.1 beschriebenen Grobplanung durchgeführt wird.[414]

[414] Die Laufzeit der Grob- und Feinplanung unterschied sich nicht merklich von den für die reine Feinplanung angegebenen Werten.

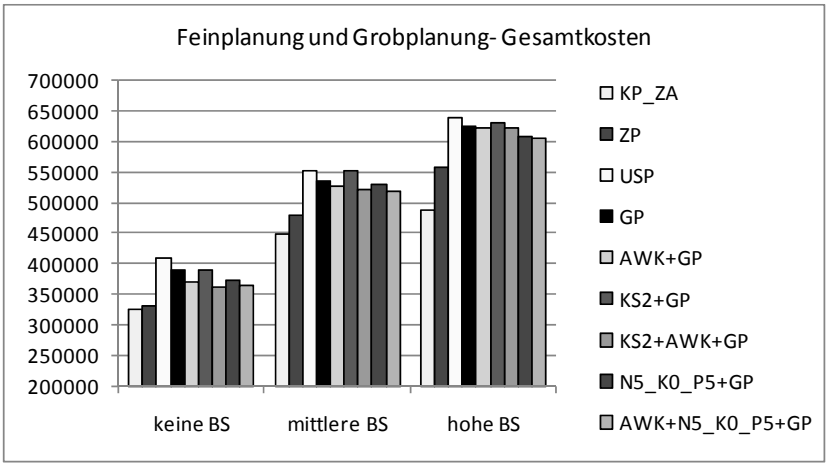


Abbildung 6.23: Gesamtkosten der Verfahren in der Grobplanung und Feinplanung

Tabelle 6.27 zeigt die entstehenden Kosten im Vergleich zum Upstream Planning.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
USP	408677	-	550595	-	637183	-	532152	-
KP_ZA	324860	79,49%	448924	81,53%	487688	76,54%	420491	79,02%
ZP	331339	81,08%	478371	86,88%	556549	87,35%	455420	85,58%
GP	389024	95,19%	534399	97,06%	623340	97,83%	515587	96,89%
AWK+GP	369813	90,49%	526606	95,64%	620308	97,35%	505576	95,01%
KS2+GP	390709	95,60%	551354	100,14%	631043	99,04%	524369	98,54%
KS2+AWK+GP	363247	88,88%	522361	94,87%	622377	97,68%	502662	94,46%
N5_K0_P5+GP	373299	91,34%	529453	96,16%	608454	95,49%	520040	97,72%
AWK+PS+GP	364493	89,19%	517248	93,94%	605090	94,96%	495610	93,13%

Tabelle 6.27: Kosten der Grobplanung und Feinplanung – Vergleich zum USP

Die Ergebnisse zeigen, dass auch das Gesamtverfahren mit einer integrierten Grob- und Feinplanung Einsparungen im Vergleich zum Upstream Planning erzielen kann. Eine mit dem Upstream Planning verknüpfte Grobplanung konnte dabei im Mittel eine Ersparnis von 3,11% erzielen. Wurde das Engpassteil-Lager von den Lieferanten geplant, so sank die Ersparnis auf 1,46%. Durch die zusätzliche Berücksichtigung von Abweichungskosten konnte die Ersparnis für Kooperationsstufe 1 auf 4,99% und für Kooperationsstufe 2 auf 5,54% erhöht werden. Eine Grobplanung, die mit einer Profit-Sharing-Instanz kombiniert wurde, lieferte eine Kostenersparnis von 2,28%. Wurden zu dieser Kombination zusätzlich noch Abweichungskosten betrachtet, so wurde mit 6,97% die höchste Ersparnis erreicht. Diese beträgt knapp die Hälfte der Ersparnis der zentralen rollierenden Planung und knapp ein Drittel der Ersparnis, die unter vollständiger Information möglich gewesen wäre. Im Falle gleichbleibender Bedarfe liefert die Kombination aus Kooperationsstufe 2, Abweichungskosten und Grobplanung die besten Ergebnisse, indem über elf Prozent der Kosten des Upstream Planning eingespart wurden. Ähnlich gute Ergebnisse lieferte die Kombination aus Abweichungskosten, Profit-Sharing und Grobplanung mit knapp elf Prozent Einsparungen. Somit konnten durch diese Kombinationen von Maßnahmen mehr als die Hälfte der Einsparungen zwischen Upstream Planning und dem Zentralplaner mit vollständiger Information erzielt werden. Im Falle mittlerer und hoher Bedarfsschwankungen erzielte jeweils die Kombination aus Abweichungskosten, Profit-Sharing und Grobplanung mit über sechs bzw. über fünf Prozent die besten Ergebnisse.

Die Kosten des Kunden für die Kombination aus Grob- und Feinplanung sind in Abbildung 6.24 dargestellt.

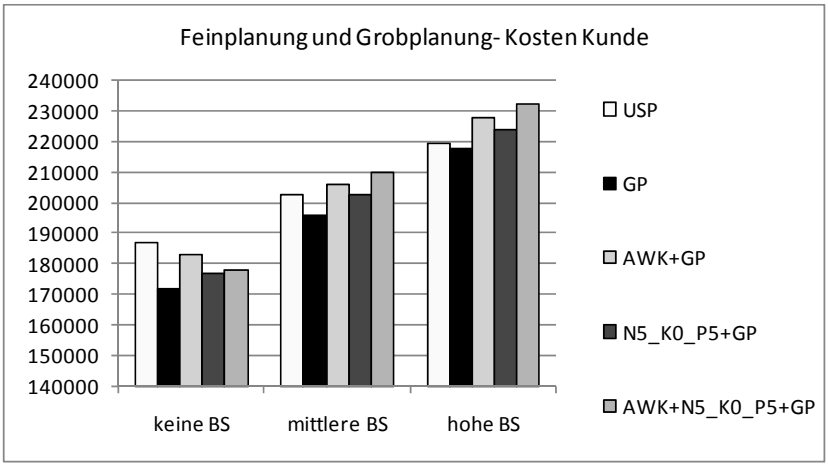


Abbildung 6.24: Verfahren der Grobplanung und Feinplanung – Kosten Kunde

Den Vergleich der Kosten zum Upstream Planning gibt Tabelle 6.28 wieder.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
USP	186664	-	202610	-	219261	-	202845	-
GP	171683	91,97%	195772	96,62%	217367	99,14%	194941	96,10%
AWK+GP	183101	98,09%	205790	101,57%	227860	103,92%	205584	101,35%
N5_K0_P5+GP	176793	94,71%	202560	99,98%	223618	101,99%	204015	100,58%
AWK+PS+GP	178095	95,41%	209671	103,49%	232186	105,90%	206651	101,88%

Tabelle 6.28: Grobplanung und Feinplanung – Vergleich zum USP – Kosten Kunde

Durch das reine Hinzuschalten der Grobplanung konnten bei allen Bedarfsschwankungen Einsparungen erzielt werden, die im Mittel 3,9% betrugen. Im Falle gleichbleibender Bedarfe konnten dabei die besten Ergebnisse erzielt werden. Die Abweichungskosten können wiederum nicht quantitativ berücksichtigt werden, da der Kunde nach Abschluss des Vertragshorizontes eine Kompensationszahlung erhalten würde. Diese müsste allerdings nicht besonders hoch ausfallen, um dem Kunden im Gesamten eine Ersparnis zu ermöglichen. Das Profit-Sharing führt wiederum aufgrund des großen Verhandlungszeitraums zu einem Anstieg der Kosten des Kunden. Dies gilt allerdings nur für hohe Bedarfsschwankungen und kann wie zuvor gezeigt durch Reduktion des Verhandlungshorizontes zu Gunsten des Kunden verändert werden.

Die Kosten von Lieferant 1 für die Kombination aus Grob- und Feinplanung sind in Abbildung 6.25 dargestellt.

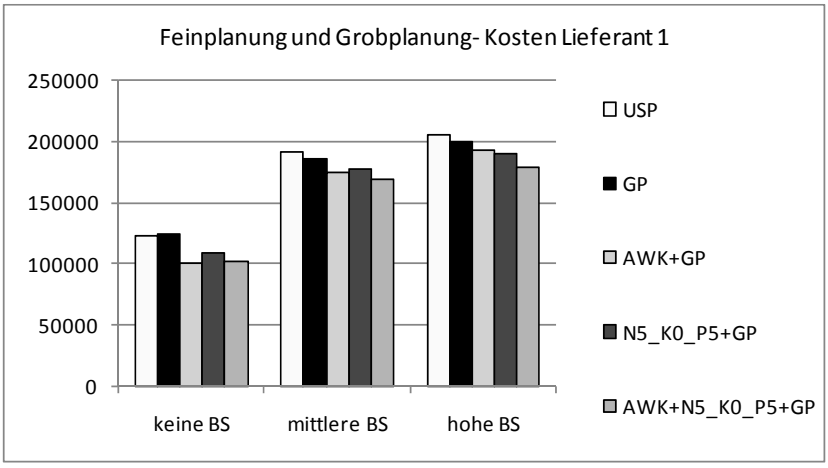


Abbildung 6.25: Verfahren der Grobplanung und Feinplanung – Kosten Lieferant 1

Den Vergleich der Kosten zum Upstream Planning gibt Tabelle 6.29 wieder.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
USP	122353	-	191840	-	205284	-	173159	-
GP	124749	101,96%	185843	96,87%	198980	96,93%	169857	98,09%
AWK+GP	100790	82,38%	174580	91,00%	192695	93,87%	156022	90,10%
N5_K0_P5+GP	108711	88,85%	177488	92,52%	189572	92,35%	164825	95,19%
AWK+PS+GP	101669	83,10%	168265	87,71%	179071	87,23%	149668	86,43%

Tabelle 6.29: Grobplanung und Feinplanung – Vergleich zum USP – Kosten Lieferant 1

Lieferant 1 konnte durch das Verfahren für alle untersuchten Kombinationen im Mittel Einsparungen erzielen. Nur im Falle gleichbleibender Bedarfe und einer reinen Kombination vom Upstream Planning und der Grobplanung wurde ein leichter Kostenanstieg verzeichnet. Im Mittel führte das Hinzuschalten einer reinen Grobplanung zu Kostenersparnissen in Höhe von 1,91%. Ein zusätzliches Profit-Sharing resultierte in Einsparungen von 4,81%, die Betrachtung von Abweichungskosten zu 9,9% und die Betrachtung beider Maßnahmen in Kombination mit der Grobplanung zu einer Ersparnis von 13,57%. Somit bleibt reichlich Spielraum für mögliche Kompensationszahlungen an den Kunden.

Die Kosten von Lieferant 2 sind in Abbildung 6.26 dargestellt.

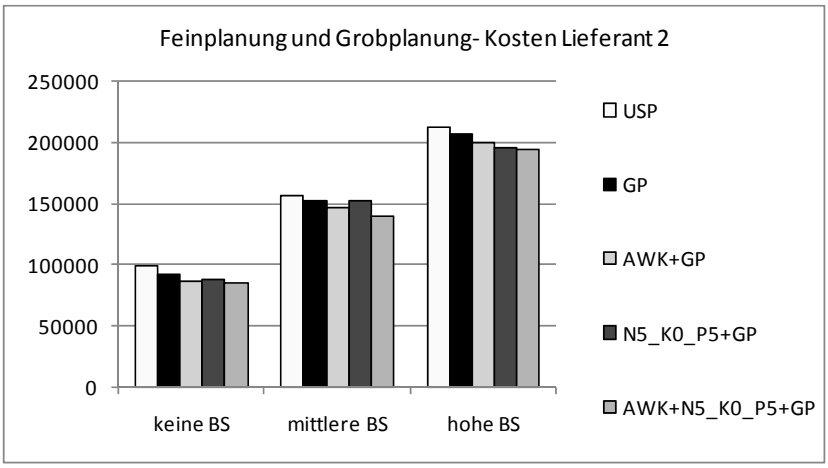


Abbildung 6.26: Verfahren der Grobplanung und Feinplanung – Kosten Lieferant 2

Den Vergleich der Kosten zum Upstream Planning gibt Tabelle 6.30 wieder.

Szenario	keine BS		mittlere BS		hohe BS		Gesamt	
	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich	Kosten	Vergleich
USP	99660	-	156145	-	212638	-	156148	-
GP	92592	92,91%	152784	97,85%	206993	97,35%	150790	96,57%
AWK+GP	85922	86,22%	146236	93,65%	199753	93,94%	143971	92,20%
N5_K0_P5+GP	87794	88,09%	151533	97,05%	195265	91,83%	151998	97,34%
AWK+PS+GP	84729	85,02%	140101	89,72%	193833	91,16%	139554	89,37%

Tabelle 6.30: Grobplanung und Feinplanung – Vergleich zum USP – Kosten Lieferant 2

Lieferant 2 konnte bei einer kombinierten Grob- und Feinplanung Einsparungen für alle untersuchten Kombinationen erzielen. Die größten Einsparungen wurden wiederum für die Kombination aus Abweichungskosten, Profit-Sharing und Grobplanung erzielt.

Die Auswertung hat gezeigt, dass die Aufgabe einer Kostenreduktion sowohl des gesamten Supply Chain Ausschnitts als auch jeder einzelnen Partei sowohl durch einzelne als auch eine Kombination von Maßnahmen möglich ist. Dies wurde anhand der untersuchten Testszenarien für unterschiedliche Bedarfsschwankungen unter Wahrung einer autonomen Planung aller Parteien erreicht. Um dieses Ziel in der Praxis zu erreichen, ist es eine notwendige Voraussetzung, die zu verwendenden Methoden dem Szenario angemessen zu parametrisieren.

7 ZUSAMMENFASSUNG

„Rolling, rolling, rolling
Rolling, rolling, rolling
Rolling, rolling, rolling
Rolling, rolling, rolling

Rawhide“

(The Blues Brothers)

In dieser Arbeit wird ein dezentraler, kooperativer Planungsansatz unter Annahme autonom agierender, egoistischer Parteien vorgestellt. Dabei wird ein Szenario untersucht, in dem ein Kunde einen Produktionsfaktor, als Engpassteil bezeichnet, von zwei Lieferanten mit Quotenbezug in einer unsicheren Umwelt mit sich verändernden Bedarfen bezieht. Anhand des Engpassteils wird die Koordination zwischen den Parteien detailliert beschrieben und untersucht. Basierend auf dem Szenario wird ein Komplettansatz entwickelt, der eine Produktionsplanung aller Parteien unter Einbeziehung der Bestellung bzw. Lieferung des Engpassteils rollierend verwirklicht. Das Ziel des Ansatzes ist es, durch die Koordination eine Kosteneinsparung aller Parteien gegenüber einer Referenzsituation zu erzielen.

Um eine Koordination zwischen den Parteien zu ermöglichen, wird zunächst ein Rahmenvertrag definiert, der neben der Festlegung einer Rabattstruktur eine längerfristige Abstimmung der Beschaffungsmengen über das Konzept der Flexibilitätskorridore ermöglicht. Zusätzlich werden im Rahmenvertrag kooperative Maßnahmen definiert, u.a. ein Ansatz zur Koordination der kurzfristigen Bestellpläne über ein Profit-Sharing-Verfahren. Der beschriebene Rahmenvertrag stellt dabei eine mögliche Ausprägung eines realen Vertrages dar, der als Grundlage der konzipierten Verfahren dient.

Die gesamte Planung ist so konzipiert, dass rollierend Grob- und Feinplanungsläufe ausgeführt werden, bis das Ende eines Vertragshorizontes erreicht wird. Dabei besteht eine Grobplanung aus Lieferantensicht darin, Kundenbestellungen durch Preisnachlässe innerhalb des bestehenden Rabattschemas so zu steuern, dass die längerfristigen, aggregierten Kapazitäten, die ebenfalls in diesem Schritt geplant werden, möglichst gut ausgelastet werden. Die Grobplanung aus Kundensicht besteht darin, Flexibilitätskorridore bei den Lieferanten unter Einhaltung der Quote im Vertragshorizont möglichst kostengünstig zu planen. Die Feinplanung der Parteien konkretisiert die in der Grobplanung geplanten aggregierten Beschaffungsmengen zu Bestellplänen und wird für alle Parteien durch eine Big-Bucket basierte Planung mittels ganzzahliger Modelle modelliert und mit einem Solver exakt gelöst.

Zur Evaluierung der vorgestellten Konzepte wurde eine Testplattform entwickelt, mit der neben der Pflege aller planungsrelevanten Daten eine rollierende Simulation der Planungen aller Parteien über die gesamte Laufzeit des Rahmenvertrags und eine anschließende Analyse aller relevanten Daten möglich ist. Dabei können für jede Planungsart Verfahren gewählt werden, so dass auf gleicher Datenbasis Planungen diverser Verfahren durchgeführt werden können. Damit

ist es möglich, die Ergebnisse der vorgestellten Konzepte mit verschiedenen Referenzsituationen und mit zentralen Gegnern zu vergleichen.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Verfahren in der Lage sind, das Ziel zu erreichen und eine Ersparnis für alle Parteien zu erzielen. Gerade im Falle stark schwankender Bedarfe ist dabei darauf zu achten, die Parameter, die zur Koordination notwendig sind, sorgfältig zu wählen, damit keine Partei benachteiligt wird. In der Regel konnten die Lieferanten in den Untersuchungen eine größere Ersparnis als der Kunde erzielen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass davon auszugehen ist, dass der Kunde eine solche Kooperation nur dann eingeht, wenn er bereits im Vorfeld einen Vorteil erreichen konnte. Dies geschieht in der Regel durch eine Aushandlung besserer Preise, die sich aber nicht in den analysierten Ergebnissen widerspiegeln.

Im Vergleich zu anderen Arbeiten auf diesem Gebiet weist der Ansatz einige Besonderheiten auf. Zunächst einmal wird eine Beschaffungsplanung unter Quotenbezug in der Forschung stark vernachlässigt. Zudem werden Steuerungsmechanismen zur Koordination der Beschaffung in einer Kunden-Lieferanten-Beziehung häufig anhand von statischen Annahmen und ohne eine detaillierte Modellierung aller involvierten Parteien untersucht. Ein Ansatz, der einen ähnlich hohen Detailgrad bzgl. der Modellierung der Parteien besitzt und der zugleich eine rollierende Planung betrachtet, existiert zur Zeit laut Kenntnis des Autors nicht. Eine weitere Besonderheit ist die integrierte rollierende Planung für zwei Planungsebenen. Zudem existiert nur ein weiterer Ansatz, der eine in die Produktionsplanung integrierte Beschaffungsplanung durchführt.

Da der beschriebene Ansatz sehr viele Teilaspekte betrifft, war es nicht möglich, jeden dieser Aspekte ausschöpfend zu behandeln. Daher existieren beinahe in jedem beschriebenen Planungsverfahren noch vielfältige Möglichkeiten, die Konzeption fortzuführen. Der beschriebene Ansatz wurde so modular aufgebaut, dass es jederzeit möglich ist, die vorhandenen Konzepte anzupassen oder neue Konzepte zu integrieren. Somit ist er auf vielfältige Szenarien aus der Praxis übertragbar. Durch die Schaffung einer Testplattform ist es möglich, eine Vielzahl von Auswirkungen der Planung in einem rollierenden Kontext zwischen verschiedenen Parteien zu analysieren. Durch die Möglichkeit der Parametrisierung aller Stellschrauben der Planung können dadurch zukünftig noch vielfältige Einblicke in Auswirkungen einzelner Aspekte auf die Planungsergebnisse sowohl einzelner Parteien als auch aller betrachteten Parteien einer Kunden-Lieferanten-Beziehung gewonnen werden.

LITERATURVERZEICHNIS

[AAC07] Araujo, S. A. de; Arenales, M. N.; Clark, A. R.: Joint rolling-horizon scheduling of materials processing and lot-sizing with sequence-dependent setups. In: Journal of Heuristics, 13, 2007, S. 337-358.

[Abad94] Abad, P. L.: Supplier pricing and lot sizing when demand is price sensitive. In: European Journal of Operational Research, 78, 1994, S. 334-354.

[Adam98] Adam, D.: Produktions-Management: Gabler. Wiesbaden, 1998.

[AHH07] Aissaoui, N.; Haouari, M.; Hassini, E.: Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. In: Computers and Operations Research, 34, 2007, S. 3516-3540.

[AmBo09] Amrani-Zouggar, A. Deschamps J. -C; Bourriéres, J. -P: Supply chain planning under various quantity commitment contracts. In: Elsevier Science, Proceedings of the of the 13 IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. Moscow, Russia, 2009.

[AnBa99] Anupindi, R.; Bassok, Y.: Supply Contracts with Quantity Commitments and Stochastic Demand. In: Quantitative models for supply chain management, 1999, S. 197.

[ApBu05] Appelfeller, W.; Buchholz, W.: Supplier Relationship Management: Gabler. Wiesbaden, 2005.

[BaAn08] Bassok, Y.; Anupindi, R.: Analysis of supply contracts with commitments and flexibility. In: Naval Research Logistics, 55, 2008.

[BaAn95] Bassok, Y.; Anupindi, R.: Analysis of supply contracts with forecasts and flexibility. Working Paper. Northwestern University, March, 1995.

[BaAn97] Bassok, Y.; Anupindi, R.: Analysis of supply contracts with total minimum commitment. In: IIE transactions, 29, 1997, S. 373-381.

[Bake77] Baker, K. R.: An experimental study of the effectiveness of rolling schedules in production planning. In: Decision Sciences, 8, 1977, S. 19-27.

[Bake93] Baker, K. R.: Requirements planning. In: Handbooks in operations research and management science, 4, 1993, S. 571-628.

[BaLa06] Balla, J.; Layer, F.: Produktionsplanung mit SAP APO-PP/DS: Galileo Press. Bonn, 2006.

[BaLe05] Basnet, C.; Leung, J. M. Y.: Inventory lot-sizing with supplier selection. In: Computers and Operations Research, 32, 2005, S. 1-14.

[Bane86a] Banerjee, A.: A joint economic-lot-size model for purchaser and vendor. In: Decision Sciences, 17, 1986, S. 292-311.

[Bane86b] Banerjee, A.: On" A quantity discount pricing model to increase vendor profits". In: Management Science, 1986, S. 1513-1517.

[BaPe79] Baker, K. R.; Peterson, D. W.: An analytic framework for evaluating rolling schedules. In: Management Science, 25, 1979, S. 341-351.

[Bart06] Barthel, H.: Modell zur Analyse und Gestaltung des Bestellverhaltens für die variantenreiche Serienproduktion: Jost-Jetter-Verl. Heimsheim, 2006.

[BBA02] Barnes-Schuster, D.; Bassok, Y.; Anupindi, R.: Coordination and flexibility in supply contracts with options. In: Manufacturing & Service Operations Management, 4, 2002, S. 171-207.

[BCo93] Bhatnagar, R.; Chandra Suresh, K.; others: Models for multi-plant coordination. In: European Journal of Operational Research, 67, 1993, S. 141-160.

[Bent91] Benton, W. C.: Quantity discount decisions under conditions of multiple items, multiple suppliers and resource limitations. In: International Journal of Production Research, 29, 1991, S. 1953-1961.

[BePa96] Benton, W. C.; Park, S.: A classification of literature on determining the lot size under quantity discounts. In: European Journal of Operational Research, 92, 1996, S. 219-238.

[BeWh82] Benton, W. C.; Whybark, D. C.: Material requirements planning (MRP) and purchase discounts. In: Journal of Operations Management, 2, 1982, S. 137-143.

[BeWo01] Belvaux, G.; Wolsey, L. A.: Modelling practical lot-sizing problems as mixed-integer programs. In: Management Science, 47, 2001, S. 993-1007.

[Bixb02] Bixby, R. E.: Solving real-world linear programs: A decade and more of progress. In: Operations Research, 50, 2002, S. 3-15.

[BKM86] Blackburn, J. D.; Kropp, D. H.; Millen, R. A.: A comparison of strategies to dampen nervousness in MRP systems. In: Management Science, 32, 1986, S. 413-429.

[BKM88] Brook, A.; Kendrick, D.; Meeraus, A.: GAMS, a user's guide. In: ACM SIGNUM Newsletter, 23, 1988, S. 11.

[BLL+02] Busch, A.; Lange, H.; Langemann, T.; Dangelmaier, W.: Marktstudie: Standardsoftware zum Collaborative Supply Chain Management: Fraunhofer-Anwendungszentrum für Logistikorientierte Betriebswirtschaft, ALB-HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 9, Paderborn, 2002.

[BMT83] Billington, P. J.; McClain, J. O.; Thomas, L. J.: Mathematical programming approaches to capacity-constrained MRP systems: review, formulation and problem reduction. In: Management Science, 29, 1983, S. 1126-1141.

[BoWu01] Bonser, J. S.; Wu, S. D.: Procurement planning to maintain both short-term adaptiveness and long-term perspective. In: Management Science, 47, 2001, S. 769-786.

[BrSi93] Bregman, R. L.; Silver, E. A.: A modification of the Silver-Meal heuristic to handle MRP purchase discount situations. In: The Journal of the Operational Research Society, 44, 1993, S. 717-723.

[Brus05] Brusset, X.: Comparison between minimum purchase, quantity flexibility contracts and spot procurement in a supply chain. Working Paper. IAG, Université Catholique de Louvain, Louvain la Neuve, Belgien, 2005.

[BSH+08] Buschkühl, L.; Sahling, F.; Helber, S.; Tempelmeier, H.: Dynamic capacitated lot-sizing problems: a classification and review of solution approaches. In: OR Spectrum, 2008, S. 1-31.

[BSM+08] Bronstein, I. N; Semendjajew, K. A; Musiol, G.; Mühlig, H.: Taschenbuch der Mathematik: Frankfurt am Main, 2008.

[Busc04] Busch, A.: Kollaborative Änderungsplanung in Unternehmensnetzwerken der Serienfertigung: Heinz-Nixdorf-Institut, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 148, Paderborn, 2004.

[BvW84] Barany, I.; van Roy, T. J.; Wolsey, L. A.: Strong formulations for multi-item capacitated lot sizing. In: Management Science, 1984, S. 1255-1261.

[Cach03] Cachon, G. P.: Supply chain coordination with contracts. In: Handbooks in operations research and management science, 11, 2003, S. 229-340.

[CaWh81] Callarman, T. E.; Whybark, D. C.: Determining purchase quantities for MRP requirements. In: Journal of Purchasing and Materials Management, 17, 1981, S. 348-358.

[CBK82] Carlson, R. C.; Beckman, S. L.; Kropp, D. H.: Effectiveness of Extending the Horizon in Rolling Production Scheduling. In: Decision Sciences, 13, 1982, S. 129-146.

[CCL87] Chung, C. S.; Chiang, D. T.; Lu, C. Y.: An optimal algorithm for the quantity discount problem. In: Journal of Operations Management, 7, 1987, S. 165-177.

[CCM55] Charnes, A.; Cooper, W. W.; Mellon, B.: A model for optimizing production by reference to cost surrogates. In: Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1955, S. 307-323.

[CFZ01] Chen, F.; Federgruen, A.; Zheng, Y. S.: Coordination mechanisms for a distribution system with one supplier and multiple retailers. In: Management Science, 2001, S. 693-708.

[ChKr01] Chen, F. Y.; Krass, D.: Analysis of supply contracts with minimum total order quantity commitments and non-stationary demands. In: European Journal of Operational Research, 131, 2001, S. 309-323.

[ChMa88] Chakravarty, A. K.; Martin, G. E.: An optimal joint buyer-seller discount pricing model. In: Computers & Operations Research, 15, 1988, S. 271-281.

[CHS02] Chand, S.; Hsu, V. N.; Sethi, S.: Forecast, solution, and rolling horizons in operations management problems: A classified bibliography. In: Manufacturing & Service Operations Management, 4, 2002, S. 25.

[CJK79] Carlson, R. C.; Jucker, J. V.; Kropp, D. H.: Less nervous MRP systems: A dynamic economic lot-sizing approach. In: Management Science, 25, 1979, S. 754-761.

[Clar03] Clark, A. R.: Optimization approximations for capacity constrained material requirements planning. In: International Journal of Production Economics, 84, 2003, S. 115-131.

[ClCl00] Clark, A. R.; Clark, S. J.: Rolling-horizon lot-sizing when set-up times are sequence-dependent. In: International Journal of Production Research, 38, 2000, S. 2287-2307.

[CMG+01] Cheng, C. H.; Madan, M. S.; Gupta, Y.; So, S.: Solving the capacitated lot-sizing problem with backorder consideration. In: The Journal of the Operational Research Society, 52, 2001, S. 952-959.

[CoGr00] Corbett, C. J.; Groote, X. de: A supplier's optimal quantity discount policy under asymmetric information. In: Management Science, 2000, S. 444-450.

[CoTa99] Corbett, C.; Tang, C.: Designing supply contracts: Contract type and information asymmetry. In: Management Science, 1999, S. 550-559.

[CPT04] Crama, Y.; Pascual J, R.; Torres, A.: Optimal procurement decisions in the presence of total quantity discounts and alternative product recipes. In: European Journal of Operational Research, 159, 2004, S. 364-378.

[CSS92] Chand, S.; Sethi, S. P.; Sorger, G.: Forecast horizons in the discounted dynamic lot size model. In: Management Science, 38, 1992, S. 1034-1048.

[Dang09] Dangelmaier, W.: Theorie der Produktionsplanung und -steuerung: Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg, 2009.

[DaSr87] Dada, M.; Srikanth, K. N.: Pricing policies for quantity discounts. In: Management Science, 1987, S. 1247-1252.

[DaWa97] Dangelmaier, W.; Warnecke, H.-J.: Fertigungslenkung: Springer. Berlin, 1997.

[DaWi93] Dangelmaier, W.; Wiedenmann, H.: Modell der Fertigungssteuerung: Beuth. Berlin u.a., 1993.

[DaWi97] Dangelmaier, W.; Wiedenmann, H.: Modellbasiertes Planen und Steuern der Fertigung: Beuth. Berlin u.a., 1997.

[DDK+07] Dangelmaier, W.; Döring, A.; Krebs, W.; Timm, T.: Customize to-Order: Optimized Planning and Control of Global Automotive Supply Networks, In: Proceedings of the 2007 World Conference on Mass Customization & Personalization. Cambridge MA, 2007.

[DeJe05] Dellaert, N.; Jeunet, J.: An alternative to safety stock policies for multi-level rolling schedule MRP problems. In: European Journal of Operational Research, 163, 2005, S. 751-768.

[Ders95] Derstroff, M. Carl: Mehrstufige Losgrößenplanung mit Kapazitätsbeschränkungen: Springer. Berlin, 1995.

[DoDr05] Domschke, W.; Drexl, A.: Einführung in Operations Research: Springer. Berlin, 2005.

[Dola78] Dolan, R. J.: A normative model of industrial buyer response to quantity discounts. In: Research Frontiers in Marketing: Dialogues and Directions, 1978, S. 121-125.

[Dola87] Dolan, R. J.: Quantity discounts: managerial issues and research opportunities. In: Marketing Science, 1987, S. 1-22.

[DPR04] Dangelmaier, W.; Pape, U.; Rüther, M.: Agentensysteme für das Supply Chain Management: Dt. Univ.-Verl. Wiesbaden, 2004.

[DrKi97] Drexl, A.; Kimms, A.: Lot sizing and scheduling-survey and extensions. In: European Journal of Operational Research, 99, 1997, S. 221-235.

[DSV97] Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S.: Produktionsplanung: Springer. Berlin, 1997.

[Dude04] Dudek, G.: Collaborative planning in supply chains: Springer. Berlin, 2004.

[DuSt05] Dudek, G.; Stadtler, H.: Negotiation-based collaborative planning between supply chains partners. In: European Journal of Operational Research, 163, 2005, S. 668-687.

[DuSt07] Dudek, G.; Stadtler, H.: Negotiation-based collaborative planning in divergent two-tier supply chains. In: International Journal of Production Research, 45, 2007, S. 465-484.

[Egri08] Egri, P.: Coordination in Production Networks: PhD Thesis, Eötvös Loránd University. Budapest, 2008.

[EpMa87] Eppen, G. D.; Martin, R. K.: Solving multi-item capacitated lot-sizing problems using variable redefinition. In: Operations Research, 35, 1987, S. 832-848.

[ErWu00] Ertogral, K.; Wu, S. D.: Auction-theoretic coordination of production planning in the supply chain. In: IIE transactions, 32, 2000, S. 931-940.

[FeTz91] Federgruen, A.; Tzur, M.: A simple forward algorithm to solve general dynamic lot sizing models with n periods in O (n log n) or O (n) time. In: Management Science, 37, 1991, S. 909-925.

[FeTz94] Federgruen, A.; Tzur, M.: Minimal forecast horizons and a new planning procedure for the general dynamic lot sizing model: Nervousness revisited. In: Operations Research, 42, 1994, S. 456-468.

[FGK87] Fourer, R.; Gay, D. M.; Kernighan, B. W.: AMPL: A mathematical programming language: Computer Science Technical Report No. 133, AT&T Bell Laboratories, Murray Hill, USA, 1987.

[Fink03] Fink, A.: Automatisierte Koordinationsmechanismen zur Ausgestaltung komplexer Verträge im Rahmen mediatisierter Verhandlungsprozesse. In: Wirtschaftsinformatik 2003: Medien-Märkte-Mobilität, 2003, S. 281.

[Fink04] Fink, A.: Supply chain coordination by means of automated negotiations. In: IEEE Computer Society Press, Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii, 2004.

[FRZ01] Fisher, M.; Ramdas, K.; Zheng, Y. S.: Ending inventory valuation in multiperiod production scheduling. In: Management Science, 47, 2001, S. 679-692.

[FWK01] Fransoo, J. C.; Wouters, M. J.F.; Kok, T. G. de: Multi-echelon multi-company inventory planning with limited information exchange. In: Journal of the Operational Research Society, 2001, S. 830-838.

[GDL05] Gomez-Padilla, A.; Duvallet, J.; Llerena, D.: Contract Typology as a Research Method in Supply Chain Management. In: Kotzab, H.; Seuring, S.; Müller, M.; Reiner, G. (Hrsg.): Research Methodologies in Supply Chain Management: Physica-Verlag. Heidelberg, 2005.

[GeHe07] Gehr, F.; Hellingrath, B.: Logistik in der Automobilindustrie: Springer. Berlin, 2007.

[GeKu09] Gebhard, M.; Kuhn, H.: Hierarchische Produktionsplanung bei Unsicherheit: Gabler. Wiesbaden, 2009.

[GhO'98] Ghodsypour, S. H.; O'brien, C.: A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. In: International Journal of Production Economics, 56, 1998, S. 199-212.

[GMS+07] Goossens; Maas, A. J.T.; Spieksma, F. C.R.; van Klundert, J. J. de: Exact algorithms for procurement problems under a total quantity discount structure. In: European Journal of Operational Research, 178, 2007, S. 603-626.

[Goya77] Goyal, S. K.: An integrated inventory model for a single supplier-single customer problem. In: International Journal of Production Research, 15, 1977, S. 107-111.

[Goya88] Goyal, S. K.: A JOINT ECONOMIC-LOT-SIZE MODEL FOR PURCHASER AND VENDOR": A COMMENT*. In: Decision Sciences, 19, 1988, S. 236-241.

[GPS02] Guéret, C.; Prins, C.; Sevaux, M.: Applications of optimization with Xpress-MP. Dash Optimization. Translated and revised by Susanne Heipcke, 2002.

[Grin83] Grinold, R. C.: Model building techniques for the correction of end effects in multistage convex programs. In: Operations Research, 31, 1983, S. 407-431.

[GüTe07] Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik: Springer. Berlin, 2007.

[GüTe09] Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik: Springer. Berlin, 2009.

[Gute51] Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. I, Die Produktion: Berlin, Göttingen und Heidelberg, 1951.

[Güth95] Güth, W.: On ultimatum bargaining experiments-A personal review. In: Journal of Economic Behavior & Organization, 27, 1995, S. 329-344.

[Hack84] Hackstein, R.: Produktionsplanung und -steuerung (PPS): VDI-Verl., Düsseldorf, 1984.

[HaMe75] Hax, A. C.; Meal, H. C.: Hierarchical Integration of Production Planning and Scheduling. In: Studies in the Management Sciences, M.A. Geisler, ed., Vol. 1, Logistics, North Holland – American Elsevier, 1975.

[Harr13] Harris, F. W.: How many parts to make at once. In: Factory, The Magazine of Management, 10, 1913, S. 135–136.

[HeHe08] Hegmanns, T.; Hellingrath, B.: Dezentrale Netzwerkplanung – Flexibilitätsorientierte Abstimmung von Bedarfen und Kapazitäten in Produktionsnetzwerken. In: ALB-HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 16, 2008.

[Heid06] Heidenreich, J.: Adaptierbare Änderungsplanung der Mengen und Kapazitäten in Produktionsnetzwerken der Serienfertigung: Heinz-Nixdorf-Institut, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 182, Paderborn, 2006.

[HoIl09] Holler, M. J; Illing, G.: Einführung in die Spieltheorie: Springer. Berlin, 2009.

[Ilie07] Iliev, N.: Flexibilität in Rahmenverträgen: Dt. Univ.-Verl. Wiesbaden, 2007.

[JCJ05] Jung, H.; Chen, F. F.; Jeong, B.: A production-distribution coordinating model for third party logistics partnership: IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2005.

[Jens96] Jensen, T.: Planungsstabilität in der Material-Logistik: Physica-Verl. Heidelberg, 1996.

[Jeun06] Jeunet, J.: Demand forecast accuracy and performance of inventory policies under multi-level rolling schedule environments. In: International Journal of Production Economics, 103, 2006, S. 401-419.

[JMF99] Jain, A. K.; Murty, M. N.; Flynn, P. J.: Data clustering: A survey. In: ACM Computing Surveys, 31, 1999, S. 264-323.

[JoTh90] Joglekar, P.; Tharthare, S.: The individually responsible and rational decision approach to economic lot sizes for one vendor and many purchasers. In: Decision Sciences, 21, 1990, S. 492-506.

[KaSr97] Kadipasaoglu, S. N.; Sridharan, S. V.: Measurement of instability in multi-level MRP systems. In: International Journal of Production Research, 35, 1997, S. 713-737.

[KaWu02] Karabuk, S.; Wu, S. D.: Decentralizing semiconductor capacity planning via internal market coordination. In: IIE transactions, 34, 2002, S. 743-759.

[KFW03] Karimi, B.; Fatemi Ghomi, S. M.T.; Wilson, J. M.: The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms. In: Omega, 31, 2003, S. 365-378.

[Kimm98] Kimms, A.: Stability measures for rolling schedules with applications to capacity expansion planning, master production scheduling, and lot sizing. In: Omega, 26, 1998, S. 355-366.

[KlBu76] Klaus, G.; Buhr, M.: Philosophisches Wörterbuch: VEB Bibliographisches Institut. Berlin, 1976.

[Kohn04] Kohn, W.: Statistik: Datenanalyse und Wahrscheinlichkeitsrechnung: Springer. Berlin, 2004.

[Korf93] Korff, P. C.: Simultane Bestimmung der optimalen Bestellmenge und des optimalen Lieferanten bei deterministisch schwankenden Daten: Hartung-Gorre. Konstanz, 1993.

[KrBi77] Krarup, J.; Bilde, O.: Plant location, set covering and economic lot size: an O (mn)-algorithm for structured problems. In: Numerische Methoden bei Optimierungsaufgaben, 3, 1977, S. 155-180.

[KSW79] Kern, W.; Schröder, H. H.; Weber, J.: Handwörterbuch der Produktionswirtschaft: Poeschel. Stuttgart, 1979.

[Kurb05] Kurbel, K.: Produktionsplanung und -steuerung im Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management: Oldenbourg. München, 2005.

[Larg06] Large, R.: Strategisches Beschaffungsmanagement: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. Wiesbaden, 2006.

[Lari99] Lariviere, M. A.: Supply chain contracting and coordination with stochastic demand. In: INTERNATIONAL SERIES IN OPERATIONS RESEARCH AND MANAGEMENT SCIENCE, 1999, S. 233-268.

[LeRo86] Lee, H. L.; Rosenblatt, M. J.: A generalized quantity discount pricing model to increase supplier's profits. In: Management Science, 1986, S. 1177-1185.

[LiKo99] Li, Y.; Kouvelis, P.: Flexible and Risk-Sharing Supply Contracts Under Price Uncertainty. In: Management Science, 1999, S. 1378–1398.

[LiWa07] Li, X.; Wang, Q.: Coordination mechanisms of supply chain systems. In: European Journal of Operational Research, 179, 2007, S. 1-16.

[LoWi06] Lotter, B.; Wiendahl, H.-P.: Montage in der industriellen Produktion: Springer. Berlin, 2006.

[LPW97] Lee, H. L.; Padmanabhan, V.; Whang, S.: The bullwhip effect in supply chains. In: Sloan Management Review, 38, 1997, S. 93-102.

[Lu95] Lu, L.: A one-vendor multi-buyer integrated inventory model. In: European Journal of Operational Research, 81, 1995, S. 312-323.

[Mada60] Madansky, A.: Inequalities for stochastic linear programming problems. In: Management Science, 6, 1960, S. 197-204.

[MDB95] Martel, A.; Diaby, M.; Boctor, F.: Multiple items procurement under stochastic nonstationary demands. In: European Journal of Operational Research, 87, 1995, S. 74-92.

[MoHo55] Modigliani, F.; Hohn, F. E.: Production planning over time and the nature of the expectation and planning horizon. In: Econometrica, 23, 1955, S. 46-66.

[MoNa00] Moinzadeh, K.; Nahmias, S.: Adjustment strategies for a fixed delivery contract. In: Operations Research, 2000, S. 408-423.

[Mona84] Monahan, J. P.: A quantity discount pricing model to increase vendor profits. In: Management Science, 1984, S. 720-726.

[MuRo98] Munson, C. L.; Rosenblatt, M. J.: Theories and realities of quantity discounts: An exploratory study. In: Production and Operations Management, 7, 1998, S. 352-369.

[OtOb08] Otto, A.; Obermaier, R.: Logistikmanagement: Deutscher Universitäts-Verlag | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. Wiesbaden, 2008.

[ÖzBi98] Özdamar, L.; Birbil S.I.: Hybrid heuristics for the capacitated lot sizing and loading problem with setup times and overtime decisions. In: European Journal of Operational Research, 110, 1998, S. 525-547.

[PaGr08] Parry, G.; Graves, A.: Build To Order: Springer-Verlag. London, 2008.

[PaWa94] Parlar, M.; Wang, Q.: Discounting decisions in a supplier-buyer relationship with a linear buyer's demand. In: IIE transactions, 26, 1994, S. 34-41.

[PoWo88] Pochet, Y.; Wolsey, L. A.: Lot-size models with backlogging: Strong reformulations and cutting planes. In: Mathematical Programming, 40, 1988, S. 317-335.

[PrKh89] Prentis, E. L.; Khumawala, B. M.: MRP lot sizing with variable production/purchasing costs: formulation and solution. In: International Journal of Production Research, 27, 1989, S. 965-984.

[QuKu08] Quadt, D.; Kuhn, H.: Capacitated lot-sizing with extensions: A review. In: 4OR: A Quarterly Journal of Operations Research, 6, 2008, S. 61-83.

[RBD+10] Rust, T.; Brüggemann, D.; Dangelmaier, W.; Picker-Huchzermeyer, D.: A method for simultaneous production and order planning in a cooperative supply chain relationship with flexibility contracts. In: IEEE Computer Society Press, Proceedings of the 43rd Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii, 2010.

[Reit02] Reith-Ahlemeier, G.: Ressourcenorientierte Bestellmengenplanung und Lieferantenauswahl: Books-on-Demand GmbH. Norderstedt, 2002.

[Robr91] Robrade, A. D: Dynamische Einprodukt-Lagerhaltungsmodelle bei periodischer Bestandsüberwachung: Physica-Verl. Heidelberg, 1991.

[RoLe85] Rosenblatt, M. J.; Lee, H. L.: Improving profitability with quantity discounts under fixed demand. In: IIE transactions, 17, 1985, S. 388-395.

[Ross03] Rossi, H.: Ein heuristisches Dekompositionsverfahren für mehrstufige Losgrößenprobleme: PhD Thesis, Freie Universität Berlin, 2003.

[RuBe93] Rubin, P. A.; Benton, W. C.: Jointly constrained order quantities with all-units discounts. In: Naval Research Logistics (NRL), 40, 1993, S. 255-278.

[RuUr93] Russel, R. A.; Urban, T. L.: Horizon extensions for rolling production schedules: Length and accuracy requirements. In: International Journal of Production Economics, 29, 1993, S. 111-122.

[Salo91] Salomon, M.: Deterministic lotsizing models for production planning: Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, vol. 355, Springer. Berlin, 1991.

[SaYo94] Sadrian, A. A.; Yoon, Y. S.: Procurement decision support system in business volume discount environments. In: Operations Research, 42, 1994, S. 14-23.

[SBU88] Sridharan, V.; Berry, W. L.; Udayabhanu, V.: Measuring master production schedule stability under rolling planning horizons. In: Decision Sciences, 19, 1988, S. 147-166.

[Schn94] Schneeweiß, C.: Elemente einer Theorie hierarchischer Planung. In: OR Spectrum, 16, 1994, S. 161-168.

[Scho01] Scholl, A.: Robuste Planung und Optimierung: Physica-Verl. Heidelberg, 2001.

[ScJa99] Scholz-Reiter, B.; Jakobza, J.: Supply Chain Management - Ueberblick und Konzeption. In: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik, 207, 1999, S. 7-15.

[ScZi04] Schneeweiss, C.; Zimmer, K.: Hierarchical coordination mechanisms within the supply chain. In: European Journal of Operational Research, 153, 2004, S. 687-703.

[SeHe90] Selen, W. J.; Heuts, R. M.J.: Operational production planning in a chemical manufacturing environment. In: European Journal of Operational Research, 45, 1990, S. 38-46.

[Şeny09] Şenyđğđt, E.: New Heuristics to Stochastic Dynamic Lot Sizing Problem. In: GU Journal of Science, 22, 2009, S. 97-106.

[SiEr01] Simpson, N. C.; Erenguc, S. S.: Modeling the order picking function in supply chain systems: formulation, experimentation, and insights. In: IIE transactions, 33, 2001, S. 119-130.

[Sill08] Sillekens, T.: Aggregierte Produktionsplanung in der Automobilindustrie unter besonderer Berücksichtigung von Personalflexibilität: PhD Thesis, Universität Paderborn, 2008.

[SKH04] Scholl, A.; Klein, R.; Haselbarth, L.: Planung im Spannungsfeld zwischen Informationsdynamik und zeitlichen Interdependenzen. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 33, 2004, S. 153-160.

[SMS06] Suhl, L.; Mellouli, T.: Optimierungssysteme: Springer. Berlin, 2006.

[Stad00] Stadtler, H.: Improved rolling schedules for the dynamic single-level lot-sizing problem. In: Management Science, 46, 2000, S. 318-326.

[Stad03] Stadtler, H.: Multilevel lot sizing with setup times and multiple constrained resources: Internally rolling schedules with lot-sizing windows. In: Operations Research, 2003, S. 487-502.

[Stad07] Stadtler, H.: A general quantity discount and supplier selection mixed integer programming model. In: OR Spectrum, 29, 2007, S. 723-744.

[Stad09] Stadtler, H.: A framework for collaborative planning and state-of-the-art. In: OR Spectrum, 31, 2009, S. 5-30.

[StKi05] Stadtler, H.; Kilger, C.: Supply Chain Management and Advanced Planning: Springer. Berlin, 2005.

[Suck04a] Sucky, E.: Coordinated order and production policies in supply chains. In: OR Spectrum, 26, 2004, S. 493-520.

[Suck04b] Sucky, E.: Koordination in Supply Chains: Dt. Univ.-Verl. Wiesbaden, 2004.

[Suhl94] Suhl, U. H.: MOPS: Mathematical OPtimization System. In: European Journal of Operational Research, 72, 1994, S. 312-322.

[Sydo92] Sydow, J.: Strategische Netzwerke: Gabler. Wiesbaden, 1992.

[SZZ04] Schneeweiss, C.; Zimmer, K.; Zimmermann, M.: The design of contracts to coordinate operational interdependencies within the supply chain. In: International Journal of Production Economics, 92, 2004, S. 43-59.

[Temp02] Tempelmeier, H.: A simple heuristic for dynamic order sizing and supplier selection with time-varying data. In: Production and Operations Management, 11, 2002, S. 499-515.

[Temp06] Tempelmeier, H.: Material-Logistik: Springer. Berlin, 2006.

[Ter 79] Ter Haseborg, F.: Optimale Lagerhaltungspolitiken für Ein- und Mehrproduktläger. Strukturen, Algorithmen und Planungshorizonte bei verschiedenen Mengenrabatten und deterministisch schwankendem Bedarf: Vandhoeck und Ruprecht. Göttingen, 1979.

[TGN+05] Tal, A. B.; Golany B.; Nemirovski A.; Vial J. P.: Supplier-retailer flexible commitments contracts: A robust optimization approach. In: MSOM, 7, 2005, S. 248-271.

[TNA99] Tsay, A. A.; Nahmias, S.; Agrawal, N.: Modeling supply chain contracts: A review. In: Quantitative models for supply chain management, 1999, S. 299-336.

[Troß92] Troßmann, E.: Prinzipien der rollenden Planung. In: WiSt-Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 21, 1992, S. 123-130.

[Tsay95] Tsay, A. A.: Supply Chain Control with Quantity Flexibility: Stanford University, Stanford, CA, 1995.

[Tsay99] Tsay, A. A.: The Quantity Flexibility Contract and Supplier-Customer Incentives. In: Management Science, 1999, S. 1339–1358.

[TsLo99] Tsay, A. A.; Lovejoy, W. S.: Quantity flexibility contracts and supply chain performance. In: Manufacturing and Service Operations Management, 1, 1999, S. 89-111.

[TTM89] Trigeiro, W. W.; Thomas, L. J.; McClain, J. O.: Capacitated lot sizing with setup times. In: Management Science, 35, 1989, S. 353-366.

[Urba00] Urban, T. L.: Supply Contracts with Periodic, Stationary Commitment. In: Production and Operations Management, 9, 2000, S. 400-413.

[Vazi01] Vazirani, V. V: Approximation algorithms: Springer. Berlin, 2001.

[VeNa99] Venkataraman, R.; Nathan, J.: Effect of forecast errors on rolling horizon master production schedule cost performance for various replanning intervals. In: Production Planning and Control, 10, 1999, S. 682-689.

[ViWa03] Viswanathan, S.; Wang, Q.: Discount pricing decisions in distribution channels with price-sensitive demand. In: European Journal of Operational Research, 149, 2003, S. 571-587.

[Wang05] Wang, Q.: Discount Pricing Policies and the Coordination of Decentralized Distribution Systems*. In: Decision Sciences, 36, 2005, S. 627-646.

[WaWa05] Wang, Q.; Wang, R.: Quantity discount pricing policies for heterogeneous retailers with price sensitive demand. In: Naval Research Logistics (NRL), 52, 2005, S. 645-658.

[WaWh58] Wagner, H. M.; Whitin, T. M.: DYNAMIC VERSION OF THE ECONOMIC LOT SIZE MODEL. In: Management Science, 5, 1958, S. 89-96.

[WCB91] Weber, C.; Current, J. R.; Benton, W. C.: Vendor selection criteria and methods. In: European Journal of Operational Research, 50, 1991, S. 2-18.

[WeKa09] Weber, W.; Kabst, R.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. Wiesbaden, 2009.

[Weng95] Weng, Z. K.: Channel coordination and quantity discounts. In: Management Science, 1995, S. 1509-1522.

[WeWo93] Weng, Z. K.; Wong, R. T.: General models for the supplier's all-unit quantity discount policy. In: Naval Research Logistics, 40, 1993.

[Wien07] Wiendahl, H. P.: Betriebsorganisation für Ingenieure: Hanser Fachbuchverlag. München, 2007.

[Wild03] Wildemann, H.: Supply Chain Management: Effizienzsteigerung in der unternehmensübergreifenden Wertschöpfungskette, Report der Transfer-Centrum GmbH & Co. In: KG (TCW) Nr, 39, 2003.

[Wild97] Wildemann, H.: Logistik Prozessmanagement: TCW Transfer-Centrum Verl. München, 1997.

[XZL03] Xie, J.; Zhao, X.; Lee, T. S.: Freezing the master production schedule under single resource constraint and demand uncertainty. In: International Journal of Production Economics, 83, 2003, S. 65-84.

[Zabe64] Zabel, E.: Some generalizations of an inventory planning horizon theorem. In: Management Science, 10, 1964, S. 465-471.

[Zäpf98] Zäpfel, G.: Grundlagen und Möglichkeiten der Gestaltung dezentraler PPS-Systeme. In: Corsten, H.; Gössinger, R. (Hrsg.): Dezentrale Produktionsplanungs-und-steuerungs-Systeme, 1998, S. 11-53.

[Zimm08] Zimmermann, H.-J.: Operations Research: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden. Wiesbaden, 2008.

[ZiSc01] Zimmer, K.; Schneeweiß, C.: Koordination im Supply Chain Management: ein hierarchischer Ansatz zur Steuerung der unternehmensübergreifenden Planung: Deutscher Universitäts-Verlag, Heidelberg, 2001.

A ANHANG

ANHANG A - ERGEBNISSE ALLER PLANUNGSLÄUFE

Grobplanung

Gesamtkosten

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
KP_ZA	326472	325905	332221	334921	354283	339113	337603	338656	355254
GL_GK	396381	382696	390661	403227	404245	405727	406598	403772	410613
FKP_GK	413111	392298	399503	414076	414899	414663	423830	424965	417771
GL_GQ	434218	436230	426625	442973	450241	441625	440450	441079	454588
FKP_GQ	428910	432183	419196	425094	432291	440407	437373	434443	434870
RS_OK	469032	487892	472433	506113	515486	514679	497204	513382	506469

Kosten Kunde

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
GL_GK	325166	314820	312657	334516	331751	343202	345402	330346	344614
FKP_GK	325053	314659	314401	335328	337223	344647	346191	331377	347331
GL_GQ	332148	325144	323289	339244	340669	346793	355658	342436	350429
FKP_GQ	342132	333801	334466	352314	353665	363130	365925	358767	364720
RS_OK	340041	331938	327754	345584	348776	357022	348692	339150	355320

Kosten Lieferant 1

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
GL_GK	59687	54050	58516	62966	61029	53672	56496	62733	62883
FKP_GK	64511	58673	63243	63750	63112	62103	69070	77178	67491
GL_GQ	74079	76777	78711	78535	88566	78480	70089	80054	79371
FKP_GQ	67851	69014	67641	66686	66193	69199	64618	64853	63891
RS_OK	82859	99313	102053	99709	102627	102118	97919	108932	93950

Kosten Lieferant 2

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
GL_GK	11528	13826	19489	5745	11465	8854	4700	10693	3116
FKP_GK	23547	18966	21859	14998	14564	7913	8569	16410	2949
GL_GQ	27991	34309	24625	25194	21006	16351	14704	18589	24788
FKP_GQ	18927	29368	17089	6094	12433	8079	6830	10823	6260
RS_OK	46132	56641	42626	60820	64083	55539	50593	65300	57199

Grobplanung Kunde

Kosten Kunde

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
GQ	340263	333090	334398	350639	353615	361754	365452	356838	363732
GK	324319	313577	313480	331582	336074	346920	345116	330148	348813
KP_K	315835	306785	304300	323351	324169	335567	331723	315351	329548

Feinplanung (mit Grobplanung)

Gesamtkosten

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
USP	412369	413922	399740	493616	568712	589458	653596	615288	642665
Q_2P	387234	372487	367821	472439	535439	550301	624603	593373	622821
JIT	411738	399586	416676	525573	604844	640583	711793	676983	718818
AWK	365114	380414	370116	471671	543623	562365	630348	596108	630342
KS2	401207	399418	397754	486782	556645	584994	643509	605906	634846
KS2+AWK	361685	375908	368770	466759	535417	560499	626530	593575	632234
N2_K0_P5	403240	397949	392330	493442	560541	573460	631965	608994	628180
N2_K0_P7	406972	401811	394897	483108	552221	575330	635297	602571	618280
N5_K0_P5	379154	380903	373567	463745	543180	552044	615879	589082	600617
N5_K0_P7	380254	373033	368853	472759	533915	552784	626905	592235	582650
N5_K2_P5	380304	385974	380584	476800	541457	555796	621689	599671	609710
N5_K2_P7	377773	382042	371796	475615	526628	551038	617368	597043	599490
N5_K0_A2	396402	395117	379349	488242	552334	578455	629460	609483	623079
AWK+ N5_K0_P5	369639	380763	371228	459329	524414	543490	594972	592014	587092
GP	384685	397123	385263	472899	557976	572321	628890	608200	632929
AWK+GP	379874	369102	360464	475213	542184	562422	636097	606979	617848
KS2+GP	385138	402137	384851	489497	585000	579566	645475	614364	633291
KS2+AWK+ GP	370679	364435	354628	473960	535362	557762	638631	613817	614684
N5_K0_P5+ GP	374901	nicht lösbar	371697	478620	550190	559549	626800	591804	606759
AWK+ N5_K0_P5+GP	369415	370257	353808	467930	534328	549486	627458	602603	585209
ZP	324987	336001	333029	417495	497157	520462	550771	544892	573983
KP_ZA	330941	326016	317623	397845	483454	465474	489733	476357	496975
PVK	456047	447458	442497	540852	580844	656405	703339	679149	699395

Kosten Kunde

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
USP	187167	183871	188955	195002	194507	218321	226405	222312	209066
Q_2P	190293	186694	192026	201508	197728	220085	234835	226465	212390
AWK	191005	192083	192311	202567	201611	223936	235605	234421	219929
N2_K0_P5	185256	176918	181780	194810	189487	213486	226404	217404	203093
N2_K0_P7	177292	170413	181406	187942	188087	209967	220748	217146	198288
N5_K0_P5	184052	180896	185121	196545	201518	225404	244552	238127	213338
N5_K0_P7	182713	174503	181250	202261	197022	228399	246153	242943	217152
N5_K2_P5	185866	181487	186765	197539	203640	226808	245313	242417	219319
N5_K2_P7	183996	178730	183589	198916	201937	221624	259276	236001	214998
N5_K0_A2	191084	185779	191403	200027	197049	230546	234705	226425	209677
AWK+ N5_K0_P5	189084	190748	188586	208141	202945	229028	250295	249301	218594
GP	172966	170569	171514	189672	191401	206242	219128	216897	216076
AWK+GP	176025	187811	185466	196175	205412	215785	230004	228710	224866
N5_K0_P5+ GP	178431	nicht lösbar	175156	197051	196432	214197	223905	219935	227014
AWK+ N5_K0_P5+GP	177654	178358	178274	207350	202585	219079	231720	226705	238134
PVK	205590	196549	202938	221343	194742	244581	257034	247838	228277

Kosten Lieferant 1

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
USP	129762	118021	119276	195883	188473	191165	206801	192237	216814
Q_2P	113324	98954	96545	170763	167182	167770	188617	178016	207026
AWK	109418	107079	105071	177590	174015	174081	192495	182926	204452
N2_K0_P5	101960	100872	100041	175276	171759	176279	189262	174410	207166
N2_K0_P7	119785	116452	118311	187319	194126	185495	196111	191493	210033
N5_K0_P5	124599	120026	116721	190659	186145	190643	200252	189577	211131
N5_K0_P7	111569	106941	105280	171131	177866	163875	182360	172113	190975
N5_K2_P5	112968	102999	105311	176520	170641	168317	183292	174073	178808
N5_K2_P7	114903	107794	106427	174318	174533	165345	188756	176777	191895
N5_K0_A2	112384	105391	103755	176486	167912	162930	179953	180470	188425
AWK+ N5_K0_P5	117095	109976	105558	180388	178037	177099	191928	185760	200622
GP	105477	104611	100710	163912	165132	167825	171015	168709	183377
AWK+GP	118725	128157	127365	178672	186189	192669	190764	194582	211593
N5_K0_P5+ GP	107161	97439	97771	179360	168738	175641	186684	192345	199055
AWK+ N5_K0_P5+GP	105961	nicht lösbar	111462	178369	180071	174024	185816	185722	197176
PVK	102933	104371	97704	168092	167055	169647	178758	184568	173888

Kosten Lieferant 2

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
USP	95441	112030	91509	102731	185732	179972	220390	200739	216786
Q_2P	83617	86839	79250	100168	170529	162446	201151	188892	203405
AWK	83045	99723	85445	106476	175450	171329	205231	199557	208814
N2_K0_P5	72150	87460	77764	93828	170254	162150	205481	187277	203248
N2_K0_P7	98200	104580	92239	111313	176928	174479	209450	200098	215054
N5_K0_P5	105081	111372	96770	104507	177989	174721	214297	195848	208860
N5_K0_P7	83533	93067	83167	96070	163796	162765	188968	178842	196305
N5_K2_P5	84573	95531	82292	93979	166253	156068	197460	175219	186690
N5_K2_P7	79535	96693	87393	104944	163284	163643	187620	180478	198496
N5_K0_A2	81393	97921	84452	100213	156779	166484	178139	180572	196067
AWK+ N5_K0_P5	88223	99362	82387	107827	177247	170810	202826	197298	212781
GP	75079	85405	81932	87277	156338	146638	173662	174004	185121
AWK+GP	92994	98397	86384	104555	180386	173410	218998	196721	205260
N5_K0_P5+ GP	96688	83852	77227	99678	168034	170996	219409	185924	193927
AWK+ N5_K0_P5+GP	90509	nicht lösbar	85080	103199	180071	171328	217079	186147	182569
PVK	88828	87528	77831	92488	167055	160759	216980	191330	173187

Planverspätungskosten

Gesamtkosten

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
USP	444841	431301	423887	582640	703376	717825	819800	784906	802703
PVK_KL	487583	471355	472080	582225	685951	726394	786229	749096	750092
PVK_L	452606	437285	426138	543952	649369	667097	731097	695469	704154

Kosten Kunde

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
GL_GK	188338	183871	188955	195229	194507	218321	230482	222312	209066
FKP_GK	205590	196549	202938	221343	212894	244581	257034	247838	228277
GL_GQ	188338	183871	188955	195229	194507	218321	230482	222312	209066

Kosten Lieferant 1

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
GL_GK	138879	129987	130825	256937	253978	253824	275266	263104	286683
FKP_GK	162211	149651	153602	248446	250930	253493	265698	258335	275585
GL_GQ	148868	137659	134772	241299	236363	231308	237352	239521	249849

Kosten Lieferant 2

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
GL_GK	117625	117443	104107	130474	254891	245680	314052	299490	306955
FKP_GK	119783	125156	115540	112437	222128	228320	263498	242923	246230
GL_GQ	115401	115755	102411	107424	218499	217468	263263	233636	245240

Lagerkosten

Gesamtkosten

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
LK20_USP	416091	414875	400962	506064	559833	581065	656736	619728	644471
LK20_N2_K0_P7	420308	416529	404163	497650	555703	593450	647453	614531	634797
LK20_N5_K0_P5	389692	379364	383584	505110	554964	592925	645838	619992	627343
LK20_N5_K0_P7	388615	392762	376348	528478	546677	568035	648722	623067	634552
LK20_20_USP	427596	428140	408511	513057	587549	604631	664367	628380	640994
LK20_20_N2_K0_P7	413157	415582	402498	511997	580010	603428	670843	630864	654748
LK20_20_N5_K0_P5	394172	391624	389093	529662	593067	600756	680107	682548	667965
LK20_20_N5_K0_P7	398246	384964	378425	539880	607414	601415	679401	690550	708149
LK100_USP	416350	419798	406708	506664	566032	578753	653458	644959	649847
LK100_N2_K0_P7	411326	416727	401832	508028	563910	588323	648050	629506	633842
LK100_N5_K0_P5	394177	388167	386025	526535	642098	585388	771819	684317	689818
LK100_N5_K0_P7	393606	431363	392572	596318	661206	605836	673835	649860	676766

Kosten Kunde

Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
LK20_USP	192768	189060	195078	203929	200211	216518	235688	227653	211362
LK20_N2_K0_P7	188351	186785	178672	202288	192167	222322	235911	233058	210565
LK20_N5_K0_P5	197337	190183	198072	241087	231930	266008	295374	278612	257944
LK20_N5_K0_P7	192719	193434	191093	257026	217977	248418	284398	288770	262679
LK20_20_USP	208073	211245	202422	218844	225595	238017	255739	244202	217838
LK20_20_N2_K0_P7	192893	188327	192902	214088	217841	244523	257718	251134	225094
LK20_20_N5_K0_P5	199529	198554	205963	254637	265354	273976	340253	341699	300807
LK20_20_N5_K0_P7	200614	190950	196596	265906	282475	269284	339204	346445	343126
LK100_USP	193755	194886	199005	214508	207108	214271	240237	258941	219372
LK100_N2_K0_P7	185081	182745	186913	213238	206510	216599	239326	251795	215436
LK100_N5_K0_P5	203619	198303	202020	268973	326731	261774	437719	345827	318997
LK100_N5_K0_P7	201566	233496	202723	336645	337861	279977	324461	308580	307607

Kosten Lieferant 1

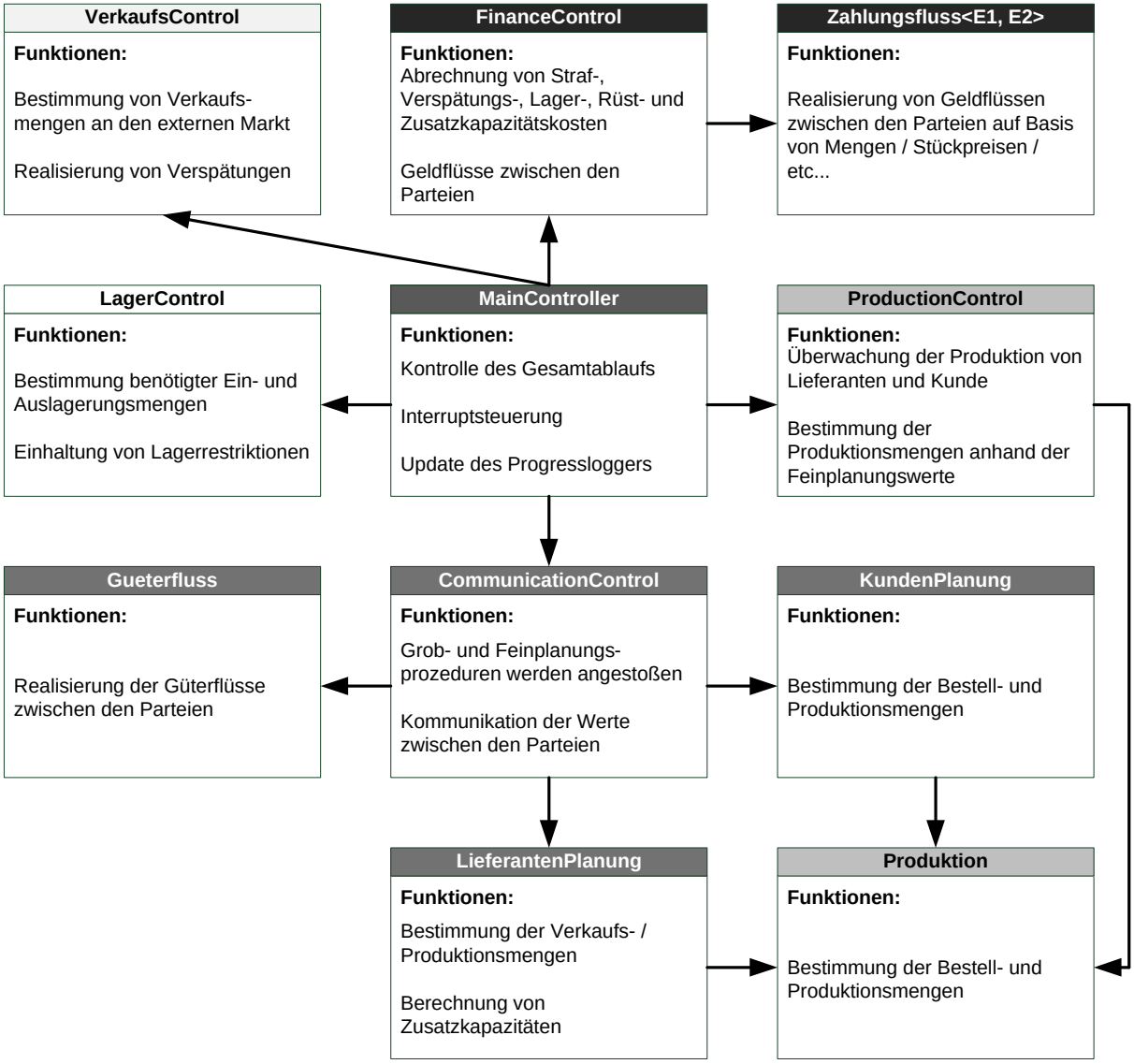
Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
LK20_USP	121051	122317	109154	188898	184028	177971	203874	195254	218371
LK20_N2_K0_P7	129731	124236	119083	185952	183132	181205	205122	190861	208260
LK20_N5_K0_P5	108775	99529	102693	167736	165153	160099	172746	167028	178862
LK20_N5_K0_P7	107844	109960	104256	176145	168723	154988	175130	163384	182793
LK20_20_USP	125596	118573	110356	184275	184281	174642	198619	184699	207447
LK20_20_N2_K0_P7	125362	123804	112269	185809	184297	170455	198211	189932	210098
LK20_20_N5_K0_P5	113718	104585	100836	170960	167403	158657	165399	168123	188884
LK20_20_N5_K0_P7	111023	105718	103632	174444	164435	164834	167826	168980	185585
LK100_USP	123723	119429	114044	182923	181087	182661	197491	188602	212193
LK100_N2_K0_P7	124080	123270	117497	185003	184777	181624	204098	187244	206136
LK100_N5_K0_P5	108719	103995	103224	167268	158534	154891	159059	160316	184496
LK100_N5_K0_P7	105955	109357	104524	168498	163703	160233	166499	164095	178864

Kosten Lieferant 2

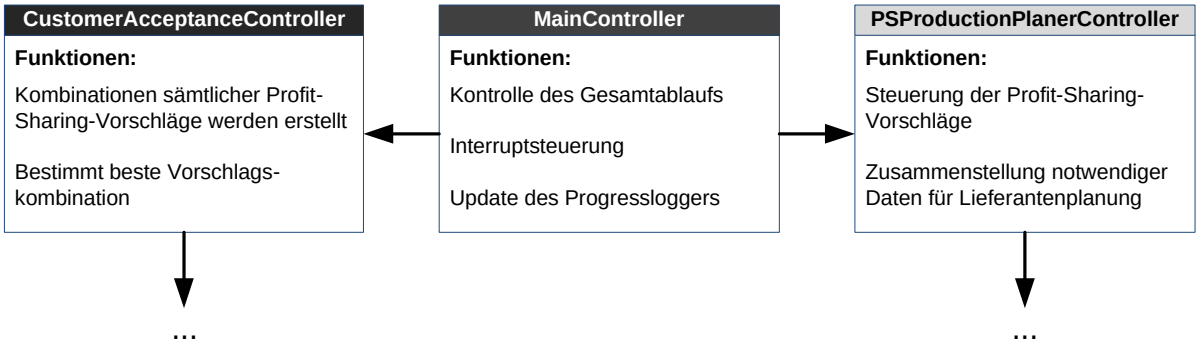
Verfahren	kBS1	kBS2	kBS3	mBS1	mBS2	mBS3	hBS1	hBS2	hBS3
LK20_USP	102272	103499	96730	113238	175595	186576	217174	196821	214738
LK20_N2_K0_P7	102226	105509	106409	109410	180404	189923	206419	190612	215972
LK20_N5_K0_P5	83581	89653	82819	96288	157881	166819	177719	174352	190537
LK20_N5_K0_P7	88052	89368	80999	95307	159977	164629	189195	170914	189080
LK20_20_USP	93928	98322	95734	109938	177673	191972	210009	199479	215709
LK20_20_N2_K0_P7	94902	103452	97327	112100	177872	188450	214913	189798	219556
LK20_20_N5_K0_P5	80926	88486	82295	104066	160311	168124	174455	172727	178275
LK20_20_N5_K0_P7	86609	88296	78197	99530	160504	167297	172372	175124	179438
LK100_USP	98872	105484	93659	109233	177837	181821	215730	197416	218282
LK100_N2_K0_P7	102165	110712	97422	109787	172622	190101	204626	190468	212271
LK100_N5_K0_P5	81840	85870	80782	90294	156834	168724	175042	178174	186325
LK100_N5_K0_P7	86086	88510	85325	91175	159642	165626	182876	177185	190295

ANHANG B - KLASSENSTRUKTUR DER TESTPLATTFORM

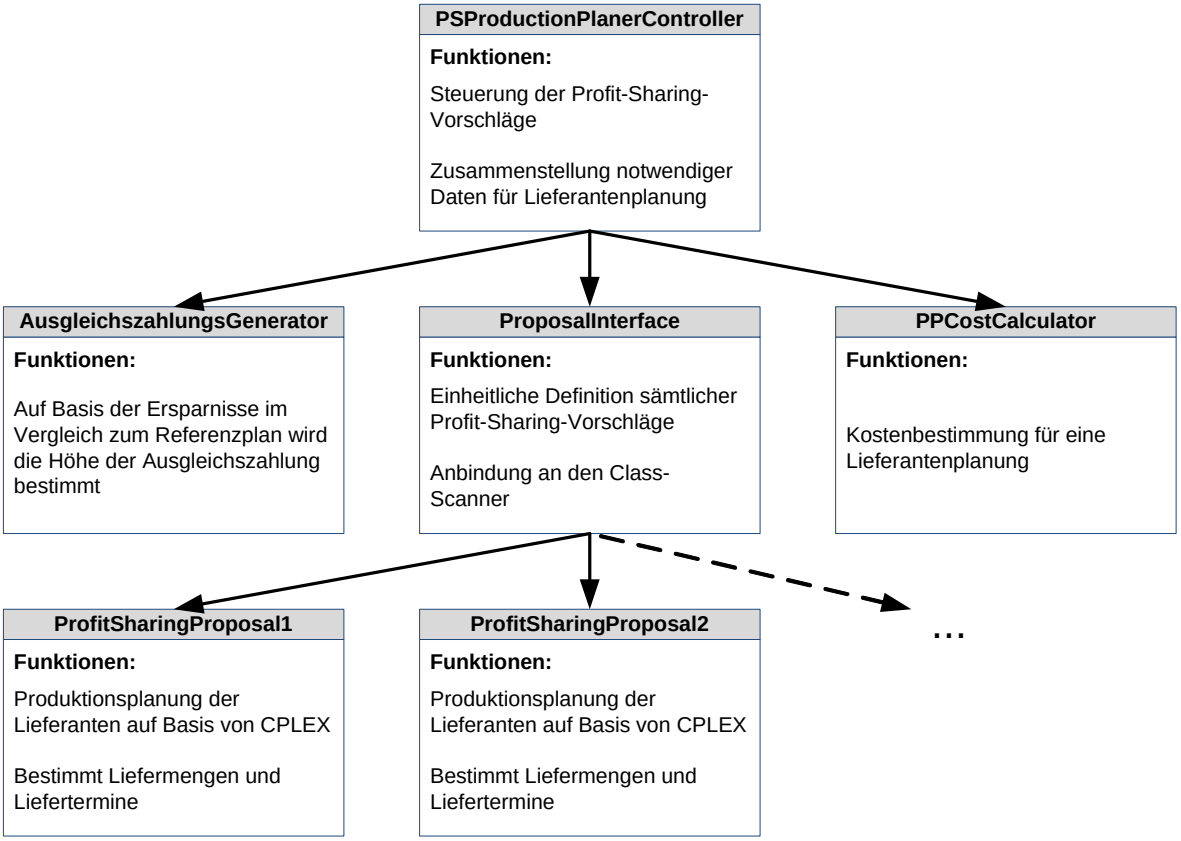
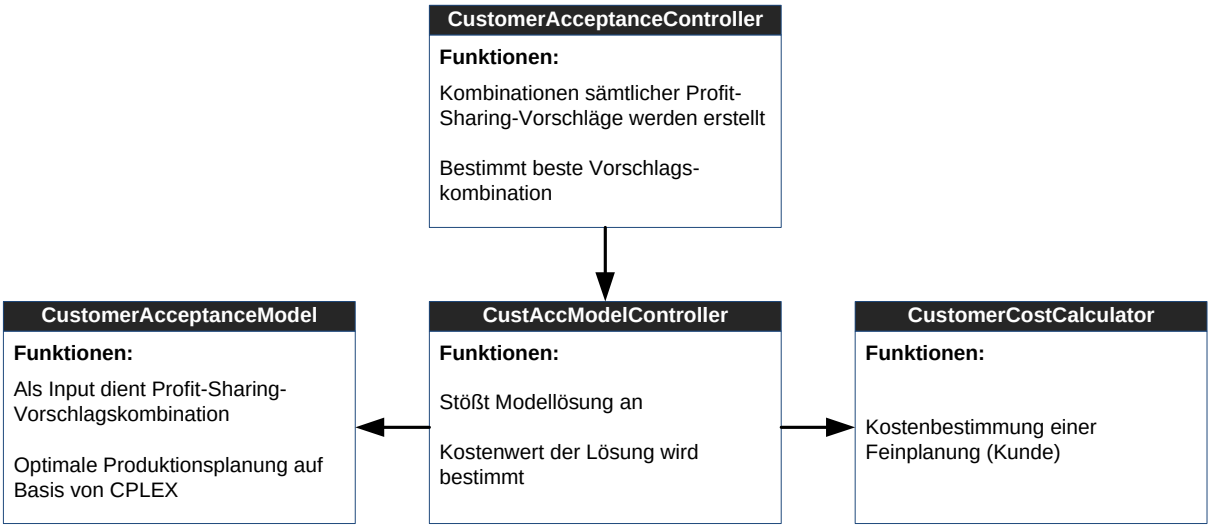
Klassendiagramm der Hauptklassen:



Klassendiagramm Profit-Sharing:



Klassendiagramm Profit-Sharing - Lieferantenmodul:



Klassendiagramm Profit-Sharing - Kundenmodul: