

# **Angewandtes short- und medium-term Forecasting in Industrieunternehmen**

Dissertation

eingereicht an der  
MONTANUNIVERSITÄT LEOBEN

im Oktober 2007

von

Dipl. Ing. Josef Pichler

# Danksagung

Frau Professor Engelhardt-Nowitzki, Leiterin des Lehrstuhls für Industrielogistik an der Montanuniversität Leoben, danke ich für die Bereitschaft, die Hauptbetreuung der Arbeit zu tragen und insbesondere für die sich immer wieder als essentiell und überaus wertvoll erweisenden Anstöße bezüglich der grundlegenden Ausrichtung der Arbeit.

Herrn Professor Böhm von der Forschungsgruppe Ökonometrie und Systemtheorie am Institut für Wirtschaftsmathematik an der Technischen Universität Wien, danke ich für die Bereitschaft, die Zweitbetreuung der Arbeit zu tragen und insbesondere für die vielen unverzichtbaren, großzügig und auf eine sehr angenehme Weise gegebenen Feedbacks.

Meinen Vorgesetzten, Kolleginnen und Kollegen bei RHI-Refractories – mein Arbeitgeber seit Mai 1998 – danke ich dafür, dass sie mit Teil eines Kommunikations- und Arbeitsumfeldes waren, das mir Inspirationsquelle und Prüfstein zugleich war.

Herrn Professor Biedermann danke ich für die ersten positiven Reaktionen auf mein Dissertationsvorhaben in der Zeit als es den Lehrstuhl für Industrielogistik noch nicht gab.

Herrn Dipl. Ing. Johannes Schwarz danke ich für die wertvolle Unterstützung in der Anfangsphase des Dissertationsvorhabens.

Herrn Professor Gawlick und Herrn Professor Sachsenhofer danke ich für die kurzen aber sehr hilfreichen Telefonate in der ersten Konzeptionsphase der Dissertation.

Meiner Familie danke ich für den Rückhalt und die Toleranz in der Zeit des Doktoratstudiums.

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Dissertation mit dem Titel  
„Angewandtes short- und medium-term Forecasting in Industrieunternehmen“  
von mir selbst und unter Verwendung der zitierten Literatur verfasst wurde.

Josef Pichler

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung.....</b>	<b>7</b>
1.1 Angewandtes Forecasting als Schlüssel zum Unternehmenserfolg.....	7
1.2 Die drei Hauptfragestellungen und der Rahmen der Arbeit.....	9
1.3 Vorgangsweise und Aufbau der Arbeit.....	13
<b>2 Angewandtes Forecasting – Grundlagen und offene Forschungsfragen.....</b>	<b>19</b>
2.1 Wesentlich Aspekte angewandten Forecastings – ein Diskussionsrahmen.....	20
2.2 Design Issues.....	23
2.2.1 Zweck und Verwendung von Forecasts.....	23
2.2.2 Forecastebenen, Forecastsegmente.....	25
2.2.3 Zeithorizonte und Frequenzen der Forecasterstellung.....	27
2.2.4 Für die Forecasterstellung bereitgestellte Ressourcen.....	28
2.2.5 Forecastersteller.....	30
2.2.6 Forecastuser.....	32
2.2.7 Datenquellen.....	32
2.3 Selection/Specification Issues.....	35
2.3.1 Bekanntheitsgrad verschiedener Forecasttechniken.....	35
2.3.2 Kriterien in der Auswahl von Forecastmethoden.....	36
2.3.3 Verwendung verschiedener Forecastmethoden.....	37
2.4 Evaluation Issues.....	38
2.4.1 Präsentation von Forecasts an das Management.....	38
2.4.2 Forecastreviews und die Berücksichtigung subjektiver Einschätzungen.....	39
2.4.3 Standards in der Bewertung der Forecastperformance.....	40
2.4.4 Forecast Performance.....	42
2.4.5 Typische Probleme und Verbesserungsansätze.....	43
2.4.5.1 Geringschätzung des Potentials angewandten Forecastings.....	44
2.4.5.2 Aus verschiedenen Motiven bewusst zu hoch oder zu niedrig angesetzte Forecastmengen.....	45

2.4.5.3 Probleme bzgl. der Organisation, der Abwicklung und der Kommunikation.....	46
2.4.5.4 Probleme bzgl. der zielgerichteten und zeitgerechten Anpassung der operativen Abläufe an sich ändernde Bedarfe.....	47
2.5 Offene Forschungsfragen.....	49
2.5.1 Vorausschauende Verfolgung der Forecasterfüllung.....	50
2.5.2 Forecastebensysteme mit organisationsübergreifendem Charakter.....	50
2.5.3 Zielgerichtete und zeitgerechte Anpassung der operativen Abläufe an sich ändernde Bedarfe.....	51
2.6 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse.....	52
<b>3 Kundenlieferzeiten als Schlüsselvariable im Forecastprozess.....</b>	<b>53</b>
3.1 Kundenlieferzeiten als Wettbewerbsfaktor.....	54
3.2 Reduktion von Lieferzeiten durch angewandtes Forecasting.....	56
3.2.1 Vorgaben für die Modellrechnung.....	56
3.2.2 Modellrechnung für den Fall eines perfekten Forecasts.....	58
3.2.3 Modellrechnung für den Fall eines fehlerhaften Forecasts.....	59
3.2.4 Vergleich der Ergebnisse für perfekten und stark fehlerhaften Forecast.....	61
3.2.5 Typische Bedarfsmuster aus der Praxis der zentralen Logistik bei RHI-Refractories.....	61
3.3 Beziehungen zwischen Kundenlieferzeiten und der Festlegung von Forecastebenen.....	63
3.3.1 Forecastebenen für Produkte deren Kundenlieferzeiten kürzer sind als die Summe aus Durchlaufzeit des letzten Fertigungsschritts plus Distributionszeit.....	64
3.3.2 Forecastebenen für Produkte mit Kundenlieferzeiten, die länger sind als die Summe aus Beschaffungs-, Produktions-, und Distributionszeiten.....	65
3.3.3 Forecastebenen in Systemen kombinierter Auftrags- und Lagerfertigung.....	66
3.4 Beziehungen zwischen Kundenlieferzeiten, Bedarfsmengen und Forecastconsumption.....	69
3.4.1 Verflechtungen zwischen Kundenlieferzeiten, angebotenen Lieferzeiten und den Bedarfsmengen.....	69
3.4.2 Kundenlieferzeiten und Forecastkonsum.....	70
3.5 Überwachung der Forecasterfüllung auf Basis von Kundenlieferzeiten – ein Modellansatz.....	71
3.6 Empirisch erhobene Verteilungen von Kundenlieferzeiten.....	73
3.7 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf die Hauptfragestellungen der Dissertation.....	75

<b>4 Die Planung und Steuerung von Lieferketten – Ziele und Strategien.....</b>	<b>77</b>
4.1 Ziele in der Planung und Steuerung von Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung im Kontext mit angewandtem Forecasting.....	78
4.1.1 Übergeordnete Zielsetzung.....	78
4.1.2 Ziele kurz- und mittelfristig orientierten Forecastings im Zusammenhang mit Unternehmensbudgets.....	82
4.1.3 Kernfunktionen von Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf.....	84
4.1.4 Ziele und organisationsübergreifende Aktivitäten.....	85
4.1.5 Das Zielsystem zur Planung und Steuerung von industriellen Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung im Rahmen von kurz- und mittelfristigem Forecasting.....	89
4.2 Strategien in der Planung und Steuerung von Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung.....	90
4.2.1 Variation der Produktionsraten.....	91
4.2.1.1 Charakteristika der Strategiepalette „Anpassung der Produktionsraten“.....	92
4.2.1.2 Kostenfunktionen der Strategiepalette „Anpassung der Produktionsraten“.....	93
4.2.1.3 Risiken der Strategiepalette „Anpassung der Produktionsraten“.....	98
4.2.2 Variation der Lagermengen.....	99
4.2.2.1 Charakteristika der Strategiepalette „Variation der Lagermengen“.....	100
4.2.2.2 Kostenfunktionen der Strategiepalette „Variation der Lagermengen“.....	102
4.2.2.3 Risiken der Strategiepalette „Variation der Lagermengen“.....	103
4.2.3 Steuerung der Bedarfsmenge und der Bedarfsverteilung.....	103
4.2.3.1 Charakteristika der Strategiepalette „Steuerung der Bedarfsmenge und der Bedarfsverteilung“.....	104
4.2.3.2 Kostenfunktionen der Strategiepalette „Steuerung der Bedarfsmenge und der Bedarfsverteilung“.....	105
4.2.3.3 Risiken der Strategiepalette „Steuerung der Bedarfsmenge und der Bedarfsverteilung“.....	106
4.3 Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die Hauptfragestellungen der Dissertation.....	107
<b>5 Die Festlegung und die Synchronisation von Forecastebenen.....</b>	<b>109</b>
5.1 Methoden zur Erstellung effizienter Lieferkettenmodelle.....	110
5.1.1 Lieferkettenmodelle.....	111

5.1.2 Strategien und Verfahren im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung.....	112
5.1.3 ABC- und XYZ-Analyse.....	115
5.2 Theory of Constraints.....	116
5.3 Die Festlegung von Forecastebenen.....	119
5.3.1 Forecastebenen in Form von Produktions- und Lieferraten.....	120
5.3.2 Forecastebenen in Form von Materiallägern.....	123
5.3.3 Forecastebenen in Form von Verkaufs- und Vertriebssegmenten.....	125
5.4 Synchronisation des Forecastprozesses – grundlegende Betrachtungen.....	127
5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse aus Kapitel 5.....	131
5.6 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf die Hauptfragestellungen der Dissertation.....	133
<b>6 Überwachung der Forecasterfüllung.....</b>	<b>136</b>
6.1 Der Auftragsbestand als Indikator für zukünftige Bedarfsentwicklungen.....	136
6.2 Bildung eines Kriteriums zur Analyse gegebener Forecasts auf Basis von Istauftragsständen.....	140
6.2.1 Die Prognostizierbarkeit von Endbedarfsmengen auf Basis von Teilbedarfsmengen.....	140
6.2.2 Ein Kriterium zur Beurteilung gegebener Forecasts auf Basis von Teilbedarfsmengen aus bereits fixierten Kundenaufträgen.....	148
6.3 Anwendung des Kriteriums auf Fallbeispiele.....	152
6.3.1 Fallbeispiel Produktsegment PS1.....	153
6.3.2 Fallbeispiel Produktsegment PS2.....	163
6.4 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse.....	170
<b>7 Forecastebenenensysteme mit organisationsübergreifenden Charakter.....</b>	<b>172</b>
7.1 Überbrückung der Diskontinuitäten zwischen Beschaffung Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf.....	173
7.1.1 Schritt 1 – Erhebung der Grundgesamtheit jener Endartikel, aus welchen sich die Verkaufsforecastebenen konstituieren.....	174
7.1.2 Schritt 2 – Gliederung der Endartikel entsprechend der zu ihrer Produktion erforderlichen Constraints und Lagermaterialien.....	175
7.1.3 Schritt 3 – Sicherstellung der mengenrichtigen Übertragung von Verkaufsforecastdaten auf die Constraints und die Lagerpositionen.....	176

7.1.4 Schritt 4 – Sicherstellung der zeitrichtigen Übertragung von Verkaufsforecastdaten auf die Constraints und die Lagerpositionen...	178
7.1.5 Schritt 5 – Integration von variablen Herstellkosten.....	181
7.2 Das idealtypische Forecastebenenystem mit organisationsübergreifendem Charakter.....	183
7.2.1 Allgemeine Anforderungen an das Forecastebenenystem.....	184
7.2.2 Anforderungen an Forecastebenen vom Typ Lagerpositionen.....	190
7.2.3 Anforderungen an Forecastebenen vom Typ Constraint.....	191
7.2.4 Anforderungen an Forecastebenen vom Typ Verkaufsforecastebenen.....	193
7.2.5 Das idealtypische Forecastebenenystem.....	195
7.3 Eine Anleitung zur Ausarbeitung von FCES-OCs.....	200
7.3.1 Festlegung der Forecastebenen in Form von Constraints.....	201
7.3.2 Festlegung der Forecastebenen in Form von Lagerpositionen.....	202
7.3.3 Festlegung der FC-Stücklisten, der FC-Arbeitspläne und der Verkaufsforecastebenen.....	203
7.3.4 Abbildung der Forecastebenen in einem MRP-System und Ermittlung der budgetierten Beschaffungs- und Produktionsmengen sowie der Zieldeckungsbeiträge auf Ebene der Constraints.....	205
7.3.5 Fünf letzte Schritte.....	205
7.4 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse.....	206
<b>8 Auf Forecasts basierende Planungs- und Steuerungsmaßnahmen.....</b>	<b>208</b>
8.1 Bedarfsverläufe – Musterfälle.....	209
8.2 Planungs- und steuerungsrelevante Charakteristika von Lieferketten.....	210
8.3 Situationsangepasste Festlegung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen.....	213
8.3.1 Lieferketten der Ausprägung A - keine Möglichkeit der Variation von Produktionsraten oder der Lagerproduktion gegeben.....	214
8.3.1.1 Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 1.....	214
8.3.1.2 Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 2.....	215
8.3.1.3 Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 3.....	216
8.3.1.4 Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 4.....	216
8.3.1.5 Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 5.....	217
8.3.2 Lieferketten der Ausprägung B - Möglichkeit der Lagerproduktion gegeben.....	217
8.3.2.1 Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 1.....	217
8.3.2.2 Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 2.....	218
8.3.2.3 Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 3.....	218
8.3.2.4 Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 4.....	218

8.3.2.5 Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 5.....	219
8.3.3 Lieferketten der Ausprägung C - Möglichkeit der Variation von Produktionsraten gegeben.....	219
8.3.3.1 Lieferkettentyp C – Bedarfsmuster 1.....	220
8.3.3.2 Lieferkettentyp C – Bedarfsmuster 2.....	220
8.3.3.3 Lieferkettentyp C – Bedarfsmuster 3.....	221
8.3.3.4 Lieferkettentyp C – Bedarfsmuster 4.....	221
8.3.3.5 Lieferkettentyp C – Bedarfsmuster 5.....	221
8.3.4 Lieferketten der Ausprägung D - Möglichkeit der Variation von Produktionsraten und von Lagerproduktion gegeben.....	222
8.3.4.1 Lieferkettentyp D – Bedarfsmuster 1.....	222
8.3.4.2 Lieferkettentyp D – Bedarfsmuster 2.....	222
8.3.4.3 Lieferkettentyp D – Bedarfsmuster 3.....	222
8.3.4.4 Lieferkettentyp D – Bedarfsmuster 4.....	223
8.3.4.5 Lieferkettentyp D – Bedarfsmuster 5.....	223
8.3.5 Komprimierte Zusammenschau der zwanzig Fälle.....	223
8.4 Der Einsatz linearer Optimierung.....	225
8.4 Beurteilung der Risiken bestimmter Planungs- und Steuerungsmaßnahmen.....	239
8.5.1 Risikobewertung von Maßnahmen im Zusammenhang mit Lieferketten der Ausprägung A.....	240
8.5.2 Risikobewertung von Maßnahmen im Zusammenhang mit Lieferketten der Ausprägung B.....	241
8.5.3 Risikobewertung von Maßnahmen im Zusammenhang mit Lieferketten der Ausprägung C.....	243
8.5.4 Risikobewertung von Maßnahmen im Zusammenhang mit Lieferketten der Ausprägung D.....	244
8.5.5 Die Abschätzung von Forecastfehlern.....	244
8.6 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse.....	247
<b>9 Zusammenfassung.....</b>	<b>249</b>
Literaturverzeichnis.....	253
Anhang.....	259

# 1 Einleitung

In den letzten fünfzehn Jahren hat angewandtes Forecasting im Zuge der Globalisierung und der damit Hand in Hand gehenden fortschreitenden Vernetzung von Lieferketten stark an Bedeutung gewonnen und ist zu einem unverzichtbaren Bestandteil der *Planung* und *Steuerung* von Lieferketten und Liefernetzwerken geworden.

Davon ausgehend werden im Folgenden unter Abschnitt 1.1 die *Funktionen* und *Ziele* angewandten Forecastings im Allgemeinen und im Zusammenhang mit dem Unternehmenserfolg im Besonderen erläutert.

Unter Abschnitt 1.2 folgt eine Darstellung der *drei Hauptfragestellungen der Dissertation* im Kontext mit den Rahmenbedingungen, die der Dissertation zugrunde gelegt wurden.

Die Einleitung schließt mit Abschnitt 1.3, in welchem auf den *Aufbau der Dissertation* und die Vorgangsweise zur Lösung der Hauptfragestellungen eingegangen wird.

## 1.1 Angewandtes Forecasting als Schlüssel zum Unternehmenserfolg

In einem umfassenden Artikel über die Auditierung von Forecastprozessen geben Moon et al. eine prägnante Zusammenfassung über die Ziele und Funktionen angewandten Forecastings:

„Regardless of industry, or whether the company is a manufacturer, wholesaler, retailer, or service provider, effective demand forecasting helps organizations to identify market opportunities, enhance channel relationships, increase customer satisfaction, reduce inventory investment, eliminate product obsolescence, improve distribution, operations, schedule more efficient production, and anticipate future financial and capital requirements.“<sup>1</sup>.

Im Allgemeinen kann angewandtes Forecasting als *zweistufiger* Prozess beschrieben werden.

---

<sup>1</sup> Moon et al., 2002, S. 1.

In der *ersten* Stufe dient es der Prognose zukünftiger potentieller Absatzmengen, ihrer Qualitäten und den daraus resultierenden Leistungsbedarfen in Lieferketten, wie z.B. den Produktionskapazitäts- oder den Fertigungsmaterialbedarfen. Davon ausgehend werden in der *zweiten* Stufe Maßnahmen zur Planung und Steuerung der Lieferketten und der Verkaufsaktivitäten ausgearbeitet, wobei das vorrangige Ziel in diesem Kontext darin besteht, die Planungs- und Steuerungsmaßnahmen so festzulegen, dass sie unter Berücksichtigung der zu erwartenden Bedarfsmengen und ihrer Qualitäten, den Leistungsangeboten in den Lieferketten und den sowohl mit den Leistungsangeboten als auch mit den potentiellen Absatzmengen verknüpften Kostenparametern zu einem möglichst guten Unternehmensergebnis führen.

Damit geht angewandtes Forecasting über die bloße Erstellung von Absatzprognosen oder Prognosen von zu erwartenden Marktentwicklungen hinaus und steht in engem Kontext mit Supply Chain Management und der damit verknüpften Planung und Umsetzung von Vertriebs-, Marketing- und Verkaufsstrategien.

Diese Umstände bringen mit sich, dass angewandtes Forecasting und angewandtem Forecasting zugrunde liegende Forecastprozesse innerhalb von Unternehmensorganisationen *organisationsübergreifend* ausgeprägt sein müssen. D.h., dass in der Regel der Einkauf und die Beschaffung, die Produktionsplanung und -steuerung, der Verkauf und der Vertrieb bzw. das Marketing in den Forecastprozess eingebunden sind und eine *effiziente forecastspezifische Kommunikation* zwischen diesen Organisationsbereichen gewährleistet werden muss.

Letzteres ist vor allem dann von Bedeutung, wenn zukünftige Bedarfsverläufe durch mathematische Modelle auf Basis von historischen Bedarfsverläufen nicht mit ausreichender Genauigkeit prognostiziert werden können, da diese Bedarfsverläufe z.B. zu starke stochastische Schwankungen beinhalten, historische Zeitreihen unzureichende Längen aufweisen oder gar nicht existieren.

In solchen Fällen versucht man zur Forecasterstellung, die durch die Kundenkontakte gegebenen *Marktkennntnisse der Verkaufsmitarbeiter* zu nutzen, was bei umfangreichen Produktpaletten mit einigen zehntausend Endartikeln, dezentraler Vertriebsorganisation und komplexen Lieferkettenstrukturen wie z.B. dreißig über den Globus verteilten Produktionsstandorten, deren Produkte zum Teil in mehreren Produktionsstandorten und in verschiedenen Kontinenten produziert werden können, enorme Anforderungen an die Steuerung des Kommunikationsflusses stellt. In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass Szenarien dieser Art im Zuge der fortschreitenden Globalisierung und der immer stärkeren Vernetzung von Lieferketten und Liefernetzwerken unter der Nutzung der erweiterten Möglichkeiten der Informationstechnologie keine Seltenheit darstellen<sup>2</sup>.

Abgesehen davon zeigt sich, dass Bedarfsverläufe aufgrund der durch die Globalisierung bedingten verstärkten Wettbewerbsverhältnisse zunehmend *unregelmäßiger* ausgeprägt sind und unzureichende Lieferbereitschaftsgrade zu *Verlusten* potentieller Umsätze führen<sup>3</sup>, was die Notwendigkeit von Möglichkeiten zur Erstellung von Bedarfsprognosen, die historischen Zeitreihen nicht bedürfen, unterstreicht.

Als stärkstes Argument für den Aufbau und die Betreibung von Forecastprozessen ist nicht zuletzt in diesem Kontext anzuführen, dass die Erstellung von Bedarfsprognosen in

---

<sup>2</sup> Vgl. dazu Moon et al., 2000.

<sup>3</sup> Vgl. Oke, 2003, S. 86 und S. 91; Bonney et al. 2003, S. 251.

der Form, dass diese zur Ausarbeitung und Umsetzung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen herangezogen werden können, welche sowohl auf die individuellen Strukturen der verknüpften Lieferketten als auch auf die aktuellen Absatzmarkterfordernisse gemünzt sind, **überhaupt erst die Möglichkeit mit sich bringt, eine gezielte und vorausschauende Unternehmensergebnis-Optimierung durchzuführen.**

Liegen keine Daten über zukünftige Bedarfsentwicklungen vor oder sind zwar Prognosedaten vorhanden, diese aber nicht dazu verwendbar, die Lieferketten und die Verkaufsaktivitäten im Hinblick auf ihre Leistungs- und Kostenparameter im Zusammenhang mit erzielbaren Umsätzen zu planen und zu steuern, so wird das tatsächliche Unternehmensergebnis vielfach durch den Zufall bestimmt sein und damit im Regelfall hinter dem, mit den jeweils gegebenen Rahmenbedingungen verknüpften, potentiell erreichbaren Unternehmensergebnis zurück bleiben.

Damit werden der Aufbau und die Betreibung effizienter und effektiver organisationsübergreifender Forecastprozesse überall dort zu einem diskussionswürdigen Thema, wo unvorhergesehene Bedarfsspitzen oder Bedarfsrateneinbrüche dazu führen, dass das durch die Rahmenbedingungen bestimmte und potentiell erreichbare Unternehmensergebnis aufgrund überraschend eintretender Bedarfsentwicklungen signifikant unterschritten wird.

## 1.2 Die drei Hauptfragestellungen und der Rahmen der Arbeit

Die Arbeit hat zum Ziel, drei Hauptfragestellungen zu lösen, welche aus einer umfassenden Literaturrecherche, die das zweite Kapitel der Dissertation darstellt, abgeleitet wurden.

Im Folgenden sind die drei Hauptfragestellungen formuliert und im Zusammenhang mit den Forschungslücken kurz erläutert. Eine detaillierte Diskussion der Hauptfragestellungen im Kontext mit den Forschungslücken ist unter Kapitel zwei angeführt.

Die **erste Hauptfragestellung** lautet:

*Auf Basis des Konzepts „Forecastconsumption“ soll eine Methode ausgearbeitet werden, die es erlaubt, die Forecasterfüllung kontinuierlich zu verfolgen und vorausschauend zu bewerten. Ziel dieser Methode ist es, zu einem beliebigen Zeitpunkt Aussagen darüber treffen zu können, ob gegebene Forecasts aller Voraussicht nach noch erfüllt werden können oder aber überprüft bzw. überarbeitet werden müssen.*

Aus der einschlägigen Literatur ist bekannt, dass Verkaufsmitarbeiter und Verkaufsleiter Forecastmengen aus verschiedenen Motiven heraus fallweise vorsätzlich zu hoch oder zu niedrig ansetzen<sup>4</sup>. Werden für Forecasts, welche solche Falschinformationen enthalten,

---

<sup>4</sup> Vgl. dazu Abschnitt 2.4.5.2.

Planungs- und Steuerungsmaßnahmen erarbeitet und umgesetzt, so sind diese Maßnahmen im Allgemeinen nicht ideal und das potentiell erreichbare Unternehmensergebnis wird verfehlt. Daher ist es von großer Bedeutung, vorsätzlich zu hoch oder zu niedrig angesetzte Forecasts möglichst früh als solche zu erkennen.

In diesem Zusammenhang wird in der einschlägigen Literatur empfohlen, durch den Verkauf erstellte Forecasts im Bewusstsein, dass Falschinformationen enthalten sein können, zu prüfen. Durch eine bloße Prüfung auf Plausibilität sind vorsätzliche Falschinformationen, die innerhalb bestimmter Grenzen bleiben, aber nicht als solche erkennbar. Aus diesem Grund ist es wünschenswert, über die Plausibilitätsprüfungen hinaus Analysewerkzeuge zur Verfügung zu haben, welche ein möglichst frühzeitiges Erkennen von vorsätzlich falsch angesetzten Forecasts erlauben.

Das Konzept „*Forecastconsumption*“ besteht darin, dass eingehende Kundenaufträge zugehörige Forecastbedarfsfälle *substituieren*. Bei perfekter Erfüllung des Forecasts sind die Forecastmengen bis zu bestimmten Zeitpunkten vollständig durch Kundenauftragsmengen ersetzt. Da die *Lieferzeiten* der Kundenaufträge bzgl. ihrer Länge in der Regel bestimmte Bandbreiten und Verteilungen aufweisen, erfolgt die Substitution der Forecastmengen durch Kundenauftragsmengen sukzessive bzw. über einen bestimmten Zeitraum. Damit sollte es auf Basis mathematischer Beziehungen und unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden stochastischen Variablen möglich sein, ein Kriterium anzugeben, das eine Aussage darüber zulässt, ob gegebene Forecasts in *Abhängigkeit* von den zu einem bestimmten Zeitpunkt vorliegenden *Kundenauftragsmengen* als weitgehend fehlerfrei betrachtet werden können oder deren Erfüllung als unzureichend wahrscheinlich anzusehen ist und damit eine Korrektur der gegebenen Forecasts notwendig wird.

Mit einer solchen Methode würde es nicht nur möglich sein, die aus der Literatur bekannten bewusst falsch angesetzten Forecasts, sondern auch Fehler von Forecasts, welche nach bestem Wissen und Gewissen oder auf Basis von mathematischen Modellen aus historischen Zeitreihen heraus erstellt wurden, frühzeitig zu erkennen.

Abgesehen davon stellt die quantitative Berücksichtigung von *Lieferzeiten und ihrer Verteilungen* im Kontext mit dem Konzept der Substitution von Forecastbedarfsfällen durch Kundenauftragsbedarfe wissenschaftliches Neuland dar.

**Die zweite Hauptfragestellung** lautet:

*Es soll eine Anleitung dafür erarbeitet werden, wie Forecastebensysteme mit organisationsübergreifendem Charakter (FCES-OCs) gebildet werden können.*

*Wobei unter einem FCES-OC eine Sammlung von Forecastdaten und Informationen, die im Hinblick auf die Planung und Steuerung von Lieferketten und der Verkaufsaktivitäten auf Basis von Forecasts relevant sind, verstanden wird. Im Detail ist ein FCES-OC so strukturiert, dass es die Funktion einer Plattform für eine effiziente forecastspezifische Kommunikation zwischen den Organisationseinheiten Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf erfüllt und insbesondere die Möglichkeit bietet, durch den Verkauf erstellte Forecasts nahtlos in die unternehmenszielorientierte Ausarbeitung von adäquaten forecastbasierenden Planungs- und Steuerungsmaßnahmen integrieren zu können.*

Viele Autorinnen und Autoren sehen in der Weiterentwicklung der Forecastorganisation, der Kommunikationsstrukturen sowie des Managements von Forecastprozessen jene

Forschungsfelder aus welchen am ehesten Fortschritte für angewandtes Forecasting im Allgemeinen zu erwarten sind<sup>5</sup>.

Wie vor allem in Kapitel 5 der Arbeit gezeigt wird, ist das Management von Forecastprozessen und der forecastspezifischen Kommunikation eng mit der Ausprägung der *Forecastebenen* verflochten, für welche die Forecasts erstellt werden. Forecasts können z.B. auf Ebene der Absatzmenge des einzelnen Endartikels, auf Unternehmensumsatzebene, auf Ebene der Kapazitätsbedarfe bzgl. einer Engpassressource oder auf Ebene der Menge eines zu beschaffenden Fertigungsmaterials erstellt werden. An jede Forecastebene sind in Abhängigkeit davon, wofür die Forecasts verwendet werden – ob z.B. zur Planung und Steuerung der Beschaffung, der Produktion oder der Verkaufsaktivitäten – unterschiedliche Anforderungen geknüpft. Letzteres manifestiert sich in unterschiedlichen *Mengeneinheiten* wie Beschaffungsmengeneinheiten, Kapazitätsmengeneinheiten oder Werteneinheiten im Zusammenhang mit Kosten, Deckungsbeiträgen und Umsätzen sowie unterschiedlichen *Zeitzuordnungen* wie z.B. den Bestellzeitpunkten von Fertigungsmaterialien, den Belegungsterminen von Arbeitsplätzen und der Warenübergabe an den Kunden. Überdies sind die Forecastebenen miteinander verflochten, da Endartikel Bedarfe an Kapazitäten und zu beschaffenden Fertigungsmaterialien beinhalten.

Daran zeigt sich insbesondere im Zusammenhang mit umfangreichen Produktpaletten von einigen zehntausend Endartikeln und komplexen Lieferkettenstrukturen, dass ein Forecastebensystem, das die Bedürfnisse und Anforderungen aller am Forecastprozess beteiligten Organisationseinheiten und die Verflechtungen der einzelnen Forecastebenen berücksichtigt, einen Beitrag zu einer geordneten und effizienten Kommunikation leisten kann.

Im Zusammenhang mit umfangreichen Produktpaletten von einigen zehntausend Endartikeln und komplexen Lieferkettenstrukturen (Anmerkung: Diese Voraussetzungen sind im Rahmen der Dissertation beinhaltet; siehe dazu weiter unten) besteht eine der Hauptschwierigkeiten bei der Ausarbeitung solcher Forecastebensysteme darin, dass Möglichkeiten gefunden werden müssen, die *Anzahl* der Forecastebenen im Hinblick auf Effizienzkriterien *nicht zu groß* werden zu lassen, ohne dabei die Abbildungsgenauigkeit und den Nutzen des Systems zu gefährden. Damit ist die Frage zu klären, wie man die Anzahl der Forecastebenen unter Sicherstellung der Funktion des Forecastebensystems gering halten kann.

Abgesehen davon soll es auf Basis der im Forecastebensystem enthaltenen Informationen und Daten möglich sein, Planungs- und Steuerungsmaßnahmen festzulegen, welche zu einem zufriedenstellenden Unternehmensergebnis führen. Darüber hinaus soll bei Bedarf sogar eine *Optimierung im mathematischen Sinn* möglich sein. D.h., dass die Möglichkeit gegeben sein soll, die optimale Ausprägung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auf Basis der Forecastdaten durch eine mathematische Optimierung im Zusammenhang mit einer Zielfunktion, die mit den Unternehmenszielen korrespondiert, zu ermitteln.

Eine weitere wichtige Funktionalität der gesuchten Forecastebensysteme soll darin bestehen, dass Forecastdaten des Verkaufs bruchlos in die Planung und Steuerung der Lieferketten integriert werden können. Diese Funktion ist vor allem dann von essentieller Bedeutung, *wenn ausreichend genaue Forecasts nur unter Nutzung der Marktkenntnisse*

---

<sup>5</sup> Vgl. Abschnitt 2.4.5.3.

der Verkaufsmitarbeiter erstellt werden können. Als schwierig zu lösen erweist sich dieses Problem erneut im Zusammenhang mit umfangreichen Produktpaletten und komplexen Lieferkettenstrukturen.

Jedenfalls soll aber ganz unabhängig davon, **ob** angesichts der Komplexität und des Umfangs der Problemstellungen **überhaupt** Realisierungsmöglichkeiten gegeben sind, geklärt werden, *welche* Informationen aus den Forecastdaten des Verkaufs ableitbar sein müssen, damit eine gezielte Planung und Steuerung der Beschaffung und der Produktion im Kontext mit einer Planung der Verkaufsaktivitäten auf Basis der Forecastdaten des Verkaufs gewährleistet werden kann.

Die **dritte Hauptfragestellung** lautet:

*Es soll gezeigt werden, wie Maßnahmen zur Planung und Steuerung von Lieferketten auf Basis von Forecastdaten, Forecastfehlern, Fertigungskapazitäten, Lagerverfügbarkeiten, Deckungsbeiträgen, Kosten, Servicegraden und verfügbaren Istauftragsständen so festgelegt werden können, dass die Umsetzung dieser Maßnahmen gemessen an den Zielen der Planung und Steuerung von Lieferketten zu einem zufriedenstellenden Unternehmensergebnis führt.*

Obwohl die Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auf Basis von Forecastdaten eines jener Probleme darstellt, deren Lösung für den Erfolg von angewandtem Forecasting in der Praxis von *entscheidender* Bedeutung sind, wird ebendiese Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen in der Literatur bisher nur ansatzweise diskutiert<sup>6</sup>.

Zur Lösung der dritten Hauptfragestellung müssen die *grundsätzlich* zur Verfügung stehenden *Planungs- und Steuerungsstrategien*, welche von Maßnahmen in der Beschaffung und in der Produktionsplanung und -steuerung bis hin zu absatzpolitischen Aktivitäten reichen, im Kontext mit den *Strukturen* der zu planenden Lieferketten und den durch die Forecasts gegebenen Bedarfsverläufe individuell bewertet werden. Ziel dieser Bewertung ist es, auf Basis von Forecastdaten jene Planungs- und Steuerungsmaßnahmen herauszufiltern, welche am ehesten dazu führen, dass das, durch die jeweiligen und temporär bestehenden Rahmenbedingungen gegebene, potentiell erreichbare Unternehmensergebnis zumindest näherungsweise auch tatsächlich erreicht wird.

Im Zentrum der Betrachtung stehen dabei die Ausarbeitung von forecastbasierenden Planungs- und Steuerungsalternativen im Kontext mit den Unternehmenszielen, ihre qualitativen und quantitativen Ausprägungen, ihre monetären Wirkungen und die Bewertung ihrer durch Forecastfehler bedingten Risiken.

Als **Rahmen der Dissertation** bzw. der Gültigkeit der Hauptfragestellungen und ihrer Lösungen wurde Folgendes festgelegt:

- Multinationale Industrieunternehmen mit einer Vielzahl von Produktionsstandorten und Vertriebseinheiten und globalen Kundenstrukturen.

---

<sup>6</sup> Vgl. Abschnitt 2.4.5.4.

- Komplexe Lieferkettenstrukturen in dem Sinn, dass die Produktion bestimmter Produkte zumindest teilweise in mehreren Produktionsstandorten, welche räumlich weit voneinander entfernt sein können, erfolgen kann.
- Gemischte Auftrags- und Lagerfertigung.
- Umfangreiche Produktpaletten mit einigen zehntausend Endartikeln und Tausenden von Lagerpositionen.
- Flexible Lieferketten in dem Sinn, dass Produktionskapazitäten zumindest teilweise innerhalb bestimmter Grenzen variierbar sind.
- Konzentration auf Short- und Medium-Term Forecasts mit Forecasthorizonten von maximal einem Jahr.
- Hinsichtlich der in die Forecastprozesse und die damit verknüpften Aktivitäten involvierten Organisationseinheiten werden vor allem der Einkauf (bzw. die Beschaffung), die Produktionsplanung und -steuerung und der Verkauf (bzw. der Vertrieb und Marketingeinheiten) berücksichtigt. Darüber hinaus kommt dem Controlling bzw. der Kostenrechnung hinsichtlich der Bereitstellung der erforderlichen Kostenparameter eine Schlüsselrolle zu.
- Hinsichtlich der Planungsaufgaben stehen die Beschaffungsplanung, die Lagerbewirtschaftung, die Produktions-, die Distributions- und die Verkaufsplanung im Zentrum des Interesses.

Diese Rahmenbedingungen wurden unter anderem entsprechend einer von Winklhofer et al. in einem der umfangreichsten jemals verfassten Artikel über die Forecastpraxis in Unternehmen gestellten Forderung nach der Berücksichtigung von *unternehmens- und umfeldspezifischen* Einflüssen in der Bearbeitung von forecastspezifischen Problemstellungen formuliert<sup>7</sup>.

### 1.3 Vorgangsweise und Aufbau der Arbeit

Von der Zusammenfassung und dem Anhang abgesehen ist die Arbeit in **drei große Bereiche** gegliedert.

Der **erste Bereich** umfasst nur ein Kapitel - nämlich Kapitel 2 - und besteht aus der oben bereits erwähnten Literaturrecherche, die unter anderem die Grundlage für die Formulierung der Hauptfragestellungen bildet.

Der **zweite Bereich** dient dazu, den Grundstein für die Bearbeitung der Hauptfragestellungen zu legen und besteht aus den Kapiteln 3 bis 5.

Im **dritten Bereich** ist jeder der drei Hauptfragestellungen ein eigenes Kapitel gewidmet. Er besteht aus den Kapiteln 6 bis 8.

---

<sup>7</sup> Vgl. Winklhofer et al. 1996, S. 217.

Darüber hinaus folgt unter Kapitel 9 eine Zusammenfassung und im Anhang das Literaturverzeichnis sowie eine Aufstellung der den umfangreichen Fallbeispielen in Kapitel 6 zugrunde liegenden Rohdaten, welche aus dem Tätigkeitsbereich der zentralen Supply Chain Management Abteilung von RHI-Refractories entnommen wurden.

Im Detail stellen sich die **Inhalte der einzelnen Kapitel** wie folgt dar:

### **Kapitel 2:**

Unter Kapitel 2 wird eine **umfassende Literaturrecherche** über angewandtes Forecasting präsentiert. Diese Recherche wurde weitgehend entsprechend eines *Diskussionsrahmens*, welcher dem oben bereits erwähnten Artikel von Winklhofer et al. entnommen wurde<sup>8</sup>, erstellt. Da der Diskussionsrahmen die Struktur einer Richtschnur hat, ist sichergestellt, dass die Recherche alle als wesentlich zu betrachtenden Aspekte beinhaltet.

Ziel der Recherche ist es, den im Zusammenhang mit angewandtem Forecasting gegebenen *Forschungsbedarf* aufzuzeigen, daraus die *Hauptfragestellungen der Dissertation* abzuleiten und darüber hinaus, die *theoretischen und begrifflichen Fundamente* für die nachfolgenden Kapitel der Dissertation zu legen.

### **Kapitel 3:**

Wie oben im Zusammenhang mit der ersten Hauptfragestellung kurz angedeutet, stellt die **systematische und quantitative Einbindung von Lieferzeiten in die Bearbeitung der Hauptfragestellungen** einen der zentralen Ansatzpunkte der Dissertation dar. Daran anknüpfend besteht das Ziel von Kapitel 3 darin, die Rolle von Lieferzeiten im Forecastprozess im Allgemeinen und im Kontext mit den drei Hauptfragestellungen im Besonderen zu analysieren.

Im Detail wird die durch die Globalisierung bedingte gestiegene Bedeutung von kurzen Lieferzeiten im Hinblick auf den Unternehmenserfolg im Kontext mit Forecasts und deren Fehlern erläutert. Anhand eines praxisnahen Beispiels wird modellhaft gezeigt, wie Lieferzeiten durch Variationen von Produktionsraten, die auf Basis von Forecastdaten angepasst werden, kurz gehalten werden können. Wobei die Praxisnähe dieser modellhaften Betrachtung durch empirische Bedarfsverläufe aus der zentralen Supply Chain Management Abteilung von RHI-Refractories untermauert wird.

Darüber hinaus wird gezeigt, dass die Längen der Lieferzeiten, die von den Kunden akzeptiert werden, wesentliche Randbedingungen für die Festlegung von Forecastebenen determinieren. Zu diesem Zweck wird das Konzept der Decoupling-Punkte<sup>9</sup>, welches eine Abgrenzung zwischen Lieferkettenbereichen, die auf Basis von Forecasts und solchen, die auf Basis von Auftragsdaten geplant und gesteuert werden, angewandt. Schließlich werden daraus konkrete Vorgaben für die Festlegung von Forecastebenen abgeleitet.

---

<sup>8</sup> Vgl. Winklhofer et al. 1996, S. 204.

<sup>9</sup> Zum Konzept der Decoupling-Punkte vgl. Hoekstra und Romme, 1992 und van Donk, 2001, S. 298.

Den dritten größeren Abschnitt von Kapitel 3 bildet eine erste Bestandsaufnahme dazu, wie das Modell des Forecastkonsums dazu verwendet werden kann, gegebene Forecasts anhand von Istauftragsständen bzgl. ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit zu überprüfen. In diesem Zusammenhang wird ein Modellansatz präsentiert und empirische Verteilungen von Lieferzeiten aus der Literatur und aus der zentralen Supply Chain Management Abteilung von RHI-Refractories untersucht.

#### **Kapitel 4:**

Kapitel 4 geht auf die **Ziele der Planung und Steuerung von Lieferketten** und den **zur Erreichung dieser Ziele zur Verfügung stehenden Strategien im Kontext mit Forecastprozessen** ein.

Diese Betrachtung knüpft an die in Kapitel 3 angestellte modellhafte Erläuterung der Möglichkeit, Lieferzeiten durch forecastbasierende Variationen der Produktionsraten kurz zu halten, an. Kapitel 4 geht allerdings viel weiter und hat zum Ziel alle wesentlichen Zielaspekte – also nicht nur kurze Lieferzeiten – und alle für das Erreichen der Ziele zur Verfügung stehenden Strategien – also nicht nur die Variation der Produktionsraten – umfassend zu erläutern.

Dazu wird ein *Zielsystem* festgelegt, an dem wie immer geartete Planungs- und Steuerungsmaßnahmen gemessen werden können. Dieses Zielsystem wird aus einer der einschlägigen Literatur entnommenen allgemeinen Zielsetzung im Kontext mit den Rahmenbedingungen der Dissertation und den speziellen Charakteristiken von Forecastprozessen entwickelt. Damit ist es ein *Zielsystem zur Planung und Steuerung von industriellen Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung im Rahmen von kurz- und mittelfristigem Forecasting*.

Der zweite große Abschnitt von Kapitel 4 befasst sich im Detail *mit den zur Zielerfüllung zur Verfügung stehenden Strategien*. Wobei die zur Verfügung stehenden Strategien in drei große Gruppen gegliedert und jeweils bzgl. ihrer Eigenschaften, ihrer Kostenfunktionen und ihrer Risiken untersucht werden. Die Quellen, aus welchen die Informationen zu den angeführten Strategien stammen, sind dabei einerseits die fachspezifische Literatur und andererseits Erfahrungen aus der neunjährigen Tätigkeit des Autors in der zentralen Supply Chain Management Abteilung von RHI-Refractories als Produktionslogistiker und als Vertreter der Produktionsplanung in, durch eine große Vertriebseinheit abgehaltenen, monatlichen Forecastmeetings.

#### **Kapitel 5:**

Kapitel 5 hat die **Festlegung von Forecastebenen** für Forecastebenenensysteme mit organisationsübergreifendem Charakter und die **Synchronisation** dieser Forecastebenen zum Schwerpunkt.

Das Hauptproblem, das dabei entsprechend den Rahmenbedingungen der Dissertation zu bewältigen ist, ist durch die umfangreichen Produktpaletten (einige zehntausend Endartikel), die Komplexität der Lieferketten (eine Vielzahl von über den Globus verteilten Produktionsstätten, zwischen denen Flexibilität bzgl. der Auftragszuweisung besteht) und die in der zweiten Hauptfragestellung enthaltene Forderung nach einer durchgehenden und bruchlosen organisationsübergreifenden forecastspezifischen Kommunikation gegeben.

Ein großes Ziel von Kapitel 5 besteht daher darin, Möglichkeiten dafür zu finden, dass Forecastebenen so festgelegt werden können, dass im Hinblick auf das Zielsystem mit einer gemessen an der Komplexität der Rahmenbedingungen relativ kleinen Anzahl von Forecastebenen eine ausreichende Planungsgenauigkeit erreicht werden kann. Damit geht es hierbei auch um die *Gewährleistung der Effizienz* der gesuchten Forecastebenenensysteme.

Diese Problemstellung ist eng mit der Frage danach verknüpft, wie *aggregierte Forecastebenen* sinnvoll festgelegt werden können. Dazu ist festzustellen, dass das Problem der Festlegung von aggregierten Forecastebenen in der Literatur bisher vor allem auf Basis von statistischen Analysen von Bedarfsverläufen nicht aggregierter Forecastebenen bearbeitet wurde<sup>10</sup>.

In Kapitel 5 wird dem gegenüber ein weitgehend neuer Ansatz gewählt: Aggregierte Forecastebenen werden entsprechend den *Strukturen der Lieferketten und der Absatzmärkte festgelegt*.

Die grundlegende Idee besteht dabei darin, im Hinblick auf das Zielsystem nichtwesentliche Elemente der zugrunde liegenden Lieferketten auszuschließen und darüber hinaus Basiselemente so zusammenzufassen, dass aggregierte Forecastebenen entstehen, die nur solche Elemente enthalten, welche sich im Forecastprozess gleichartig verhalten. Damit können alle in einer auf diese Art und Weise gebildeten aggregierten Forecastebene zusammengefassten Basiselemente in der Planung und Steuerung gleich behandelt werden oder anders gesagt: Die gesamte forecastspezifische Planung und Steuerung kann auf Basis der aggregierten Forecastebenen erfolgen und die Vielzahl der darunter liegenden Basiselemente muss nicht beachtet werden.

Zur Umsetzung dieses Ansatzes wurde die Literatur nach nützlichen Werkzeugen und Hilfsmitteln durchforstet. Es zeigte sich, dass die Theory of Constraints, die Idee eines kapazitätsorientierten PPS-Systems nach Neumann, die ABC-Analyse, das oben bereits erwähnte Konzept der Decouplingpunkte, die MRP-Logik und der grundlegende Ansatz der XYZ-Analyse gewinnbringend eingesetzt werden können. Die Anwendung dieser Hilfsmittel zur Lösung des gestellten Problems wird im Detail erläutert.

Davon abgesehen wird die *zeitliche Verknüpfung* einzelner Forecastebenen detailliert untersucht und damit die Basis für die Synchronisation der im Forecastebenenensystem geführten Forecastebenen gelegt.

## **Kapitel 6:**

In Kapitel 6 werden bestimmte in den Kapiteln 2 und 3 erarbeitete Erkenntnisse logisch miteinander verknüpft und daraus ein *mathematisches Kriterium zur Beurteilung von gegebenen Forecasts auf Basis von Istauftragsständen* entwickelt.

Dieses mathematische Kriterium beruht auf einer *neuartigen Segmentierung historischer Bedarfsverläufe nach Lieferzeitklassen*. Jede einzelne historische Kundenauftragsposition wird nicht nur entsprechend ihrer Bedarfsmenge und ihres Bedarfsintervalls sondern auch nach der vom Kunden für die einzelne Kundenauftragsposition akzeptierten Lieferzeit in die Betrachtung einbezogen. Dieser Ansatz führt zu einem Vergleich von historischen Istauftragsständen verschiedener Stichtage und es ist möglich, daraus auf

---

<sup>10</sup> Vgl. dazu Flidner, 1999, S. 1.135.

quantitativer Basis eine Aussage darüber zu treffen, ob ein gegebener Forecast gemessen am Istauftragsstand bzw. am Grad der bereits erfolgten Forecasterfüllung zum Stichtag als korrekt oder als fragwürdig anzusehen ist.

Das erarbeitete Kriterium wird in einem weiteren Abschnitt in Form von *zwei umfangreichen Fallbeispielen* getestet und verifiziert. Diese beiden Fallbeispiele und die zugrunde liegenden Daten stammen aus dem Tätigkeitsbereich der zentralen Supply Chain Management Abteilung von RHI-Refractories und sind tatsächlich zwei Beispiele dafür, dass sich Forecasts als fehlerhaft erwiesen haben. In den Fallbeispielen wird geprüft, wann die Forecastfehler anhand des Kriteriums als solche erkennbar gewesen wären und ob bestimmte Annahmen und Beziehungen, welche dem Kriterium zugrunde liegen, verifiziert werden können. Wobei die Verifizierungen Vergleiche von Forecasts, welche nach dem Kriterium zugrunde liegenden Beziehungen erstellt wurden, mit solchen, welche auf Basis von ARIMA-Modellen erstellt wurden, beinhalten.

### **Kapitel 7:**

In Kapitel 7 wird eine *Anleitung dafür erarbeitet, wie Forecastebensysteme mit organisationsübergreifendem Charakter (FCES-OCs) erstellt werden können.*

Zu diesem Zweck wird zunächst ein in Kapitel 5 aufgeworfenes Problem gelöst, das die Integration von Forecastebenen der Beschaffung und der Produktionsplanung mit jenen des Verkaufs betrifft. Hierbei geht es im Kern darum festzulegen, wie Forecastebenen des Verkaufs in Abhängigkeit von den Forecastebenen der Beschaffung und der Produktionsplanung gestaltet werden müssen.

In einem zweiten Schritt werden alle in den vorangegangenen Kapiteln formulierten Anforderungen an FCES-OCs zusammengefasst und zu einem *Anforderungsprofil* verdichtet. Überdies werden in diesem Anforderungsprofil auch Anforderungen, die sich in Kapitel 8 aus der Struktur der linearen Optimierung ergeben, berücksichtigt.

Schließlich wird unter vielfältiger Nutzung von Erkenntnissen vor allem aus den Kapiteln 4, 5 und dem ersten Teil von Kapitel 7 eine alle in diesem Kontext wesentlichen Aspekte umfassende *Anleitung zur Ausarbeitung von FCES-OCs* präsentiert.

### **Kapitel 8:**

In Kapitel 8 werden Empfehlungen dafür abgegeben, *wie Planungs- und Steuerungsmaßnahmen, welche die Beschaffung, die Produktionsplanung und -steuerung sowie die Planung der Verkaufsaktivitäten betreffen, auf Basis von Forecasts festgelegt werden können.* Ziel ist es dabei, solche Planungs- und Steuerungsmaßnahmen zu finden, die zu einer *Maximierung des Unternehmensergebnisses* führen.

Zu diesem Zweck werden *Musterfälle von Bedarfssituationen*, die sich aus den zur Verfügung stehenden Leistungsangeboten im Kontext mit den Bedarfsdaten aus den Forecasts ableiten, gebildet. Die fünf sich ergebenden Musterfälle von Bedarfsverläufen repräsentieren alle denkbaren Bedarfsverläufe. Damit ist es möglich, die weitere forecastbedarfsverlaufsbasierende Erläuterung, Diskussion und Bewertung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auf diese fünf Musterfälle zu beschränken und trotzdem Allgemeingültigkeit aufrecht zu erhalten.

Im Anschluss daran werden aufbauend auf Erkenntnisse aus Kapitel 4 *vier Lieferkettentypen bestimmt*, die sich dadurch voneinander unterscheiden, dass ihre

individuellen Charakteristiker jeweils andere Randbedingungen für die forecastbasierende Festlegung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen beinhalten. Diese vier Lieferkettentypen werden mit den fünf Musterbedarfsverläufen zu zwanzig lieferkettenspezifischen Bedarfskonstellationen kombiniert, die in weiterer Folge individuell diskutiert werden.

Unter Nutzung der in Kapitel 4 erarbeiteten Palette möglicher Planungs- und Steuerungsmaßnahmen werden für *jeden der zwanzig Fälle fundiert und nachvollziehbar erfolgsversprechende Planungs- und Steuerungsstrategien angegeben* und darüber hinaus gezeigt, wie Planungs- und Steuerungsmaßnahmen im Detail gestaltet werden sollten.

Aus dieser Betrachtung ergeben sich aber auch Planungsprobleme großer Komplexität. Zur Lösung dieser Probleme wird eine *eigens erarbeitete Anwendung der linearen Optimierung* präsentiert, die zu mathematisch optimalen Planungs- und Steuerungsmaßnahmen führt.

Schließlich folgt eine Erläuterung darüber, wie *durch Forecastfehler bedingte Risiken* von bestimmten Planungs- und Steuerungsmaßnahmen beurteilt werden können.

## 2 Angewandtes Forecasting – Grundlagen und offene Forschungsfragen

Die unter Abschnitt 1.2 angeführten Hauptfragestellungen der Dissertation haben sich in ihrer ursprünglichen Ausprägung aus Erfahrungen abgeleitet, die der Autor als Mitarbeiter der zentralen Europa-Logistik von RHI Refractories in den Jahren 1998 bis 2002 gemacht hat. Um den wissenschaftlichen Stellenwert dieser ursprünglich aufgeworfenen Fragestellungen auszuloten, wurde eine Literaturrecherche über offene Forschungsfragen im Zusammenhang mit dem Themenkomplex Angewandtes Forecasting durchgeführt. Das ursprüngliche Ziel dieser Recherche lag darin, die Hauptfragestellungen der Dissertation aus dem Wechselspiel zwischen den Problemstellungen in der Praxis der zentralen Europa-Logistik von RHI Refractories und der Analyse der Literatur zu formulieren.

Nachdem die Hauptfragestellungen formuliert waren, zeigte sich in der Konzeptionsphase der Dissertation, dass für die Ausarbeitung nahezu aller ihrer Abschnitte eine Reihe von Begriffsbestimmungen und überdies Erläuterungen grundlegender Aspekte angewandten Forecastings notwendig war. Um dieser Anforderung gerecht zu werden, wurde die bereits vorhandene Literaturrecherche überarbeitet und erweitert. Ihre Ergebnisse sind im Folgenden wiedergegeben.

Ausgehend davon verfolgt dieses 2. Kapitel zwei zentrale Ziele:

1. Es soll gezeigt werden, dass sich die Hauptfragestellungen der Dissertation mit Forschungslücken, wie sie sich in der Literatur bzgl. angewandten Forecastings darstellen, decken.
2. Es sollen die theoretischen und begrifflichen Fundamente für die nachfolgenden Kapitel der Dissertation gelegt werden.

Vor dem Hintergrund dieser Zielsetzung, wurden alle wesentlichen Aspekte und vor allem neueste Entwicklungen angewandten Forecastings anhand eines Diskussionsrahmens, der aus der Literatur übernommen wurde, untersucht.

Im Einzelnen gestaltet sich der Aufbau des 2. Kapitels wie folgt:

Unter 2.1 wird der erwähnte Diskussionsrahmen präsentiert.

Unter den Abschnitten 2.2 bis 2.4 folgt die Darstellung aller wesentlichen Aspekte angewandten Forecastings anhand des Diskussionsrahmens.

Aus dieser Darstellung leiten sich die offenen Forschungsfragen und die Hauptfragestellungen der Dissertation ab, die ihrerseits unter 2.5 präsentiert werden.

Schließlich folgt unter 2.6 die Diskussion und Bewertung der Ergebnisse.

## 2.1 Wesentliche Aspekte angewandten Forecastings – ein Diskussionsrahmen

Sucht man nach den Wurzeln angewandten Forecastings, so stößt man auf sechs umfangreiche Literaturrecherchen, die im Zeitraum 1974 bis 1996 publiziert wurden<sup>11</sup>.

In diesen Recherchen wird die Forecastpraxis in real existierenden Unternehmen analysiert, indem Daten aus Forschungskampagnen und Fallstudien zusammenfassend betrachtet werden. Die erste dieser zusammenfassenden Literaturrecherchen stammt von Turner aus dem Jahr 1974. Sie greift auf Daten aus den Jahren 1947 bis 1966 zurück. Die bis dato letzte stammt von Winklhofer et al. aus dem Jahr 1996<sup>12</sup>.

Winklhofer et al. fassen in ihrer Arbeit mit dem Titel „*Forecasting practice: a review of the empirical literature and an agenda for future research*“ Daten aus nicht weniger als 35 Forschungskampagnen und sechs Fallstudien zusammen, die in den Jahren 1973 bis 1994 publiziert wurden. Lawrence et al. (2000) bezeichnen die Studie von Winklhofer et al. als „meta study of forecasting practice“<sup>13</sup>. Die Erhebung der bei Winklhofer et al. berücksichtigten Daten erfolgte durch Fragebögen (61% der Fälle), Interviews (15% der Fälle) und Detailanalysen (10% der Fälle). Die untersuchten Unternehmen waren in erster Linie Produzenten von Industriebedarfen, gefolgt von Konsumgüterproduzenten sowie Service- und Dienstleistungsunternehmen.

Dem großen Stellenwert der Recherche von Winklhofer et al. insbesondere im Hinblick auf angewandtes Forecasting in Industrieunternehmen wird in der folgendenden Darstellung in zweierlei Hinsicht Rechnung getragen.

Erstens wird der *Diskussionsrahmen*, den Winklhofer et al. in ihrer Recherche verwenden, übernommen. Zweitens dienen die Erkenntnisse, die Winklhofer et al. in ihrer Recherche darlegen, in der Dissertation als wesentliche *Basisinformationen*, die in er Recherche mit den Ergebnissen neuerer Arbeiten, die nach 1994 publiziert wurden, verschmolzen wurden.

Als neuere Arbeiten werden in diesem Zusammenhang neben zahlreichen weiteren vor allem folgende Zeitschriftenartikel häufig zitiert:

- „*Conducting a sales forecasting audit*“ von Mark A. Moon, John T. Mentzer und Carlo D. Smith (2002)<sup>14</sup>.
- „*Researching Sales Forecasting Practice; Commentaries and authors' response on „Conducting a Sales Forecasting Audit“ by M.A. Moon, J.T. Mentzer & C.D. Smith*“ von Robert Fildes, Stuart Bretschneider, Fred Collopy, Michael Lawrence, Doug Stewart, Heidi Winklhofer, John T. Mentzer und Mark A. Moon (2002)<sup>15</sup>.

<sup>11</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 194.

<sup>12</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996.

<sup>13</sup> Lawrence et al., 2000, S. 151.

<sup>14</sup> Vgl. Moon et al., 2002.

<sup>15</sup> Vgl. Fildes et al., 2002.

- “*Customer Demand Planning at Lucent Technologies*” von Mark A. Moon, John T. Mentzer und Dwight E. Thomas Jr. (2000)<sup>16</sup>.
- “*Seven Keys to Better Forecasting*” von Mark A. Moon, John T. Mentzer, Carlo D. Smith and Michael S. Garver (1998)<sup>17</sup>.
- “*A field study of sales forecasting accuracy and processes*” von Michael Lawrence, Marcus O’Conner und Bob Edmundson (2000)<sup>18</sup>.
- “*A hybrid econometric-neural network modelling approach for sales forecasting*” von James T. Luxhoj, Jens O. Riis, Brian Stensballe (1996)<sup>19</sup>.
- “*The use of advance demand information in a project-based supply chain*” von Karel van Donselaar, Laura Rock Kopczak, Marc Wouters (2001)<sup>20</sup>.
- “*An investigation of aggregate variable time series forecast strategies with specific subaggregate time series statistical correlation*” von Gene Fliedner (1999)<sup>21</sup>.
- “*From supply to demand chain management: efficiency and customer satisfaction*” von Jussi Heikkilä (2002)<sup>22</sup>.

Durch die Einbindung dieser neueren Arbeiten wird der dynamischen Entwicklung, die angewandtes Forecasting durch die rasanten Fortschritte der Informationstechnologie und die zunehmende Integration von Lieferketten in den letzten Jahren erfahren hat, Rechnung getragen.

Winklhofer et al. bezeichnen den *Diskussionsrahmen*, innerhalb dessen die Ergebnisse ihrer Recherche dargelegt werden, als „framework for organisational forecasting practice“<sup>23</sup>. Ähnliche Diskussionsrahmen bzw. Schemata finden sich lt. Winklhofer et al. bei Levenbach und Cleary (1981) sowie Armstrong et al. (1987). Der Diskussionsrahmen von Winklhofer et al. ist in Abbildung 2.1 wiedergegeben.

In diesem Diskussionsrahmen wird zwischen den drei Themenkomplexen Design, Selection/Specification und Evaluation unterschieden:

- (1) *Design Issues* beinhalten den Zweck und die Ausprägung von Forecasts, für die Forecasterstellung bereitgestellte Ressourcen, Charakteristika der Forecastersteller und der Forecastuser sowie die für die Forecasterstellung verwendeten Datenquellen.
- (2) Unter *Selection/Specification Issues* werden Forecastmethoden und daran geknüpfte Fragen wie die fallbezogene Auswahl von Forecastmethoden,

<sup>16</sup> Vgl. Moon et al., 2000.

<sup>17</sup> Vgl. Moon et al., 1998.

<sup>18</sup> Vgl. Lawrence et al., 2000.

<sup>19</sup> Vgl. Luxhoj, et al., 1996.

<sup>20</sup> Vgl. van Donselaar et al., 2001.

<sup>21</sup> Vgl. Fliedner, 1999.

<sup>22</sup> Vgl. Heikkilä, 2002.

<sup>23</sup> Winklhofer et al., 1996, S. 204.

die Verwendung von alternativen Forecastmethoden und die Vertrautheit der Anwender mit unterschiedlichen Forecastmethoden untersucht.

- (3) Der Themenkomplex *Evaluation Issues* konzentriert sich auf die Präsentation und Überprüfung von Forecastergebnissen, die Bewertung der Forecastgenauigkeit und die Forecastgenauigkeit herabsetzende Einflüsse.

Wie in Abb. 2.1 durch Pfeile angedeutet, sind diese drei Themenkomplexe voneinander abhängig. Beispielsweise kann die Implementierung einer neuen Forecastmethode die Forecastgenauigkeit erhöhen, was wiederum Einflüsse auf die Datenauswahl haben kann.

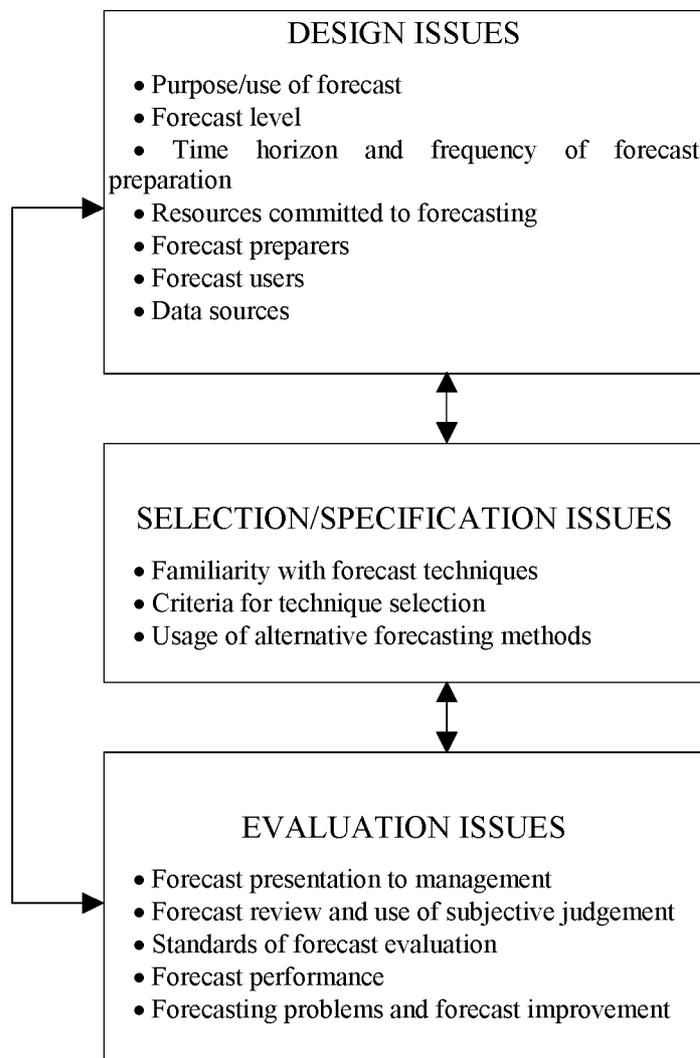


Abb.2.1: Framework for organisational forecasting practice; Quelle: Winklhofer et al. 1996, S. 204.

Der Diskussionsrahmen von Winklhofer et al. bietet eine Richtschnur, die eine geordnete und alle wesentlichen Aspekte umfassende Diskussion angewandten Forecastings erlaubt.

Im Folgenden wird anhand dieses Rahmens auf die einzelnen Aspekte angewandten Forecastings eingegangen. Dabei liegt der Schwerpunkt entsprechend der Zielsetzung der Dissertation auf angewandtem Forecasting in *industriellen Produktionsunternehmen*.

## 2.2 Design Issues

### 2.2.1 Zweck und Verwendung von Forecasts

In ihrem Artikel „Conducting a Sales Forecast Audit“ geben Moon et al. (2002) eine prägnante Zusammenfassung der Ziele angewandten Forecastings: „Regardless of industry, or whether the company is a manufacturer, wholesaler, retailer, or service provider, effective demand forecasting helps organizations to identify market opportunities, enhance channel relationships, increase customer satisfaction, reduce inventory investment, eliminate product obsolescence, improve distribution, operations, schedule more efficient production, and anticipate future financial and capital requirements.“<sup>24</sup>

Als übergeordneter Zweck angewandten Forecastings wird häufig die Sicherung von hohen Servicegraden unter Berücksichtigung der damit verbundenen Kosten gesehen<sup>25</sup>.

So stellen Moon et al. (1998) fest, dass genaue Forecasts die Basis dafür seien, dass Kunden und Supply-Chain-Partner gleichermaßen zufrieden gestellt werden. Wenn Bedarfe mit ausreichender Genauigkeit abgeschätzt werden können, sei eine zeitgerechte und effiziente Bedarfserfüllung möglich; Lieferunfähigkeit und damit verbundene Auftragsverluste oder Abwanderungen von Kunden zu Konkurrenten würden vermieden. Kosteneinsparungen könnten dadurch erreicht werden, dass man Pufferbestände auf Basis genauer Forecasts minimiert und Rohmaterial oder Halbfabrikate kosteneffizienter einkauft, indem man durch Zeitdruck verursachte Noteinkäufe zu ungünstigen Konditionen vermeidet<sup>26</sup>. In einem Fallbeispiel konnten durch langfristige Verträge mit Lieferanten, welche auf Basis von Forecasts erarbeitet wurden, Kosteneinsparungen in der Höhe von 7 Mio. Dollar pro Jahr erreicht werden<sup>27</sup>.

Eine detaillierte Beschreibung der Zielbereiche angewandten Forecastings innerhalb des Konzerns Lucent Technology geben Moon et al. (2000): „Following is a list of the various internal customer groups or business processes that cannot function effectively

---

<sup>24</sup> Moon et al., 2002, S. 1.

<sup>25</sup> Vgl. Moon et al., 1998; Heikkilä, 2002; Lawrence et al., 2000.

<sup>26</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 44.

<sup>27</sup> Vgl. Moon et al., 2002, S. 19.

without the forecasts that are provided via the CDP process”<sup>28</sup> (Anmerkung des Verfassers: CDP steht für Customer Demand Planning):

1. Finished goods inventory planning
2. Production requirements planning
3. Commitments to external customers and to Lucent sales teams
4. Production reservation scheduling
5. Allocation of limited supply products
6. Supplier coordination
7. Strategic planning gap analysis
8. Engineering/installation/distribution planning
9. Global product demand forecast data repository
10. Allocation of inventory
11. Revenue forecasting and planning

Gegenüber den bisher diskutierten Aspekten fallen die unter den Punkten 3 bis 5 und 10 angeführten Funktionen besonders auf. Hier geht es offenbar darum, Kunden und Vertriebseinheiten Lieferungen auf Basis von Forecasts vorausschauend zu reservieren. Kunden erhalten demnach Optionen und Vorrechte auf bestimmte Produkte bzw. Produktsegmente.

Heikkilä berichtet aus einer Fallstudie bei Nokia über ein Konzept, genannt „Handshake Program“, dessen zentrales Element kundenspezifisches Forecasting darstellt<sup>29</sup>. Die Besonderheit dieses Programms besteht darin, dass auf spezifische Anforderungen einzelner Kundensegmenttypen eingegangen wird, wobei den *Kundenlieferzeiten* besondere Bedeutung beigemessen wird (Anmerkung: Unter Kundenlieferzeit wird hier und im Folgenden die vom Kunden akzeptierte Lieferzeit verstanden). Die übergeordneten Ziele des „Handshake Programs“ bestehen ebenfalls in Bestandssenkungen und erhöhten Servicegraden.

In der 1996 publizierten „Metastudie“ von Winklhofer et al. werden zum Themenbereich Zweck und Verwendung von Forecasts Arbeiten von Mentzer und Cox (1984), Rothe (1978), McHugh und Sparkes (1983), Peterson (1993) und White (1986) zitiert<sup>30</sup>. Die Arbeiten dieser Autoren ergaben, dass Unternehmen die *Produktionsplanung* und die *Budgetierung* als die wichtigsten Zielbereiche angewandten Forecastings sehen. White fand in seiner unter mehr als 200 US-Amerikanischen Unternehmen durchgeführten Feldstudie, dass 64% der untersuchten Unternehmen Forecasting als ein Mittel zur Formulierung von Zielen sahen, während nur 30% die echten Marktpotentiale abzuschätzen versuchten.

Die Unterscheidung zwischen Marktpotentialen, Zielen, Planung und Budgetierung, wie bei Winklhofer et al. angedeutet, wird bei Moon et al. (1998) ausführlich diskutiert<sup>31</sup>.

Im einzelnen unterscheiden Moon et al. die Begriffe „Sales Forecast“, „Sales Plan“ und „Sales Goal“. Grundsätzlich sehen Moon et al. (1998) Forecasts als Vorgänger der Planung<sup>32</sup>. So soll ein *Sales Forecast* als eine Abschätzung der zukünftigen Verkäufe

<sup>28</sup> Vgl. Moon et al., 2000, S. 21.

<sup>29</sup> Vgl. Heikkilä 2002.

<sup>30</sup> Vgl. dazu Winklhofer et al., 1996, S. 205.

<sup>31</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 44.

<sup>32</sup> Vgl. dazu auch Sohal und Waddell, 1994, S. 2.

unter bestimmten Rahmenbedingungen angesehen werden. Erst der *Sales Plan* beinhaltet strategische und taktische Maßnahmen, welche auf Basis des Sales Forecasts gesetzt werden. Als Beispiele werden der Rohmaterialeinkauf, die Personalplanung und die Logistikplanung angeführt. *Sales Goals* werden primär als ein Mittel der Motivationsförderung beschrieben. Während Sales Forecasts und Sales Plans in einem Nahverhältnis zueinander gesehen werden, werden Sales Goals aufgrund der unterschiedlichen Zielsetzung klar von Sales Forecasts getrennt<sup>33</sup>. Forecasts sollten möglichst genau sein, während Verkaufsziele formuliert werden, um erreicht oder übertroffen zu werden. Eine Verquickung dieser beiden Begriffe kann nach Moon et al. (1998) zu Verwirrung und Unaufrichtigkeit vor allem von Seiten des Verkaufs führen<sup>34</sup>.

Eine weitere Unterscheidung, die Moon et al. (1998) treffen, bezieht sich auf die Begriffe „Forecast Demand“ und „Plan Supply“<sup>35</sup>. Unter *Forecast Demand* wird der echte Kundenbedarf verstanden, während *Plan Supply* aktuelle Kapazitätsbeschränkungen bereits berücksichtigt. Moon et al. (1998) schreiben: „At the beginning of the forecast cycle, it is important to create predictions that are not constrained by the capacity to produce.“

Folgendes fiktive Beispiel veranschaulicht die Notwendigkeiten dieser Unterscheidungen: Ein Verkäufer stellt fest, dass von einem bestimmten Produkt 1.500 Stück pro Monat verkauft werden könnten. Ihm ist aber auch bekannt, dass die Produktionskapazität mit 1.000 Stück pro Monat begrenzt ist. Die aktuelle Maximalkapazität berücksichtigend setzt der Verkäufer den Forecast auf 1.000 Stück/Monat. Die Information über die 500 Stück, die zusätzlich pro Monat verkauft werden könnten, wird nicht weitergegeben. Damit werden Logistik und Produktion nicht darüber in Kenntnis gesetzt, dass durch eine Kapazitätserhöhung zusätzlicher Absatz möglich wäre. Moon et al. (1998) sehen die Brisanz dieses Problems vor allem im Zusammenhang mit der Erstellung von Forecasts aus historischen Daten.

Neben den oben angeführten, allgemein anerkannten Zielen angewandten Forecastings findet man in der Praxis aber auch Motive und Ziele, welche effizientem Forecasting *entgegengerichtet* sind. So berichtet Stewart von übertrieben optimistischen Forecasts, die zur Kapital- oder Ressourcenbeschaffung oder auch nur der Aufmerksamkeit wegen, die sie erregen, erstellt werden<sup>36</sup>. Eine Diskussion dieses Problembereiches folgt unter 2.4.5.2.

## 2.2.2 Forecastebenen, Forecastsegmente

Winklhofer et al. stellen fest, dass die Frage nach den Ebenen, auf welchen Forecasts ausgearbeitet werden (z.B.: Forecasts auf Einzelartikelebene versus Forecasts auf Gesamtunternehmensebene), in der Literatur vernachlässigt wurde. Lediglich vier Arbeiten werden zu diesem Themenbereich zitiert. Drei der Zitate - von Small (1980), Peterson (1993) sowie Mentzer und Cox (1984) - werden im folgenden wiedergegeben<sup>37</sup>.

<sup>33</sup> Vgl. dazu auch Luxhoj et al., 1996, S. 189.

<sup>34</sup> Auf dieses Problem wird unter Abschnitt 2.4.5.2 detailliert eingegangen.

<sup>35</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 47.

<sup>36</sup> Vgl. Fildes et al., 2002, S. 9 f.

<sup>37</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 205.

*Small* berichtet in seiner Arbeit, dass die Mehrheit der untersuchten Unternehmen Forecasts für mehr als ein Produkt bzw. Marktsegment erstellte. Auch zeigte sich eine Abhängigkeit zwischen verwendeten Forecasttechniken und Forecastebenen. Unternehmen, welche qualitative Forecastmethoden verwendeten, untergliederten ihre Forecasts eher nach geographischen Marktsegmenten, während quantitative Methoden eher im Zusammenhang mit Forecastsegmenten wie Produktlinie oder Servicetyp standen.

*Peterson* fand in seiner Studie im Bereich des Einzelhandels Zusammenhänge zwischen der Unternehmensgröße und der Auswahl von Forecastebenen. Größere Einzelhändler tendierten eher dazu, detaillierte Forecasts nach Kundentypen und geographischen Einheiten zu erstellen als kleinere. Im Allgemeinen wurde zwischen Produktforecasts und Unternehmensforecasts unterschieden.

*Mentzer und Cox* haben die Ausprägung der Forecastebenen im Zusammenhang mit der Forecastgenauigkeit untersucht und festgestellt, dass höher aggregierte Forecasts kleinere Forecastfehler aufweisen als beispielsweise Forecasts auf Einzelartikelebene<sup>38</sup>.

Moon et al. (2002) stellen in ihrem Artikel „Conducting a Sales Forecasting Audit“ in Bezug auf die Auswahl und Festlegung der Forecastsegmente folgende Forderung an den „should be“- Status eines Forecasting-Prozesses:

- „Full forecasting segmentation of products (ABC, two-bin, dependent demand, make to order, product value, seasonality, customer service sensitivity, promotion driven, life cycle stage, shelf live, raw material lead time, production lead time)“<sup>39</sup>

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist von besonderem Interesse, wie diese Segmente in der Umsetzung der Forecastergebnisse in Planungsmaßnahmen verwendet und verknüpft werden. Über das oben angeführte Zitat hinaus gehen Moon et al. (2002) aber nicht weiter auf das Thema ein.

Sieht man ein weiteres Zitat aus derselben Arbeit im Zusammenhang mit der Auswahl und Festlegung von Forecastebenen, so lässt sich jedoch ableiten, welche Ziele hier verfolgt werden sollten. Wieder ist es eine Forderung an den „should be“- Status eines Forecasting-Prozesses:

- „Develop forecasts and business plan simultaneously, with periodic reconciliation of both (for instance, consideration of capacity constraints as part of long range plan and forecasts)“<sup>40</sup>

Demnach sollen Forecasts so gestaltet sein, dass die enthaltenen Informationen monetäre wie auch die Produktionsplanung betreffende Betrachtungen zulassen, was bestimmte Anforderungen an die Forecastsegmentierung mit sich bringt<sup>41</sup>.

In ihrer Fallstudie bei Lucent Technology berichten Moon et al. (2000) über 2.000 verschiedene „forecastlines“ und geben damit einen Anhaltspunkte dafür, wie viele

<sup>38</sup> Vgl. dazu auch 2.4.4.

<sup>39</sup> Moon et al., 2002, S. 8.

<sup>40</sup> Moon et al., 2002, S. 23.

<sup>41</sup> Vgl. dazu auch Luxhoj et al., 1996, S. 189 und 191.

verschiedene Forecastsegmente in der Praxis auftreten können<sup>42</sup>. Das verwendete „CDP forecasting system“ bei Lucent Technology ermöglicht überdies eine Umrechnung von Forecasts für Produkte und Produktgruppen in Umsatzforecasts. Die Forecastersteller können bei der Datenerfassung unter verschiedenen hierarchischen Forecastsegmenten wie „product family, individual product by customer, project, or total application, a predefined combination of several different products“ auswählen. Hier sind also die Forderungen an den „should be“- Status der Forecastsegmentierung, wie sie von Moon et al. (2002) in dem oben zitierten Artikel „Conducting a sales forecasting audit“ gestellt werden, weitgehend erfüllt.

Abschließend seien zwei grundlegende Möglichkeiten der Forecasterstellung erwähnt, die in einem sehr starken Zusammenhang mit der Forecastsegmentierung stehen. Beispielsweise beschreiben Korpela und Tuominen diese beiden grundlegenden Möglichkeiten wie folgt:

„The *decomposition approach* starts by developing a high level forecast which is then spread across markets or products whereas the first step in the *aggregation method* is to develop detailed forecasts for each product and market which are then combined into an aggregate forecast.“<sup>43</sup>

Diese beiden grundlegenden Möglichkeiten der Forecasterstellung werden häufig auch als *Bottom-Up*- bzw. *Top-Down-Approach* bezeichnet<sup>44</sup>

### 2.2.3 Zeithorizonte und Frequenzen der Forecasterstellung

Winklhofer et al. fassen ihre Erkenntnisse bzgl. der Zeithorizonte und der Frequenz der Forecasterstellung in Form eines Zitats von White (1986) zusammen: „Companies evolve the forecasting frequencies that best suit their type of product, market, and method of operation. There is no ‚best‘ frequency mix“.<sup>45</sup>

Bemerkenswert erscheint, dass Winklhofer et al. die beiden Begriffe Frequenz und Zeithorizont nicht klar voneinander trennen. Istdaten aus den Untersuchungen sind ausschließlich als Längen von Forecasthorizonten (also Zeithorizonten) angegeben. Die Möglichkeit von Forecastupdates, die ja mit Erst- oder Überarbeitungsfrequenzen korrespondieren würde, wird nicht diskutiert.

Die von Winklhofer et al. am häufigsten gefundenen Längen von Forecasthorizonten liegen bei einem Monat bzw. einem Jahr, die gesamte Spannweite der gefundenen Horizonte reicht von einem Monat bis zu 25 Jahren.

Darüber hinaus werden McHugh und Sparkes (1983) sowie Magee et al. (1985) zitiert<sup>46</sup>. McHugh und Sparkes stellen fest, dass Unternehmen, welche auf von starkem Wettbewerb geprägten Märkten operieren, mehr Gewicht auf Short-Term-Forecasts als auf Long-Term-Forecasts legen. Darüber hinaus wurden Abhängigkeiten zwischen der

---

<sup>42</sup> Vgl. Moon et al., 2000, S. 21.

<sup>43</sup> Korpela und Tuominen, 1996, S. 161.

<sup>44</sup> Vgl. Fliedner und Lawrence, 1995, S. 120 und Fliedner, 1999, S. 1.136.

<sup>45</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 206.

<sup>46</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 205f.

Erstellungsfrequenz und der Anwendung des Forecasts beobachtet. So wurden Forecasts für Produktionsplanung und Lagerbewirtschaftung häufiger erstellt als Forecasts für Forschung und Entwicklung, Marktvolumen oder Investitionsbedarfe.

Magee et al. sehen bzgl. des Zeithorizonts drei Forecasttypen: Long-Term-, Medium-Term- und Short-Term-Forecasts.

*Long-Term-Forecasts* umfassen Zeitspannen von drei bis zehn Jahren und dienen zur Planung von neuen Produktionsstandorten und Lagerhäusern. *Medium-Term-Forecasts* werden für die Zeitspanne von einem Jahr erstellt und dienen der Produktionsplanung im Hinblick auf stark zyklische Bedarfe oder auch der Rohmaterialbeschaffung. *Short-Term-Forecasts* umfassen Zeitspannen von einer Woche bis zu drei Monaten und werden im Zusammenhang mit kurzzeitigen Bedarfsschwankungen für die Steuerung der Fertigung und der Lagerauffüllung herangezogen.

Moon et al. (2000) berichten aus einer Fallstudie bei Lucent Technology von einem rollierenden, zwölf Monate langen Zeithorizont<sup>47</sup>. Der Zeithorizont von zwölf Monaten wird also auch über das Kalender- bzw. Geschäftsjahr hinaus beibehalten. Die Erstellung der Forecasts erfolgt auf Monatsbasis (der Zeithorizont ist in zwölf Intervalle geteilt). Läuft ein Monat ab wird am Ende der Zeitachse ein neues angehängt. Forecast-Updates werden nicht angesprochen. Da aber nicht erwartet werden kann, dass die einzelnen Monatsforecasts zwölf Monate im voraus erstellt und dann nicht mehr überarbeitet und präzisiert werden, ist davon auszugehen, dass Updates erfolgen.

Tang und Grubbström stellen in ihrer Arbeit über Produktionsplanung bei Bedarfsunsicherheiten Folgendes fest: „[...] when demand is uncertain, there is always a forecast error, and, therefore the old plan has to be modified to adapt to new information to keep the production cost low and maintain the service level.“<sup>48</sup> Zu ähnlichen Erkenntnissen gelangen Ganeshan et al. anhand eines Supply-Chain-Simulationsmodells. Bei erhöhter Planungsfrequenz verbessern sich Servicegrad, Return on Investment und Umschlagshäufigkeit<sup>49</sup>. Beide Arbeiten weisen aber auch darauf hin, dass eine zu hohe Planungsfrequenz zu instabiler Produktionsplanung führen kann. Demnach muss ein guter Kompromiss zwischen der Höhe der Planungsfrequenz auf der einen und der Planungsstabilität und dem Planungsaufwand auf der anderen Seite gefunden werden.

## 2.2.4 Für die Forecasterstellung bereitgestellte Ressourcen

Bezüglich des *Geld- und Personaleinsatzes* schließen Winklhofer et al. aus der Zusammenfassung einiger Arbeiten, die größtenteils aus den 70er Jahren stammen, dass für die Forecasterstellung zwar erhebliche Geldmittel zur Verfügung gestellt wurden, die Implementierung und Umsetzung in den Unternehmen aber eher halbherzig erfolgten. Das neueste dazu gebrachte Zitat stammt von Darymple (1987); Darymple fand, dass „[...] business firms apparently treat forecasting as a free good and that forecasting managers should buy more computers and hire more people. Another possibility is that

---

<sup>47</sup> Vgl. Moon et al., 2000, S. 21.

<sup>48</sup> Tang und Grubbström, 2002, S. 323.

<sup>49</sup> Vgl. Ganeshan et al., 2001.

forecasting is treated so casually that it is not even given a formal budget. Obviously, neither condition is particularly desirable.<sup>50</sup>

Darüber hinaus untersuchten Winklhofer et al. den *Einsatz von Computern*. Demnach war der Einsatz von Computern bereits in den 70er Jahren weit verbreitet und hat sich seither sukzessive verstärkt. Die jüngste von Winklhofer et al. zu diesem Thema zitierte Arbeit wurde 1994 publiziert und stammt von Fildes und Hastings. Fildes und Hastings stellen innerhalb einer Fallstudie fest, dass die Verwendung von Computern ab 1987 zur Routine wurde, ausreichend betreut war und überdies keine Hürde im Informationsfluss darstellte<sup>51</sup>. Bzgl. der eingesetzten Software fällt auf, dass Anwender häufig selbst Lösungen entwickelten. Lt. Winklhofer et al. fand Dalrymple (1987), dass 71% der untersuchten Unternehmen selbst entwickelte Software einsetzten; und auch Davidson (1997) wird diesbezüglich von Winklhofer et al. mit einem Anteil von 15% zitiert<sup>52</sup>.

Die Darstellung des Forecastprozesses bei Lucent Technology von Moon et al. (2000) gibt eine Vorstellung darüber, wie sich die Forecastpraxis insbesondere in den letzten Jahren entwickelt hat und welche Anforderungen sich daraus für die Ressourcenbereitstellung ergeben. Das oben bereits mehrfach erwähnte CDP-System wird von 79 Verkaufs- und 15 Marketingeinheiten, sowie 29 externen Schlüsselkunden mit Daten gefüttert. Insgesamt sind 2.000 Mitarbeiter aus 33 Nationen in die Forecasterstellung eingebunden. 16.000 Forecasts werden allmonatlich erstellt, zentral zusammengeführt und für die Produktionsplanung an 20 Standorten herangezogen. Die Betreuung des Systems wird durch Schulungsmaßnahmen begleitet, welche sich aus Tele-Training, klassischem Vortragsunterricht und Schulungsvideos zusammensetzen. Darüber hinaus werden User durch elektronisch verfügbare Dokumentationen sowie einer Hotline-Funktion unterstützt<sup>53</sup>.

Einen ähnlich umfassenden Anspruch stellen Moon et al. (2002) in ihrer Arbeit „Conducting a Sales Forecasting Audit“. Hinsichtlich des Idealzustandes des *elektronischen* Forecastsystems schreiben Moon et al. (2002) Folgendes:

- „Open-systems architecture so all affected areas provide electronic input to the forecasting process“
- “EDI linkages with major customers and suppliers to allow forecasting by key customer and supply chain staging of forecasts (i.e. real-time POS forecasts to plan key customer demand ahead of supply chain cycles)”<sup>54</sup>

<sup>50</sup> Winklhofer et al., 1996, S. 206.

<sup>51</sup> Winklhofer et al., 1996, S. 206 f.

<sup>52</sup> Winklhofer et al., 1996, S. 207.

<sup>53</sup> Vgl. Moon et al., 2000, S. 21.

<sup>54</sup> Moon et al., 2002, S. 9, zu Forecastsoftware im Allgemeinen vgl. Statgraphics, 2007, Forecast Pro XE, 2007, Forecasting Software Survey, 2007, Forecastingprinciples.com, 2007.

### 2.2.5 Forecastersteller

Winklhofer et al. zitieren eine Arbeit von Drury (1990). Drury berichtet in dieser unter 234 kanadischen Unternehmen durchgeführten Untersuchung, dass 52% der Forecasts von Controlling-Abteilungen erstellt wurden. In nur 20% der Unternehmen erfolgte die Forecasterstellung von eigenen Forecastabteilungen. Drury erklärt das häufige Auftreten von Controlling-Abteilungen durch die notwendige Integration von Forecastdaten mit Plänen und vor allem Budgets<sup>55</sup>.

Darüber hinaus fassen Winklhofer et al. eine Reihe von Arbeiten zusammen, die ebenfalls darauf eingehen, durch welche Abteilungen die Forecasterstellung erfolgt und finden eine Dominanz von Marketing- und Verkaufsabteilungen, zusätzlich sind Produktions- und Finanzabteilungen gehäuft beteiligt<sup>56</sup>.

Moon et al. (1998) sehen Forecasting als einen Management-Prozess, der in einigen Unternehmen von *eigenständigen* Forecastabteilungen geleitet wird. Diese Forecastabteilungen agieren unabhängig von Marketing und Produktion und sind für den gesamten Erstellungsprozess und sogar für die Forecastzahlen verantwortlich. Das Festlegen von Methoden und Prozessen, die Abhaltung von Trainingskursen, die Ausarbeitung von Prämiensystemen und die Förderung der Kommunikation zwischen Verkauf, Marketing, Produktion und Finanz mit dem übergeordneten Ziel, die Forecasterstellung effektiv zu gestalten, werden als typische Aktivitäten solcher Abteilungen beschrieben<sup>57</sup>.

Moon et al. (2002) gehen noch einen Schritt weiter: Die Existenz „of forecasting as a separate functional area“ wird gegenüber einer Zuordnung der Forecasthauptverantwortung an Abteilungen wie Logistik, Produktion, Marketing oder Verkauf im Vorteil gesehen<sup>58</sup>.

Lt. Winklhofer et al. untersuchte West (1994) in seiner unter 310 kanadischen Industrieunternehmen durchgeführten Recherche, welche Abteilungen in die verschiedenen Phasen der Forecasterstellung – „input, draft, inspection and approval“ – involviert sind. Demnach sind Marketing und Verkauf zumeist jene Abteilungen, welche die Rohdaten erheben und den Forecastentwurf erstellen; das Topmanagement genehmigt den Forecast, während Finanz und Produktion in erster Linie Kontrollfunktionen ausüben<sup>59</sup>. Moon et al. (2000) sehen ebenfalls den Verkauf als hauptverantwortliche Abteilung für die Erhebung der Rohdaten<sup>60</sup>.

Im Allgemeinen ist zu beobachten, dass das Erstellen von Forecasts häufig *abteilungsübergreifend* erfolgt. So schreibt Winklhofer 2002: „[...] company forecasting is embedded into a complex organisational set-up and is consequently governed by many internal and external forces.“<sup>61</sup>

---

<sup>55</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 208.

<sup>56</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 208.

<sup>57</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 46.

<sup>58</sup> Vgl. Moon et al., 2002, S. 7.

<sup>59</sup> Vgl. Winklhofer et al. 1996, S. 208.

<sup>60</sup> Vgl. Moon et al., 2000, S. 23 und Abschnitt 2.2.7.

<sup>61</sup> Winklhofer in Fildes et al., 2002, S. 11.

In diesem Zusammenhang kommt der teamorientierten Forecasterstellung besondere Bedeutung zu. Lt. Winklhofer et al. fanden Kahn und Mentzer (1994), dass beinahe 50% der mehr als 200 von Ihnen befragten Forecastmanager, Forecasts teamorientiert erstellten. Zwei verschiedene Ausprägungen teamorientierter Forecasterstellung wurden beobachtet: entweder wurden die Forecasts über den ganzen Zeitraum der Erstellung im Team erarbeitet oder die Endbewertung erfolgte kollektiv im Team<sup>62</sup>.

Die teamorientierte Forecasterstellung birgt eine Reihe von Vorzügen. Moon et al. (2000) stellen fest, dass die Zusammenführung von Informationen multipler Herkunft zu besseren Forecasts führt. Zur Illustration werden Beispiele angeführt: „[...] asking salespeople to forecast at the customer level, over a relatively short time horizon, made forecasts more accurate. [...] asking marketing people to forecast at the product-line level over long time horizons made the forecast better.“<sup>63</sup> Moon et al. (2000) betonen, dass zuverlässige Informationen nur dann zu erwarten sind, wenn Forecastlevel und Zeithorizonte mit dem alltäglichen Umfeld der Informanten korrespondieren. Weitere Vorteile teamorientierten Forecastings sind die erhöhte Akzeptanz von Forecastergebnissen und deren Konsequenzen, ein gesteigertes Vertrauen in die Forecastzahlen, sowie ein verbessertes Verständnis für den Prozess der Forecasterstellung. Letzteres eröffnet jedem Beteiligten die Möglichkeit, essentielle Information einzubringen<sup>64</sup>.

Neben der Frage nach der Verantwortung für die Forecasterstellung diskutieren Winklhofer et al. die Vorbildung der Forecastersteller und bringen ein Zitat von Davidson (1987). Davidson fand, dass ein Drittel der Forecastersteller vor der Bestellung zum „Forecaster“ als „market research analyst“ gearbeitet hatte. Ein weiteres Drittel hatte als „field sales representative, budget analyst, data processing analyst, actuary or consultant“ gearbeitet<sup>65</sup>.

Winklhofer et al. zitieren weiter einige Arbeiten, die sich mit Forecastkursen, die an Universitäten abgehalten werden, befassen<sup>66</sup>. Diese Arbeiten stimmen darin überein, dass an Universitäten andere Forecasttechniken gelehrt werden (eher quantitative als qualitative) als jene, die in Unternehmen überwiegend zum Einsatz kommen. Themenbereiche wie die Datenerhebung, die Überwachung und die Bewertung von Forecasts werden durchwegs nicht behandelt.

Ein bei Winklhofer et al. gebrachtes Zitat von Makridakis (1983) verdeutlicht die Situation: „The emphasis should not be on increasing the forecaster’s knowledge of sophisticated methods, since doing so does not necessarily lead to improving performance. Perhaps the training should consider such issues as how to select a time horizon, how to choose the length of a time period, how judgement can be incorporated into a quantitative forecast, how large changes in the environment can be monitored, and the level of aggregation to be forecast.“<sup>67</sup>

Noch 2002 fordert Winklhofer, dass Forecastkurse nicht allein auf die Forecasttechniken, sondern auch auf „forecasting management activities“ eingehen sollten. Als Beispiele

---

<sup>62</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 207 f.

<sup>63</sup> Moon et al., 2000, S. 25.

<sup>64</sup> Vgl. auch Moon et al., 1998, S. 48.

<sup>65</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 208.

<sup>66</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 208 f.

<sup>67</sup> Winklhofer et al., 1996, S. 208.

werden die Schlagwörter strategische Aspekte, das Verhalten von Organisationen, Informationssysteme und Marketing angeführt<sup>68</sup>.

### 2.2.6 Forecastuser

Winklhofer et al. stellen fest, dass im Gegensatz zur Situation bei den Forecasterstellern über die Forecastuser verhältnismäßig wenig empirisches Datenmaterial zur Verfügung steht. Jedenfalls sei aber davon auszugehen, dass Ziel und Zweck der Forecasts Rückschlüsse auf die Forecastuser erlauben, da damit bestimmte funktionale Einheiten (z.B.: Produktion oder Marketing) verbunden sind. Darüber hinaus seien die Forecastersteller häufig selbst auch die Forecastuser<sup>69</sup>.

Lt. Winklhofer et al. fand Rothe (1978) fünf Schlüsselgruppen von Forecastusern: „production planning and operations management, sales and marketing management, finance and accounting, top corporative management and personnel“<sup>70</sup>.

Moon et al. (1998) sehen in der *Kommunikation und Zusammenarbeit* zwischen Forecasterstellern und Forecastusern einen von sieben Schlüsselbereichen in der Verbesserung von Forecasts und Forecastprozessen. Forecasts sollten in einem Geist der Zusammenarbeit erstellt werden. Damit würde das Vertrauen in die Forecastdaten und das Verständnis für den Prozess der Erstellung gefördert werden. Überdies enthielten die Forecasts dann alle für deren Verwendung notwendigen Informationen, was erneut die Akzeptanz fördere<sup>71</sup> (vgl. dazu auch Abschnitt 2.4.2).

Lt. Winklhofer et al. beobachten Weelwright und Clarke bereits 1976 einen Mangel an Kommunikation zwischen Forecasterstellern und Usern, für effektive Forecasterstellung unzureichendes Fachwissen insbesondere bei den Forecastusern und Diskrepanzen bzgl. der Erwartungen an Forecasts zwischen Forecasterstellern und Usern<sup>72</sup>.

### 2.2.7 Datenquellen

Nach Wotruba und Thurlow sind jene Mitarbeiter der Verkaufsabteilungen, die in direktem Kundenkontakt stehen, eine der besten Datenquellen für die Forecasterstellung: „[...] companies' outside sales force is potentially one of its best sources of market and sales forecasting information, espacially under unique economic conditions which make historical data unreliable“<sup>73</sup>. Dieses Zitat wird auch in späteren Arbeiten bestätigt<sup>74</sup>.

---

<sup>68</sup> Vgl. Winklhofer in Fildes et al., 2002, S. 12.

<sup>69</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 209.

<sup>70</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 209.

<sup>71</sup> Vgl. Moon et al., 1998.

<sup>72</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 209.

<sup>73</sup> Wotruba und Thurlow 1976, S. 11.

<sup>74</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 50 und Moon et al., 2000, S. 22.

Winklhofer et al. führen neben den Verkaufsabteilungen und Vergangenheitsdaten auch Marktstudien, Informationen von Tochtergesellschaften und makroökonomische Informationen als wichtige Elemente der Datenbeschaffung an. Auffällig ist, dass die Möglichkeit, Auftragsstände als Indikatoren für die künftige Geschäftsentwicklung heranzuziehen, nicht diskutiert wird<sup>75</sup>.

Wie bereits unter 2.2.1 angeschnitten, warnen Moon et al. (1998) vor einer zu starken Konzentration auf Vergangenheitsdaten, da diese vorwiegend durch die verfügbaren Kapazitäten geprägt sein können und die echten Kundenbedarfe nur bedingt widerspiegeln<sup>76</sup>.

Moon et al. (1998) fordern daher Mechanismen, die es erlauben, Informationen darüber zu gewinnen, ob Kunden mehr bestellen würden als auf Basis der aktuell verfügbaren Kapazitäten geliefert werden kann. Als Beispiel nennen Moon et al. (1998) die Berücksichtigung von Servicegraden in der Forecasterstellung. Als weitere wertvolle Datenquellen werden „electronic data interchange (EDI), information as point-of-sale (POS) demand, retail inventory levels, and retailer forecasts“ beschrieben<sup>77</sup>. Darüber hinaus wird auch im Hinblick auf die Datenquellen betont, dass effektives Forecasting ganz entscheidend davon bestimmt ist, dass alle relevanten Informationen aus verschiedenen funktionalen Einheiten, wie „marketing, finance, logistics, production planning, operations“ zusammengeführt werden.

Anders als bei Winklhofer et al. führen Moon et al. (2000) in ihrer Fallstudie bei Lucent Technology die Auftragsstände als verwendete Daten an. Im „CDP forecasting system“ bei Lucent Technology stehen zur Forecasterstellung folgende Daten als Basisinformation zur Verfügung:

- Vergangenheitsdaten über die globale Istausslieferung der letzten 3 Jahre,
- der ausgelieferte Kundenbedarf im laufenden Jahr,
- zukünftige Bedarfe, die sich aus Rahmenverträgen ableiten und
- Informationen auf Auftragsebene aus den letzten 3 Monaten sowie über alle zukünftigen, bereits fixierten Aufträge<sup>78</sup>.

In welcher Form die Auftragsstände – also die bereits fixierten Aufträge - in die Forecasterstellung integriert werden (z.B.: quantitativ oder qualitativ) legen Moon et al. (2000) jedoch nicht dar.

Um eben diese Integration von Auftragsständen in den Forecastprozess zu ermöglichen, unterscheiden einige Softwarefirmen, welche ERP- und SCM-Software anbieten, zwischen „forecasted demand“ und „actual demand“. Unter „actual demand“ werden die bereits fixierten Aufträge (der Ist-Auftragsstand) verstanden, während unter „forecasted demand“ Bedarfe verstanden werden, die erst bei der Forecasterfüllung zu Kundenaufträgen werden.

---

<sup>75</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 209.

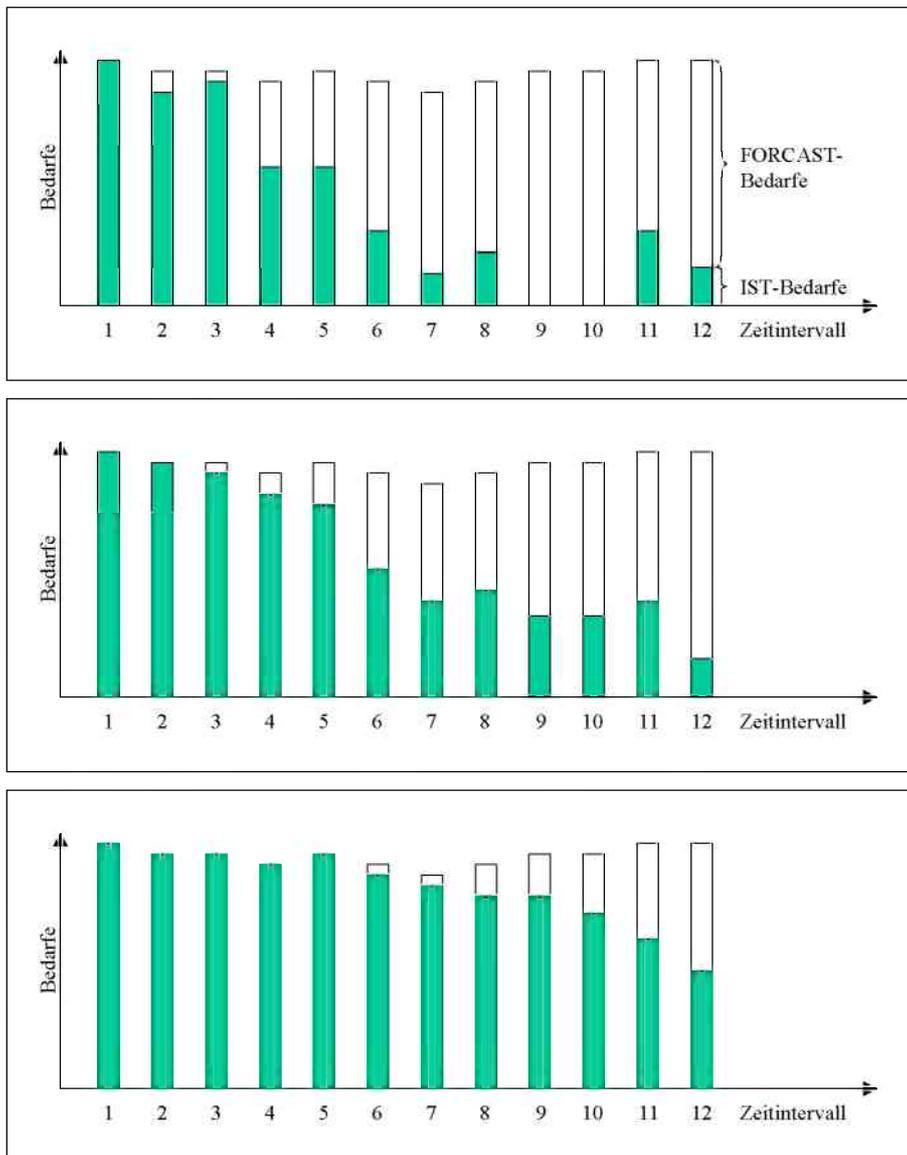
<sup>76</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 47.

<sup>77</sup> Vgl. dazu auch McIvor et al., 2003.

<sup>78</sup> Vgl. Moon et al., 2000, S. 21 f.

Es wird also zwischen Bedarfen, die sich aus dem Ist-Auftragsstand ergeben und als gesichert angesehen werden, und Bedarfen, deren Eintreten noch nicht gesichert ist, unterschieden. Die noch nicht gesicherten Bedarfe repräsentieren den eigentlichen Forecast. Aus der Summe der Bedarfe aus dem Ist-Auftragsstand und den noch nicht gesicherten, tatsächlich nur prognostizierten Bedarfen ergibt sich der Gesamtbedarf.

Wenn Aufträge eingehen, ersetzen die daraus resultierenden Ist-Bedarfe (der Bedarf aus dem Ist-Auftragsstand) Forecast-Bedarfe. Der Ist-Bedarf erhöht sich während der Forecast-Bedarf in gleichem Ausmaß vermindert wird. Bei exakter Forecasterfüllung bleibt der Gesamtbedarf konstant. Diese Substitution von Forecast-Bedarfen durch Ist-Bedarfe wird als Forecast Consumption bezeichnet.



a)

Zusammensetzung der Gesamtbedarfe aus der Summe von IST- und FORECAST-Bedarfen zum Zeitpunkt  $t_0$

b)

Zusammensetzung der Gesamtbedarfe aus der Summe von IST- und FORECAST-Bedarfen zum Zeitpunkt  $t_0 + x$

c)

Zusammensetzung der Gesamtbedarfe aus der Summe von IST- und FORECAST-Bedarfen zum Zeitpunkt  $t_0 + 2x$

Abb. 2.2: typische Momentaufnahmen von Forecast-, Ist- und Gesamtbedarfen in verschiedenen Zeitintervallen zu den Zeitpunkten  $t_0$  (a),  $t_0 + x$  (b) und  $t_0 + 2x$  (c); Quelle: eigene Darstellung.

Bei ORACLE findet man folgende Definition: “Forecast consumption replaces forecasted demand with actual sales order demand. Each time you create a sales order line, you create actual demand. If the actual demand is already forecasted, the forecast demand must be decremented by the sales order quantity to avoid counting the same demand twice.”<sup>79</sup>

Der Begriff Forecast Consumption wird durchgehend mit derselben Bedeutung verwendet. Beispiele dafür finden sich bei den Softwareanbietern SAP, MANUGISTICS oder bei Consultingunternehmen wie z. B. bei Gray Research, OPTAS und S&V Management Consultants<sup>80</sup>.

Abb. 2.2a zeigt schematisch, wie sich der Gesamtbedarf aus Forecast- und Ist-Bedarf zusammensetzt. In Zeitintervallen, welche weit in der Zukunft liegen, ist erst wenig oder noch gar kein Forecastkonsum eingetreten, während in Intervallen, welche in naher oder nächster Zukunft liegen, bereits große Teile des Forecastbedarfs durch Ist-Bedarfe substituiert (konsumiert) sind.

Wesentlich dabei ist, dass der Forecastkonsum als *fortschreitender* Prozess zu sehen ist. Bei exakter Forecasterfüllung ist der Forecastbedarf eines bestimmten Zeitintervalls spätestens zum Zeitpunkt des Ablaufs desselben vollständig durch Ist-Bedarfe substituiert.

Ausgehend von der Belegungssituation in Abb. 2.2a zum Zeitpunkt  $t_0$  zeigen die Abb. 2.2b und 2.2c das Fortschreiten des Forecastkonsums in Momentaufnahmen zu den Zeitpunkten  $t_0+x$  und  $t_0+2x$ . Zum Zeitpunkt  $t_0+x$  sind im Unterschied zur Situation zum Zeitpunkt  $t_0$  die Forecastbedarfe in Zeitintervall 2 bereits *zur Gänze* durch Ist-Bedarfe ersetzt und auch in den Zeitintervallen 3 bis 12 sind Teile der Forecastbedarfe durch Ist-Bedarfe substituiert. Zum Zeitpunkt  $t_0+2x$  ist die Substitution der Forecastbedarfe durch Ist-Bedarfe erneut weiter fortgeschritten.

Bemerkenswert erscheint, dass das Konzept des Forecastkonsums trotz sein Verbreitung unter führenden ERP- und SCM-Softwareunternehmen in der Forecast-Literatur bisher nicht präsent ist. Das gilt insbesondere im Hinblick darauf, dass dieses die Möglichkeit bietet, *Auftragsstände* nahtlos in die Forecasterstellung bzw. den Forecastprozess im Allgemeinen zu integrieren.

## 2.3 Selection/Specification Issues

### 2.3.1 Bekanntheitsgrad verschiedener Forecasttechniken

Bzgl. des Bekanntheitsgrads verschiedener Forecasttechniken schließen Winklhofer et al. aus der Zusammenschau verschiedener Arbeiten Folgendes: „Overall, firms seem to be

---

<sup>79</sup> Oracle, 2003.

<sup>80</sup> Vgl. SAP, 2003, MANUGISTICS, 2003, Gray Research, 2003, OPTAS, 2003, S&V Management Consultants, 2003.

more familiar with judgemental than with quantitative forecasting methods [...].<sup>81</sup> Ein Ergebnis, zu dem auch später publizierte Arbeiten kommen<sup>82</sup>.

Bezüglich quantitativer Methoden schreiben Winklhofer et al. weiter, dass relativ einfache Methoden wie gleitender Mittelwert oder lineare Extrapolation die höchste Bekanntheit aufweisen, während Box Jenkins die am wenigsten bekannte quantitative Methode darstelle.

Darüber hinaus wird aus dem Vergleich verschiedener Arbeiten geschlossen, dass der Bekanntheitsgrad quantitativer Methoden im Steigen begriffen ist. In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, dass unter Produktionsunternehmen ein stärkeres Bewusstsein für komplexe Forecastmethoden wie Simulationen oder Box Jenkins besteht als in Dienstleistungsunternehmen<sup>83</sup>.

Moon et al. (1998) berichten, dass viele Unternehmen die Erwartung hätten, dass die Anwendung von quantitativen Tools oder von Computer-Packages, welche auf Basis von quantitativen Methoden arbeiten, das „Forecastproblem lösen“. Dem gegenüber wurden auch Fälle von stark einseitiger Betonung qualitativer Methoden beobachtet. Als eine Variation dieser Symptome wird die Verwendung von Computer-Packages, deren Funktionen und Algorithmen nicht verstanden werden, beschrieben<sup>84</sup>.

Darüber hinaus stellen Moon et al. (1998) fest, dass das Verständnis der Stärken und Schwächen unterschiedlicher Forecasttechniken die Voraussetzung dafür sei, einen Forecasting-Prozess kreieren zu können, der die Vorteile verschiedener Techniken verbindet. Dieser Aspekt wird unter dem folgenden Abschnitt ausführlich diskutiert.

### 2.3.2 Kriterien in der Auswahl von Forecastmethoden

Wie oben angeschnitten, betonen Moon et al. (1998), dass verschiedene Methoden entsprechend ihrer Stärken und Schwächen eingesetzt werden sollten. So sollten quantitative Erstentwürfe von Forecasts nicht von Verkäufern erstellt werden. Sehr wohl sollte die Erfahrung von Verkäufern aber dafür herangezogen werden, qualitative Anpassungen von quantitativen Erstentwürfen durchzuführen. Zeitreihenanalysen sollten dann verwendet werden, wenn sich ändernde Trends oder saisonale Muster vorliegen, jedoch nicht wenn es darum geht, externe Faktoren wie Preisänderungen, Marketingaktivitäten, Konjunkturschwankungen oder Auftreten von Konkurrenten zu bewerten. Externe Faktoren sollten vielmehr durch Regressionsmethoden berücksichtigt werden. Diese allgemeinen Empfehlungen müssten aber auf die individuelle Situation abgestimmt werden, um schließlich jene Methodenkombination zu finden, die die beste Performance gewährleistet<sup>85</sup>.

Winklhofer et al. führen folgende, für die Auswahl von Forecastmethoden ausschlaggebende, Kriterien an<sup>86</sup>:

<sup>81</sup> Winklhofer et al., 1996, S. 210.

<sup>82</sup> Vgl. Luxhoj et al., 1996, S. 191, Moon et al., 1998, S. 49, Moon et al., 2000, Lawrence et al., 2002.

<sup>83</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 210.

<sup>84</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 49.

<sup>85</sup> Vgl. Moon et al. 1998, S. 49.

<sup>86</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 210.

- Kosten
- technisches Verständnis der Anwender für die Methode
- Verfügbarkeit von Software
- Genauigkeit
- Einfachheit der Handhabung
- problemspezifische Charakteristika wie Datenverfügbarkeit, Datenmuster, Zeithorizonte und Anzahl der Forecastlinien

Wie bereits unter 2.3.1 erwähnt, schreiben Winklhofer et al. qualitativen Methoden eine besondere Rolle zu. Qualitative Methoden würden hauptsächlich deshalb häufig herangezogen, da sie einfach zu verwenden seien, Erfahrungswissen berücksichtigt werden könne, das Problem der Datenverfügbarkeit klein sei und überdies gute Genauigkeiten erreicht werden könnten<sup>87</sup>. Lawrence et al. (2000) kommen zum Ergebnis „[...] that management judgement is the preferred method for forecasting“<sup>88</sup> und berufen sich unter anderem auf Winklhofer et al.

### 2.3.3 Verwendung verschiedener Forecastmethoden

Winklhofer et al. schließen aus ihrer Studie, dass Schätz- und Extrapolationsmethoden im Allgemeinen am häufigsten verwendet werden. Darüber hinaus wurde in der 80er Jahren eine Zunahme von exakten Methoden gegenüber inexakten beobachtet<sup>89</sup>. (Anmerkung: Die hier und im folgenden gemachte Unterscheidung zwischen exakten und inexakten Methoden erfolgt in Anlehnung an Heinen<sup>90</sup>. Im englischen Originaltext verwenden Winklhofer et al. die Begriffe „subjective“ und „objective“.)

Zwischen der Länge der Forecasthorizonte und den verwendeten Methoden erkennen Winklhofer et al. Zusammenhänge. Für *Short-Term-Forecasts* wurden demnach primär Schätzmethode wie die Meinung von Experten, der Geschäftsleitung oder der Verkaufsabteilungen herangezogen. In der Erstellung von *Medium-Term-Forecasts* wurden sowohl quantitative Methoden wie Regressions- oder Trendkurvenanalysen als auch inexakte Methoden verwendet. *Long-Term-Forecasts* sind von Expertenschätzungen, Schätzungen der Geschäftsleitung und von Regressionsmethoden dominiert. Winklhofer et al. fassen die Beziehungen zwischen der Verwendung bestimmter Forecastmethoden und der Länge der Forecasthorizonte wie folgt zusammen: „Overall, subjective techniques tend to be very popular across all time horizons, while some objective techniques gain popularity when moving from a short-term to a medium-term time horizon but then lose in popularity when moving from a medium-term to a long time horizon.“<sup>91</sup>

---

<sup>87</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 210.

<sup>88</sup> Vgl. Lawrence et al., 2000, S. 151.

<sup>89</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 211.

<sup>90</sup> Vgl. Heinen, 1991, S. 655.

<sup>91</sup> Vgl. Winklhofer et al. 1996, S. 211.

Moon et al. (1998) stellen fest, dass die Forecastgenauigkeit verbessert werden kann, indem man quantitative mit qualitativen Methoden kombiniert<sup>92</sup>. Auch Moon et al. (2002) sehen in der Kombination verschiedener Methoden einen Schlüssel zu genaueren Forecasts und leiten aus einer Zusammenfassung von Arbeiten von Mentzer und Kahn, Mentzer und Schröter, Mentzer und Kent sowie Wright aus den Jahren 1988 bis 1997 ab, dass die kombinierte Anwendung verschiedener Methoden durch die fortschreitende Softwareentwicklung wesentlich erleichtert wurde: „Legacy systems, which have historically been limited to a single forecasting technique for all products and services, are being replaced by systems which select from a series of alternative forecasting techniques or employ a combination of techniques to analyse demand and related information in an effort to improve forecasting accuracy.“<sup>93</sup>

Nach Winklhofer et al. ist die kombinierte Anwendung von Forecastmethoden auch tatsächlich gängige Praxis<sup>94</sup>. Dazu bringen die Autoren Zitate von Rothe (1978), Dalrymple (1987) sowie von Wilson und Daubek (1989). Rothe schloss, dass Unternehmen im Allgemeinen viel eher multiple Forecastmethoden einsetzten, als sich auf eine einzige Methode zu beschränken. Dalrymple fand, dass 38% der Unternehmen Methoden kombiniert einsetzten, bei Wilson und Daubek waren es 60%. Auch Luxhoj et al. kombinieren in einer Fallstudie bei Bang und Olufsen systematisch verschiedene Forecasttechniken<sup>95</sup>.

## 2.4 Evaluation Issues

### 2.4.1 Präsentation von Forecasts an das Management

Überraschenderweise gibt es kaum Arbeiten darüber, in welcher Form Forecasts dem Management bzw. den Entscheidungsträgern präsentiert werden. Auch Winklhofer et al. finden lediglich eine einzige Arbeit, die sich mit diesem Thema befasst. Dabei handelt es sich um eine Fallstudie von Miller (1985), in welcher die große Bedeutung von graphischen Auswertungen betont wird. Graphische Auswertungen seien "[...] the most important step toward the overall satisfaction of needs [...]"<sup>96</sup> gewesen.

Lawrence et al. (2000) schließen aus ihren Untersuchungsergebnissen, dass Manager und Entscheidungsträger durch die Vielfältigkeit der in Forecasts enthaltenen Informationen überfordert sein könnten und deshalb suboptimale Entscheidungen fällten: "Data overload may lead the contextual information to be either ignored or to be given the wrong weighting."<sup>97</sup>

---

<sup>92</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 49.

<sup>93</sup> Vgl. Moon et al., 2000, S. 2.

<sup>94</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 212.

<sup>95</sup> Vgl. Luxhoj et al., 1996.

<sup>96</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996.

<sup>97</sup> Lawrence et al., 2000, S. 157.

Zur Untermauerung dieser Feststellung zitieren Lawrence et al. (2000) Arbeiten von Lim und O'Conner (1996) sowie Handzic (1997)<sup>98</sup>. Lim und O'Conner zeigen, dass selbst eindimensionale Informationen häufig falsch gewichtet werden. Handzic untersuchte, wie komplexe Informationen in der Forecasterstellung verarbeitet werden. Zusätzlich zu historischen Daten wurden Forecasterstellern drei weitere Variablen zur Verfügung gestellt. Es zeigte sich, dass die Forecastersteller bestenfalls zwei der drei zusätzlichen Variablen berücksichtigten.

Winklhofer et al. fanden, dass Manager darüber informiert sein wollen, *wie* Forecasts erstellt werden, bevor sie diese als Grundlage für ihre Entscheidungen heranziehen<sup>99</sup>. In diesem Zusammenhang stellen Winklhofer et al. analog zu den unter 2.3.3 geschilderten Beobachtungen bzgl. qualitativer Methoden fest, dass inexakte Methoden einen größeren Einfluss auf Entscheidungen haben als exakte.

## 2.4.2 Forecastreviews und die Berücksichtigung subjektiver Einschätzungen

Moon et al. (1998) betonen die Wichtigkeit von Mechanismen, welche die Kommunikation zwischen den verschiedenen, an der Forecasterstellung und Forecastverwendung beteiligten, organisatorischen Einheiten ermöglichen. Als Beispiel eines solchen Mechanismus nennen Moon et al. (1998) regelmäßige, halbtägige Meetings zwischen Verkauf, Marketing, Produktionsplanung, Logistik und Finanzmanagement. Das Ziel dieser Meetings ist die Erstellung eines „consensus“ Forecasts, der auf Basis von im Vorfeld des Meetings erstellten Forecastentwürfen entwickelt wird<sup>100</sup>.

Unter einem „consensus“ Forecast versteht man einen Forecast, der von allen Teilnehmern des Meetings bestätigt und akzeptiert wird. Dadurch, dass alle wesentlichen organisatorischen Einheiten in diesen Prozess integriert sind, werden Doppelgleisigkeiten vermieden und das Vertrauen in die Forecastdaten erhöht. Auch Moon et al. sehen einen „Consensus process recognizes feedback loops“ als zentralen Bestandteil des Forecastprozesses<sup>101</sup>.

Neben Moon et al. (1998) berichten auch Winklhofer et al. und Lawrence et al. (2000) von regelmäßigen Meetings, an welchen alle in den Forecastprozess involvierten, organisatorischen Einheiten teilnehmen. Nach Lawrence et al. (2000) werden diese Meetings im Monatsabstand abgehalten, dauern zwei bis drei Stunden und werden von folgenden Themen dominiert: „New marketing initiatives, promotion plans, actions of competitors, industry developments, manufacturing problems and other forms of contextual information [...]“<sup>102</sup>. Ähnlich wie Moon et al. (1998) sehen auch Lawrence et al. den Sinn dieser regelmäßigen Meetings in der Kommunikation und der Erstellung eines von allen Beteiligten akzeptierten Forecasts.

---

<sup>98</sup> Vgl. Lawrence et al., 2000, S. 157.

<sup>99</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 212.

<sup>100</sup> Vgl. Moon et al., 2000, S. 48 f.

<sup>101</sup> Vgl. Moon et al. 2002, S. 7.

<sup>102</sup> Vgl. Lawrence et al., 2000, S. 157.

Bezüglich der Berücksichtigung subjektiver Einschätzungen in der Forecasterstellung berichtet Sanders (1992) lt. Winklhofer et al., dass die Mehrheit der 500 von ihm untersuchten US-Unternehmen auf quantitativer Basis erstellte Forecasts anhand subjektiver Einschätzungen modifizierte<sup>103</sup>. Als Motiv solcher Modifikationen sehen Winklhofer et al. nicht nur die Berücksichtigung von aktuellen Rahmenbedingungen, die zu einer verbesserten Genauigkeit des Forecasts führen würde, sondern auch politische Motive. Ein Ergebnis zu dem auch Lawrence et al. (2000) kommen. Lawrence et al. nennen dazu zwei anschauliche Beispiele: "If managers are rewarded for exceeding the sales targets, there may be pressure for the forecasts to be less than the actual - i.e. under-forecasting. Conversely, if product managers are concerned that there be no lost sales, there may be a tendency to over-forecast."<sup>104</sup>

### 2.4.3 Standards in der Bewertung der Forecastperformance

Als wichtigstes Kriterium der Bewertung der Forecastperformance wird von vielen Autoren die Forecastgenauigkeit genannt<sup>105</sup>.

Zur Bewertung der Forecastgenauigkeit stehen verschiedene Kennzahlen wie der mittlere Forecastfehler, der mittlere prozentuelle Fehler, der mittlere quadratische Fehler, der mittlere absolute Fehler und der mittlere absolute Fehler (MAPE) zur Verfügung<sup>106</sup>. Im Prinzip beruhen all diese Kennzahlen um einen Vergleich zwischen Forecast- und Istzahlen.

Die Definition des häufig verwendeten MAPE<sup>107</sup> sei an dieser Stelle stellvertretend für die anderen Kennzahlen angeführt. Der MAPE ist wie folgt definiert<sup>108</sup>:

$$MAPE = 100 \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|Istauslieferungsmenge_t - Forecastmenge_t|}{Istauslieferungsmenge_t}}{n} [\%] \quad (2.1)$$

Wobei  $t$  die verschiedenen Zeitintervalle indiziert, die in die Genauigkeitsanalyse einbezogen werden.

Neben der Forecastgenauigkeit als vorrangiges Kriterium der Forecastbewertung nennen Winklhofer et al. die Einfachheit der Verwendung und der Interpretation, Glaubwürdigkeit, Kosten, Aktualität und den Zeitbedarf für die Erstellung als untergeordnete Kriterien, wobei die Aktualität und der Zeitbedarf für die Erstellung vor allem in Industrieunternehmen von Bedeutung sind. Als typische Folgen von ungenauen

<sup>103</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 213.

<sup>104</sup> Vgl. Lawrence et al., 2000, S. 158.

<sup>105</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 213, Lawrence et al., 2000, S. 151.

<sup>106</sup> Vgl. Abraham und Ledolter, 1983, S. 373 f.

<sup>107</sup> Der MAPE wird z.B. verwendet bei Moon et al., 2002, S.10, Lawrence et al., 2002, S. 386, Luxhoj et al., 1996, S. 187, Heikkilä, 2002, S. 757.

<sup>108</sup> Vgl. Abraham und Ledolter, 1983, S. 374.

Forecasts führen Winklhofer et al. Terminierungsprobleme, falsche Entscheidungen in der Preispolitik und schlechte Servicegrade an.

Die Forecastgenauigkeit findet auch in der SCM-Literatur ihren Niederschlag. Petrovic et al. (1997) sehen in der Forecastgenauigkeit ein wesentliches Element in der Supply Chain Modellierung<sup>109</sup>. Ganeshan et al. (2001) untersuchten den Einfluss von Forecastfehlern auf die Performance von Lieferketten und stellten fest, dass ungenaue Forecasts den Return on Investment, die Servicegrade und die Umschlagshäufigkeiten verringern<sup>110</sup>.

Moon et al. (1998) finden anhand von sehr ausgedehnten Feldstudien in 20 Unternehmen „[...] suprisingly few companies that systematically measure forecasting management performance.“<sup>111</sup>. Auch Winklhofer et al., Moon et al. (2000) und Moon et al. (2002) kommen zu ähnlichen Ergebnissen<sup>112</sup>. Moon et al. (1998) stellen fest, dass Bewertungen der Forecastperformance, soweit sie gemacht werden, häufig unregelmäßig, nicht detailliert genug oder ohne ausreichenden Focus auf Verbesserungspotential erfolgen<sup>113</sup>. Moon et al. (1998) legen in diesem Zusammenhang besonderen Wert auf die Aufzeichnung von Forecastmodifikationen, welche auf Basis subjektiver Schätzungen erfolgen. Durch die Aufzeichnung solcher Modifikationen würde die Möglichkeit geschaffen, deren Qualität systematisch zu verbessern.

In ihrem Artikel „Conducting a Sales Forecasting Audit“ gehen Moon et al. (2002) in der Bewertung der Forecastperformance wesentlich über die bloße Erhebung der Forecastgenauigkeit hinaus. So werden die Auswirkungen von Forecastungenauigkeiten auf die Gesamtkosten in der Lieferkette und die Servicegrade als weitere Kriterien herangezogen. Moon et al. beschreiben den Idealzustand der Performancebewertung wie folgt:

- Realization that exogenous factors affect forecast accuracy and that unfulfilled demand is partially a function of forecasting error and partially a function of operational error
- Forecasting error treated as an indication of the need for a problem search (for instance, POS demand was forecasted accurately, but plant capacity prevented production of the forecast amount)
- Multidimensional metrics of forecasting performance – forecasting performance evaluation tied to the impact of accuracy on achievement of corporate goals (i.e. profitability, supply chain costs, customer service)<sup>114</sup>

---

<sup>109</sup> Vgl. Petrovic et al., 1998, S. 308

<sup>110</sup> Vgl. Ganeshan et al., 2001.

<sup>111</sup> Moon et al., 1998, S. 50.

<sup>112</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 213 f., Moon et al., 2000, S. 23, Moon et al., 2002, S. 10.

<sup>113</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 50 f.

<sup>114</sup> Moon et al., 2002, S. 10.

## 2.4.4 Forecast Performance

Winklhofer et al. fassen zum Thema Forecastperformance Ergebnisse aus insgesamt zwölf Arbeiten zusammen und ziehen den Schluss, dass die beobachtete lückenhafte Verfolgung der Forecastperformance und der Mangel an Mechanismen zur Aufzeichnung von Performancedaten *an sich* bereits negativ auf die Forecastperformance wirken dürften<sup>115</sup>.

Darüber hinaus haben Winklhofer et al. eine Tabelle erstellt, die den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Forecastgenauigkeit, wie sie in den einzelnen Arbeiten gefunden wurden, wiedergibt<sup>116</sup>. Demnach bestehen zwischen der Forecastgenauigkeit und folgenden Faktoren *positive* Korrelationen:

- Firmengröße
- Firmenalter
- Konkurrenzsituation
- Aggregationsgrad
- Vielfältigkeit der Verwendung der Forecasts
- Ausbildung der Forecastersteller
- Berücksichtigung saisonaler Muster
- Einsatz von Computern
- Einsatz von Consulting-Unternehmen

*Negativ* wirken sich aus:

- Größe des Marktgebiets
- Länge der Zeithorizonte

Konkrete Zahlen über in Unternehmen erhobene Forecastgenauigkeiten führen Winklhofer et al. nicht an. Moon et al. (2000) fanden in der Fallstudie bei Lucent Technologie eine Forecastgenauigkeit von 60% (vor dem Verbesserungsprojekt, das in der Fallstudie dokumentiert wird) bzw. 80 bis 85% (nach dem Verbesserungsprojekt)<sup>117</sup>. Nach welchem Modus diese Zahlen erhoben wurden wird nicht erläutert.

Lawrence et al. (2000) untersuchten, wie genau auf Basis von Schätzmethoden erstellte Forecasts im Vergleich zu naiven Forecasts waren<sup>118</sup>. Zu diesem Zweck wurden insgesamt 24.000 Forecastdatensets aus 13 großen australischen Unternehmen analysiert. Die geschätzten Forecasts wurden von den Unternehmen selbst erstellt. Wie sich zeigte, waren die Unternehmensforecasts nicht signifikant genauer als die naiven Forecasts und das, obwohl - wie Lawrence et al. (2000) betonen - in der Erstellung der naiven Forecasts saisonale Schwankungen nicht berücksichtigt wurden<sup>119</sup>.

---

<sup>115</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 214.

<sup>116</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 213 f.

<sup>117</sup> Vgl. Moon et al., 2000, S. 24.

<sup>118</sup> Anmerkung: Die Erstellung naiver Forecasts erfolgt, indem man für den Forecastbedarf der Folgeperiode den Istbedarf der Vorperiode einsetzt; vgl. dazu Thomakos und Guerard, 2003, S. 2.

<sup>119</sup> Vgl. Lawrence et al., 2000.

Lawrence et al. (2000) schließen aus diesem Ergebnis Folgendes: “This suggests that forecast accuracy may not be the sole objective of the company forecasting process. Motivation of staff and satisfaction of customer demands seemed to influence the setting of the forecast.”<sup>120</sup> (vgl. auch Abschnitte 2.4.2 und 2.4.5.2).

Die kleinsten nach dem MAPE errechneten Forecastfehler, die Lawrence et al. (2000) erhoben, lagen im Bereich von 21 bis 28 % (für die von den Unternehmen erstellten Forecasts) bzw. 18 und 33% (für die naiven Forecasts). In diesen Bereichen platzierten sich jeweils fünf der dreizehn Unternehmen. Die Forecastfehler für die verbleibenden acht Unternehmen waren wesentlich größer.

Auch Heikkilä macht quantitative Angaben zu Forecastfehlern. In einer Fallstudie bei Nokia werden die Forecasts von fünf Kunden verglichen, deren Forecastfehler nach dem MAPE zwischen 41 und 105% lagen<sup>121</sup>.

Wenn die oben angeführten Zahlen über empirisch erhobene Forecastfehler aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen, die ihrem Zustandekommen zugrunde lagen, auch kaum vergleichbar sind, so bekommt man doch ein Bild davon, welche Größen Forecastfehler annehmen können. Stellt man den oben angeführten Zahlen die von Luxhoj et al. in einer Fallstudie bei Bang & Olufsen erhobenen Forecastfehler gegenüber, so lässt sich überdies abschätzen, wie sich verschiedene, die Forecastgenauigkeit beeinflussende Faktoren auf die Forecastfehler auswirken. Die von Luxhoj erhobenen Forecastfehler lagen nach dem MAPE bei 3,8% (für den von Luxhoj et al. erarbeiteten komplexen stark quantitativ geprägten Forecastalgorithmus) bzw. 6,3% (für die von Bang & Olufsen hauptsächlich auf qualitativer Basis erstellten Forecasts)<sup>122</sup>.

Ganz offensichtlich kommen hier die Forecastgenauigkeit positiv beeinflussende Faktoren wie Firmengröße und Firmenalter zu tragen. Überdies wurden die von Luxhoj et al. untersuchten Forecasts auf der höchsten Aggregationsstufe (also der höchsten Forecastebene) erstellt, was - wie oben nach Winkelhofer et al. angeführt - der Forecastgenauigkeit weiter förderlich ist<sup>123</sup>.

## 2.4.5 Typische Probleme und Verbesserungsansätze

Die in der Literatur über angewandtes Forecasting am häufigsten beschriebenen Probleme lassen sich unter vier Themengruppen zusammenfassen:

1. Geringschätzung des Potentials angewandten Forecastings.
2. Aus verschiedenen Motiven heraus bewusst zu hoch oder zu niedrig angesetzte Foecastmengen.
3. Probleme bzgl. der Organisation, der Abwicklung und der Kommunikation.

---

<sup>120</sup> Vgl. Lawrence et al., 2000, S. 159.

<sup>121</sup> Vgl. Heikkilä, 2000, S. 757.

<sup>122</sup> Vgl. Luxhoj et al., 1996, S. 189 f.

<sup>123</sup> Vgl. dazu auch Gudchus, 1999, S. 217.

4. Probleme im Zusammenhang mit der gezielten und zeitgerechten Anpassung der operativen Abläufe an sich ändernde Bedarfe.

Im Folgenden wird im Detail auf diese vier Problembereiche und die entsprechenden Lösungsansätze eingegangen.

#### 2.4.5.1 Geringschätzung des Potentials angewandten Forecastings

Führt man sich die zentrale Bedeutung angewandten Forecastings in den Bereichen Logistik und Supply Chain Management insbesondere im Hinblick auf die durch die fortschreitende Globalisierung zunehmend verschärften Wettbewerbsverhältnisse vor Augen<sup>124</sup>, so mag es verwundern, dass angewandtes Forecasting noch nicht durchgängig als eine Notwendigkeit gesehen wird. Jedenfalls berichten Moon et al. (2000), Moon et al. (2002) und Winklhofer (in Fildes et al., 2002) über eine Geringschätzung des Potentials angewandten Forecastings und damit verbundenen negativen Auswirkungen für die Forecastperformance<sup>125</sup>.

Im Detail stellen Moon et al. (2002) fest, dass vor allem Topmanager wenig Bewusstsein dafür hätten, dass Fortschritte in der Forecastperformance, dramatische Verbesserungen der Key Performance Indikatoren eines Unternehmens ermöglichen. Als typische, negative Begleiterscheinungen dieses schwach ausgeprägten Bewusstseins für die Möglichkeiten angewandten Forecastings werden inadäquate Schulung der am Forecastprozess beteiligten Mitarbeiter, limitierte finanzielle Mittel für die Forecasterstellung, mangelhafte Verfolgung und Würdigung der Forecastperformance, unklare Zuordnung von Verantwortungsbereichen, uneinheitliche oder fehlende Richtlinien für die Forecasterstellung und die Ansiedelung der Forecastaktivitäten und -verantwortungen in relativ niedrigen hierarchischen Ebenen beschrieben<sup>126</sup>.

Um die Vorzüge und den Nutzen effizienten angewandten Forecastings aufzuzeigen, präsentieren Moon et al. (2002) Fallbeispiele aus ihrer Tätigkeit als Forecastauditoren in 16 großen Unternehmen. Demnach hätten Unternehmen, welche das Potential von angewandtem Forecasting erkannten und ihre Forecastperformance gezielt verbesserten, tatsächlich erhebliche Kosteneinsparungen realisieren können, während Unternehmen, welche angewandtem Forecasting verhältnismäßig wenig Bedeutung beimäßen, nicht in der Lage gewesen seien „[...] supply chain cost savings and customer service benefits [...]“ zu generieren<sup>127</sup>.

Winklhofer (in Fildes et al. 2002) fragt nach den Ursachen der häufig beobachteten Geringschätzung angewandten Forecastings und stellt fest, dass in vielen Unternehmen die Meinung vorherrsche, dass die Konsequenzen falscher Forecasts im Hinblick auf die spezielle Geschäftssituation im einzelnen Unternehmen beschränkt seien. Winklhofer schlägt daran anknüpfend vor, dass Auditierungen von Forecastprozessen eine Analyse der Prinzipien, die hinter dem aktuellen Status der Forecastpraxis stehen, beinhalten

---

<sup>124</sup> Zur zentralen Bedeutung angewandten Forecastings vgl. Moon et al., 2002, S. 1 f., Korpela & Tuominen, 1996, S. 159 f., Luxhoj et al., 1996, S. 176 f., Lancioni, 2000, S. 2, Lampert & Cooper 2000, Ganeshan et al., 2001.

<sup>125</sup> Moon et al., 2000, S. 19, Moon et al., 2002, S. 19 f., Fildes et al., 2002, S. 10 ff.

<sup>126</sup> Vgl. Moon et al., 2002, S. 16 ff.

<sup>127</sup> Moon et al., 2002, S. 20.

sollten. Insbesondere sollten Aspekte der Unternehmenskultur und der Unternehmensgeschichte berücksichtigt werden<sup>128</sup>.

#### 2.4.5.2 Aus verschiedenen Motiven bewusst zu hoch oder zu niedrig angesetzte Forecastmengen

Wie bereits unter 2.2.1, 2.4.2 und 2.4.4 angeschnitten, sind möglichst präzise Forecasts keineswegs das einzige Ziel in der Forecasterstellung.

Stewart erläutert ausführlich, wie an Forecasts orientierte Prämiensysteme Vertriebsleute dazu motivieren, Forecasts in erster Linie so zu gestalten, dass Prämienausschüttungen wahrscheinlich werden<sup>129</sup>. Ähnliche Aussagen machen Moon et al. (1998) und Moon et al. (2002)<sup>130</sup>. Stewart schreibt weiter, dass Mitarbeiter, welche unter dem Einfluss solcher Prämiensysteme stehen, sogar so weit gingen, bewusst Falschinformationen weiterzugeben. Stewart zitiert in diesem Zusammenhang eine ganze Reihe von Arbeiten, die übertrieben optimistische Forecasts, mit dem Ziel Aufmerksamkeit zu wecken oder Ressourcen zu sichern, beschreiben<sup>131</sup>.

Ein weiteres Beispiel für bewusstes Unter- oder Überforecasten wurde bei leitenden Managern beobachtet, die Forecasts in der Hoffnung ihre Mitarbeiter damit besser zu motivieren, etwas zu hoch oder auch etwas zu niedrig ansetzten<sup>132</sup>. Abgesehen von der unternehmensinternen Forecastverfälschung können beabsichtigte Forecastfehler aber auch durch Kunden oder Channelpartner induziert sein<sup>133</sup>.

Um den negativen Einfluss von „gaming“ oder „game playing“ wie bewusstes Über- oder Unterforecasten in der englischsprachigen Literatur häufig bezeichnet wird, zu minimieren, schlägt Stewart vor, die Möglichkeit bewusster Falschinformation zumindest zu bedenken. Weitere geeignete Maßnahmen sieht Stewart darin, Forecastdaten mit einer Fokussierung auf bewusste Falschinformationen zu analysieren und Prämiensysteme so zu verändern, dass präzise Forecasts zu einem attraktiven Ziel werden<sup>134</sup>.

Moon et al. (2002) fordern für die Sollsituation des Forecastprozesses ein tieferes Verständnis der zugrunde liegenden Motive bewusst gesteuerten Unter- oder Überforecastens: „Understand the „game playing“ inherent in the sales force and the distribution channel (motivation for sales to under-forecast and for distributors to over-forecast)“<sup>135</sup>. Darüber hinaus empfehlen Moon et al. (2002) und auch Moon et al. (1998) detaillierte Erhebungen der Forecastgenauigkeit, die *Zuordnungen* von Forecastfehlern an die Verursacher ermöglichen und damit eine Basis für die Abgrenzung und Behebung der Forecastfehler liefern<sup>136</sup>.

---

<sup>128</sup> Vgl. Fildes et al., 2002, S. 11 f.

<sup>129</sup> Vgl. Fildes et al., 2002, S. 8 ff.

<sup>130</sup> Vgl. Moon et al. 1998, S. 46, Moon et al. 2002, S. 10.

<sup>131</sup> Vgl. dazu auch Winklhofer et al., 1996, S. 215 f.

<sup>132</sup> Vgl. Stewart in Fildes et al., 2002, S. 8 ff., Lawrence et al., 2000, S. 158.

<sup>133</sup> Vgl. Heikkilä, 2002, S. 761, van der Vorst, 1998, S. 488 f.

<sup>134</sup> Vgl. Stewart in Fildes et al., 2002, S. 8 ff.

<sup>135</sup> Moon et al., 2002, S. 8.

<sup>136</sup> Vgl. Moon et al., 2002, S. 10, Moon et al., 1998, S. 50 f.

### 2.4.5.3 Probleme bzgl. der Organisation, der Abwicklung und der Kommunikation

In der Literatur herrscht breite Übereinstimmung darüber, dass die Ausprägung der Beziehungen und Abhängigkeiten der an der Forecasterstellung beteiligten Organisationseinheiten sowie deren Kommunikation untereinander den Ausschlag über Erfolg bzw. Misserfolg angewandten Forecastings geben<sup>137</sup>.

Typische - in Bezug auf die Organisation das Management und die Kommunikation auftretende - Probleme werden wie folgt beschrieben:

- Unzureichende Einbindung von einzelnen involvierten Organisationseinheiten und „Islands of Analyses“<sup>138</sup>. Anmerkung: Unter Islands of Analyses werden Organisationsbereiche verstanden, die nicht in den Forecastprozess integriert sind.
- Unzureichendes Verständnis der einzelnen involvierten Organisationseinheiten für die Bedürfnisse der Partner<sup>139</sup>.
- Mangelndes Vertrauen zwischen den einzelnen Organisationseinheiten, was häufig zu Doppelgleisigkeiten führt; z.B.: Sales und Produktionsplanung erstellen voneinander unabhängig jeweils selbstständig Forecasts<sup>140</sup>.
- Unzureichende Synchronisation und Koordination der verschiedenen Aktivitäten<sup>141</sup>.
- Zu starke Konzentration der Forecastaktivitäten auf eine einzelne Organisationseinheit, was dazu führt, dass die erstellten Forecasts die Anforderungen anderer Organisationseinheiten nur bedingt erfüllen<sup>142</sup>.
- Unscharfe Abgrenzung und Vermischung der Begriffe Forecast, Plan, Budget und Ziel<sup>143</sup>.
- Zu starke Konzentration auf qualitative oder auch quantitative Forecastmethoden im Zusammenhang mit dem Erfahrungshintergrund der einzelnen Organisationseinheit, wobei eine zu starke Konzentration auf quantitative Methoden häufig mit dem Glauben einhergeht, Forecasting sei vor allem eine Frage von Computern und Softwarepaketen<sup>144</sup>.

Aufgrund der Vielfältigkeit der hier auftretenden Probleme, die im Status Quo die Forecastperformance herabsetzen, sehen viele Autorinnen und Autoren in der Weiterentwicklung der Forecastorganisation, der Kommunikationsstrukturen sowie des

<sup>137</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 216 ff., Fildes et al., 2002, Heikkilä, 2002, S. 751, Moon et al., 1998, S. 47 f., Moon et al., 2002, Luxhoj et al., 1996, S. 190 f.

<sup>138</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 48 f., Moon et al., 2000, S. 23, Moon et al., 2002, S. 9.

<sup>139</sup> Vgl. Fildes et al., 2002, Moon et al., 1998, S. 50.

<sup>140</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 47 ff.

<sup>141</sup> Vgl. Heikkilä, 2002, S. 751, Winklhofer et al., 1996, S. 217.

<sup>142</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 47.

<sup>143</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 217, Moon et al., 1998, S. 44 ff., Moon et al., 2002, S. 15.

<sup>144</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 49 f., Moon et al., 2000, S. 23.

Managements von Forecastprozessen die wichtigsten Ansatzpunkte zur Verbesserung von angewandtem Forecasting<sup>145</sup>.

Sucht man nach Strategien zur Bewältigung der oben aufgeführten Problembereiche, so sind die Arbeiten von Moon et al. (1998) - „Seven Keys To Better Forecasting“ - und von Moon et al. (2002) - „Conducting a Sales Forecasting Audit“ - sicher an oberster Stelle zu nennen<sup>146</sup>. In diesen beiden Arbeiten werden hinsichtlich der Probleme bzgl. der Organisation, der Abwicklung und der Kommunikation folgende Aspekte als notwendige Voraussetzung für effizientes angewandtes Forecasting gesehen.

- Eine einheitliche, alle involvierten Organisationseinheiten integrierende Datenbasis bzw. Hard- und Softwarekombination, deren Daten auch mit anderen Softwarepaketen des Unternehmens konsistent sind (z. B.: Produktions- oder Rohstoffplanung) und die überdies mit Kunden- und Lieferantensystemen in Verbindung steht.
- Intensive und regelmäßige Kommunikation, Zusammenarbeit und Koordination der involvierten Organisationseinheiten mit dem Ergebnis von „Consensus Forecasts“, wobei die Leitung der Forecasterstellung durch eine unabhängige Forecast-Abteilung als erstrebenswert angesehen wird.
- Multiple Integration und Abgleich der verschiedenen Forecastebenen (z. B.: Abgleich von Verkaufsmengenforecasts mit Produktionskapazitätsgrenzen).
- Konsequente und umfassende Erhebung der Forecastperformance inklusive der Rückverfolgung von Fehlerquellen und auf Forecastgenauigkeit ausgerichtete Prämiensysteme.
- Integration von qualitativen und quantitativen Forecastmethoden sowie die Berücksichtigung der Erfahrungsmuster der einzelnen Forecastersteller in der Auswahl und Zuordnung der Forecast-Methoden.

#### 2.4.5.4 Probleme bzgl. der zielgerichteten und zeitgerechten Anpassung der operativen Abläufe an sich ändernde Bedarfe

Heikkilä erläutert auf Basis einer Reihe von Arbeiten, wie sich „Time-Based Management“ in den letzten beiden Jahrzehnten zu einem der Kernthemen in der Literatur über operatives Management entwickelt hat. Zeit und Geschwindigkeit werden als Wettbewerbsfaktoren ersten Ranges eingestuft und in einen Zusammenhang zu Forecasts und Forecastfehlern gesetzt. Als wesentliches Ziel von Time-Based Management werden kurze Lieferzeiten gesehen, welche durch flexible Lieferketten erreicht werden<sup>147</sup>.

EIHafsi beschreibt die Bedeutung von kurzen Liefer- und Reaktionszeiten wie folgt: „Short lead times and quick response to customer orders are important strategic considerations for a firm to survive in a time-based competition market place.“<sup>148</sup>

<sup>145</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 216 ff., Fildes et al., 2002, Moon et al., 2002, S. 21 f.

<sup>146</sup> Vgl. Moon et al., 1998, Moon et al., 2002.

<sup>147</sup> Vgl. Heikkilä, 2002, S. 748 und 750, Ray & Jewkes 2002, S. 1 f.

<sup>148</sup> EIHafsi, 2000, S. 355.

Für den Forecastuser stellt sich damit nicht nur die Frage nach der *Art* der operativen Maßnahmen, die auf Basis von Forecastergebnissen gesetzt werden, sondern auch verstärkt *wann* diese Maßnahmen eingeleitet bzw. umgesetzt werden sollen.

Beispiele möglicher operativer Maßnahmen zur Anpassung von operativen Abläufen in Lieferketten an sich ändernde Bedarfe sind das Variieren von an Kunden weitergegebenen Lieferzeiten, Auftragszurückweisung, Bedarfsweitergabe an Drittlieferanten, Reduktion oder Aufstockung von Lagerbeständen oder auch Fertigungskapazitätsanhebungen bzw. Absenkungen durch Überstunden oder Kurzarbeit<sup>149</sup>.

Zeitlich falsch gesetzte operative Maßnahmen oder auch hinsichtlich ihrer Ausprägung falsch ausgewählte Maßnahmen ziehen gravierende Komplikationen nach sich, die sich beispielsweise in unnötig erhöhten Lagerbeständen, zusätzlichen Produktionskosten, leerlaufenden Fertigungskapazitäten, ineffizienter Nutzung von Überstunden oder schlechten Servicegraden zeigen können<sup>150</sup>.

Obwohl es sich bei der zielgerichteten und zeitgerechten Anpassung der operativen Abläufe an sich ändernde Bedarfe zweifellos um die eigentliche Kernfrage angewandten Forecastings handelt, wird diese in der Literatur bisher nur ansatzweise diskutiert. Die wenigen Arbeiten, die sich damit auseinandersetzen, weisen auf die Schwierigkeiten und darüber hinaus auch auf die Anforderungen hin, die mit diesem Themenkomplex verknüpft sind.

So stellen Luxhoj et al. innerhalb der bereits oben erwähnten Fallstudie bei Bang & Olufsen fest, dass Forecastmodelle nur dann dynamisch mit der Produktionsplanung verbunden werden können, wenn diese eine hierarchische Struktur beinhalten, welche die Lieferkette repräsentieren<sup>151</sup>. Wie diese Struktur gebildet werden soll, bleibt offen<sup>152</sup>.

Donselaar et al. untersuchten die Verwendung von „Advanced Demand Information“ in durch wenige, einzelne Großprojekte bestimmten Lieferketten. Im Hinblick auf Informationssysteme kommen Donselaar et al. zu folgender Erkenntnis: „[...] information systems would need to be enhanced so that they could track projected material requirements by project, and distinguish among different types of demand information within the system (firm orders, expected orders with various probabilities assigned to them).“<sup>153</sup>

Die Anpassung der Strukturen des Forecastsprozesses an die jeweilige Lieferkette und die Ausprägung der Bedarfsinformationen, wie sie in den oben angeführten Zitaten von Luxhoj et al. bzw. Donselaar et al. angesprochen wird, sind zwei wesentliche Aspekte, die in der Auswahl und der zeitgerechten Umsetzung von operativen Maßnahmen von Bedeutung sind. Weitere Aspekte bestehen in der Berücksichtigung von verfügbaren Kapazitäten und Lagerbeständen – hier geht es um den Ausgleich zwischen Kundenbedarfen auf der einen und Kapazitäten und Lagerbeständen auf der anderen Seite - und der zeitgerechten Verfügbarkeit aller für die Entscheidungsfindung notwendigen Informationen. Wobei letzteres nur in gut koordinierten Forecastprozessen mit entsprechenden Kommunikationsstrukturen, die auch Rückmeldungsmechanismen

<sup>149</sup> Vgl. Oke, 2003, Donselaar et al., 2001, S. 520, de Haan et al., 2001, Westkämpfer et al., 2002.

<sup>150</sup> Vgl. van der Vorst, 1998, S. 488, Donselaar, 2001, S. 535.

<sup>151</sup> Vgl. Luxhoj et al., 1996, S. 189 und 192.

<sup>152</sup> Vgl. dazu auch Flidner, 1999, S. 1.135, van der Vorst et al., 1998, S. 4 f.

<sup>153</sup> Donselaar et al., 2001, S. 535; vgl. auch Heikkilä et al., 2002, S. 761 f.

beinhalten, möglich ist<sup>154</sup>. Darüber hinaus wäre es wünschenswert, für verschiedene Alternativen möglicher operativer Maßnahmen Risikoabschätzungen machen zu können<sup>155</sup>.

Keil et al. geben eine sehr prägnante Darstellung der Anforderungen, die im Hinblick auf die Auswahl und Umsetzung operativer Maßnahmen auf Basis von Forecastdaten an ideale Forecastprozesse gestellt werden: „It means, capturing the market and end-user demand information in accurate, timely (real time), and relevant manner, capturing at all times, the point-of-sales, sell through, and channel inventory information. It also necessitates the ability of being able to (in proactive manner) search for alternative supply scenarios, carry out risk and profitability analyses in almost real-time manner, and prepare the needed capability and capacity to serve the foreseen customer demand when the triggering order arrives.“<sup>156</sup>

## 2.5 Offene Forschungsfragen

Wie sich nicht zuletzt anhand der oben beschriebenen, typischen Probleme und Verbesserungsansätze zeigen lässt, liegen die offenen Forschungsfragen angewandten Forecastings nicht so sehr darin, neue oder verbesserte Forecastmethoden zu finden, sondern sind wohl vielmehr im Zusammenhang damit zu sehen, wie man Forecastprozesse in realen Unternehmen unter Berücksichtigung einer Reihe von Aspekten, welche unmittelbar mit der Unternehmensorganisation, den Kommunikationsabläufen und den Leistungsparametern des Unternehmens verbunden sind, effektiv und rationell gestaltet<sup>157</sup>.

Beispielsweise fassen Winklhofer et al. ihre Beobachtungen bzgl. bisher unzureichend erforschter Themen wie folgt zusammen: „[...] first, to relate organisational and environmental variables known to affect forecasting to a wider *range of issues* than has hitherto been the case; second to explore the impact of *additional* firm-specific and environment-specific variables on forecasting; and, third, to examine neglected *interlinkages* between different aspects of organisational forecasting.“<sup>158</sup>

Dementsprechend erfolgte die Auswahl der Hauptfragestellungen der Dissertation vor allem im Hinblick auf Themenkomplexe, welche durch *organisatorische* und *prozessorientierte* Aspekte angewandten Forecastings geprägt sind.

Aus der Vielzahl der möglichen Forschungsfragen wurden drei Themenkomplexe ausgewählt, die in enger Beziehung mit den praktischen Erfahrungen des Autors stehen und überdies mit drei der vier oben angeführten Themenbereiche typischer Probleme und Verbesserungsansätze angewandten Forecastings korrespondieren.

---

<sup>154</sup> Vgl. Heikkilä, 2002, S. 750 f., Donselaar et al., 2001, S. 520 und 535, Keil et al., 2003, S. 269, van der Vorst et al., 1998, S. 4 f.

<sup>155</sup> Vgl. Bonney et al., 2003, S. 253, Keil et al., 2001, S. 272.

<sup>156</sup> Keil et al., 2001, S. 271 f.

<sup>157</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 194, Moon, et al., 2002, S. 2, Fildes et al., 2002, S. 2, 6 und 10 ff.

<sup>158</sup> Winklhofer et al., 1996, S. 217.

Im Folgenden werden diese drei Themenkomplexe – die bereits in der Einleitung vorgestellt wurden – insbesondere unter Bezugnahme auf die damit korrespondierenden Probleme und Verbesserungsansätze angewandten Forecastings umrissen.

Im Übrigen gelten die in der Einleitung unter 1.2 festgelegten Rahmenbedingungen auch für die unten folgende Darstellung der Forschungsfragen.

### **2.5.1 Vorausschauende Verfolgung der Forecasterfüllung**

Wie unter 1.2 komprimiert formuliert, besteht die erste Hauptfragestellung darin, eine Methode auszuarbeiten, die es erlaubt, die Forecasterfüllung kontinuierlich zu verfolgen und in Systemen der Auftragsfertigung sogar vorausschauend zu bewerten. Ziel dieser Methode ist es, zu einem beliebigen Zeitpunkt Aussagen darüber treffen zu können, ob Forecasts aller Voraussicht nach noch erfüllt werden können oder aber überprüft bzw. überarbeitet werden müssen.

Der Ansatz, der zu dieser Methode führen soll, besteht in mathematischen Beziehungen, die zwischen Istauftragsständen, statistischen Verteilungen von Kundenlieferzeiten und den Forecastdaten hergestellt werden sollen. Besonderes Augenmerk soll dabei auf die Schnittstelle zwischen Auftrags- und Forecastdaten gelegt werden, die in der Substitution von Forecastbedarfen durch Auftragsbedarfe im Zuge der Auftragsgänge besteht. Insbesondere soll das Konzept, das unter 2.2.7 unter dem Schlagwort *Forecastconsumption* vorgestellt wurde, berücksichtigt werden.

Sofern eine vorausschauende Verfolgung der Forecasterfüllung tatsächlich möglich ist, würde diese ein frühzeitiges Erkennen von Forecastfehlern erlauben und damit dem unter 2.4.5.2 erläuterten Problem von bewusst gesteuertem Über- oder Unterforecasten entgegentreten. Gleiches gilt für Forecastfehler, die in der statistischen Schwankungsbreite liegen.

Im allgemeinen gilt also, dass mit Hilfe der zu entwickelnden Methode Forecastfehler *möglichst früh* erkannt werden sollen, um daraus in weiterer Folge die notwendigen Korrekturen der operativen Abläufe bzw. der Forecasts ableiten und darüber hinaus die Konsequenzen der Forecastfehler minimieren zu können. Überdies würde die Notwendigkeit von Forecast-Updates auch zwischen regulären Forecast-Update-Terminen erkannt werden, was in weiterer Folge als Basis für eine ereignisgesteuerte Optimierung der Forecast-Erstellungs-Frequenz herangezogen werden könnte.

### **2.5.2 Forecastebenenysteme mit organisationsübergreifendem Charakter**

Die zweite Hauptfragestellung der Dissertation geht auf das Problem der Erstellung von Forecastebenenystemen ein, das - wie unter 2.2.2 und 2.4.5.4 erläutert - in der Literatur bisher nur unzureichend behandelt wurde.

Im Detail soll eine Strategie erarbeitet werden, die es erlaubt, Forecast-Ebenen-Systeme zu erstellen, welche die zugrunde liegenden Lieferketten repräsentieren und überdies die

Anforderungen der wichtigsten in die Erstellung und die Verwendung von Short- und Medium-Term-Forecasts involvierten Organisationseinheiten – Verkauf, Produktion und Einkauf - abdecken können. Im weiteren werden Forecastebenen-systeme, die diesen Anspruch erfüllen, als *Forecastebenen-systeme mit organisationsübergreifendem Charakter* bezeichnet.

Mit der Erarbeitung einer Strategie zur Erstellung von Forecastebenen-systemen mit organisationsübergreifendem Charakter soll einer Reihe der unter 2.4.5.3 beschriebenen Probleme bzgl. der Organisation, der Abwicklung und der Kommunikation entgegengetreten werden.

In diesem Zusammenhang besteht die Anforderung an Forecastebenen-systeme mit organisationsübergreifendem Charakter darin, dass diese eine *Plattform* für die Organisation und die Abwicklung von Forecastprozessen darstellen sollen. Im einzelnen geht es darum, Forecastebenen-systeme so zu gestalten, dass

- a) tatsächlich all jene Organisationseinheiten bzw. Forecastebenen eingebunden werden, die im Hinblick auf die Effizienz von Forecastprozessen eingebunden werden müssen (Vermeidung von Islands of Analyses),
- b) das Verständnis zwischen den verschiedenen Organisationseinheiten zu fördern, indem die Verflechtungen und Abhängigkeiten zwischen den verschiedenen Forecastebenen systematisch mit berücksichtigt und aufgezeigt werden und schließlich,
- c) der Forecastprozess durch die explizite Berücksichtigung der zeitlichen Verknüpfungen der einzelnen Forecastebenen synchronisiert wird.

Darüber hinaus sollen Forecastebenen-systeme mit organisationsübergreifendem Charakter aber auch eine Grundlage für die zeitgerechte und zielgerichtete Anpassung der operativen Abläufe an sich ändernde Bedarfe bilden (vgl. Abschnitt 2.4.5.4 und die im Anschluss folgende dritte Hauptfragestellung der Dissertation).

### **2.5.3 Zielgerichtete und zeitgerechte Anpassung der operativen Abläufe an sich ändernde Bedarfe**

Im Zentrum der dritten Hauptfragestellung der Dissertation steht die zielgerichtete und zeitgerechte Anpassung der operativen Abläufe an sich ändernde Bedarfe, wie sie unter 2.4.5.4 erläutert wurde.

Bei den einzelnen, für die Ableitung von operativen Maßnahmen ausschlaggebenden, Elementen des Forecastprozesses und der zugrunde liegenden Lieferkette handelt es sich um

- a) die Zielsetzung angewandten Forecastings (bzw. der Produktionsplanung und der Lagerbewirtschaftung sowie von Supply Chain Management im allgemeinen),

- b) die unter 2.5.2 erläuterten Forecastebenen-systeme mit organisationsübergreifendem Charakter (welche die Rolle des *Bindeglieds* zwischen Forecastdaten auf der einen und Lager- und Produktionsplanung auf der anderen Seite ausfüllen müssen),
- c) die Forecastdaten,
- d) die Ist-Auftragsstände,
- e) die Palette möglicher operativer Maßnahmen (wie unter 2.4.5.4. angedeutet),
- f) die Lager- und die Kapazitätsplanung und
- g) Risikopotentiale von verschiedenen operativen Maßnahmen.

Diese Elemente sollen derart miteinander verknüpft werden, dass die aus den Forecastergebnissen zu erwartenden Konsequenzen für die Lieferkette tatsächlich analysiert und bewertet werden können und überdies die Basis dafür geschaffen wird, dass mögliche operative Maßnahmen im Hinblick auf ihre Eignung vorausschauend bewertet und schließlich auch zeitgerecht eingeleitet und umgesetzt werden können. Es soll also der unter 2.4.5.4 dargestellten Problemstellung begegnet werden.

## 2.6 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse

Kapitel 2 ist das Resultat einer umfassenden Literaturrecherche zum Themenkomplex angewandtes Forecasting. Aus dieser Recherche haben sich *vier Themengruppen* ergeben, zu welchen *Forschungsbedarf* besteht.

Zu *drei* dieser vier Themengruppen wurde *jeweils eine Forschungsfrage formuliert*, wobei dem Umstand, dass Ansätze zur Weiterentwicklung von angewandtem Forecasting im Allgemeinen von vielen Autoren vor allem im Zusammenhang mit der Gestaltung von Forecastprozesse in realen Unternehmen gesehen werden, zentrale Bedeutung beigemessen wurde. Davon ausgehend beinhalten die formulierten Forschungsfragen vor allem Problemstellungen, die sich auf Forecastprozesse und mit diesen verzahnte Aspekte der Unternehmensorganisation, der Kommunikationsabläufe und der Leistungsparameter von Lieferketten beziehen.

Für die Einleitung der Dissertation wurden die drei Forschungsfragen in Form von drei Hauptfragestellungen vor allem anhand der obigen Abschnitte 2.4 und 2.5 komprimiert formuliert (siehe Abschnitt 1.2).

Abgesehen von den Hauptfragestellungen wurden in Kapitel 2 die *theoretischen und begrifflichen Fundamente* für die Dissertation gelegt. Begriffe wie Forecastebene, consensus Forecast, Forecast Consumption, Forecasthorizont, Forecastupdate, Forecastfehler, Forecastmethoden und insbesondere Forecastprozess und forecastspezifische Kommunikation werden in den nachfolgenden Kapiteln im oben erläuterten Sinn und unter Bezugnahme auf die entsprechenden Abschnitte vielfach verwendet.

### 3 Kundenlieferzeiten als Schlüsselvariable im Forecastprozess

Unter Kundenlieferzeiten werden innerhalb dieser Dissertation die vom Kunden bei der Auftragsvergabe **akzeptierten** Lieferzeiten verstanden.

Sie sind die Zeitspannen, welche zwischen dem *Zeitpunkt der Auftragserteilung* und dem mit dem Kunden vereinbarten *Zeitpunkt der Warenbereitstellung* liegen. Sieht man von dem Fall ab, dass zugesagte Liefertermine nicht eingehalten werden, so können Kundenlieferzeiten länger, aber in der Regel nicht kürzer als die realisierbaren Lieferzeiten in jener Lieferkette sein, in welcher der Auftrag schließlich platziert wurde.

Wie bereits im ersten Kapitel erläutert, stellt die systematische und quantitative Einbindung von Kundenlieferzeiten als eigenständiges und maßgebliches Element in den Forecastprozess einen der zentralen Ansatzpunkte der Dissertation dar. Davon ausgehend besteht das *Ziel* des dritten Kapitels darin, die zentrale Bedeutung der Längen und Verteilungen von Kundenlieferzeiten und die daraus resultierenden Konsequenzen für die drei Hauptfragestellungen der Dissertation herauszuarbeiten.

Obwohl kurze Liefer- und Reaktionszeiten in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen haben, ist ihre Rolle im Forecastprozess und auch in der Produktionsplanung nur unzureichend erforscht<sup>159</sup>. Daran anknüpfend ist die gestiegene Bedeutung von kurzen Liefer- und Reaktionszeiten auch Ausgangspunkt für das dritte Kapitel. Im einzelnen ist es wie folgt aufgebaut:

Unter 3.1 wird die *gestiegene Bedeutung* von kurzen Liefer- und Reaktionszeiten und die daraus resultierenden Konsequenzen für die Beziehungen zwischen Kunden und Lieferanten erläutert. Unter 3.2 wird gezeigt, wie in der Lieferkette realisierbare Lieferzeiten auf Basis angewandten Forecastings *kurz* gehalten werden können.

Unter 3.3 wird anhand von Beziehungen zwischen den Längen von Kundenlieferzeiten und den erforderlichen Zeiten für die Beschaffung, die Produktion und die Distribution gezeigt, dass sich aus den Längen von Kundenlieferzeiten im Zusammenwirken mit den Eigenheiten der Lieferkette konkrete *Randbedingungen* für die Festlegung von Forecastebenen ergeben.

Unter 3.4 werden *Zusammenhänge* zwischen Kundenlieferzeiten auf der einen und den Bedarfsmengen bzw. der Ausprägung der Substitution von Forecast- durch Auftragsbedarfe auf der anderen Seite beleuchtet. Darauf aufbauend folgt unter 3.5 die

---

<sup>159</sup> Vgl. Heikkilä, 2002, S. 750, Donselaar et al., 2001 S. 524, Soman et al., 2002, S. 7, Weng, 1996, S. 259.

Bildung eines hypothetischen *Modellansatzes*, der im siebten Kapitel zu einer in der Praxis einsetzbaren Methode zur kontinuierlichen Überwachung der Forecasterfüllung entwickelt wird. Unter 3.6 werden für diesen Modellansatz bedeutende *empirische Daten* über Kundenlieferzeit-Verteilungen untersucht. Neben Daten aus der Literatur handelt es sich dabei um Kundenlieferzeit-Verteilungen aus der Praxis der zentralen Logistik von RHI-Refractories.

Schließlich folgt unter 3.7 die *Diskussion* der gefundenen Ergebnisse im Hinblick auf die drei Hauptfragestellungen der Dissertation.

### 3.1 Kundenlieferzeiten als Wettbewerbsfaktor

Die fortschreitende Globalisierung hat zu einem veränderten Umfeld verschärfter Wettbewerbsverhältnisse geführt, in welchem kurze Liefer- und Reaktionszeiten neben der Produktqualität und den Verkaufspreisen als Wettbewerbsfaktoren ersten Ranges wahrgenommen werden<sup>160</sup>.

Oke bezeichnet diese Entwicklung als „[...]shift from a seller's to a buyer's market.“<sup>161</sup> Kunden bzw. Käufer sind nicht mehr davon abhängig, wann oder ob ein *bestimmter* Lieferant liefern kann. Vielmehr können Kunden je nach Bedarf unter mehreren nahezu gleichwertigen Alternativlieferanten wählen. Selbst das bloße Verhandeln von Lieferzeiten kann bereits zu Auftragsverlusten führen<sup>162</sup>.

Um am Markt erfolgreich zu sein, genügt es deshalb in vielen Fällen nicht mehr, sich auf erstklassige Qualität und konkurrenzfähige Preise zu beschränken. Zusätzlich müssen auch kurze bzw. marktkonforme Lieferzeiten, die selbst in Phasen von Bedarfspitzen eine bestimmte Maximallänge nicht überschreiten, realisiert werden können.

Darüber hinaus zeigt sich in der Praxis von RHI-Refractories, dass Kunden immer wieder dazu tendieren, die eigentliche Auftragserteilung hinauszuzögern, um dadurch das Risiko von möglichen Fehlbestellungen zu minimieren. Die Ursachen für dieses Verhalten bestehen beispielsweise darin, dass kundenseitige Designänderungen oder Terminverschiebungen befürchtet werden oder Kunden bemüht sind, ihre Lagerbestandsmengen möglichst klein zu halten<sup>163</sup>.

Lieferanten haben es also mit Kunden zu tun, die aus verschiedenen Gründen kurze Lieferzeiten fordern. Können Lieferanten die geforderten Lieferzeiten nicht erfüllen, so ist zu befürchten, dass Kunden zur Konkurrenz abwandern, sofern diese kürzere Lieferzeiten anbietet. Dieses Verhalten hat auch Auswirkungen auf die Bedarfsmuster. Die Verteilungen der Bedarfe sind unregelmäßiger geworden, was überdies durch kürzere Produktzyklen und beschleunigte technische Veränderungen verschärft wird<sup>164</sup>.

---

<sup>160</sup> Vgl. Giannoccaro und Pontrandolfo, 2002, S. 6, Bonney et al., 2002, S. 244, Ray und Jewkes 2003, S.1, ElHafsi, 2000, S. 355.

<sup>161</sup> Oke, 2003, S. 85.

<sup>162</sup> Vgl. Oke, 2003, S. 86 f.

<sup>163</sup> Vgl. dazu auch Oke, 2003, S.85, Donselaar et al., 2001, S. 519.

<sup>164</sup> Vgl. Oke, 2003, S. 86 und S. 91; Bonney et al., 2003, S. 251.

Dieses neue Umfeld zwingt Lieferanten dazu, Strategien anzuwenden, die Möglichkeiten eröffnen, die Längen von Lieferzeiten in marktkonformen Bereichen zu halten. Es werden also Maßnahmen oder Kombinationen von mehreren Einzelmaßnahmen ergriffen, die die Lieferzeiten beeinflussen und deren Längen unter bestimmten Grenzen halten. Einige Beispiele für solche Maßnahmen sind variierende Lagerbestandsmengen, Auftragsablehnung, Zukauf bei externen Lieferanten, Preiserhöhungen oder vorzeitige Produktion von Kundenaufträgen in Phasen schwacher Kapazitätsbelegung<sup>165</sup>.

Geht man einen Schritt weiter und fragt danach, wie die oben angeführten Maßnahmen im operativen Management von Lieferketten umgesetzt werden können, so zeigt sich, dass *ein* wesentliches Merkmal der Maßnahmen in ihrem *zeitlich begrenzten* Einsatz besteht. Mit der Variation der Bedarfsmengen wird auch der Einsatz der Maßnahmen variiert. Schließlich geht es ja darum, auf die Variation der Bedarfe in geeigneter Form zu reagieren.

Damit steht man in der Planung und Steuerung von Lieferkette vor folgenden Fragen:

- *Wann* leitet man eine bestimmte Maßnahme ein?
- *Wie lange* erhält man sie aufrecht?
- In welcher *Intensität* setzt man sie ein?
- Sind *mehrere* Maßnahmen nebeneinander erforderlich?

Da die Umsetzung der Maßnahmen auch eine bestimmte Vorlaufzeit erfordert, ist ihnen unter Berücksichtigung der oben angeführten Fragen eines gemeinsam: sie können dann effizient eingesetzt werden wenn,

- Bedarfspitzen und Bedarfstäler *frühzeitig* erkannt werden und
- der *quantitative* Verlauf der Bedarfsmuster möglichst korrekt vorhergesagt werden kann.

Fehler in der Bedarfsvorschau können dem gegenüber zu Kostenerhöhungen führen, welchen weder ein finanzieller noch ein strategischer Erfolg gegenübersteht. Typische Beispiele dafür sind unnötig erhöhte Lagerbestände, Mehrkosten durch suboptimal terminierte Überstunden oder verfehlte Preispolitik<sup>166</sup>.

Es wird deutlich, dass angewandtes Forecasting in diesem Zusammenhang von essentieller Bedeutung ist. Stehen Forecasts bzw. Bedarfsprognosen von ausreichender Genauigkeit zur Verfügung, so können Bedarfspitzen zeitgerecht erkannt und im Idealfall ohne Zunahme der Kundenlieferzeitlängen bewältigt werden. Wie das im Detail funktioniert, wird im nächsten Abschnitt erläutert.

---

<sup>165</sup> Vgl. de Haan et al., 2001, S. 102; Westkämpfer et al., 2002, S. 57 und 61, Oke, 2003, S. 86.

<sup>166</sup> Vgl. z. B. Luxhoj et al., 1996 S. 488.

## 3.2 Reduktion von Lieferzeiten durch angewandtes Forecasting

Im folgenden wird anhand eines fiktiven Beispiels gezeigt, wie angewandtes Forecasting dafür eingesetzt werden kann, die Längen von Lieferzeiten unter einer bestimmten Höchstgrenze zu halten.

Als Leitlinie für diese Betrachtung könnte ein Zitat von Bonney et al. dienen: “The production planning and control function provides an interface between manufacture and the market.”<sup>167</sup> Die Frage ist also, wie man auf die Anforderungen des Marktes durch geeignete Maßnahmen in der Produktionsplanung angemessen reagieren kann.

Im einzelnen werden unter 3.2.1 Rahmenbedingungen und quantitative Größen festgelegt, die als Vorgaben für die Modellrechnung dienen. Unter 3.2.2 wird das Beispiel für den Fall eines *perfekten* Forecasts durchgerechnet. Unter 3.2.3 folgt die analoge Rechnung für den Fall eines Forecasts, der *Fehler* aufweist. Diese Fehler führen dazu, dass die Maximallänge der Lieferzeiten überschritten wird. Die Ergebnisse der beiden Fälle werden unter 3.2.4 miteinander verglichen.

Schließlich werden unter 3.2.5 typische Bedarfsmuster aus der Praxis der zentralen Logistik von RHI-Refractories präsentiert. Die Bedarfsmuster aus der Praxis zeigen, dass das für die theoretische Betrachtung vorausgesetzte Bedarfsmuster realitätsnahen Charakter aufweist.

### 3.2.1 Vorgaben für die Modellrechnung

Für die Modellrechnung, die vor allem auf Anschaulichkeit ausgerichtet ist, wurden die unten folgenden Vorgaben getroffen. Ein praktisches Beispiel, das den Vorgaben der Modellrechnung entspricht, wäre ein Mischaggregat zur Produktion von Feuerfestmörteln.

Zugunsten der Anschaulichkeit verzichtet die Modellrechnung auf die Betrachtung von Kosten, die *durch* Reaktionen auf Forecasts auftreten können. Zusätzliche Kosten dieser Art, die z. B. durch Kapazitätserhöhungen oder erhöhte Lagerbestände auftreten, werden aber in den Kapiteln 4 und 9 sehr wohl berücksichtigt. Die Vorgaben für die Modellrechnung sind wie folgt:

- Die Produktionsleistung wird durch ein einziges Engpassaggregat bestimmt.
- Für den Normalbetrieb liegt die Produktionsleistung bei 100to pro Woche.
- Es ist möglich, die Produktionsleistung jeweils am Beginn einer neuen Arbeitswoche auf 120to pro Woche zu erhöhen (Samstagsarbeit und damit 6 statt 5 Arbeitstagen).
- Rüstzeiten sind so kurz, dass sie in der Terminierung von neuen Aufträgen nicht berücksichtigt werden müssen.

---

<sup>167</sup> Bonney et al., 2003, S. 251.

- Die Rohstoffversorgung wird als gesichert vorausgesetzt.
- Der Arbeitsvorrat auf dem Engpassaggregat beläuft sich am Beginn der ersten Woche des Betrachtungszeitraums auf 200to.
- Ist die Lieferzeit kleiner gleich 3 Wochen kann das Marktpotential voll ausgeschöpft werden. Übersteigen die realisierbaren Lieferzeiten 3 Wochen, bestellen die Kunden bei der Konkurrenz.
- Die Forecasts der Auftragseingänge für beide Fälle – also den perfekten und den fehlerhaften Forecast - sind in Tabelle 3.1 angeführt.
- Überdies sind in Tabelle 3.1 auch die Auftragseingänge angeführt, die sich aus dem Marktpotential ergeben, wenn die Lieferzeit von maximal 3 Wochen nicht überschritten wird.

Woche	Auftragseingang lt. Marktpotential, sofern die Lieferzeiten 3 Wochen nicht überschreiten	Auftragseingang lt. Forecast unzureichender Genauigkeit	Auftragseingang lt. perfektem Forecast
1	100to	100to	100to
2	75to	100to	75to
3	80to	100to	80to
4	85to	100to	85to
5	70to	100to	70to
6	290to	100to	290to
7	180to	100to	180to
8	90to	100to	90to
9	45to	100to	45to
10	100to	100to	100to
11	80to	100to	80to
12	50to	100to	50to
Wochen-schnitt	104to	100to	104to

Tab. 3.1 Vorhergesagte und potentielle Auftragseingänge für die Modellrechnung;  
Quelle: eigene Darstellung..

Man beachte, dass der Forecast unzureichender Genauigkeit zwar die Bedarfsspitze in den Wochen sechs und sieben nicht ankündigt, das Marktpotential in Summe aber nur um etwa 4% verfehlt. Der perfekte Forecast deckt sich dem gegenüber, entsprechend den oben gemachten Vorgaben, exakt mit dem Marktpotential.

### 3.2.2 Modellrechnung für den Fall eines perfekten Forecasts

Die Produktionsplanung erhält den perfekten Forecast, der in Abb. 3.1 in Form eines Säulendiagramms wiedergegeben ist.

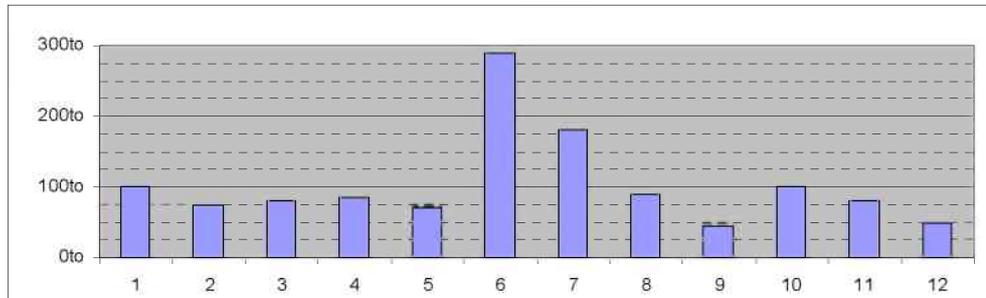


Abb.3.1: der perfekte Forecast in Form eines Säulendiagramms (to über Wochen);  
Quelle: eigene Darstellung.

In Reaktion auf die Bedarfsspitze in den Wochen 6 und 7 erhöht die Produktionsplanung die Produktionskapazität für die Wochen 1 bis 10 auf 120to/Woche. Damit ergeben sich die in Abb. 3.2. dargestellten Verhältnisse.

Durch die Anhebung der Kapazität in den Wochen 1 bis 10 auf 120to/Woche kann das Marktpotenzial zur Gänze ausgeschöpft werden. Damit erreicht der Auftragseingang exakt das volle Marktpotential (vgl. Abb. 3.2a).

Die frei verfügbaren Kapazitäten vor dem Auftragseingang zu Wochenbeginn reichen also stets aus, um das volle Marktpotential ausschöpfen zu können (vgl. Abb. 3.2a und 3.2b). Deshalb wird die Maximallieferzeit von 3 Wochen auch nicht überschritten. Zwar wird sie in Woche 7 erreicht, aber Aufträge gehen dennoch keine verloren (vgl. Abb. 3.2c).

Der Verlauf des *Arbeitsvorrats* zeigt sich in Abb. 3.2b als Differenz zwischen dem kumulierten Auftragsvolumen (dicke durchgezogene Linie) und der kumulierten Produktionsleistung laut Produktionsplan (dünne durchgezogene Linie). Läge die geplante kumulierte Produktionsleistung laut Produktionsplan *über* dem kumulierten Auftragsvolumen, würde der Arbeitsvorrat aus Kundenaufträgen auf Null sinken und man müsste entweder kundenanonym auf Lager produzieren oder Produktionskapazität leerstehen lassen.

Wie aus Abb. 3.2b ersichtlich, nimmt der Arbeitsvorrat in den Wochen 1 bis 5 stetig ab und sinkt in Woche 5 nahezu auf Null (die Linien des kumulierten Auftragsvolumens und der kumulierten Produktionsleistung nähern sich einander an). Angesichts dessen kann die Entscheidung der Produktionsplanung auch in den Wochen 3 bis 5 an der erhöhten Produktionsleistung festzuhalten, nur durch die für Woche 6 prognostizierte Bedarfsspitze erklärt werden. Wäre der Auftragseingang nämlich auch in Woche 6 *unter* 100to gelegen, wäre der Arbeitsvorrat tatsächlich auf Null gesunken.

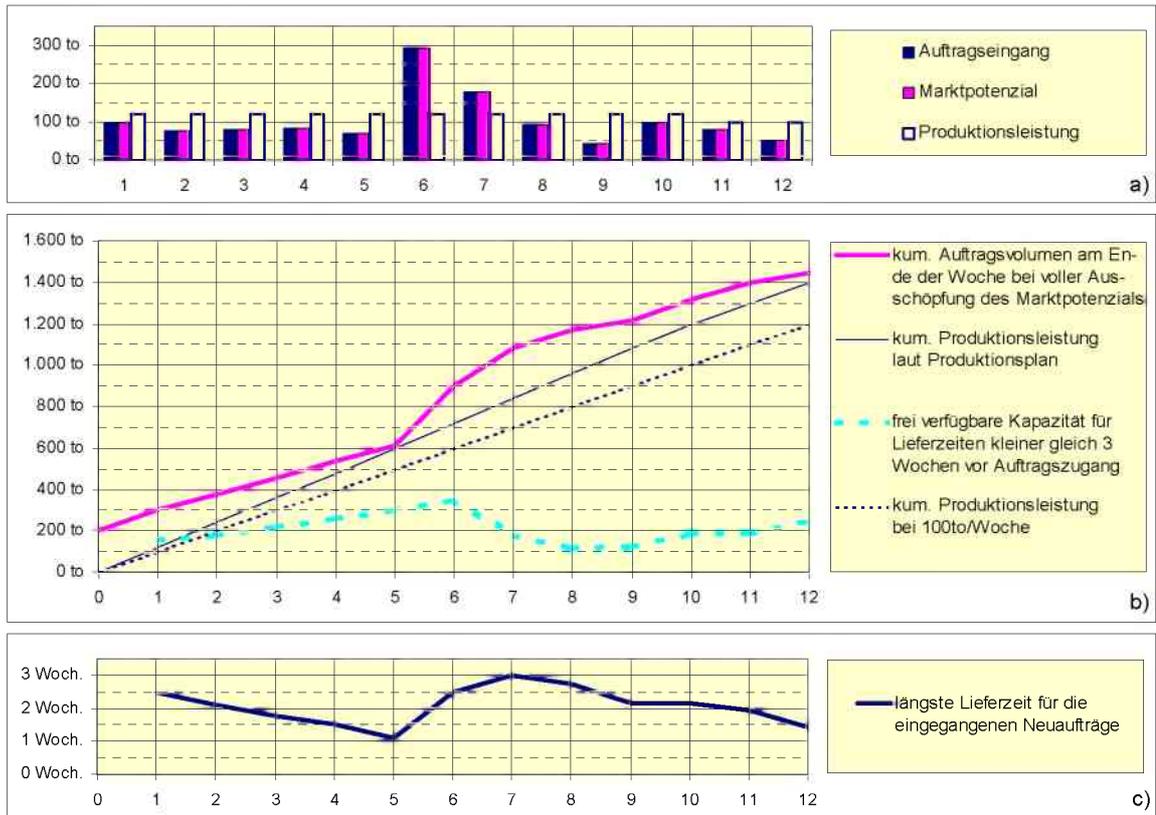


Abb. 3.2: Verläufe wesentlicher Kennzahlen für den Fall des perfekten Forecasts; Quelle: eigene Darstellung.

### 3.2.3 Modellrechnung für den Fall eines fehlerhaften Forecasts

Die Produktionsplanung erhält den in Abb. 3.3 wiedergegebenen Forecast.

Da die Forecastmengen die Produktionskapazität von 100to/Woche nicht überschreiten, scheint eine Anhebung der Produktionskapazität nicht notwendig zu sein.

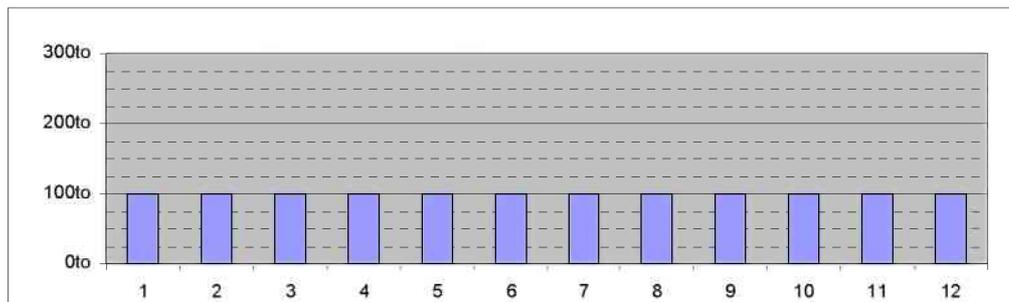


Abb.3.3: der Forecast unzureichender Genauigkeit in Form eines Säulendiagramms (to über Wochen); Quelle: eigene Darstellung.

Die Produktionsplanung entscheidet sich daher dafür, weiter mit der Normalkapazität von 100to/Woche zu produzieren. In den Wochen 2 bis 5 werden die Forecastmengen

unterschritten und der Arbeitsvorrat nimmt ab (vgl. den Verlauf des kumulierten Auftragsvolumens und der kumulierten Produktionsleistung in Abb. 3.4b). Die Entscheidung der Produktionsplanung, die Produktionskapazität *nicht* anzuheben, wird zunächst also weiter gestützt.

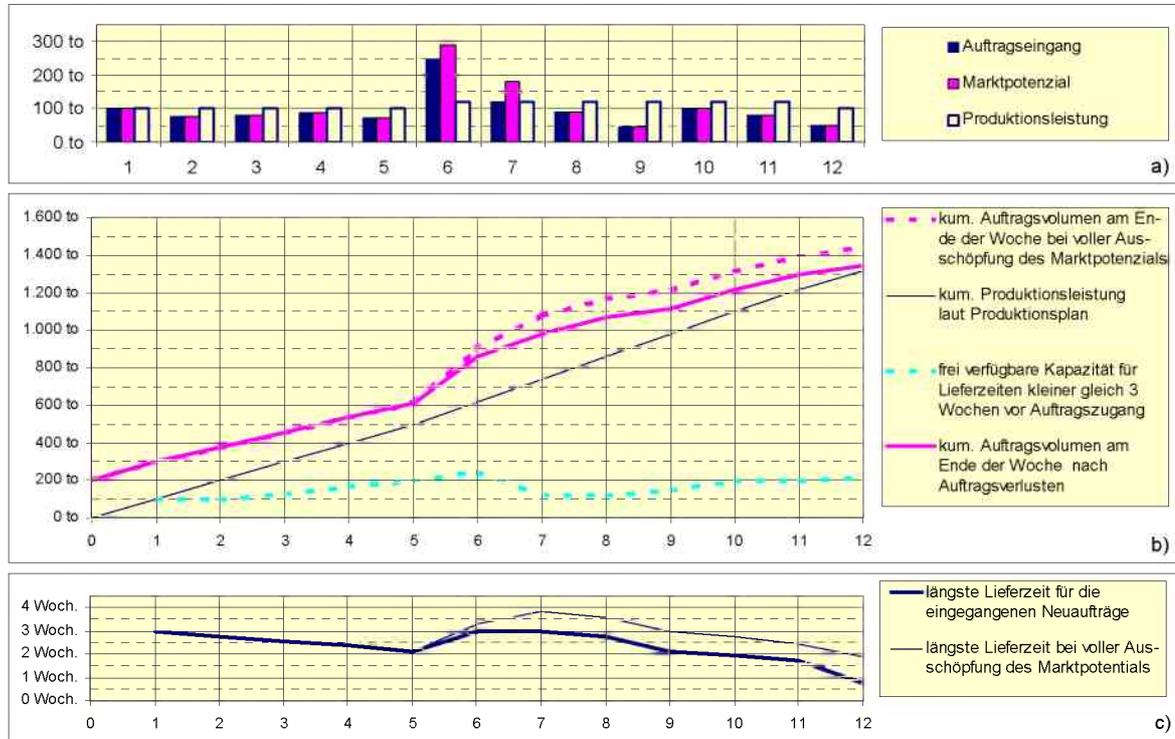


Abb. 3.4: Verläufe wesentlicher Kennzahlen für den Fall des fehlerhaften Forecasts; Quelle: eigene Darstellung.

Das unerwartet starke Marktpotential der Woche 6 veranlasst die Produktionsplanung zwar dazu, die Produktionskapazität sofort für mehrere Wochen auf 120to/Woche anzuheben, was aber nicht mehr verhindern kann, dass das Marktpotential höher liegt als die frei verfügbaren Kapazitäten für Lieferzeiten kleiner gleich 3 Wochen (vgl. Abb. 3.4a und 3.4b). Im Detail gehen 40to an potentiellen Aufträgen an die Konkurrenz verloren.

Noch schlimmer kommt es in Woche 7. Erneut übersteigt das Marktpotential die frei verfügbaren Kapazitäten innerhalb der Maximallieferzeit. Diesmal gehen 60to an die Konkurrenz verloren (vgl. Abb. 3.4a und 3.4b).

Das schlechte Ergebnis spiegelt sich auch im Verlauf der Lieferzeiten wider. Rechnet man den Verlauf der längsten Lieferzeiten für das volle Marktpotential, so zeigt sich, dass die längsten Lieferzeiten in den Wochen 6 bis 8 über der Maximallieferzeit liegen und einen Spitzenwert von 3,8 Wochen erreichen (vgl. Abb. 3.4c). Die vergleichsweise *späte* Erhöhung der Produktionskapazität hat also nicht mehr ausgereicht, um die Bedarfsspitzen in den Wochen 6 und 7 bewältigen zu können. Von den 1.240to an Marktpotential konnten im Beobachtungszeitraum nur 1.145to als Aufträge akquiriert werden. Aufgrund unzureichender Planungsgenauigkeit konnte das Marktpotential damit nur zu 92% ausgeschöpft werden. Selbst der fehlerhafte Forecast, der in Summe 1.200to enthielt und um etwa 4% unter dem perfekten Forecast lag, konnte also nicht erreicht werden.

### 3.2.4 Vergleich der Ergebnisse für perfekten und stark fehlerhaften Forecast

Um das volle Marktpotential ausschöpfen zu können, musste die Kapazitätserhöhung im Fall des perfekten Forecasts aufgrund der nach oben hin begrenzten Produktionskapazitäten *weit vor* dem eigentlichen Auftreten der Bedarfsspitze erfolgen. Die Ursache dafür, dass das Marktpotential im Fall des fehlerhaften Forecasts nicht ausgeschöpft werden konnte, liegt demnach darin, dass die Kapazitätserhöhung *zu spät* erfolgte.

Unter der Voraussetzung, dass Kundenlieferzeiten unterhalb einer bestimmten Höchstgrenze bleiben müssen und Produktionskapazitäten überdies beschränkt sind, zeigt sich also, dass Bedarfsspitzen um so früher erkannt werden sollten, je unregelmäßiger die Bedarfsmuster ausgebildet sind. Erkennt man Bedarfsspitzen zu spät oder reagiert man in der Produktionsplanung nicht in angemessener Weise, so sinkt der Umsatz.

Was für Produktionskapazitäten gilt, gilt im übrigen auch für die *Fertigungsmaterialien*. Lagerunterdeckungen wirken sich auf Lieferzeiten und daran gekoppelte Auftragsverluste in gleicher Weise aus wie ein Mangel an Produktionskapazitäten.

Fragt man schließlich nach den Anforderungen an die Forecastgenauigkeit, so zeigt sich, dass Umsatzverluste durch ungenaue Forecasts um so eher eintreten, je

- a) kürzer die maximalen Kundenlieferzeiten,
- b) je begrenzter die Spielräume für Kapazitätsanhebungen und
- c) je niedriger Sicherheitsreserven in der Lagerhaltung der Fertigungsmaterialien wie auch der Fertigfabrikate angesetzt sind.

Damit wird deutlich, dass den Längen von Kundenlieferzeiten innerhalb der operativen Steuerung von Lieferketten auf Basis von Forecasts eine *zentrale* Bedeutung zukommt.

### 3.2.5 Typische Bedarfsmuster aus der Praxis der zentralen Logistik bei RHI-Refractories

In Abb. 3.5 sind sechs Bedarfsmuster wiedergegeben. Abb. 3.5a bis 3.5e stellen Bedarfsmuster aus der *Praxis* der zentralen Logistik von RHI-Refractories dar, in Abb. 3.5f ist zum Vergleich das Bedarfsmuster aus dem oben angeführten, fiktiven Beispiel wiedergegeben. Alle sechs Bedarfsmuster sind auf den Durchschnittswert von 100 Bedarfseinheiten pro Zeitintervall normiert; überdies ist auch der Skalenumfang einheitlich, was ein direktes optisches Vergleichen ermöglicht.

Die fünf Bedarfsmuster aus der Praxis erstrecken sich über einen einheitlichen Zeithorizont von zwölf Monaten und enthalten jeweils eine bestimmte Produktfamilie. Die Produktion jeder einzelnen dieser fünf Produktfamilien kann nur auf einem bestimmten Engpassarbeitsplatz bzw. einer bestimmten Engpassarbeitsplatzgruppe innerhalb des Konzerns erfolgen. Damit ergibt sich eine Analogie zum oben angeführten, theoretischen Beispiel.

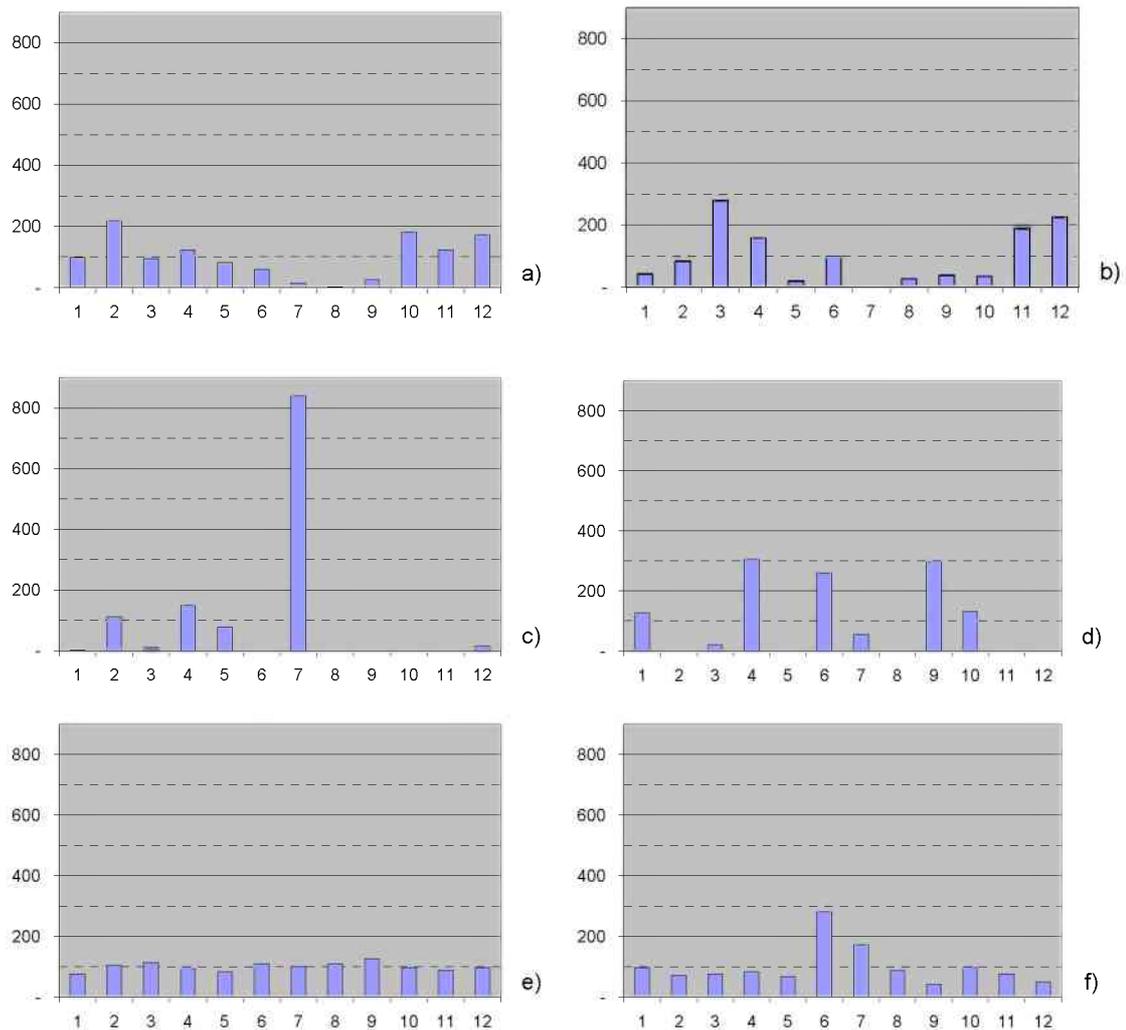


Abb. 3.5: Bedarfsmuster aus der Praxis von RHI-Refraktories (a bis e) und das Bedarfsmuster aus dem fiktiven Beispiel (f); alle 6 Bedarfsmuster sind einheitlich auf einen Durchschnittswert von 100 Bedarfseinheiten pro Zeitintervall normiert; Quelle: Daten von RHI-Refractories in eigener Aufbereitung.

Die Produktionsplanung für die Bedarfe, die den unregelmäßigen Mustern 3.5a bis 3.5d zugrunde liegen, ist immer wieder von größeren Schwierigkeiten begleitet. Vorzeitige Produktion wie im oben angeführten, theoretischen Beispiel gehört zum alltäglich angewandten Instrumentarium zur Bewältigung dieser Schwierigkeiten. Auftragsverluste aufgrund zu langer Lieferzeiten treten dennoch ein, oder können nur durch zusätzliche Maßnahmen wie beispielsweise die Vergabe von Teilbedarfen an externe Lieferanten verhindert werden. Aber auch für Bedarfe deren Muster vergleichsweise stabil verlaufen, treten durch zu lange Lieferzeiten verursachte Auftragsverluste auf. Ein Beispiel dafür ist in Abb. 3.5e wiedergegeben. Die Auftragsverluste entstehen hier hauptsächlich durch kurzfristige Bedarfsschwankungen von Woche zu Woche, die wesentlich stärker ausgeprägt sind als die Schwankungen von Monat zu Monat.

Die unter 3.1 erläuterte, verschärfte Wettbewerbssituation – Stichwort „buyer’s market“ – zeigt sich also auch in der alltäglichen Praxis der zentralen Logistik von RHI-Refractories.

Vergleicht man schließlich das Bedarfsmuster aus dem fiktiven Beispiel (Abb. 3.5f) mit den Bedarfsmustern aus der Praxis, so zeigt sich, dass die Unregelmäßigkeiten im Bedarfsmuster aus dem fiktiven Beispiel gegenüber den Unregelmäßigkeiten in den Bedarfsmustern aus der Praxis keine Ausnahme darstellen. Unregelmäßigkeiten, wie sie das Bedarfsmuster aus dem fiktiven Beispiel aufweist, sind also in der Praxis nichts Ungewöhnliches.

### 3.3 Beziehungen zwischen Kundenlieferzeiten und der Festlegung von Forecastebenen

Unter 3.2 wurde gezeigt, wie die Längen von Kundenlieferzeiten auf Basis angewandten Forecastings beeinflusst werden können. Umgekehrt ist es aber auch so, dass die Längen der Kundenlieferzeiten *ihrerseits* die Ausprägung des Forecastprozesses beeinflussen. Im einzelnen werden die Festlegung der Forecastebenen, die Bedarfsmengen und der Verlauf der Substitution von Forecast-Bedarfen durch Kundenaufträge durch die Längen bzw. Verteilungen von Kundenlieferzeiten beeinflusst.

In diesem Abschnitt wird der Einfluss von Kundenlieferzeiten auf die *Festlegung der einzelnen Forecastebenen* analysiert. Wie sich zeigen wird, bilden die Längen von Kundenlieferzeiten im Zusammenspiel mit bestimmten Charakteristiken der betrachteten Lieferkette dafür eine der wichtigsten Randbedingungen. Letzteres ist insbesondere im Hinblick darauf von Bedeutung, dass die in diesem Zusammenhang ausschlaggebenden Charakteristiken von Lieferketten in der Regel kurzfristig nicht verändert bzw. verbessert werden können und sie daher im Rahmen kurz- und mittelfristigen weitgehend Forecastings als gegeben und nicht veränderbar angesehen werden müssen.

Im Detail wird unter 3.3.1 die Festlegung von Forecastebenen für Produkte untersucht, deren Kundenlieferzeiten so kurz sind, dass der letzte Fertigungsschritt gestartet werden muss, *bevor* die zugehörigen Kundenaufträge vorliegen. Ist das der Fall, so muss sowohl die komplette Beschaffung wie auch die komplette Fertigung auf Basis von Forecastdaten geplant werden. Das hat zur Folge, dass die Bedarfe für jeden einzelnen Endartikel explizit prognostiziert werden müssen, was weiter bedeutet, dass *jeder einzelne* Endartikel eine ihm entsprechende Forecastebene erhalten muss. Dieser Fall setzt die *restriktivsten* Rahmenbedingungen für die Festlegung von Forecastebenen.

Die Formulierung mit dem Bezug auf den *Start des letzten Fertigungsschrittes* wurde gewählt, da für diesen Fall bedingungslos gilt, dass die komplette Beschaffung wie auch die komplette Fertigung auf Basis von Forecastdaten geplant werden müssen. Eine Planung des letzten Fertigungsschrittes auf Basis von Forecastdaten ist z.B. *auch dann* erforderlich, wenn Kundenauftragsinformationen zwar vor der Ausführung des letzten Fertigungsschrittes vorliegen, vor dem letzten Fertigungsschritt liegende Fertigungsschritte aber gestartet und ausgeführt werden müssen, bevor Kundenauftragsdaten vorliegen *und* die Fertigung bis zum Ende des letzten Fertigungsschrittes z.B. aus produktionstechnischen Gründen *nicht mehr unterbrochen* werden kann. In diesem Fall würden Kundenauftragsinformationen vorliegen, bevor die Durchführung des letzten Fertigungsschrittes gestartet wird. Die Kundenauftragsinformationen können aber nicht mehr zur Planung des letzten

Fertigungsschrittes genutzt werden, da der Start der den letzten Fertigungsschritt beinhaltenden und nicht mehr unterbrechbaren Produktionsaktivitäten erfolgen muss, bevor Kundenaufträge vorliegen. Diese Beispiel soll zeigen, wie die Formulierung mit dem Bezug auf den Start des letzten Fertigungsschrittes gemeint ist. Gemeint ist also *nicht* der Startzeitpunkt der *Durchführung* des letzten Fertigungsschrittes sondern der Zeitpunkt, zu dem der letzte Fertigungsschritt fest nicht mehr korrigierbar eingeplant werden muss.

Dem gegenüber wird unter 3.3.2 der Gegenpol dazu betrachtet: die Kundenlieferzeiten sind so lang, dass sowohl die gesamte Produktionsplanung wie auch die gesamte Beschaffung von Fertigungsmaterialien auf Basis von *Auftragsdaten* erfolgen kann. In diesem Fall ergeben sich für die Festlegung von Forecastebenen deutlich weniger restriktive Vorgaben als für die erste Extremausprägung.

Schließlich wird unter 3.3.3 der für Systeme kombinierter Auftrags- und Lagerfertigung typische, *allgemeine* Fall betrachtet. Er ist dadurch gekennzeichnet, dass die beiden unter 3.3.1 und 3.3.2 dargestellten Extremausprägungen nebeneinander auftreten. Darüber hinaus müssen aber auch zusätzlich Fälle berücksichtigt werden, die dadurch geprägt sind, dass die Längen der Kundenlieferzeiten eine Lagerhaltung von Fertigungsmaterialien oder Halbfabrikaten nahe legen. In diesen Fällen müssen einzelnen Fertigungsmaterialien oder einzelnen Halbfabrikaten jeweils eigene Forecastebenen zugeordnet werden.

### **3.3.1 Forecastebenen für Produkte deren Kundenlieferzeiten kürzer sind als die Summe aus Durchlaufzeit des letzten Fertigungs-schritts plus Distributionszeit**

Ist die Zeitspanne, die sich aus der Addition der Durchlaufzeit des letzten Fertigungsschritts plus der Distributionszeit ergibt, *länger* als die Kundenlieferzeit, so müssen die *gesamte* Beschaffung und die *gesamte* Produktion auf Basis von Forecastdaten erfolgen (vgl. Abb. 3.6).

Zwar fließen Auftragsdaten über den Umweg von Lagerbestandsaufnahmen und Bedarfsmustern in die Forecasterstellung ein, was aber nichts daran ändert, dass die gesamte Planung auf Basis einer Prognose bzw. auf Basis eines Forecasts erfolgen muss.

Das heißt aber weiter, dass für jeden einzelnen Endartikel, der diesen Rahmenbedingungen unterliegt, ein *eigener* Forecast erstellt werden muss. Damit muss in diesem Fall für jeden einzelnen Endartikel eine Forecastebene existieren. Die für die Beschaffung der Fertigungsmaterialien sowie für die Produktions- und die Verkaufsplanung erforderlichen Forecastebenen muss es darüber hinaus *zusätzlich* geben.

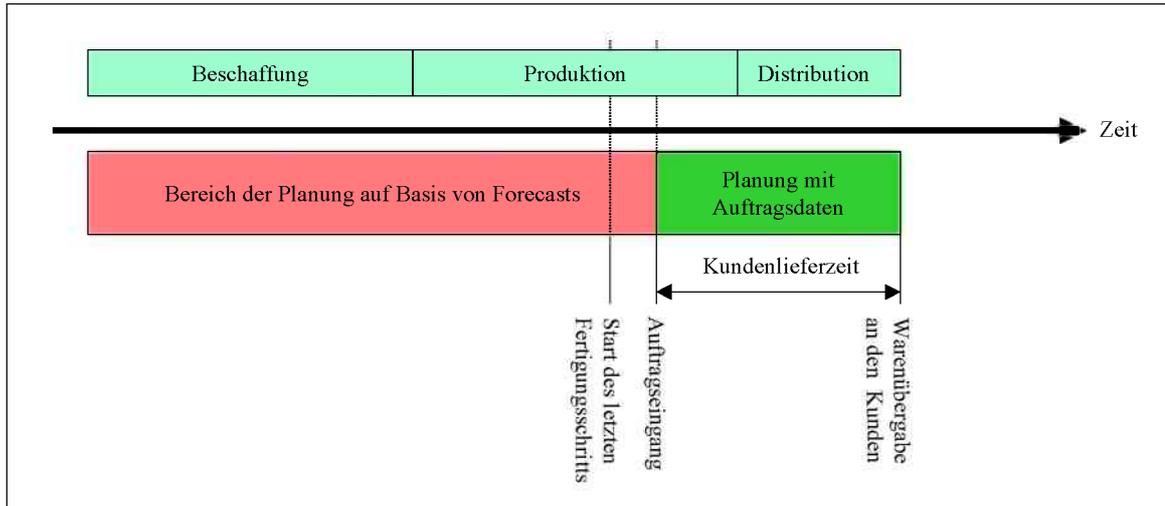


Abb. 3.6: Bereiche der Planung auf Basis von Forecasts- bzw. Auftragsdaten für Produkte, deren Kundenlieferzeiten kürzer sind als die Summe aus Durchlaufzeit des letzten Fertigungsschritts plus Distributionszeit; Quelle: eigene Darstellung.

### 3.3.2 Forecastebenen für Produkte mit Kundenlieferzeiten, die länger sind als die Summe aus Beschaffungs-, Produktions-, und Distributionszeiten

Sind Kundenlieferzeiten länger als die Summe aus Beschaffungs-, Produktions-, und Distributionszeiten, so kann die gesamte Beschaffung und auch die gesamte Produktionsplanung auf Basis von Auftragsdaten erfolgen (vgl. Abb. 3.7). Forecasts sind nur im Hinblick auf Verkaufsziele, die Auslastung der bestehenden Lieferkette und die Angebotspreisbildung erforderlich.

Damit besteht im Allgemeinen *keine* zwingende Notwendigkeit für Endartikelforecasts. Vielmehr können Endartikel, die sich im Forecastprozess *gleichartig* verhalten, zu *Gruppen* zusammengefasst werden.

Ein typisches Beispiel für eine solche Artikelgruppe aus dem Feuerfestbereich wären alle Artikel einer bestimmten Qualität, die sich zwar in der Geometrie unterscheiden, aber aus den gleichen Rohstoffen hergestellt werden und deren Produktionsplanung überdies vom selben Engpassarbeitsplatz bestimmt wird. Das heißt also, dass sowohl die Planung der Beschaffung wie auch die der Produktion für alle Endartikel dieser Gruppe *völlig gleichartig* erfolgt.

Für die Verkaufsplanung genügt es für diese Artikelgruppen häufig, Verkaufspreise, Herstellkosten oder Deckungsbeiträge als Durchschnittsgrößen pro Mengeneinheit anzusetzen oder die Gesamtmenge der verschiedenen Geometrien in wenige große Gruppen zu unterteilen. Auch für letzteres ergibt sich eine Reduktion der Anzahl der Forecastebenen.



Abb. 3.6: Bereiche der Planung auf Basis von Forecasts- bzw. Auftragsdaten für Produkte deren Kundenlieferzeiten beliebig lang sind; Quelle: eigene Darstellung.

In Tab. 3.2 ist die Anzahl der Endartikel für einige Beispiele solcher Artikelgruppen aus der Praxis der Logistik von RHI-Refractories angeführt. Daraus wird deutlich, dass sich die Anzahl der Forecastebenen für in bestimmter Hinsicht gleichartige Endartikel dramatisch *verkleinern* lässt, sofern die Längen der Kundenlieferzeiten über bestimmten Untergrenzen bleiben.

Artikelgruppe	A	B	C	D	E
Anzahl der Endartikel	2.061	534	403	4.081	209

Tab. 3.2: die Anzahl der Endartikel für einige Beispiele von Artikelgruppen aus der Praxis der Logistik von RHI-Refractories. Alle angeführten Endartikel jeder einzelnen der fünf Gruppen verhalten sich im Forecastprozess unter bestimmten Voraussetzungen gleichartig; Quelle: Daten von RHI-Refractories in eigener Darstellung.

### 3.3.3 Forecastebenen in Systemen kombinierter Auftrags- und Lagerfertigung

Reine *Auftragsfertigung* ist dadurch gekennzeichnet, dass der Lieferant die Aktivitäten zur Auftragsbefreiung *erst dann* aufnimmt, wenn ihm der Kundenauftrag (bzw. die Kundenbestellung) vorliegt. Oke beschreibt die reine Auftragsfertigung wie folgt: „In this type of business, the activities of making a product, from the purchase of the raw materials through to manufacturing, are not triggered until a firm customer order is received.“<sup>168</sup> Damit entspricht die reine Auftragsfertigung im Zusammenhang mit den Rahmenbedingungen für die Festlegung von Forecastebenen dem unter 3.3.2 beschriebenen Fall von Kundenlieferzeiten, die länger sind als die Summe aus Beschaffungs-, Produktions-, und Distributionszeiten.

<sup>168</sup> Oke, 2003, S. 88; vgl. dazu auch de Haan et al., 2001, S. 104.

Kundenlieferzeiten, die nahe Null sind oder nur die Distributionszeit beinhalten, kann im Gegenzug dazu nur durch *Lagerfertigung* begegnet werden<sup>169</sup>. In diesem Zusammenhang entspricht Lagerfertigung dem unter 3.3.1 beschriebenen Fall von Kundenlieferzeiten, die so kurz sind, dass der letzte Fertigungsschritt gestartet werden muss, bevor Kundenaufträge vorliegen.

Davon ausgehend müssen Forecastebenen-Systeme für kombinierte Auftrags- und Lagerfertigung also Endartikelforecast-Ebenen für jene Artikel erhalten, die in Lagerfertigung hergestellt werden. Demgegenüber sind Endartikelforecast für jene Endartikel, die in reiner Auftragsfertigung gefertigt werden, nicht zwingend erforderlich.

Zwischen reiner Auftrags- und reiner Lagerfertigung treten aber auch Prozesse auf, die durch Lager-Verfügbarkeiten von Halbfabrikaten bestimmt sind. Ein Beispiel für einen solchen Prozess wird von Lamouri und Thomas beschrieben: “However, the customer will not be satisfied with the long lead time: in our example 12 weeks (external purchase 8 weeks, mounting subset 2 weeks, final assembly 2 weeks). The lead time acceptable to the customer is 2 weeks, which means that the order can arrive at the beginning of the final assembly.”<sup>170</sup> Der von Lamouri und Thomas beschriebene Prozess ist in Abb. 3.7 skizziert.

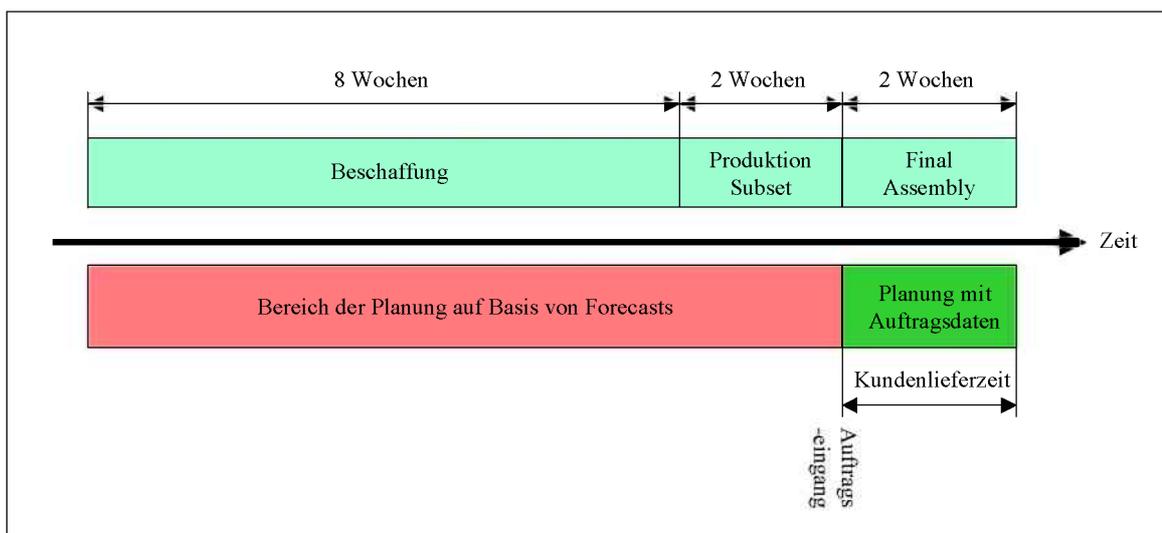


Abb. 3.7: Bereiche der Planung auf Basis von Forecasts- bzw. Auftragsdaten für Produkte deren Kundenlieferzeittlängen Lager-Verfügbarkeiten von Halbfabrikaten erfordern; Quelle: eigene Darstellung.

Als Konsequenz für die Festlegung der Forecastebenen ergibt sich, dass den oben beschriebenen Bedingungen unterliegende Halbfabrikate *einzel*n vorausgeplant werden müssen. Analog den Endartikeln in der reinen Lagerfertigung muss also jedes einzelne Halbfabrikat eine eigene Forecastebene erhalten. Im Gegenzug dazu sind Endartikelforecasts auch hier nicht zwingend erforderlich (analog zur reinen Auftragsfertigung). Denn die Information darüber, welche Endartikelvariante im letzten Arbeitsschritt „Final Assembly“ zusammengestellt wird, erhält man durch den

<sup>169</sup> Vgl. Oke 2003, S. 88, de Haan et al., 2001, S. 104

<sup>170</sup> Lamouri und Thomas, 2000, S. 411.

Kundenauftrag noch bevor der letzte Arbeitsschritt gestartet werden muss. Gegenüber reiner Lagerfertigung wird die Position der Bevorratung, die auf Basis von Forecasts geplant werden muss, um einen Schritt nach hinten versetzt. Möglich wird das durch die im Vergleich zur reinen Lagerfertigung längeren Kundenlieferzeit<sup>171</sup>.

Zur Unterscheidung zwischen durch Forecasts getriebenen Aktivitäten und solchen, die durch Kundenaufträge bestimmt sind, haben Hoekstra und Romme den Begriff „Decoupling-Point“ eingeführt<sup>172</sup>. Der Decoupling-Point ist definiert als „the point that indicates how deeply the customer order penetrates into the goods flow.“<sup>173</sup> Damit trennt der Decoupling-Point durch Forecastdaten getriebene Aktivitäten von solchen, die durch Auftragsdaten getrieben sind. So stellt van Donk fest: „The decoupling point separates order-driven activities from the forecast-driven activities.“<sup>174</sup>

Fall	Länge der Kundenlieferzeiten	Lage des Decoupling-Points	erforderliche Forecastebenen
I	Kundenlieferzeit < (Durchlaufzeit letzter Produktionsschritt + Distributionszeit)	nach dem Starttermin des letzten Produktionsschrittes	Forecastebenen für Endartikel Forecastebenen für die Beschaffung, die Produktionsplanung und den Verkauf werden darüber hinaus je nach Anforderungen festgelegt.
II	(Produktionszeit ab dem Produktionsstarttermin des Halbfabrikats + Distributionszeit) > Kundenlieferzeit > (Produktionszeit ab dem Einsatz des fertigen Halbfabrikats + Distributionszeit)	nach dem Produktionsstarttermin des Halbfabrikats und vor dem Zeitpunkt des Einsatzes des fertigen Halbfabrikates	Forecastebenen für Halbfabrikate Forecastebenen für die Beschaffung, die Produktionsplanung und den Verkauf werden darüber hinaus je nach Anforderungen festgelegt.
III	(Beschaffungszeit + Gesamtproduktionszeit + Distributionszeit) > Kundenlieferzeit > (Gesamtproduktionszeit + Distributionszeit)	nach dem Bestelltermin der Fertigungsmaterialien und vor dem Zeitpunkt des Produktionsstarts	Forecastebenen für Fertigungsmaterialien Forecastebenen für die Beschaffung, die Produktionsplanung und den Verkauf werden darüber hinaus je nach Anforderungen festgelegt.
IV	Kundelieferzeit > (Beschaffungszeit + Gesamtproduktionszeit + Distributionszeit)	vor dem Bestelltermin der Fertigungsmaterialien	Forecastebenen für die Beschaffung, die Produktionsplanung und den Verkauf können völlig frei je nach Anforderungen festgelegt werden.

Tab. 3.3: erforderliche Forecastebenen für den einzelnen Endartikel in Abhängigkeit vom Verhältnis der Kundenlieferzeit-Längen zu den Produktions- und Beschaffungszeiten bzw. von der Lage des Decoupling-Points; Quelle: eigene Darstellung.

<sup>171</sup> Vgl. auch Westkämpfer et al., 2002; S. 59.

<sup>172</sup> Vgl. van Donk, 2001, S. 298 bzw. Hoekstra und Romme, 1992.

<sup>173</sup> van Donk, 2001, S. 298.

<sup>174</sup> van Donk, 2001, S. 298.

Das folgende Beispiel verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen der Länge von Kundenlieferzeiten im Verhältnis zu Beschaffungs- bzw. Produktionszeiten, dem Decoupling-Point und den daraus resultierenden Rahmenbedingungen für die Festlegung von Forecastebenen noch weiter: Hätte die Kundenlieferzeit in Abb. 3.7 eine Länge von vier Wochen, so läge der Kundenauftrag zum Produktionsstarttermin der Subsets vor. Der Decoupling-Point fiel also mit dem Produktionsstarttermin der Subsets zusammen. Damit könnte die Produktion der Subsets auf Basis von Auftragsdaten erfolgen. Die Notwendigkeit nach Forecasts für die einzelnen Subsets fiel weg. Im Gegenzug dazu müssten aber alle Fertigungsmaterialien ab Lager verfügbar sein und daher vorab auf Basis von Forecasts bestellt werden. Es müsste also jedes einzelne Fertigungsmaterial eine eigene Forecastebene erhalten.

Die Ausprägung der Forecastebenen hängt also im Allgemeinen von der Lage des Decoupling-Points bzw. den Längen der Kundenlieferzeiten im Verhältnis zu Beschaffungs- und Produktionszeiten ab. Je nachdem welchen Verhältnissen der einzelne Endartikel unterliegt, ergeben sich für Systeme kombinierter Auftrags- und Lagerfertigung die in Tab. 3.3 angeführten Forecastebenen. Es werden vier Fälle unterschieden, wobei sich die Lage des Decoupling-Points von Fall I bis IV in der Lieferkette immer weiter nach hinten( bzw. upstream) verschiebt.

### **3.4 Beziehungen zwischen Kundenlieferzeiten, Bedarfsmengen und Forecastconsumption**

Neben den Rahmenbedingungen für die Festlegung von Forecastebenen sind auch die Bedarfsmengen und die Ausprägung des Forecastkonsums durch die Längen von Kundenlieferzeiten mitgeprägt.

Die entsprechenden Zusammenhänge werden unter den Punkten 3.4.1 bis 3.4.2 erläutert

#### **3.4.1 Verflechtungen zwischen Kundenlieferzeiten, angebotenen Lieferzeiten und den Bedarfsmengen**

Wie bereits unter 3.2 gezeigt, hängt die Bedarfsmenge auch davon ab, in welchem Ausmaß ein Lieferant in der Lage ist, die von Kunden gewünschten Lieferzeiten zu realisieren. Ray und Jewkes stellen in einem Artikel über „Customer Lead Time Management“ folgendes fest: „Since the late 1990s, a large volume of operations management literature has recognized that customer demand increases with lower delivery times as well as with lower prices.“<sup>175</sup>

Diese grundlegende Aussage lässt sich dadurch ergänzen, dass Auftragsverluste aufgrund zu langer Lieferzeiten *nur* dann drohen, wenn Kundenlieferzeiten kürzer sind als die in

---

<sup>175</sup> Ray und Jewkes, 2003, S. 2.

Abhängigkeit von Beschaffungs-, Produktions-, Belegungs- Distributionszeiten und der Lagerhaltung realisierbaren Lieferzeiten.

Sind Kundenlieferzeiten beliebig lang, so kann es keine Auftragsverluste aufgrund zu langer Lieferzeiten geben. Liegen Kundenlieferzeiten aber zumindest teilweise unter bestimmten Maximallängen, so wirken Lieferzeiten, die diese Maximallänge überschreiten, aus der Sicht des Lieferanten *bedarfsmindernd*. Ausreichend kurze Lieferzeiten wirken demgegenüber *bedarfssteigernd*. Letzteres tritt z. B. aus der Sicht eines Alternativlieferanten ein, wenn ein Kunde von seinem Stammlieferanten zu diesem Alternativlieferanten wechselt, da der Stammlieferant nicht in der Lage ist, innerhalb der erforderlichen Zeit zu liefern.

Zusammengefasst zeigt sich also, dass die Längen von Kundenlieferzeiten im Zusammenspiel mit den im Unternehmen realisierbaren Lieferzeiten bedarfsmindernd oder bedarfssteigernd wirken können.

### 3.4.2 Kundenlieferzeiten und Forecastkonsum

Der vollständige Forecastkonsum für ein bestimmtes Forecastintervall – also die vollständige Substitution von Forecastbedarfen durch Kundenaufträge – ist abgeschlossen, sobald die verbleibende Zeit bis zum Ende des interessierenden Zeitintervalls kürzer ist als die kürzeste Kundenlieferzeit.

Dazu zwei veranschaulichende Beispiele:

1. Wäre die kürzeste Kundenlieferzeit *länger* als zwei Wochen, so wäre der Forecastkonsum für die Woche 14 am Ende der Woche 12 abgeschlossen. Nach dem Ablauf der Woche 12 wären also keine weiteren Aufträge mit Lieferterminen in Woche 14 zu erwarten.
2. Zusätzlich zu den Angaben im ersten Beispiel wäre bekannt, dass 25% der Kundenaufträge mit Lieferzeiten von größer zwei und kleiner gleich drei Wochen eingehen. Damit könnte man am Ende von Woche 11 die Aussage treffen, dass sich der Auftragsstand mit Lieferterminen in Woche 14, gemessen an zu diesem Zeitpunkt vorliegenden Aufträgen, noch um ein Drittel erhöht.

Für die Produktionsplanung sind Aussagen, wie sie in den beiden obigen Beispielen getroffen wurden, von großer Bedeutung. Die Planung von Produktionskampagnen und die Festlegung von Produktionsprogrammen wird auf Basis solcher Informationen wesentlich erleichtert. Das gilt insbesondere für das „Einfrieren“ – also die *endgültige* Fixierung - von Produktionsplänen. Diese im englischen Sprachgebrauch als „freezing“ bezeichnete Vorgangsweise stellt eine in der Produktionsplanung anerkannte Praxis zur Vermeidung zu starker Instabilitäten und zur Kostenoptimierung dar<sup>176</sup>.

Wie darüber hinaus anhand der fortschreitenden Substitution von Forecast-Bedarfen durch Kundenaufträge die Forecasterfüllung verfolgt werden kann, wird unter dem unten folgenden Abschnitt 3.5 erläutert.

---

<sup>176</sup> Vgl. Tang und Grubbström, 2002, S. 324 f.

### 3.5 Überwachung der Forecasterfüllung auf Basis von Kundenlieferzeiten – ein Modellansatz

Die erste Hauptfragestellung der Dissertation besteht darin, eine Methode zu entwickeln, die eine kontinuierliche Verfolgung der Forecasterfüllung erlaubt. Im folgenden wird der Denkansatz präsentiert, der dieser Methode zugrunde liegt.

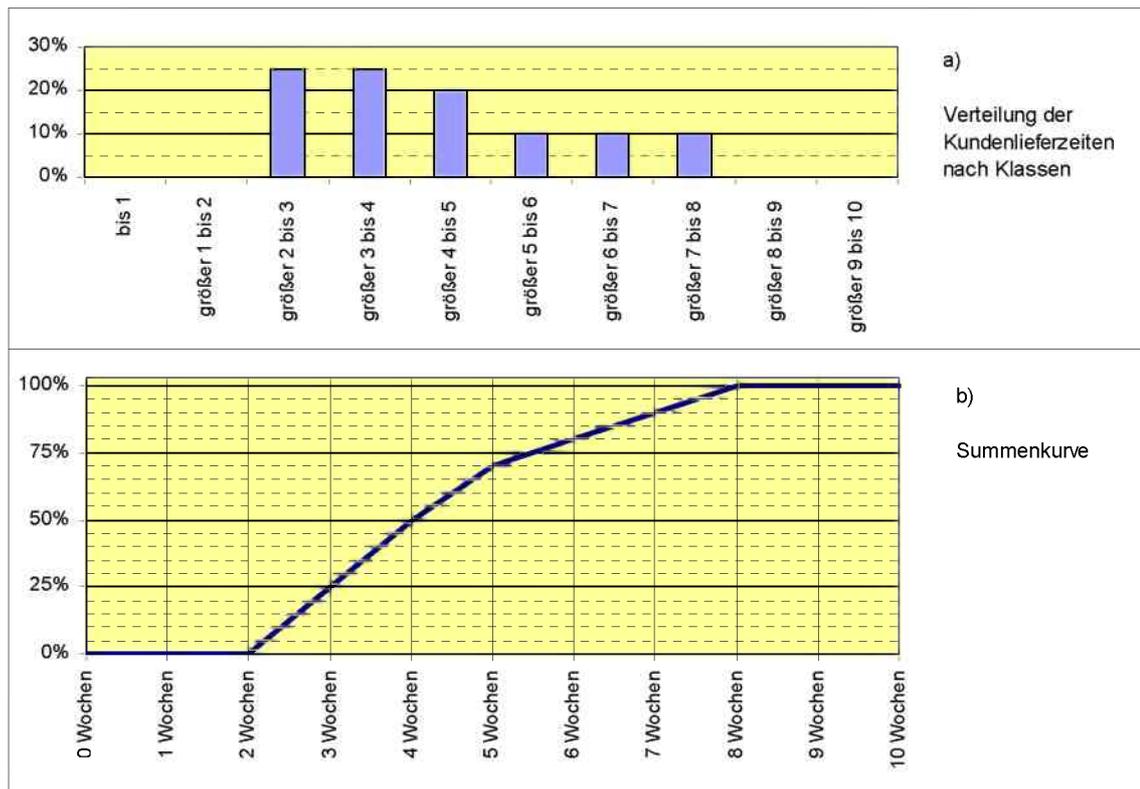


Abb.3.8: ein Beispiel einer Verteilung von Kundenlieferzeiten (a) und die entsprechende Summenkurve (b). Die Prozentangaben beziehen sich auf die Bedarfsmenge; Quelle: eigene Darstellung.

Gegeben sei die in Abb. 3.8 dargestellte Verteilung von Kundenlieferzeiten. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Auftragsmenge (z.B. Stück oder Tonnen).

Aus Abb. 3.8a wird ersichtlich, dass 25% der Gesamtauftragsmenge mit Lieferzeiten bestellt werden, die größer als zwei und kleiner, gleich drei Wochen sind. Weitere 25% der Gesamtauftragsmenge haben Lieferzeiten, die größer drei und kleiner, gleich vier Wochen lang sind. Analoges gilt für die Lieferzeitklassen von vier Wochen aufwärts. Die längsten Lieferzeiten erreichen acht Wochen. Lieferzeiten unter 2 Wochen treten nicht auf.

Aus Abb. 3.8b wird ersichtlich, dass 50% der Gesamtauftragsmenge für eine bestimmte Kalenderwoche *dann* vorliegen, wenn der Zeitabstand zwischen der Gegenwart und der hinteren Grenze dieser Kalenderwoche vier Wochen erreicht. Wäre also die betrachtete Kalenderwoche die Kalenderwoche 14, so sollte am Ende von Kalenderwoche 10 fünfzig Prozent des Gesamtauftragsmenge, die letzten Endes für Kalenderwoche 14 erreicht wird, vorliegen.

Für die Kalenderwoche 14 kann man weiter sagen, dass

- 10% des letztendlich zu erwartenden Gesamtauftragsmenge für Kalenderwoche 14 am Ende von Kalenderwoche 7,
- 20% am Ende von Kalenderwoche 8,
- 30% am Ende von Kalenderwoche 9,
- 75% am Ende von Kalenderwoche 11 und schließlich
- die Gesamtauftragsmenge am Ende von Kalenderwoche 12 vorliegen müsste (vgl. Abb. 3.9).

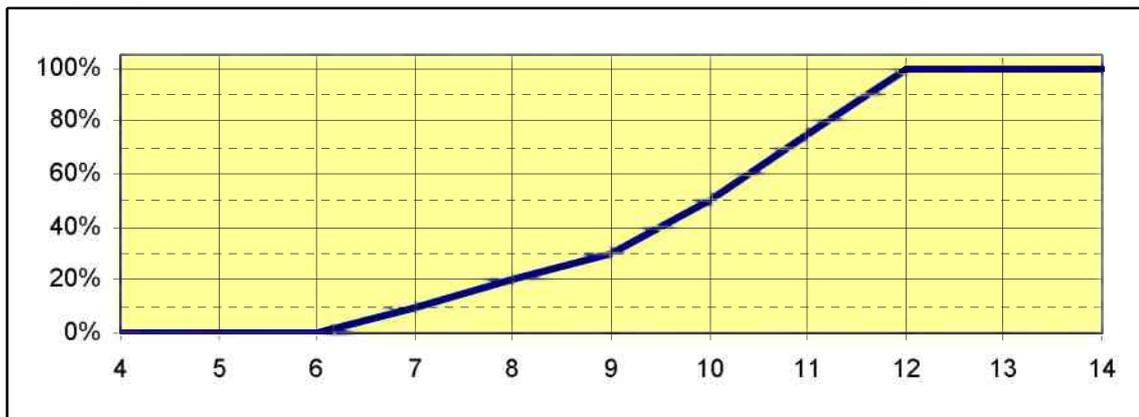


Abb. 3.9: Zeitliche Entwicklung des Auftragsstands für die Kalenderwoche 14 entsprechend der Verteilung der Kundenlieferzeiten in Abb. 3.8. Die Nummerierung auf der Abszisse bezieht sich jeweils auf das Ende der angegebenen Kalenderwoche; Quelle: eigene Darstellung.

Läge nun der ursprüngliche Forecast der Gesamtbedarfsmenge für Kalenderwoche 14 bei 100to, so müssten am Ende von Kalenderwoche 7 bereits 10to an Aufträgen für Lieferung in Kalenderwoche 14 vorliegen; am Ende von Kalenderwoche 8 müssten 20to vorliegen, usw. bis schließlich am Ende von Kalenderwoche 12 die vollen 100to in Form von Aufträgen vorliegen müssten.

Werden diese Zahlen nicht erreicht – also unterschritten *oder* übertroffen – so ist der ursprüngliche Forecast in Frage zu stellen und gegebenenfalls zu korrigieren.

Diese Aussage gilt ohne Einschränkung, *wenn* die Verteilung der Kundenlieferzeiten für die Gesamtauftragsmenge, die ihren Liefertermin in der interessierenden Kalenderwoche hat, tatsächlich bekannt ist.

In der Praxis ist das nicht der Fall. Die Verteilung der Kundenlieferzeiten innerhalb eines einzelnen Forecastintervalls unterliegt statistischen Schwankungen. Inwieweit der oben skizzierte Modellansatz in der Praxis dennoch vorteilhaft eingesetzt werden kann, wird in Kapitel 6 untersucht.

### 3.6 Empirisch erhobene Verteilungen von Kundenlieferzeiten

In der Literatur sind Angaben über empirisch erhobene Längen und Verteilungen von Kundenlieferzeiten nur sporadisch zu finden. Im folgenden sind drei dieser vereinzelt verfügbaren Informationen angeführt:

1. Donselar et al. haben in einer Arbeit über die Verwendung von bereits frühzeitig vor der eigentlichen Auftragsvergabe verfügbaren Bedarfsinformationen in von einzelnen größeren Projekten geprägten Lieferketten festgestellt, dass die Zeit zwischen der Auftragsvergabe und dem Bedarfstermin des Kunden für ein und das selbe Produktsegment großen Variationen unterliegt<sup>177</sup>.
2. Heikkilä führt durchschnittliche Lieferzeiten und deren Standardabweichungen für sechs verschiedene Fallstudien an. Diese sechs Fallstudien wurden innerhalb des Telekommunikationsunternehmens Nokia erstellt und beziehen sich jeweils auf eine bestimmte Lieferkette und einen bestimmten Kunden<sup>178</sup>. Die durchschnittlichen Lieferzeiten mit ihren Standardabweichungen sind in Tab. 3.4 angeführt.

Kunde	Alpha	Beta	Gamma	Delta	Epsilon	Theta
Lieferzeit in Tagen	29	113	56	52	76	98
Standardabweichung in Tagen	8	100	32	29	37	50

Tab. 3.4: durchschnittliche Lieferzeiten und deren Standardabweichungen für sechs Fallstudien innerhalb des Telekommunikationsunternehmens Nokia; Alpha bis Theta stehen jeweils für einen Kunden innerhalb einer bestimmten Lieferkette; Quelle Heikkilä 2002, S. 759.

3. Van Donk stellte in einer Arbeit über Kriterien zur Unterscheidung zwischen Produkten, die auf Lager und solchen die in Auftragsfertigung produziert werden sollen, im Bereich der Nahrungsmittelindustrie fest, dass größere Aufträge üblicherweise längere Lieferzeiten erhalten (bzw. erlauben) als kleinere und in Auftragsfertigung abgewickelt werden. Die Variation der Kundenlieferzeiten beschreibt van Donk wie folgt: „The lead time for delivery has a standard of 5 days, but quite a few customers ask for shorter delivery. On the other hand, some important customers order in a regular way with lead time of 2 weeks. Some customers ask the company to keep a certain amount of stock dedicated to them, for immediate delivery.“<sup>179</sup>

Zusammengefasst lässt sich aus den Literaturhinweisen ableiten, dass Kundenlieferzeiten in der Praxis beträchtliche Streuungen aufweisen. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Erfahrungen, die in der zentralen Logistik von RHI-Refractories gemacht wurden.

In Abb. 3.10 sind empirisch erhobene Verteilungen von Kundenlieferzeiten aus der Praxis der zentralen Logistik von RHI-Refractories angeführt. Im Detail handelt es sich

<sup>177</sup> Vgl. Donselaar et al., 2001, S. 524.

<sup>178</sup> Vgl. Heikkilä, 2002, S. 759.

<sup>179</sup> Vgl. van Donk, 2001, S. 302 und 304.

um Summenkurven für vier verschiedene Produktsegmente. Alle vier Kurven wurden aus Auftragsdaten des jeweiligen Produktsegmentes für ein *volles* Kalenderjahr erstellt. Für Abb. 3.10a wurden 1.581 Datensätze, für Abb. 3.10b 1.333, für Abb. 3.10c 4.603 und für Abb. 3.10d 11.054 Datensätze analysiert.

Abb. 3.10a zeigt die Summenkurve für einen einzelnen Endartikel. Die Produktionszeit für diesen Artikel liegt bei vier Planungsintervallen. Die Wiederbeschaffungszeiten liegen je nach Arbeitsvorrat – also Stärke der Belegung des Engpassarbeitsplatzes durch bereits bestätigte Aufträge - zwischen vier und zehn Planungsintervallen. Damit wird deutlich, dass mehr als 33% der Aufträge durch Lieferungen ab Lager abgedeckt werden müssen.

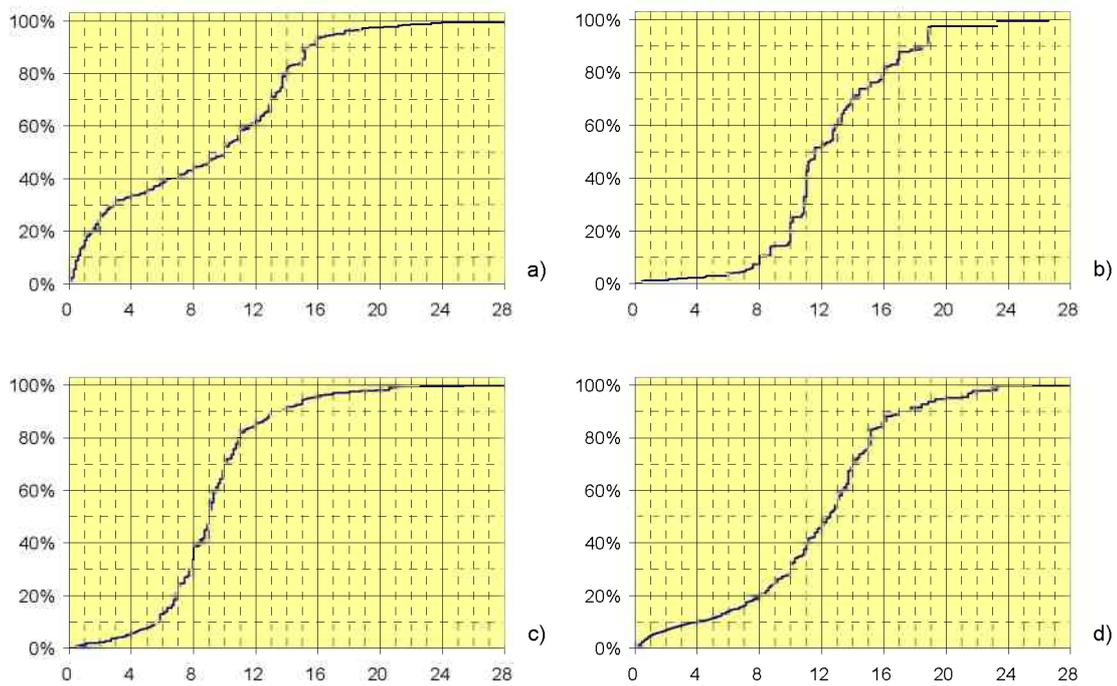


Abb. 3.10: Summenkurven von Kundenlieferzeiten für einzelne Produktsegmente aus der Praxis von RHI-Refractories. Auf der Abszisse sind Planungsintervalle aufgetragen, die für alle vier Diagramme identische Längen haben; Quelle: Daten von RHI-Refractories in eigener Darstellung.

Abb. 3.10b zeigt die Summenkurve einer Gruppe von Artikeln, die sich nur durch die Geometrie unterscheiden; Rohstoffe und Kapazitätsplanungsparameter sind für alle Artikel dieser Gruppe identisch. Die Produktionsdurchlaufzeit für diese Artikelgruppe liegt bei sechs, die Wiederbeschaffungszeit zwischen sechs und zwölf Planungsintervallen. Der steile Anstieg der Kurve im Bereich zwischen zehn und zwölf Planungsintervallen spiegelt die durchschnittlich realisierbaren Lieferzeiten wider. Aufträge die mit diesen Lieferzeiten terminiert wurden, waren häufig mit kürzeren Lieferzeiten gewünscht, mussten aber aufgrund starker Kapazitätsauslastung mit Lieferzeiten zwischen zehn und zwölf Wochen terminiert werden. Erst die Lieferzeiten *über* zwölf Planungseinheiten repräsentieren ohne Ausnahme direkt von Kunden gewünschte Lieferzeiten. Der Anteil von Lieferungen ab Lager liegt für diese Produktgruppe bei weniger als 5%.

Abb. 3.10c zeigt die Summenkurve einer Gruppe von Artikeln, die allesamt die selben Kapazitätsplanungsparameter aufweisen, deren Rohstoffzusammensetzungen aber stark divergieren. Die längsten Wiederbeschaffungszeiten für diese Artikel liegen bei zehn Wochen. Das heißt, dass mehr als 30% der Aufträge mit Lieferzeiten bestellt werden, die die jeweils vorliegende Wiederbeschaffungszeit *überschreiten*. Damit liegen der Beschaffung und der Produktionsplanung bereits frühzeitig konkrete Bedarfsinformationen aus Kundenaufträgen vor.

Abb. 3.10d zeigt die Summenkurve aller Aufträge einer ganzen Vertriebsseinheit. Stellt sich für diese Vertriebsseinheit die Frage, was noch an zusätzlichen Aufträgen für die nächsten zehn Planungsintervalle zu erwarten ist, so ließe sich auf Basis der Kurve in Abb. 3.10d schätzen, dass sich der Auftragsbestand der nächsten zehn Planungsintervalle bis zu deren Ablauf noch um 30% erhöhen wird.

Die oben angeführten Interpretationsbeispiele sollen die Bedeutung und den Inhalt der Summenkurven in Abb. 3.10 verdeutlichen. Überdies zeigen sie, welche Möglichkeiten sich durch die systematische Berücksichtigung von Kundenlieferzeiten-Verteilungen im Forecastprozess ergeben. Die *wesentliche* Aussage im Hinblick auf den unter 3.5 vorgestellten Modellansatz zur Überwachung der Forecasterfüllung besteht jedoch darin, dass Kundenlieferzeiten auch in der Praxis eine Streuung aufweisen, die so groß ist, dass eine Überprüfung der Forecasterfüllung bereits *weit* vor dem Ablauf des interessierenden Zeitintervalls möglich ist.

### 3.7 Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die Hauptfragestellungen der Dissertation

In Kapitel 3 wurde gezeigt, dass Kundenlieferzeiten im Forecastprozess in vielfältiger Weise von zentraler Bedeutung sind.

Zusammengefasst stellt sich ihre Bedeutung im Kontext mit den Hauptfragestellungen der Dissertation sich wie folgt dar:

- a) Durch den Wandel der Verkäufermärkte zu Käufermärkten können realisierbare Lieferzeiten, welche bestimmte Maximallängen überschreiten, dazu führen, dass Kundenaufträge an die Konkurrenz verloren gehen, woraus im Regelfall Deckungsbeitragsverluste resultieren.
- b) Die Längen der in einer bestimmten Lieferkette realisierbaren Lieferzeiten sind auf Basis angewandten Forecastings steuerbar, wenn Produktionsraten rechtzeitig an zukünftige Bedarfsverläufe angepasst werden.
- c) Aus der Länge der Kundenlieferzeiten ergibt sich im Kontext mit Charakteristiken der Lieferketten die Lage der Decouplingpunkte, woraus sich in weiterer Folge ableiten lässt, für welche Materialien eigene Forecastebenen erforderlich sind (Eins-Zu-Eins-Beziehungen zwischen Material und Forecastebene).
- d) Aus der Lage der Decouplingpunkte ergeben sich im Fall, dass der letzte Fertigungsschritt erst nach dem Erhalt des Kundenauftrags gestartet werden

muss, Freiräume, innerhalb welcher Materialien zu aggregierten Forecastebenen zusammengefasst werden können.

- e) Kundenlieferzeiten weisen im Regelfall Streuungen auf, was dazu führt, dass die Substitution von Forecastbedarfen eines bestimmten Planungsintervalls durch eingehende Kundenaufträge über einen mehr oder weniger langen Zeitraum erfolgt.

Punkt a) und b) zeigen unmittelbar, dass angewandtes Forecasting einen Beitrag zu einem zufriedenstellenden Unternehmensergebnis leisten kann. Die Anpassung von Produktionsraten an die prognostizierten Bedarfsraten ist aber *nur eine* mögliche Strategie zur Ergebnisverbesserung auf Basis angewandten Forecastings.

Da Forecastebensysteme mit organisationsübergreifendem Charakter als Datenbasis für die Anwendung *aller* anwendbaren Strategien dienen sollen, muss untersucht werden, welche Strategien überhaupt zur Verfügung stehen und welche Daten für ihren Einsatz und die Bewertung ihrer Eigenschaften und Erfolgsaussichten im individuellen Anwendungsfall erforderlich sind. Diese Untersuchung ist einer der Hauptgegenstände von Kapitel 4.

Punkt c) und d) bilden *erste wesentliche* Voraussetzungen für die Festlegung von Forecastebensystemen mit organisationsübergreifendem Charakter. Aus Punkt c) ergeben sich - sofern überhaupt erforderlich - unmittelbar jene Materialien, für die *eigene* Forecastebenen geführt werden müssen. Aus Punkt d) ergeben sich Freiräume, die dazu genutzt werden können, aggregierte Forecastebenen zu bilden, was im Zusammenhang mit umfangreichen Produktpaletten von einigen zehntausend Endartikeln einen großen Beitrag zur Komplexitätsreduktion leisten kann. Punkte c) und d) werden in Kapitel 5 wieder aufgegriffen.

Punkt e) legt die Hypothese nahe, dass die gesamte Istbedarfsmenge eines bestimmten Zeitintervalls umso genauer bestimmbar sein sollte, je weiter die Substitution der Forecastbedarfe durch die Kundenauftragsbedarfe fortgeschritten ist. Ist das der Fall, so ist es möglich, Forecastfehler gegebener Forecasts auf Basis der bereits vorliegenden Kundenaufträge umso eher als solche zu erkennen, je weiter die Substitution fortgeschritten ist. Dieser Ansatz wird in Kapitel 6 weiter untersucht und zu einem Kriterium zur Bewertung gegebener Forecasts hinsichtlich ihrer Fehlerhaftigkeit entwickelt.

## 4 Die Planung und Steuerung von Lieferketten – Ziele und Strategien

Im dritten Kapitel wurde gezeigt, dass die Längen von realisierbaren Lieferzeiten durch forecastbasierende Kapazitätsanpassungen gesteuert werden können. Dabei bestand das *Ziel* darin, die Längen der realisierbaren Lieferzeiten unter einer bestimmten Grenze zu halten. Die *Strategie*, die dafür eingesetzt wurde, bestand in Anpassungen der Produktionskapazität.

Dieses Beispiel stellt einen Fall einer möglichen Kombination aus Ziel und Strategie im Kontext mit angewandtem Forecasting dar. Im Allgemeinen wird in der operativen Planung und Steuerung von Lieferketten eine *breite Palette* an Strategien eingesetzt, welcher ein *komplexes Zielsystem* gegenüber steht<sup>180</sup>.

Davon ausgehend besteht das *Ziel* des vierten Kapitels darin, die *gesamte* Palette der im Zusammenhang mit angewandtem Forecasting wesentlichen Strategien zur operativen Planung und Steuerung von Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung und das damit korrespondierende Zielsystem in einem den Fragestellungen der Dissertation angemessenen Detaillierungsgrad darzustellen. Im Hinblick auf die zweite und dritte Hauptfragestellung der Dissertation stehen dabei vor allem die Charakteristika, die Kostenwirkungen und die Risiken der verschiedenen Strategien im Mittelpunkt des Interesses.

Im einzelnen ist das vierte Kapitel wie folgt gegliedert:

Unter 4.1 wird ein *Zielsystem* zur operativen Planung und Steuerung von Lieferketten im Zusammenhang mit angewandtem Forecasting vorgestellt. Dieses Zielsystem wird unter Berücksichtigung forecastspezifischer Aktivitäten auf Basis eines aus der Literatur abgeleiteten, übergeordneten Ziels deduktiv erarbeitet. An diesem Zielsystem werden in allen Folgekapiteln der Dissertation Wirkungen, Kosten und Risiken der verschiedenen Strategien zur Bewältigung fluktuierender Bedarfe gemessen.

Unter 4.2 folgt die Darstellung der *verschiedenen Strategien* zur operativen Planung und Steuerung von Lieferketten unter den Sammelbegriffen

- Variation der Produktionsraten,
- Variation der Lagermengen,

---

<sup>180</sup> Vgl. Soman et al., 2002, S. 8 ff.; Bonney et al., 2003, S. 244 ff.; Min u. Zhou, 2002, S. 232 ff. u. 246; van der Vorst, 1998, S. 489 ff. u. 497.

- Steuerung der Bedarfsmenge und der Bedarfsverteilung.

Schließlich folgt unter 4.3 die *Diskussion* der gefundenen Ergebnisse im Hinblick auf die drei Hauptfragestellungen der Dissertation.

## 4.1 Ziele in der Planung und Steuerung von Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung im Kontext mit angewandtem Forecasting

Wie oben angekündigt wird in diesem Abschnitt ein *Zielsystem* zur operativen Planung und Steuerung von Lieferketten im Kontext mit angewandtem Forecasting deduktiv erarbeitet.

Ausgangspunkt dafür ist eine übergeordnete Zielsetzung, die auf einer Literaturrecherche basiert. Diese übergeordnete Zielsetzung wird unter 4.1.1 dargestellt.

Unter 4.1.2 wird darauf eingegangen, dass Ziele kurz- und mittelfristig orientierten Forecastings durch Vorgaben bestimmt werden, die sich aus der *Budgetierung* ergeben<sup>181</sup>.

Unter 4.1.3 werden die im Zusammenhang mit angewandtem Forecasting wesentlichen Funktionen der drei in der Dissertation berücksichtigten Organisationseinheiten Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf erläutert.

Aufbauend auf die Abschnitte 4.1.1 bis 4.1.3 werden in Abschnitt 4.1.4 im Zusammenhang mit angewandtem Forecasting stehende, organisationsübergreifende Aktivitäten und damit verknüpfte Ziele herausgearbeitet.

Schließlich folgt unter 4.1.5 eine Zusammenfassung der verschiedenen Zielaspekte zu einem *Zielsystem*.

### 4.1.1 Übergeordnete Zielsetzung

In Anlehnung an die einschlägige Literatur besteht die *übergeordnete Zielsetzung* der operativen Planung und Steuerung von Lieferketten, die innerhalb der Dissertation angestrebt wird, darin, ein Maximum an Profit zu erreichen und die Wettbewerbsposition gegenüber den Konkurrenten zu behaupten bzw. auszubauen<sup>182</sup>.

---

<sup>181</sup> Vgl. Fildes et al., 2002, S. 8, Moon et al., 2000, S. 24.

<sup>182</sup> Vgl. Min u. Zhou, 2002, S. 232, Ray u. Jewkes, 2003, S. 3, Bonney et al., 2003, S. 250, van der Vorst et al., 1998, S. 492.

Als zentrale Zielgröße auf Ebene der Werteeinheiten wird dabei der **Deckungsbeitrag** angesehen<sup>183</sup>.

Anknüpfend an diese übergeordnete Zielsetzung, werden in der Literatur einige Zielaspekte angeführt, deren Berücksichtigung ein Erreichen der übergeordneten Zielsetzung gewährleisten soll. Die folgende Aufstellung stellt die Zusammenfassung einer Literaturrecherche dar:

- kurze Liefer- und Reaktionszeiten<sup>184</sup>
- Minimierung der Lagerbestandswerte und der leerstehenden Kapazitäten<sup>185</sup>
- hohe Servicegrade<sup>186</sup>

Auf die Bedeutung *kurzer Liefer- und Reaktionszeiten* wurde im dritten Kapitel bereits ausführlich eingegangen.

Ein zu hohes Maß an *leerstehende Kapazitäten und Lagerbestandswerten* (bzw. „idle capacity“ und „excess stocks“) tritt dann auf, wenn die Bedarfsmengen überschätzt wurden, oder auf Bedarfsmengentrüger nicht adäquat reagiert wurde (oder reagiert werden konnte). In diesem Zusammenhang bezeichnen Lechner et al. Fixkosten, die dadurch entstehen, dass Betriebsbereitschaft aufrecht erhalten wird, ohne dass eine Nutzung erfolgt, als *Leerkosten*<sup>187</sup>.

Der Begriff *Servicegrad* (bzw. Service Level, Customer Service, Customer Satisfaction und End Product Delivery Performance) wird in der oben angeführten Literatur - von einer Ausnahme abgesehen - nicht näher definiert. Lediglich ElHafsi definiert den „Servicelevel“ wie folgt: “[...] is defined as either the maximum allowable average tardiness of jobs, or the average percentage of tardy jobs.“<sup>188</sup>

Eine differenziertere Definition von Gudehus ist im folgenden wiedergegeben<sup>189</sup>. Diese Definition ist jene, die im weiteren Verlauf der Dissertation verwendet wird. Im übrigen sieht Gudehus die Verantwortung für die Festlegung von Servicegradzielen beim Vertrieb<sup>190</sup>.

„Die drei wichtigsten *Teilziele* der Logistischen Leistungsqualität und ihre Messgrößen sind:

- *Lieferbereitschaft*  $\eta_{\text{Lief}}$   
Lieferbereitschaft von lagerhaltiger Ware  
Fertigungsbereitschaft für auftragsspezifisch gefertigte Ware.
- *Sendungsqualität*  $\eta_{\text{SQual}}$

<sup>183</sup> Vgl. Egger und Winterheller, 1996, S. 62 f. u. 87 f., Heinen, 1991, S. 486 u. 1.204; Lechner et al., 1996, S. 763; Wöhe und Döring, 1996, S. 1.320.

<sup>184</sup> Vgl. ElHafsi, 2000, S. 356; Bonney et al., 2003, S. 244; Giannocarro u. Pontrandolfo, 2002, S. 6; Min u. Zhou, 2002, S. 236.

<sup>185</sup> Vgl. van der Vorst et al., 1998, S. 492; Soman et al., 2002, S. 5; Bonney et al., 2003, S. 251; Luxhoj et al., 1996, S. 177.

<sup>186</sup> Vgl. van der Vorst, 1998, S. 492; van Donk, 2000, S. 298; Min u. Zhou, 2002, S. 235; Petrovic et al., 1998, S. 301; ElHafsi, 2000, S. 356; Soman et al., 2002, S. 8.

<sup>187</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 377 u. 390 f.

<sup>188</sup> El Hafsi, 2000, S. 356.

<sup>189</sup> Gudehus, 1999, S. 72.

<sup>190</sup> Vgl. Gudehus, 1999, S. 440.

Vollständigkeit  
Schadensfreiheit  
Unversehrtheit  
Mängelfreiheit

- *Terminstreue*  $\eta_{\text{Treu}}$   
Einhaltung zugesagter Lieferzeiten  
Einhaltung vereinbarter *Abhol-* und *Zustelltermine*.

Zur Quantifizierung dieser Qualitätsmerkmale der Logistik werden in den aufeinander folgenden Betriebsperioden die nicht erfüllten Anforderungen erfasst. Die Anzahl der nicht erfüllten Anforderungen  $n_{\text{Xfalsch}}$  in Relation zur Gesamtzahl der Anforderungen  $n_{\text{Xges}} = n_{\text{Xricht}} + n_{\text{Xfalsch}}$  ist der Erfüllungsgrad des betrachteten Qualitätsmerkmals X:  $\eta_{\text{Ges}} = n_{\text{Xricht}} / (n_{\text{Xricht}} + n_{\text{Xfalsch}})$ .

Die drei Qualitätsmerkmale *Lieferbereitschaft*, *Sendungsqualität* und *Terminstreue* bestimmen zusammen den *Servicegrad*:

- Der *Servicegrad*  $\eta_{\text{Serv}}$  ist die Wahrscheinlichkeit, dass der Empfänger die Ware vollständig, korrekt und termingerecht erhält.

Der Servicegrad ist gleich dem Produkt von Lieferbereitschaft, Sendungsqualität und Terminstreue:

$$\eta_{\text{Serv}} = \eta_{\text{Lief}} \cdot \eta_{\text{SQual}} \cdot \eta_{\text{Treu}}$$

Beträgt beispielsweise die Lieferbereitschaft 98%, die Sendungsqualität 99% und die Terminstreue 95%, dann ist der Servicegrad  $\eta_{\text{Serv}} = 0,98 \cdot 0,99 \cdot 0,95 = 92,2\%$ .

Die *Sendungsqualität* wird innerhalb der Dissertation nicht weiter behandelt. Sie ist primär von Umständen geprägt, die durch die Planung und Steuerung von Lieferketten im Kontext mit kurz- und mittelfristig orientiertem Forecasting nicht unmittelbar beeinflusst werden können.

Anders verhält es sich mit der *Lieferbereitschaft* und der *Terminstreue*. Die Lieferbereitschaft steht in einem *direkten Zusammenhang* mit kurzen Liefer- und Reaktionszeiten. Beispielsweise ergibt sich für den Fall, dass die in der Lieferkette realisierbaren Lieferzeiten generell kürzer als die Kundenlieferzeiten sind, eine Lieferbereitschaft von 100%.

Die *Terminstreue* kommt dann zu tragen, wenn sich Terminkonflikte zwischen Bedarfen aus Aufträgen und solchen aus Forecasts bzw. neu zu terminierenden Aufträgen ergeben. In Einzelfällen kann es durchaus von Vorteil sein, bereits zugesagte Termine von bestehenden Aufträgen zu gefährden oder bewusst zu missachten, wenn dadurch ein besseres Gesamtergebnis erreicht wird<sup>191</sup>.

Zwischen den oben angeführten Zielsetzungen existieren starke *Abhängigkeiten*, die in der operativen Planung und Steuerung berücksichtigt werden müssen. Hohe Lieferbereitschaft (bzw. kurze Liefer- und Reaktionszeiten) und eine hohe Terminstreue sind *dann* relativ einfach zu erreichen, wenn die Kosten eine untergeordnete Rolle spielen. Reduziert man die in der Lieferkette auftretenden Kosten, indem man z.B. Pufferbestände und -kapazitäten *zurücknimmt*, so reduzieren sich auch die Möglichkeiten dafür, kurzfristig und unvorhergesehen eintretende Bedarfsfälle wunschgemäß bedienen

<sup>191</sup> Vgl. Hegedus und Hopp, 2001 und auch Kapitel 8 der Dissertation.

zu können. Letzteres führt zu verringerten Umsätzen und wirkt sich damit negativ auf den Profit aus.

Demnach hat man es mit *Zielkonflikten* zu tun und es muss ein Optimum zwischen den einzelnen und zum Teil gegenläufigen Zielaspekten angestrebt werden. Im folgenden sind zwei repräsentative Literaturzitate wiedergegeben, die diesen Sachverhalt gut dokumentieren:

- a) “An important concern in designing integral control is finding a balance in the costs of procurement, production, distribution and storage against the customer service to be offered.”<sup>192</sup>
- b) “The supply chain is a complex network of organizations with conflicting objectives (Simchi-Levi, Kaminsky, & Simchi-Levi, 2000). This implies that future supply chain research needs to include multi-objective treatments of joint procurement, production, and inventory planning decisions that can explicitly consider tradeoffs among total costs, customer service, and lead time.”<sup>193</sup>

Fragt man nach den *Kosten*, die mit der übergeordneten Zielsetzung und den untergeordneten Zielen korrespondieren, so stößt man in der Literatur auf die unten folgenden *Kostenarten*<sup>194</sup>:

- a) Kosten der Beschaffung
- b) Kosten der Produktion
- c) Kosten der Distribution
- d) Lagerhaltungskosten
- e) Kosten durch Abwertungen veralteter Produkte
- f) Umsatzverluste durch mangelnde Lieferbereitschaft
- g) Strafen durch Nichteinhaltung vertraglich zugesagter Liefertermine

Diese Kostenarten stehen zum Teil in direktem Zusammenhang zu den oben bereits angeführten Zielaspekten. Sind die Lagerbestandswerte gering, so werden auch die Lagerhaltungskosten und tendenziell auch die Kosten durch Abwertungen veralteter Produkte gering sein. Ist der Servicegrad hoch, so wird man nur wenige Umsatzverluste durch mangelnde Lieferbereitschaft und auch nur wenige Strafen durch Nichteinhaltung zugesagter Liefertermine hinzunehmen haben.

Damit lässt sich zusammenfassend Folgendes festhalten: Die übergeordnete Zielsetzung der operativen Planung und Steuerung von Lieferketten im Zusammenhang mit Forecasts, besteht in der Maximierung des Profits unter Wahrung der Wettbewerbssituation. Die wesentlichen, zu berücksichtigenden Teilaspekte dieser Zielsetzung bestehen

- im Deckungsbeitrag,

<sup>192</sup> van Donk et al., 2000, S. 298.

<sup>193</sup> Min and Zhou, 2002, S. 246.

<sup>194</sup> Vgl. van der Vorst, 1998, S. 492; van Donk, 2000, S. 298, Ray und Jewkes, 2003, S. 3, Petrovic, 2001, S. 432, Petrovic et al., 1998, 302 f., Giannocarro und Pontrandolfo, 2002, S. 6.

- im Servicegrad (zusammengesetzt aus Liefertreue und Lieferbereitschaft),
- in den durch Läger und Lagerhaltung verursachten Kosten,
- der Nutzung der Kapazitäten und
- den Kosten für die Beschaffung, die Produktion und die Distribution.

Damit ist die übergeordnete Zielsetzung umrissen. Sie stellt den Rahmen dar, an dem das abzuleitende *Zielsystem* zur operativen Steuerung von Lieferketten im Zusammenhang mit angewandtem Forecasting ausgerichtet wird.

#### 4.1.2 Ziele kurz- und mittelfristig orientierten Forecastings im Zusammenhang mit Unternehmensbudgets

In der Einleitung der Dissertation wurde unter den Rahmenbedingungen festgelegt, dass der maximale Forecasthorizont, der in der Dissertation berücksichtigt wird, ein Jahr beträgt. In der zentralen Logistik von RHI-Refractories liegen typische Längen von kurz- und mittelfristigen Forecasts im Bereich von einigen Wochen bis zu einem Jahr. Diese Zeitspannen decken sich mit den Angaben von Magee et al. bzgl. der Forecasthorizontlängen von “short-“ und “medium-term” Forecastingprozessen<sup>195</sup>.

Ein maximaler Zeithorizont von einem Jahr liegt auch den *Unternehmensbudgets* zugrunde. Die Zahlen von Unternehmensbudgets stellen lt. Egger und Winterheller “[...] **Vorgaben** dar, die von allen Beteiligten erreicht werden sollen. Das Budget hat damit die Funktion eines **Fahrplanes**.”<sup>196</sup>

Aufgrund der vergleichbaren zeitlichen Ausrichtung gelten die Vorgaben aus dem Budget damit auch *als Zielgrößen* für die Steuerung von Lieferketten auf Basis von kurz- und mittelfristig orientierten Forecasts.

Nach Egger und Winterheller enthält das Unternehmensbudget folgende Teilbereiche:

„Pläne der **Leistungsverwertung**,

detailliert nach Leistungseinheiten, Abnehmern, Absatzgebieten, erzielbaren Preisen etc.

Pläne der **Leistungserstellung** und **Leistungsbereitschaft**

Produktionsplan nach Leistungseinheiten

Stückkostenpläne

Beschaffungsplan

Lagerplan

Personalplan

Investitionsplan

Forschung und Entwicklung (produkt- bzw. auftragsbezogen)

Stellenkostenpläne

<sup>195</sup> Vgl. Magee et al., 1985.

<sup>196</sup> Egger und Winterheller, 1996, S. 57, vgl. auch S. 59 sowie Brock und Barry, 2003, S. 546 u. 547, Moon et al., 2000, S. 24, Lechner et al., 1996, S. 547, Wöhe und Döring, 1996, S. 154.

Vertrieb  
 Verwaltung  
 Produktionsstellen  
 Forschung und Entwicklung  
 Hilfsstellen

#### Pläne der **Finanzierung**

Plan des Zahlungsmittelbedarfes auf Grund der oben angeführten Teilpläne  
 Plan der Bestände an Umlaufvermögen und Verbindlichkeiten“<sup>197</sup>

Diese Teilpläne werden unter anderem zu Einkaufs-, Produktions- und Absatzplänen zusammengefasst<sup>198</sup>. Damit gibt das Budget mehr oder weniger detailliert vor, was in welchen Mengen und zu welchen Preisen verkauft bzw. Kosten produziert und eingekauft werden soll.

Die Gewinn- und Verlustrechnung für den Budgetzeitraum wird nach folgendem Grundschemata erstellt<sup>199</sup>:

Geplante Erlöse  
 – geplante variable Kosten zu Standardwerten  
 Deckungsbeitrag  
 – geplante Fixkosten  
 Betriebsergebnis  
 ± Betriebsüberleitung  
 Unternehmensergebnis auf Standardwertbasis

Zusammengefasst lässt sich damit sagen, dass das Budget für alle drei im Rahmen der Dissertation näher betrachteten Organisationseinheiten Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf Ziele vorgibt, deren Erreichen zum geplanten Unternehmenserfolg führt. Für folgende Teilaspekte der übergeordneten Zielsetzung werden damit Zielgrößen quantifiziert:

- den Deckungsbeitrag (in Form einer Mindestgröße),
- den Lagerbeständen (in Form von maximal erlaubten Bestandswerten und Lagerkosten<sup>200</sup>),
- der Nutzung der Kapazitäten (in Form des Absatz- und Produktionsprogramms) und
- den Kosten für die Beschaffung, die Produktion und die Distribution (in Form von fixen und variablen Kosten).

Damit sind für vier der fünf Teilaspekte der zentralen Zielsetzung *Sollgrößen* quantifiziert, die in der Planungs- und Steuerung der Lieferkette im Rahmen des Forecastprozesses berücksichtigt werden müssen.

<sup>197</sup> Egger und Winterheller, 1996, S. 57 f.

<sup>198</sup> Vgl. Egger und Winterheller, 1996, S. 58 f.

<sup>199</sup> Egger und Winterheller, 1996, S. 62.

<sup>200</sup> Vgl. dazu auch Abschnitt 4.2.2.2.

### 4.1.3 Kernfunktionen von Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf

Im folgenden werden die Kernfunktionen der drei Organisationseinheiten Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf anhand von Literaturzitate beschrieben. Die so gewonnenen Funktionsbeschreibungen umreißen die Rolle, die jeder einzelnen der drei Organisationseinheiten innerhalb der Dissertation zukommt.

Die Kernfunktion der **Beschaffung** besteht in der Bereitstellung der für die Produktion benötigten Materialien<sup>201</sup>.

Im Hinblick auf die übergeordnete Zielsetzung sind dabei die Einkaufspreise, die Lagerbestandswerte und der Servicegrad von Bedeutung<sup>202</sup>. Der angesprochene Servicegrad ist als Servicegrad der Beschaffung gegenüber der Produktion zu verstehen und hat in seiner Folgewirkung Einfluss auf den Servicegrad der Produktion gegenüber dem Verkauf bzw. dem Kunden.

Die Kernfunktion der **Produktionsplanung und -steuerung** besteht in der „[...] Termin-, Kapazitäts- und mengenbezogenen Planung und Steuerung der Fertigungs- und Montageprozesse.“<sup>203</sup>

Vergleicht man diese Funktion mit der übergeordneten Zielsetzung, so ergeben sich als wesentliche Zielaspekte der Produktionsplanung und -steuerung der Servicegrad, Lagerbestände, die Nutzung der Kapazitäten und die Kosten für die Produktion.

Lechner et al. beschreiben die Funktion des **Verkaufs** wie folgt: „Der Verkauf wird allgemein als Teilbereich des Absatzprozesses angesehen. Er umfasst alle Tätigkeiten, die den wirtschaftlichen und rechtlichen Übergang einer betrieblichen Leistung vom Verkäufer an den Käufer zum Gegenstand haben, z.B. Vertragsabschluss, Auftragsbearbeitung, Verpackung, Versand usw.“<sup>204</sup>

In der Dissertation wird die Funktion des Verkaufs etwas weiter gefasst. Der Verkauf wird als jene Organisationseinheit angesehen, deren Hauptaufgabe darin besteht, *die Beziehungen des Unternehmens mit dem Absatzmarkt (bzw. den Kunden) herzustellen und zu gestalten*<sup>205</sup>. Im Vordergrund stehen dabei Entscheidungen und Gestaltungsvariablen, deren Anpassungen innerhalb der Zeithorizonte von kurz- und mittelfristigem Forecasting wirksam werden. Gegeben sind diese Variablen durch kurz- und mittelfristig wirksame absatzpolitische Instrumente<sup>206</sup>. Überdies wird davon ausgegangen, dass der Verkauf aufgrund seiner Kunden- und Marktnähe am ehesten dazu in der Lage ist, Informationen zu gewinnen, die es erlauben, Bedarfverläufe *genauer* zu prognostizieren als das durch bloße Anwendung quantitativer Methoden auf Basis historischer Daten möglich ist<sup>207</sup>.

---

<sup>201</sup> Vgl. Heinen, 1991, S. 491 f. und Lechner et al., 1996, S. 343 f.

<sup>202</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 344 ff.

<sup>203</sup> Luczak et al., 1998, S. 29; vgl. auch Kurbel, 1995, S. 16 f.

<sup>204</sup> Lechner et al., 1996, S. 424.

<sup>205</sup> Vgl. Heinen, 1991, S. 625.

<sup>206</sup> Vgl. Abschnitt 4.2.3.

<sup>207</sup> Vgl. Wotruba und Thurlow, 1976, S. 11; Moon et al., 2000, S. 26; Moon et al., 1998, S. 49, Lawrence und O’Conner, 2000, S. 373, Lawrence et al., 2000, S. 157.

Vergleicht man auch die Kernfunktion des Verkaufs mit der übergeordneten Zielsetzung, so ergeben sich als wesentliche Zielaspekte der Deckungsbeitrag und die Nutzung der Kapazitäten. Denn die Akquirierung einer ausreichenden Menge an Aufträgen ist eine Voraussetzung dafür, dass die Kapazitäten wie geplant genutzt werden können.

Um die geplanten Deckungsbeiträge erzielen zu können, müssen neben den geplanten Absatzmengen auch die geplanten Verkaufspreise erreicht werden. Der erreichbare Deckungsbeitrag hängt aber zusätzlich von weiteren Faktoren ab; beispielsweise von den variablen Kosten in der Produktion, den realisierbaren Lieferzeiten und der Liefertreue. Die variablen Kosten in der Produktion enthalten ihrerseits wieder die Beschaffungspreise.

Damit ist der Deckungsbeitrag durch die Aktivitäten *aller drei* Organisationseinheiten Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf beeinflusst. Der Deckungsbeitrag ist aber *nur ein* Beispiel dafür, dass Teilaspekte des übergeordneten Zielsystems von *mehr* als einer Organisationseinheit beeinflusst sind. Wie in Abschnitt 4.1.4 gezeigt wird, ist kein einziger der Teilaspekte des zentralen Zielsystems durch ausschließlich eine der drei Organisationseinheiten beeinflusst. Vielmehr ist die Qualität der Forecasts und die Abstimmung der Aktivitäten der drei Organisationseinheiten *untereinander* und auf die *Marktsituation* von ausschlaggebender Bedeutung dafür, ob die Ziele der zentralen Zielsetzung bzw. des Budgets erreicht werden können.

#### 4.1.4 Ziele und organisationsübergreifende Aktivitäten

Die einzelnen Zielaspekte der übergeordneten Zielsetzung zeigen starke Abhängigkeiten voneinander. Beispielsweise wird es einfach sein, hohe Deckungsbeiträge dann zu erreichen, wenn die Absatzmengen so hoch sind wie die erreichbaren Produktionskapazitäten und überdies die Kosten für die Beschaffung, die Produktion und die Distribution niedrig sind. Eine volle Nutzung der erreichbaren Produktionskapazitäten (bzw. auch der Auftragseingang) wird wiederum durch hohe Servicegrade gefördert. Hohe Servicegrade ihrerseits können in der Regel nur durch ein bestimmtes Maß an Lagerbeständen gehalten werden.

Wie im Folgenden erläutert wird, sind die einzelnen Zielaspekte aber *nicht nur* voneinander abhängig. Sie sind auch fundamental davon bestimmt, wie hoch die *Forecastgenauigkeit* und wie gut die *Kommunikation* zwischen den drei Organisationseinheiten Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf sind. Denn sowohl eine ausreichende Forecastgenauigkeit wie auch eine gezielt und effizient geführte Kommunikation sind Voraussetzungen dafür, dass kurz- und mittelfristig wirksame Maßnahmen zur Steuerung der Lieferketten so gesetzt werden können, dass der realisierte Unternehmenserfolg nahe am Optimum dessen liegt, was im Kontext mit vorgegebenen Rahmenbedingungen möglich ist.

Bedarfsschwankungen können dazu führen, dass Budgetmengen unterschritten werden, obwohl über den gesamten Budgetzyklus eigentlich genügend potentielle Aufträge vorhanden wären, um die Budgetmenge erreichen zu können. Kommt eine Bedarfsflaute beispielsweise völlig unerwartet, so kann es zu Leerläufen von Produktionskapazitäten kommen, die im Laufe des Budgetjahres nicht mehr aufzuholen sind. Folgendes Beispiel verdeutlicht diese Situation:

Beispiel 1: Die budgetierte Produktionsmenge für ein bestimmtes Produkt liegt bei 5.000to; die maximal erreichbare monatliche Produktionsleistung liegt bei 450to. Damit liegt die maximal erreichbare Jahresproduktionsleistung bei 5.400to; also nur 400to über der budgetierten Produktionsmenge. Tritt der Fall ein, dass die Produktion aufgrund zu geringer Nachfrage den Januar über leer steht, so ist die budgetierte Produktionsmenge *auch dann* nicht mehr erreichbar, wenn es ab Februar bis zum Jahresende volle Belegung gibt.

Auf Basis guter Forecasts können Bedarfsflauten vorhergesehen und durch geeignete Maßnahmen entschärft werden (vgl. Abschnitt 4.2, in dem die Strategien zur Planung und Steuerung von Lieferketten erläutert werden). Inwieweit ein, im Hinblick auf das Budget, zu starkes Leerlaufen von Produktionskapazitäten zu befürchten ist, kann nur die Produktionsplanung und -steuerung abschätzen. Denn nur die Produktionsplanung und -steuerung kann Aussagen darüber treffen, ob durch Leerläufe verursachte negative Abweichungen vom Budget noch aufgeholt werden können.

Droht ein zu starkes Leerlaufen, so kann dieses Problem jedoch nur gemeinsam mit dem Verkauf gelöst werden. Jedenfalls wird die Produktionsplanung und -steuerung gut beraten sein, den Verkauf über das drohende Leerlaufen zu informieren, denn es kann durchaus der Fall sein, dass der Verkauf das Budget noch keineswegs gefährdet sieht, obwohl ein Übermaß an Leerläufen droht. Erst wenn der Verkauf über die drohenden Leerläufe informiert ist, ist auch die Basis dafür gelegt, dass der Verkauf geeignete absatzpolitische Maßnahmen zu Entschärfung der Situation setzen kann (vgl. Abschnitt 4.2.3).

Aber auch wenn sich als Steuerungsmaßnahme die Produktion auf Lager anbietet, wird die Produktionsplanung und -steuerung diese nur in Abstimmung mit dem Verkauf durchführen. Denn wenn der Verkauf keine Chancen dafür sieht, in späteren Perioden des Budgetjahres überproportional große Auftragsmengen zu akquirieren, ist eine Produktion auf Lager ein Kostennachteil (vgl. Kapitel 8).

Während Leerläufe von Kapazitäten in ihrer Folgewirkung zu verminderten Deckungsbeiträgen führen können, sind Bedarfsspitzen häufig von schlechten Servicegraden in Form niedriger Lieferbereitschaft begleitet. Auch dazu sei ein Beispiel angeführt:

Beispiel 2: Zwanzig Verkaufseinheiten budgetieren jeweils 250to des Produktes XY. Damit beläuft sich die budgetierte Produktionsmenge für das Produkt XY auf 5.000to. Die maximal erreichbare monatliche Produktionsleistung liegt erneut bei 450to. Aufgrund überregionaler Bedarfsspitzen tritt die Situation ein, dass *alle* zwanzig Verkaufseinheiten „ihre“ 250to für einen Liefertermin im Januar bestellen.

Kommt die in Beispiel 2 skizzierte Situation unerwartet, so wird der Servicegrad stark sinken und zusätzliche werden Deckungsbeiträge wegfallen, da nicht zu erwarten ist, dass alle Kunden mit den explodierenden Lieferzeiten zurecht kommen (diese Kunden werden bei der Konkurrenz bestellen). Werden die Beschaffung und die Produktionsplanung und -steuerung im Gegensatz dazu frühzeitig über die kommende Bedarfsspitze informiert, so wird man das Problem erkennen und Maßnahmen zu seiner Entschärfung setzen. Hat man Möglichkeiten Liefer- und Produktionsraten bereits frühzeitig über das Maß, des für die kurzfristig zu bedienenden Aufträge Erforderlichen zu steigern, so kann unter voller Nutzung der verfügbaren Kapazitäten und Lieferraten in reiner Lagerfertigung auf Lager produziert oder es können bereits vorliegende Kundenaufträge in der Produktion vorgezogen werden. Zusätzlich wird man den Verkauf

dazu veranlassen, Kundenaufträge möglichst früh an die Produktion zu übergeben. Die auf diese Weise zusätzlich aktivierten Liefer- und Produktionsraten beugen einem Einbrechen des Servicegrads in Form von explodierenden Lieferzeiten vor.

Aber auch für den Fall, dass die Möglichkeiten der Steigerung von Liefer- und Produktionsraten nicht ausreichen, um die volle Bedarfsmenge abzudecken, kann eine gezielte Zusammenarbeit zwischen Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf zu einem verbesserten Unternehmensergebnis führen, indem jene Bedarfsfälle bevorzugt als Aufträge akquiriert werden, welche im Bezug auf die begrenzte Ressource die besten *relativen* Deckungsbeiträge aufweisen. Der relative Deckungsbeitrag gibt an, wie groß der Deckungsbeitrag pro Einheit der begrenzt verfügbaren Ressource ist<sup>208</sup>. Können nicht alle Bedarfsfälle bedient werden, so stellt sich der höchste erreichbare Deckungsbeitrag im Abrechnungszeitraum dann ein, wenn jene Bedarfsfälle als Aufträge akquiriert werden, welche die höchsten relativen Deckungsbeiträge aufweisen. Eine weitere Möglichkeit zur Entschärfung von Bedarfsspitzen, welche überdies zu einer Ergebnisverbesserung führt, besteht darin, die Verkaufspreise zu erhöhen. Denn erhöhte Preise führen in der Regel zu verringerten Bestellmengen (vgl. 4.2.3).

Alle oben erläuterten Varianten der Ergebnisoptimierung setzen a) einen guten Forecast und b) eine gezielte Zusammenarbeit zwischen Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf voraus. Ein ausreichend detaillierter und exakter Forecast ist die Voraussetzung dafür, dass Bedarfsspitzen oder -einbrüche frühzeitig erkannt werden können. Welche Produktionskapazitäten und welche Fertigungsmaterialien nicht in ausreichendem Maß zur Verfügung stehen, oder welche Produktionslinien voraussichtlich nicht ausreichend ausgelastet sein werden, kann nur die Beschaffung und die Produktionsplanung und -steuerung beurteilen. Entschärfungs- und Optimierungsmaßnahmen wiederum können nur unter Mitwirkung des Verkaufs umgesetzt werden.

Gerade wenn Bedarfsspitzen und -flauten einander innerhalb des Budgetjahres abwechseln, ist die Zusammenarbeit zwischen Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf auf Basis guter Forecasts besonders wichtig. Gleiches gilt für den Fall, dass die budgetierten Produktionsmengen von Maschinen nur wenig unter, oder gar genau auf dem Niveau der maximalen, nutzbaren Produktionskapazitäten liegen. Denn in diesem Fall müssen Produktionskapazitäten permanent voll genutzt werden, um die Budgetmengen erreichen zu können. Das heißt, dass Unterbelegungen entweder durch ausreichende Auftragsakquisition gänzlich vermieden oder durch Produktion auf Lager ausgeglichen werden müssen.

Eine Schwierigkeit, welche die Zusammenarbeit zwischen Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf erfahrungsgemäß begleitet, besteht darin, dass in der Betrachtung des Verkaufs *Werteinheiten* im Vordergrund stehen, während für die Beschaffung und die Produktionsplanung und -steuerung *Produktarten* und deren *Mengenverteilungen* wesentlich sind. Folgendes Beispiel soll diese Schwierigkeit verdeutlichen:

**Beispiel 3:** das Werk Beta ist durch die beiden Fertigungsengpässe X und Y charakterisiert. Es werden lediglich 2 Produkte produziert. Produkt A kann *nur* auf Engpass X, Produkt B *nur* auf Engpass Y produziert werden. Die budgetierte Produktionsmenge für die beiden Engpässe liegt

<sup>208</sup> Vgl. Heinen, 1991, S. 1.286 ff., Egger und Winterheller, 1996, S. 80 ff.

bei jeweils 1.000to. Engpass X kann bei Vollausslastung 1.300to produzieren. Der Deckungsbeitrag liegt für beide Produkte bei € 100,- pro to; der aufsummierte geplante Deckungsbeitrag damit bei € 200.000,-.

Leider stellt sich heraus, dass von Produkt B nur 500to verkauft werden können; im Gegensatz dazu *könnten* von Produkt A 2.000to verkauft werden (allerdings können aber nur 1.300to produziert werden).

Aufgrund der technischen Gegebenheiten können in Summe also nur 1.800to abgesetzt werden. Die budgetierte Produktionsmenge wird um 200to *unterschritten*. Sofern keine weiteren Abweichungen auftreten, wird der geplante aufsummierte Deckungsbeitrag durch den tatsächlich erreichten aufsummierten Deckungsbeitrag damit um € 20.000,- unterschritten.

Aus den technischen Gegebenheiten ergeben sich also negative Abweichungen, obwohl der Verkauf in der Lage gewesen wäre, 3.500to abzusetzen bzw. eine aufsummierten Deckungsbeitrag von € 350.000,- zu erreichen (und sein Budget weit überschritten hätte).

Aus Beispiel 3 wird deutlich, wie wichtig es ist, dass Forecasts des Verkaufs auf Kapazitäts- und Materialbedarfe umgerechnet werden können, wenn diese in der Beschaffung oder in der Produktionsplanung und -steuerung verwendet werden sollen.

Die bisherigen Ausführungen in diesem Abschnitt zeigen, dass Forecasts und die Kommunikation zwischen Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf für die Deckungsbeiträge, den Servicegrad und die Nutzung der Kapazitäten von Bedeutung sind. Aber auch die verbleibenden Zielaspekte des Zielsystems, nämlich Lagerbestände und die Kosten für die Beschaffung, die Produktion und die Distribution sind von der Forecastgenauigkeit beeinflusst.

Die Kosten für die Beschaffung können durch unerwartet eintretende Bedarfsfälle steigen, wenn diese durch kostenintensive Noteinkäufe oder Eiltransporte bewältigt werden müssen<sup>209</sup>. Gute Forecasts tragen dazu bei, Noteinkäufe und Eiltransporte in der Beschaffung zu vermeiden.

Analoges gilt für die Kosten der Produktion und der Distribution. Gute Forecasts ermöglichen eine vorausschauende bzw. kostenoptimale Planung, ohne dass beispielsweise laufende Produktionskampagnen unterbrochen, Überstunden angesetzt oder Distributionstransporte in Form von kostenintensiven Eiltransporten abgewickelt werden müssen.

Zusammengefasst lässt sich damit sagen, dass jeder einzelne Teilaspekt des Zielsystems von der Qualität der Forecasts und jener der Kommunikation zwischen Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf beeinflusst ist. Zwischen der Qualität der Forecasts und jener der Kommunikation bestehen überdies Zusammenhänge. Denn ein gut aufgebautes Forecastebensystem beinhaltet schon einen Teil der erforderlichen Kommunikation, indem es den Fluss von Forecastinformationen auch über die Diskontinuitäten, die zwischen Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf bestehen, ermöglicht.

Wie wichtig es ist, dass ein Forecastebensystem auch diese Funktion erfüllen kann, wird an Beispiel 3 deutlich. Sollen vom Verkauf erstellte Forecasts in der Beschaffung und in der Produktionsplanung und -steuerung verwendet werden können, so müssen

---

<sup>209</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 44.

diese Forecasts an die Anforderungen von Beschaffung und Produktionsplanung und -steuerung angepasst werden. Aber auch in die entgegengesetzte Richtung sollte diese Transformation von Forecastdaten möglich sein, wenn beispielsweise die Beschaffung Materialunterdeckungen erwartet oder die Produktionsplanung und -steuerung Unterbelegungen auf sich zukommen sieht.

Der *Qualität der Forecasts* kommt in der Zielerfüllung jedenfalls eine *zentrale Bedeutung* zu. Die Erstellung guter Forecasts und deren laufende Aktualisierung wird deshalb als eigener Zielaspekt in das Zielsystem aufgenommen.

#### 4.1.5 Das Zielsystem zur Planung und Steuerung von industriellen Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung im Rahmen von kurz- und mittelfristigem Forecasting

In Tabelle 4.1 sind die unter 4.1.1 bis 4.1.4 erarbeiteten Zielaspekte zu einem *Zielsystem zur Planung und Steuerung von industriellen Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung im Rahmen von kurz- und mittelfristigem Forecasting* zusammengefasst.

Enthalten sind die Zielaspekte der übergeordneten Zielsetzung; sie wurden direkt übernommen. Ergänzt wurde lediglich die Forderung nach guten Forecasts und nach deren laufender Aktualisierung. Überdies ist mit angeführt, welche Zielaspekte in der Regel durch das Budget konkret quantifiziert sind.

Zielaspekt	Zielaspekt durch Unternehmensbudget in der Regel quantifiziert
Deckungsbeitrag	ja
Lagerbestände	ja
Nutzung der Kapazitäten	ja
Kosten für die Beschaffung, die Produktion und die Distribution	ja
Servicegrad	nein
Erstellung präziser und anforderungsgerechter Forecasts und deren laufende Aktualisierung	nein

Tab. 4.1: Zielsystem zur Steuerung von industriellen Lieferketten kombinierter Auftrags- und Lagerfertigung im Rahmen von kurz- und mittelfristigem Forecasting; Quelle: eigene Darstellung.

Damit ist das *Zielsystem* gegeben, an dem die Bearbeitung der Hauptfragestellungen der Dissertation orientiert wird. Sieht man sich die *drei Hauptfragestellungen* im einzelnen an, so lässt sich Folgendes sagen:

Die **vorausschauende Verfolgung der Forecasterfüllung** ist an sich kaum durch das Zielsystem beeinflusst, kann aber ihrerseits einen Beitrag zur Zielerfüllung leisten, da sie ja zu einer Verminderung der Forecastfehler führen sollte.

Das **Forecastebenenystem mit organisationsübergreifendem Charakter** sollte a) Transformationen von organisationspezifischen Forecasts zwischen den drei Organisationseinheiten ermöglichen und b) die einzelnen Zielaspekte mit enthalten oder zumindest reflektieren. Denn eine Berücksichtigung der Zielaspekte im Forecastebenenystem ist die Voraussetzung dafür, dass die im Forecastebenenystem enthaltenen Informationen als Basis dafür verwendet werden können, Maßnahmen zur zielorientierten Steuerung der Lieferkette zu erarbeiten.

Auch die **Ausarbeitung von forecastbasierenden Planungs- und Steuerungsmaßnahmen** ist ähnlich wie das Forecastebenenystem mit organisationsübergreifendem Charakter stark vom Zielsystem beeinflusst. Denn die Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen muss sich ja am Zielsystem orientieren und alternative Planungs- und Steuerungsmaßnahmen muss man danach bewerten, mit welchem Grad der Zielerfüllung sie jeweils verknüpft sind.

Abgesehen vom Zielsystem an sich wurde ausgehend von den Kernfunktionen der drei Organisationseinheiten Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung gezeigt, wie groß die *Bedeutung der Kommunikation* zwischen den drei Organisationseinheiten im Hinblick auf die Zielerfüllung ist. Dabei wurde auch deutlich, dass ein Forecastebenenystem mit organisationsübergreifendem Charakter *einen Beitrag dazu leisten kann*, dass die Kommunikation auch über die Grenzen der drei Organisationseinheiten hinweg effizient gestaltet werden kann, wenn es Transformationen organisationspezifischer Forecasts von einer Organisationseinheit auf die beiden anderen erlaubt.

## 4.2 Strategien in der Planung und Steuerung von Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung

Unter 4.1 wurde ein Zielsystem zur Planung und Steuerung von industriellen Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung im Rahmen von kurz- und mittelfristigem Forecasting erstellt. Unter 4.2 soll gezeigt werden, *welche Strategien zur Zielerfüllung angewandt werden können*.

Im Mittelpunkt des Interesses stehen dabei die mit den verschiedenen Strategien verbundenen *Kosten* und *Risiken*. Kosten und Risiken sollen soweit analysiert werden, dass ihre Berücksichtigung im achten Kapitel der Dissertation, dessen Ziel darin besteht anzugeben, wie unternehmenszielorientierte Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auf Basis von Forecasts ausgearbeitet und ausgewählt werden können, ohne weitere Zwischenschritte möglich ist.

Die Bedeutung der *Kosten* bezieht sich auf die Frage, wie die mögliche Umsetzung einzelner Strategien im Hinblick auf die monetären Zielaspekte des Zielsystems zu bewerten sind, wobei die Kosten auch stark durch die Risiken bestimmt werden.

Abgesehen von spezifischen Risiken der einzelnen Strategie besteht *das grundlegende Risiko aller möglichen Strategien* darin, dass signifikante Forecastfehler auftreten können und durch das Setzen von Maßnahmen Kosten auftreten, welchen nach Ablauf der betroffenen Planungsintervalle kein Nutzen gegenübersteht. Van der Vorst et al. charakterisieren diesen Sachverhalt wie folgt: „[...], the manufacturer incurs excess raw materials costs or material shortages due to poor product forecasting; additional manufacturing expenses created by excess capacity, inefficient utilisation and overtime; and mostly excess warehousing expenses due to high stock levels (Towill, 1996; Lee et al., 1997). Kurt Salmon Associates (1993, p. 83) suggest that these activities can result in excess costs of 12.5% to 25%.“<sup>210</sup> Davon ausgehend konzentriert sich die Risikobetrachtung vor allem darauf, was eintritt, wenn bestimmte Maßnahmen gesetzt werden *und* signifikante Forecastfehler auftreten.

Im einzelnen ist der Abschnitt 4.2 wie folgt gegliedert: Unter 4.2.1 werden all jene Strategien betrachtet, welchen eine Anpassung der Produktionskapazitäten an die Bedarfsverläufe zugrunde liegt, unter 4.2.2 werden die Variation von Lagermengen und unter 4.2.3 die Möglichkeiten der aktiven Bedarfsbeeinflussung untersucht. Für jede einzelne dieser drei Strategienpaletten werden die jeweiligen Charakteristika, sowie die Kosten- und die Risikoaspekte getrennt behandelt.

### 4.2.1 Variation der Produktionsraten

Vielfach wird die Variation der Produktionsraten neben der Variation der Lagermengen als eine der *zwei wichtigsten* Strategien zur Bewältigung fluktuierender Bedarfe gesehen<sup>211</sup>. In der Literatur werden im Zusammenhang mit dieser Strategie unterschiedliche Begriffe verwendet; so z.B.:

- Volume Flexibility<sup>212</sup>,
- Spare Capacity<sup>213</sup>,
- Excess Capacity<sup>214</sup>,
- Flexible Production<sup>215</sup> oder
- Chase Demand<sup>216</sup>.

Im Folgenden werden Variationen der Produktionsraten für bestimmte Produkte oder Produktsegmente durch a) die Variation der Beschäftigung am für diese Produkte vorgesehenen Arbeitsplatz bzw. Aggregat, b) den Einsatz zusätzlicher aber suboptimaler Arbeitsplätze bzw. Aggregate und c) die Vergabe von Produktionsaufträgen an externe Dritte betrachtet.

---

<sup>210</sup> Van der Vorst, 1998, S. 488.

<sup>211</sup> Vgl. de Haan et al., 2001; van der Vorst et al., 1998, S. 488; Heinen, 1991, S. 481 f.

<sup>212</sup> Vgl. Oke, 2003, Szwejczewski et al., 1997.

<sup>213</sup> Vgl. Bonney et al., 2003.

<sup>214</sup> Vgl. van der Vorst et al., 1998.

<sup>215</sup> Vgl. van Donk, 2000.

<sup>216</sup> Vgl. de Haan et al., 2001.

#### 4.2.1.1 Charakteristika der Strategiepalette „Anpassung der Produktionsraten“

Die Anpassung von Produktionsraten auf dem *einzelnen* Arbeitsplatz bzw. Aggregat kann dadurch erfolgen, dass

- a) die Intensität angepasst (Erhöhung bzw. Verringerung der Arbeitsgeschwindigkeit) oder
- b) die Nutzungszeit variiert wird<sup>217</sup>.

Der *Bandbreite der realisierbaren Produktionsraten* sind durch die technischen Gegebenheiten Grenzen gesetzt. Bei höchster Intensität und maximal möglicher Nutzungszeit ergibt sich die *maximale realisierbare* Produktionsrate. Die minimale realisierbare Produktionsrate liegt grundsätzlich bei Null. Allerdings ist eine Produktionsrate von Null mit einer Stilllegung des Aggregates verbunden, *wenn* die Mindestdurchsatzmengen aus technischen Gründen ungleich Null sind.

Typische Charakteristika der Anpassung der Produktionsraten auf dem *einzelnen* Arbeitsplatz bzw. Aggregat nach *unten* sind Gleitzeitabbau, Abbau von Urlaub (soweit möglich), Verlagerung von Arbeitskräften zu stark belegten Engpässen und bei starker Ausprägung Kurzarbeit, Stilllegung von Anlagen und im Extremfall Personalabbau oder ein Abbau sowie ein Verkauf der Anlagen.

Die typischen Charakteristika einer Anpassung der Produktionsraten auf dem *einzelnen* Arbeitsplatz bzw. Aggregat nach *oben* bestehen in einer Ausdehnung der Arbeitszeit (Mehrschichtbetrieb, Nachtschichten, Samstag-, Sonn- und Feiertagsarbeit, Gleitzeitaufbau, Urlaubssperren), Zuziehung von zusätzlichen Arbeitskräften (von schlecht belegten Arbeitsplätzen bzw. Aggregaten, von Leiharbeiterfirmen oder über Personalaufbau), zusätzlicher Einsatz von suboptimalen Arbeitsplätzen bzw. Aggregaten (zur Entlastung des von der Bedarfsspitze betroffenen Engpasses) und im Extremfall im Kauf und Einsatz zusätzlicher Aggregate.

Reicht die maximale Produktionsrate auf dem einzelnen Arbeitsplatz (bzw. dem Aggregat), der für die Fertigung eines bestimmten Produktsegments *vorgesehen* ist, nicht aus, so kann dem dadurch begegnet werden, dass man die Produktion des betroffenen Produktsegments auf weitere, dafür eigentlich nicht vorgesehene, Arbeitsplätze bzw. Aggregate oder auf externe Dritte ausdehnt. Damit gewinnt man an Produktionskapazität, hat aber zumeist auch höhere Kosten in Kauf zu nehmen, da ja der *vorgesehene* Arbeitsplatz (bzw. das vorgesehene Aggregat) im Regelfall die *niedrigsten* Produktionskosten aller möglichen Alternativen aufweist. Überdies können zusätzliche Transportkosten auftreten, wenn die geographische Lage des zusätzlichen Arbeitsplatzes oder des externen Lieferanten sich signifikant von jener des eigentlich vorgesehenen Arbeitsplatzes unterscheidet.

Eine Ausweitung der Produktionskapazität des einzelnen Aggregats durch Neukauf gleichartiger Aggregate ist darüber hinaus grundsätzlich möglich, tritt im Bereich des kurz- und mittelfristigen Forecastings in der Regel jedoch kaum auf, da a) der Zeitbedarf bis zur Inbetriebnahme vergleichsweise lang ist und b) im Regelfall das Budget korrigiert werden müsste (bei korrekter Umsetzung des Budgets sollte ja über das Jahr gesehen ausreichend Fertigungskapazität zur Verfügung stehen).

---

<sup>217</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 396 ff.

Alle möglichen Maßnahmen zur Anpassung der Produktionsraten haben gemeinsam, dass ihre Umsetzung bestimmte *Vorlaufzeiten* erfordern, wobei diese stark variieren. Beispielsweise können Überstunden oder Samstagschichten zumeist kurzfristig angesetzt werden; längere Vorlaufzeiten erfordert im Vergleich dazu z.B. die Einstellung zusätzlichen Personals.

Wie sich die organisatorischen und technischen Aspekte der Maßnahmen zur Anpassung der Produktionsraten im Detail darstellen, wird innerhalb der Dissertation nicht weiter behandelt. Dazu sind die verschiedenen individuellen Ausprägungen möglicher Maßnahmen in Abhängigkeit von den technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen sowie den Strukturen der Lieferkette und des Marktes zu vielfältig.

Um eine bestimmte Lieferkette effizient planen und steuern zu können, ist es jedoch unerlässlich, dass

- a) die Palette der jeweils möglichen Maßnahmen zur Anpassung der Produktionsraten,
- b) ihre Kostenfunktionen und
- c) die erforderlichen Vorlaufzeiten für deren Umsetzung bekannt sind.

Aus diesen Randbedingungen ergibt sich für jede Lieferkette ein *Aktionsraum* möglicher Anpassungen der Produktionsraten, der für Planung und Steuerung genutzt werden kann.

#### 4.2.1.2 Kostenfunktionen der Strategiepalette „Anpassung der Produktionsraten“

Unter Kostenfunktionen werden in diesem Abschnitt Funktionen verstanden, deren unabhängige Variable die Beschäftigung (bzw. dem Auslastungsgrad) und deren abhängige Variable die Kosten sind. Es geht also um die Frage, wie Kosten in Abhängigkeit von der Beschäftigung verlaufen<sup>218</sup>.

Im allgemeinen ist festzustellen, dass Verläufe von Kostenfunktionen sehr unterschiedlich ausgeprägt sein können. Beispielsweise stellen Wöhe und Döring zu möglichen Formen von Kostenfunktionen folgendes fest: „Grundsätzlich sind lineare, progressive, degressive, s-förmige als auch jede andere Form von Gesamtkostenverläufen denkbar.“<sup>219</sup> Auch Lechner et al. weisen darauf hin, „[...]“, dass es letztlich unmöglich sei, Theorien über Gesamtkostenverläufe oder Stückkostenverläufe mit Anspruch auf **allgemeine** Gültigkeit zu entwickeln, [...].“<sup>220</sup> Überdies stellen Lechner et al. fest, dass die Übertragbarkeit von theoretischen Überlegungen zu möglichen Verlaufsformen davon abhängt, inwieweit die Realität mit den Annahmen übereinstimmt, die für die Ableitung von Kostenkurven getroffen wurden<sup>221</sup>.

Daraus wird deutlich, dass Kostenfunktionen für die einzelne Fertigungseinheit oder die einzelne Lieferkette *individuell* erhoben werden müssen. Jedoch treten im Zusammenhang mit angewandtem Forecasting unabhängig von den individuellen Verläufen drei Schlüsselfragen auf, die im folgenden anhand von Musterkurven, die aus

<sup>218</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 396 ff. und Wöhe und Döring, 1996, S. 491 ff.

<sup>219</sup> Wöhe und Döring, 1996, S. 528.

<sup>220</sup> Lechner et al., 1996, S. 412 f.

<sup>221</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 421.

Lechner et al.<sup>222</sup> entnommen wurden, diskutiert werden. Im einzelnen handelt es sich dabei um die folgenden drei Fragen:

- 1) Welcher Beschäftigungsgrad bringt den maximalen Gesamtgewinn?
- 2) Wie verhält sich die Kostenkurve im Nahbereich des Beschäftigungsgrads, bei dem sich der maximale Gesamtgewinn einstellt?
- 3) Unter welchen Umständen rechnet sich eine zumindest zeitweilige Stilllegung von Aggregaten?

Das *erste* der drei Musterkurvensets, die im folgenden im Hinblick auf die drei oben angeführten Fragestellungen diskutiert werden, ist in Abb. 4.1 dargestellt. Abb. 4.1 wurde aus Lechner et al. entnommen und ist in Anlehnung an Mellerowicz<sup>223</sup> bzw. entsprechend dem *Ertragsgesetz* erstellt.

In Abb. 4.1 sind die fixen Kosten als Konstante (völlige Unabhängigkeit von der Beschäftigung) und die Erlöse als lineare Funktion der Beschäftigung aufgetragen. Die Gesamtkosten ergeben sich als Summe der fixen und der variablen Kosten. Die variablen Kosten nehmen in Abhängigkeit von der Beschäftigung einen S-förmigen Verlauf. Dieser S-förmige Verlauf ergibt sich daraus, dass die variablen Kosten bei niedrigen und vor allem mittleren Beschäftigungsgraden weniger stark steigen als bei hohen Beschäftigungsgraden. Die große Steigung der Kostenkurve bei hohen Beschäftigungsgraden spiegelt Kostenanteile wider, die in der Literatur als *überproportional* bezeichnet werden. Überproportionale Kostenanteile sind beispielsweise durch Überstunden, für die erhöhte Löhne zu bezahlen sind, bedingt<sup>224</sup>.

Bzgl. der drei oben angeführten *Schlüsselfragen* ist Folgendes festzustellen: Ein Gewinn ergibt sich *nur* für jene Beschäftigungsgrade, für die die Gesamtkostenkurve unter der Erlösgeraden liegt; also zwischen einer bestimmten Mindestbeschäftigung und einer bestimmten Maximalbeschäftigung. Der maximale Gesamtgewinn ergibt sich bei jener Beschäftigung, bei der die Gesamtkostenkurve gegenüber der Erlöskurve den größten Abstand nach unten aufweist. Diese Beschäftigung muss in der Planung angestrebt werden.

Wie stark man von diesem „optimalen“ Beschäftigungsgrad ohne größere Auswirkungen auf den Gesamtgewinn abweichen kann, hängt vom Verlauf der Gesamtkostenkurve im Nahbereich des optimalen Beschäftigungsgrades ab. Bleibt der Abstand zur Erlöskurve in einem bestimmten Intervall weitgehend gleich groß, so kann man den Beschäftigungsgrad innerhalb dieses Intervalls variieren, ohne dass sich der Gesamtgewinn signifikant verändert. Eine zumindest zeitweilige Stilllegung von Aggregaten ist im Hinblick auf die Kosten dann von Vorteil, wenn die Beschäftigung soweit sinkt, dass die variablen Kosten größer oder gleich den Erlösen sind (Deckungsbeiträge negativ oder Null).

---

<sup>222</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 396 ff.

<sup>223</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 396 ff.

<sup>224</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 396 ff.

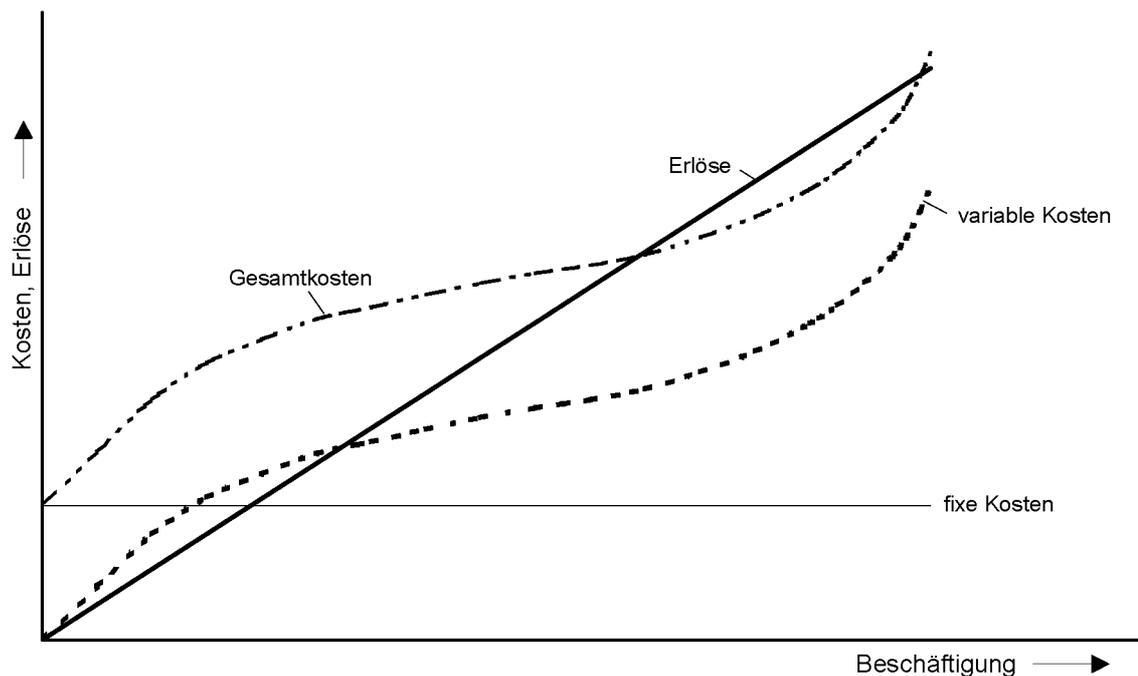


Abb. 4.1: Kostenfunktionen nach Mellerowicz bzw. nach dem Ertragsgesetz; Quelle: Lechner et al., S. 402.

Das zweite Musterkurvenset ist in Abb. 4.2 wiedergegeben. Auch diese Abbildung wurde aus Lechner et al. entnommen und zeigt in Anlehnung an Gutenberg einen Gesamtkostenverlauf mit linearem Charakter.

In Abb. 4.2 werden fixe Kosten und sprungfixe Kosten unterschieden. Die fixen Kosten sind wie in Abb. 4.1 konstant bzw. unabhängig von der Beschäftigung. Der Verlauf der sprungfixen Kosten ergibt sich daraus, dass bei zunehmender Beschäftigung immer wieder zusätzliche betriebliche Teileinheiten eingesetzt werden, wobei jede Teileinheit für sich nicht mehr weiter teilbar ist. Die Stufen im Verlauf der sprungfixen Kosten sind umso breiter, aus je weniger nicht mehr weiter teilbaren Teileinheiten sich der Betrieb zusammensetzt und umso schmaler, aus je mehr Teileinheiten der Betrieb besteht. Die variablen Kosten verhalten sich linear zur Beschäftigung. Die Gesamtkosten ergeben sich als Summe der fixen und der variablen Kosten und zeigen damit einen linearen Charakter, der einzig durch die aus den sprungfixen Kosten resultierenden Sprünge unterbrochen ist. Die Richtigkeit der Annahme linearer Gesamtkostenverläufe wurde im übrigen empirisch belegt<sup>225</sup>.

<sup>225</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 404 ff.

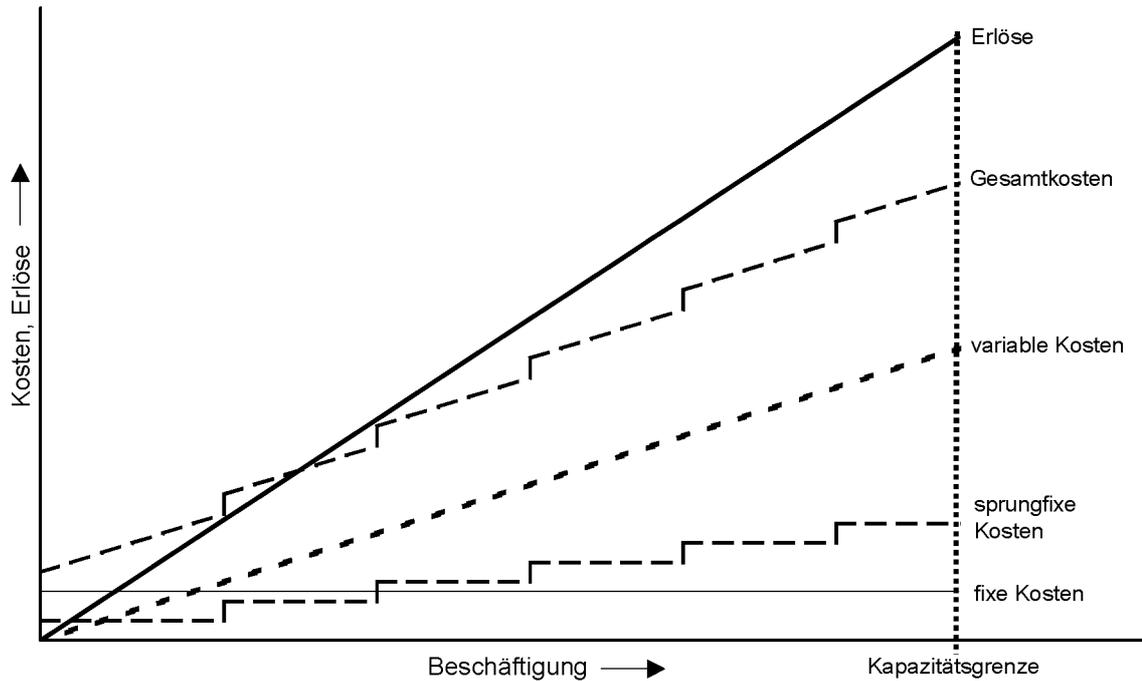


Abb. 4.2: Kostenfunktionen bei Gesamtkostenverlauf mit linearem Charakter nach Gutenberg; Quelle: Lechner et al., S. 412.

Bzgl. der drei oben angeführten *Schlüsselfragen* ist folgendes festzustellen: Ein Gewinn ergibt sich ab einem Mindestbeschäftigungsgrad. Der maximale Gewinn stellt sich bei *voller* Ausnutzung der maximalen realisierbaren Produktionsraten ein. Sieht man von den Sprüngen im Gesamtkostenverlauf ab, so verringert sich der Gewinn mit abnehmender Beschäftigung. Lässt sich die Beschäftigung innerhalb einer nicht mehr teilbaren Teileinheit variieren, so sollte deren Kapazität zur Maximierung des Gesamtgewinns jedoch voll genutzt werden. Eine zumindest zeitweilige Stilllegung von Aggregaten ist dann von Vorteil, wenn die Beschäftigung so weit sinkt, dass die Summe aus sprungfixen und variablen Kosten größer oder gleich den Erlösen sind.

Das *dritte* Musterkurvenset – es ist das letzte, das hier betrachtet wird - ist in Abb. 4.3 wiedergegeben. Abb. 4.3 wurde nach einer Zahlentabelle aus Lechner et al.<sup>226</sup> erstellt und zeigt in Anlehnung an Heinen einen *linear-progressiven Gesamtkostenverlauf*.

Abb. 4.3 unterscheidet sich von Abb. 4.2 im Grunde nur im Verlauf der variablen Kosten. Die Kurve der variablen Kosten verläuft bei niedrigen Beschäftigungsgraden linear, ihre Steigung beginnt sich aber ab einer bestimmten Beschäftigung zunehmend zu vergrößern<sup>227</sup>.

<sup>226</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 418 f.

<sup>227</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 413 ff.

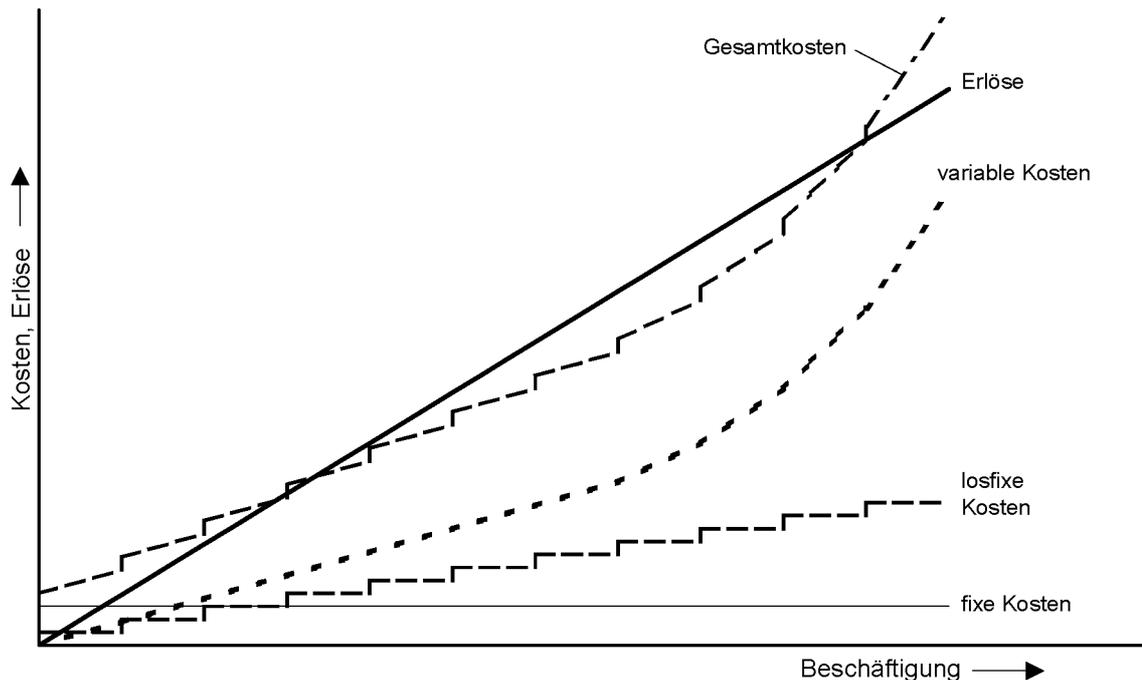


Abb. 4.3: Kostenfunktionen bei linear-progressivem Gesamtkostenverlauf nach Heinen; Quelle: die Abb. wurde anhand einer Zahlentabelle aus Lechner et al. erstellt<sup>228</sup>.

Bzgl. der drei oben angeführten *Schlüsselfragen* ist folgendes festzustellen: Der maximale Gewinn stellt sich ebenso wie in Abb. 4.1 bei jener Beschäftigung ein, bei der die Gesamtkostenkurve gegenüber der Erlöskurve den größten Abstand nach unten aufweist. Eine Variation ist allerdings insofern möglich, dass die Steigung der Gesamtkosten zwar zunimmt, aber auch bis zum Punkt der vollen Ausnutzung der maximalen realisierbaren Produktionsraten *kleiner* bleibt als die Steigung der Erlösgeraden (die Grenzkosten bleiben unter den Stückerlösen; vgl. auch letzter Absatz des Abschnitts 4.2.1.2). Für diesen Fall würde sich die ideale Beschäftigung im Hinblick auf die Kosten auch bei linear-progressivem Gesamtkostenverlauf bei *voller* Ausnutzung der maximalen realisierbaren Produktionsraten ergeben (wie bei linearem Gesamtkostenverlauf). Bzgl. einer zumindest zeitweiligen Stilllegung von Aggregaten verhält sich der in Abb. 4.3 dargestellte Kostenverlauf analog jenem, der in Abb. 4.2 dargestellt ist. Die Bandbreite möglicher Beschäftigungsvariationen im Nahbereich der Sollbeschäftigung ohne signifikante Auswirkungen auf die Kosten hängt wiederum davon ab, wie stark sich der Abstand zwischen der Erlösgeraden und der Gesamtkostenkurve im Bereich der Sollbeschäftigung verändert.

Abschließend sei noch einmal bemerkt, dass die oben erläuterten Kostenfunktionen keine allgemeine Gültigkeit beanspruchen können. Abgesehen davon, dass Verlaufsformen in der Praxis individuell erhoben werden müssen, ist auch die Frage zu stellen, ob Fixkosten tatsächlich als unvermeidbar anzusehen sind<sup>229</sup> und Kostenverläufe durch geeignete Maßnahmen verbessert werden können. Letzteres kann z. B. bei Vollausslastung erfolgen, indem man Überstunden (linear-progressiver Verlauf) durch

<sup>228</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 418 f.

<sup>229</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 397.

Personalaufstockung (linearer Verlauf) vermeidet. Auch ein linearer Verlauf der Erlöse wird in der Praxis nicht unbedingt auftreten.

Bzgl. der Vergabe von Aufträgen an Externe oder der Produktion an Standorte, die geographisch sehr weit vom eigentlich vorgesehenen Standort entfernt sind (erhöhte Transportkosten), bleibt festzustellen, dass sich häufig ein linear-progressiver oder ein S-förmiger Verlauf der Gesamtkosten einstellen wird.

Als *entscheidendes Kriterium* dafür, ob Erhöhungen von Produktionsraten durch derartige Maßnahmen einen erhöhten Gewinn erbringen, gilt ein Vergleich der Grenzkosten mit den Stückelerlösen. Unter *Grenzkosten* versteht man jene Kosten, die „[...]bei einer Ausdehnung der Produktion durch eine zusätzliche Produktionseinheit auflaufen.“<sup>230</sup>

Damit ergibt sich folgendes Kriterium: Bei einer Erhöhung der Produktionsraten durch wie immer geartete Maßnahmen erhöht sich der Gesamtgewinn dann, wenn die Grenzkosten *unter* den zugehörigen Stückelerlösen liegen. Sind die Grenzkosten höher als die zugehörigen Stückelerlöse verringert sich der Gesamtgewinn.

#### 4.2.1.3 Risiken der Strategiepalette „Anpassung der Produktionsraten“

Wird die Lieferkette *ausschließlich* durch Variationen der Produktionsraten gesteuert, so gibt es Fertigfabrikatslager *nur* für jene Produkte, welche Decoupling-Punkte aufweisen, die hinter dem Start des letzten Fertigungsschritts liegen. Diese Fertigfabrikatslager werden überdies *nur* soweit gefüllt, dass die Forecastbedarfe (Forecast der echten Kundenbedarfe) und ein geeigneter Puffer zum Ausgleich von Forecastfehlern abgedeckt werden. Das heißt, dass es im Bereich der realisierbaren Produktionsraten eine *nahezu perfekte Koppelung* der Produktionsraten mit dem Bedarfsverlauf gibt.

Bei linear-progressivem und S-förmigem Gesamtkostenverlauf wird man damit nur schwerlich ein optimales Kostenergebnis erzielen, da sich die Sollbeschäftigung, unter welcher der maximale Gewinn eintritt, je nach Bedarfsverlauf nur in Ausnahmefällen einstellen wird. Anders verhält sich dieser Aspekt bei linearem Gesamtkostenverlauf: Da die Grenzkosten bei linearem Gesamtkostenverlauf konstant sind, bleibt der Gesamtgewinn unter Vorgabe einer bestimmten Absatz- bzw. Produktionsmenge auch bei einer wie immer gearteten Variation der Produktionsraten konstant.

Eine Steuerung von Lieferketten, die ausschließlich auf Basis einer weitgreifenden Variation von Produktionsraten erfolgt, erscheint deshalb nur bei linearem Gesamtkostenverlauf sinnvoll zu sein. Darüber hinaus besteht unabhängig von der Art des Gesamtkostenverlaufs das Risiko, dass das Marktpotential die Maximalkapazität überschreitet und dann *nicht* ausgeschöpft werden kann. Ist man bereit, Lagerkosten in Kauf zu nehmen, kann dieses Risiko durch Lagerhaltung verringert werden (vgl. Abschnitt 4.2.2).

*Forecastfehler* bringen für die Strategie „Anpassung der Produktionsraten“ insofern Probleme, als Fertigungskapazitäten im Vorfeld über- oder unterdimensioniert werden. Eine Überdimensionierung führt zu übermäßigen Leerkosten, eine

---

<sup>230</sup> Lechner et al., 1996, S. 401.

Unterdimensionierung zu unzureichender Lieferbereitschaft und damit zu Deckungsbeitragsverlusten.

## 4.2.2 Variation der Lagermengen

Wie bereits unter 4.2.1 erläutert wird die Variation der Lagermengen neben der Variation der Produktionsraten häufig als eine der *beiden wichtigsten* Strategien zur Bewältigung fluktuierender Bedarfe gesehen<sup>231</sup>.

Doch obwohl die Möglichkeiten und Vorteile dieser Strategie breite Resonanz finden, wird dem gegenüber vor allem im Zusammenhang mit Just in Time Konzepten auch vielfach auf ihre Nachteile und die mit ihr verbundenen Probleme hingewiesen.

Die Strategie „Variation der Lagermengen“ zeigt also eine *Ambivalenz*, die Bonney et al. sehr treffend wie folgt charakterisieren:

„Inventory can be used to shorten customer lead time, provide organisational flexibility, store capacity that would otherwise be lost and buffer fluctuations between input and output rates. Buffering includes buffering fluctuations in supply, production and demand and also allowing different input and output batch sizes and flow rates at a stock location. On the other hand, holding inventory also has disadvantages. It can tie up working capital and space, the inventories can suffer from obsolescence, deterioration and shrinkage, and the presence of inventories can lead to administrative complexity and mask inefficiencies.“<sup>232</sup>

Den anerkannten Vorteilen der Variation der Lagermengen stehen also auch einige Nachteile gegenüber.

Im Folgenden werden zwei grundsätzlich verschiedene Ausprägungen des Ausgleichs zwischen Bedarfs- und Produktionsraten durch die Variation von Lagermengen unterschieden:

- a) die Lagerhaltung von Produkten, für welche *keine* Kundenaufträge vorliegen und
- b) die *vorzeitige* Produktion und damit verknüpfte Lagerhaltung von Produkten für bereits *existierende* Kundenaufträge.

Ausprägung b) wird in der einschlägigen Literatur bisher kaum reflektiert. Vielmehr wird die Produktion auf Lager nahezu ausschließlich im Zusammenhang mit Ausprägung a) gesehen<sup>233</sup>.

Wie sich in der Praxis der zentralen Logistik von RHI-Refractories gezeigt hat, hat Ausprägung b) gegenüber Ausprägung a) aber bestimmte Vorteile. Naturgemäß kann Ausprägung b) allerdings nur dann angewandt werden, wenn passende Kundenaufträge vorliegen (ausreichende Auftragsmengen mit Lieferterminen außerhalb des üblichen Vorgriffshorizonts).

---

<sup>231</sup> Vgl. de Haan et al., 2001; van der Vorst et al., 1998, S. 488; Heinen 1991, S. 481 f.

<sup>232</sup> Bonney et al., 2003, S. 249 f.

<sup>233</sup> Vgl. de Haan et al., 2001.

#### 4.2.2.1 Charakteristika der Strategiepalette „Variation der Lagermengen“

Das wesentliche Merkmal der Strategiepalette „Variation der Lagermengen“ besteht darin, dass die Produktionsraten von den Bedarfsraten (bzw. dem Bedarfsverlauf) *entkoppelt* werden. Eine sehr anschauliche Ausprägung dieser Strategie besteht darin, die Produktionsraten konstant zu halten.

In Abb. 4.4 ist ein Beispiel dieser Art dargestellt. Die Produktionsrate ist konstant mit 100 Mengeneinheiten pro Zeitintervall festgelegt (vgl. Abb. 4.4a). Daraus ergibt sich der lineare Verlauf der kumulierten Produktionsmenge in Abb. 4.4b. Der dargestellte Bedarfsverlauf repräsentiert Istdaten einer Hauptproduktionslinie eines Produktionswerkes von RHI-Refractories; wobei das betrachtete Zeitfenster exakt zwölf Monate umfasst (gegenüber den Istdaten wurde lediglich die Skalierung der Mengeneinheiten verändert). In Abb. 4.4a sind die Bedarfe für das einzelne Zeitintervall, in Abb. 4.4b der kumulierte Bedarfsverlauf wiedergegeben. Aus der Differenz zwischen der kumulierten Bedarfsmenge und der kumulierten Produktionsmenge zuzüglich des Anfangsbestands ergibt sich der Verlauf des Lagerbestands über das betrachtete Zeitfenster. Innerhalb des betrachteten Zeitfensters erreicht der Lagerbestand sein Minimum am Ende von Zeitintervall 5 und sein Maximum am Ende von Zeitintervall 9 (Abb. 4.4b).

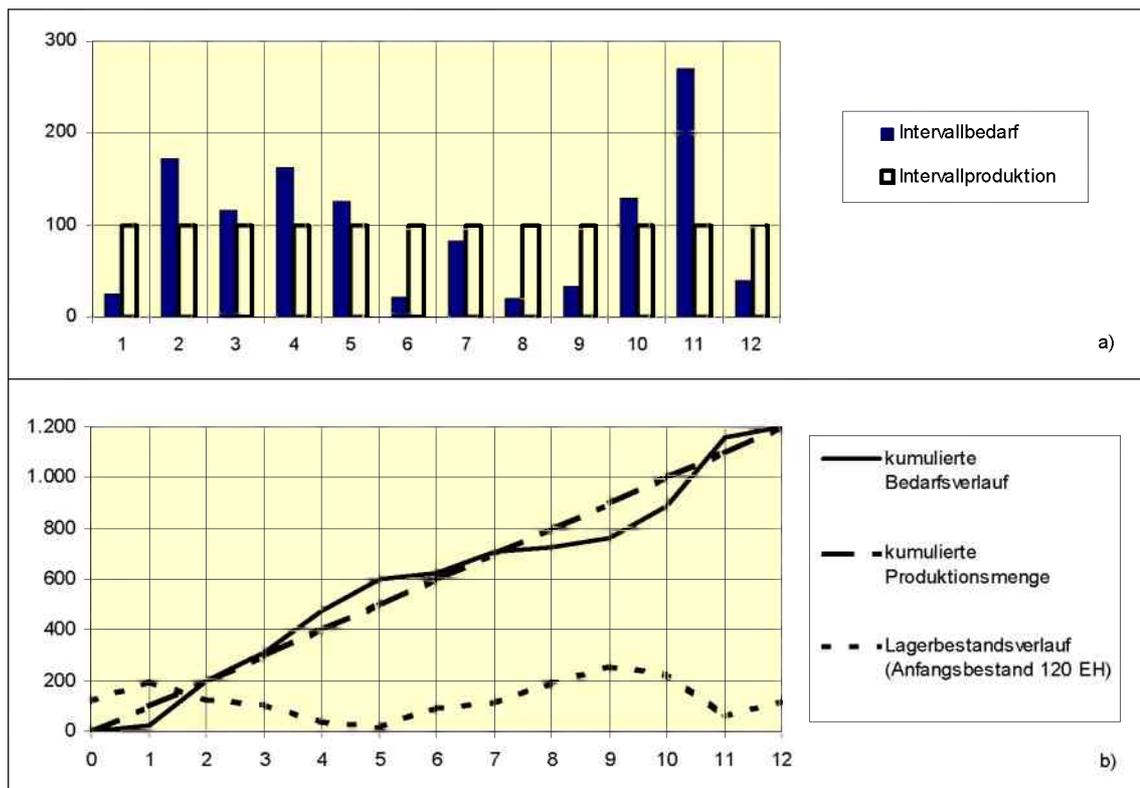


Abb. 4.4: Bestandsverlauf bei konstanter Produktionsrate und schwankendem Bedarf (Mengeneinheiten über Zeiteinheiten); Quelle: Daten von RHI-Refractories in eigener Darstellung.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass in den Zeitintervallen 1 bis 5 eine Bedarfsmenge abgedeckt wird, die *über* der Produktionsmenge desselben Zeitraumes liegt. Möglich wird das durch den Anfangsbestand von 120 Einheiten am Beginn des

betrachteten Zeitfensters. Bei Anwendung der Strategie „Variation der Lagermengen“ ist die maximal abdeckbare Bedarfsmenge innerhalb eines bestimmten Zeitfensters im Gegensatz zur Strategie „Variation der Bedarfsmengen“ also *nicht* zwangsläufig durch die erreichbaren Produktionsraten beschränkt; sie kann vielmehr durch entsprechende Lagerhaltung wesentlich darüber liegen.

Um die Strategie „Variation der Lagermengen“ in der Praxis anwenden zu können, muss

- a) festgelegt werden, *was* auf Lager produziert wird,
- b) die Lagerung der ausgewählten Materialien im Hinblick auf Alterung und Verderb über ausreichend lange Zeiträume grundsätzlich möglich sein und
- c) ausreichend Lagerraum zur Verfügung stehen.

Bezüglich der Festlegung dessen, was auf Lager gelegt werden soll, gibt es – wie bereits oben erwähnt – zwei Möglichkeiten.

Die **erste** der beiden Möglichkeiten besteht darin, Artikel zu produzieren, für die es *noch keine* Kundenaufträge gibt, deren Absatz aber als weitestgehend gesichert angesehen werden kann. Letzteres bedeutet überdies, dass es möglich sein muss, für diese Artikel ausreichend genaue Forecasts zu erstellen. Sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, so besteht die Gefahr, dass die auf Lager gelegten Artikel signifikant *länger* als geplant gelagert werden müssen. Schlimmstenfalls veralten oder verderben sie und können nicht mehr verkauft werden. Gibt es keine Artikel, deren Absatzraten mit ausreichender Sicherheit vorhergesagt werden können, so ist die Produktion von Artikeln ohne Kundenaufträge grundsätzlich nur unter hohem Risiko möglich und daher wohl nur in Ausnahmesituationen sinnvoll.

Bezüglich der Produktion von Fertigfabrikaten, deren Decoupling-Punkte vor dem Start des letzten Fertigungsschritts liegen und die damit *wegen* der Lage ihrer Decoupling-Punkte gleichfalls produziert werden, *ohne* dass dafür Kundenaufträge vorliegen, ist Folgendes festzustellen: Wie schon unter Abschnitt 4.1.2.3 erläutert, würde man Läger bei *ausschließlicher* Anwendung der Strategie „Variation der Produktionsmengen“ *nur* soweit auffüllen, dass die Forecastbedarfe zuzüglich eines Sicherheitspuffers zum Ausgleich von Forecastfehlern abgedeckt sind (enge Koppelung von Bedarfs- und Produktionsraten). Erst wenn man Läger von Fertigfabrikaten, deren Decoupling-Punkte vor dem Start des letzten Produktionsschritts liegen, *über* dieses Maß *hinaus* füllen würde, kann man davon sprechen, dass diese Läger zur Glättung der Produktion dienen; also die Strategie „Variation der Lagermengen“ angewandt wird.

Die **zweite** der möglichen Ausprägungen der Strategie „Variation der Lagermengen“ besteht darin, die Produktion von bereits *vorliegenden* Kundenaufträgen *früher* auszuführen, als das im Hinblick auf die bestätigten Liefertermine erforderlich wäre. Damit ist diese Variante nur dann ausführbar, wenn Kundenaufträge mit ausreichenden Auftragsmengen vorliegen. Im Fall von Waren begrenzter Haltbarkeit müssen die Liefertermine überdies innerhalb von Zeithorizonten liegen, die kurz genug sind, um den Verderb der Waren ausschließen zu können. Gegenüber der Produktion von Artikeln ohne Kundenaufträge hat man den *Vorteil*, dass man weitgehend sicher sein kann, dass die Waren auch tatsächlich abgesetzt werden. Probleme können allerdings durch Auftragsstornierungen oder Verschiebungen der Auslieferungstermine durch den Kunden auftreten. Dieses Risiko hat man zwar immer, wenn man für Kundenaufträge fertigt, durch die vorgezogene Produktion vergrößert es sich allerdings.

In Abb. 4.5 ist das Beispiel eines Bedarfsmusters aus der Praxis der zentralen Logistik von RHI-Refractories gegeben, das zu einer Vorproduktion in der oben skizzierten Form geführt hat. Die Abbildung zeigt den Verlauf der kumulierten Belegung und der kumulierten Produktionsleistung für einen bestimmten Engpass über einen Zeitraum von mehr als sechs Monaten. Die weniger steilen Abschnitte im Verlauf der kumulierten Produktionsleistung sind durch Reparaturen von Fertigungsaggregaten und durch Urlaubszeiten bedingt. Aus dem Vergleich der beiden Kurven wird ersichtlich, dass bis zum 08.08.04 mehr als drei Wochen in den Vorgriff gegangen wird (die Materialien sind also mehr als drei Wochen vor dem Auslieferungstermin fertig und versandbereit). Dadurch erreicht man, dass alle bestätigten Liefertermine gehalten werden können *und überdies* Kapazität für zusätzliche Aufträge frei bleibt; die verfügbare Kapazität wird also in Form von Lagermaterialien gespeichert.

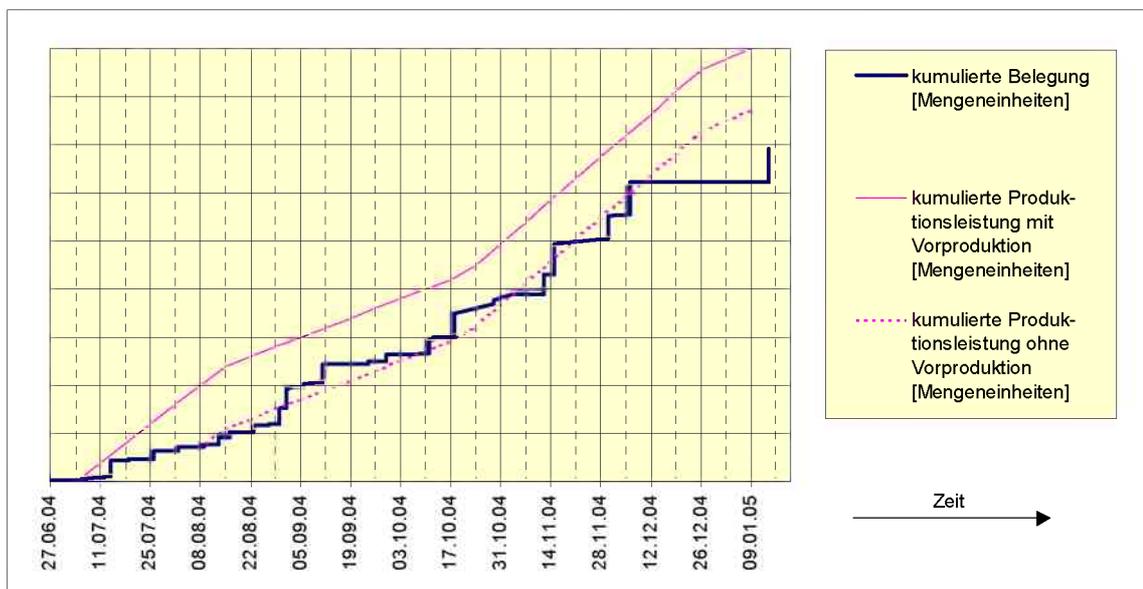


Abb. 4.5: ein Beispiel für eine Situation, in der es tatsächlich zu Vorproduktion auf Lager gekommen ist; das Diagramm zeigt Mengeneinheiten über Zeiteinheiten. Quelle: Daten von RHI-Refractories in eigener Darstellung.

Hätte man nicht vorproduziert und sich mit den Produktionsraten exakt an den Bedarfsverlauf *bis* zum 08.08. gehalten, so wäre die kumulierte Produktionsleistung ab dem 09.08. entlang der strichlierten Linie verlaufen. Damit wären a) einige Liefertermine nicht zu halten gewesen und b) über Monate hinweg keine frei verfügbare Kapazität mehr geblieben.

#### 4.2.2.2 Kostenfunktionen der Strategiepalette „Variation der Lagermengen“

Im allgemeinen entstehen durch Lagerhaltung folgende Arten von Kosten<sup>234</sup>:

- Zinskosten für das gebundene Kapital,
- Kosten für Lagerräume,

<sup>234</sup> Vgl. Wöhe und Döring, 1996, S. 552; Heinen 1991, S. 517 f.

- Kosten für die Verwaltung, Erhaltung und Pflege der Vorräte,
- Kosten für Bestandswagnisse (Schwund, Verderb und Veralterung) und Versicherungskosten.

Für die Berechnung der Lagerkosten wird zumeist versucht, die Kosten der Lagerhaltung ebenso proportional wie die Kosten der Kapitalbindung zu quantifizieren. Daraus ergibt sich ein *Lagerkostensatz* mit der Einheit Prozent pro Jahr, der sich auf den Lagerwert bezieht. Dieser Lagerkostensatz enthält *alle* durch die Lagerhaltung anfallenden Kosten<sup>235</sup>. Liegt der durchschnittliche Lagerwert in einem Kalenderjahr beispielsweise bei € 100.000.000,- und der Lagerkostensatz bei 13%/Jahr, so ergeben sich die durch die Lagerhaltung angefallenen Gesamtkosten in diesem Kalenderjahr mit € 13.000.000,-.

#### 4.2.2.3 Risiken der Strategiepalette „Variation der Lagermengen“

Werden Lagermengen zu *hoch* angesetzt, führt das zu Lagerkosten, welchen kein Nutzen gegenübersteht. Überdies können Lagerbestände, deren Liegedauern hinsichtlich ihrer Haltbarkeit unterschätzt wurden, veralten oder verderben.

Setzt man Lagermengen dem gegenüber zu *niedrig* an, so entstehen zu niedrige Lieferbereitschaftsgrade, was letztlich zu Deckungsbeitragsverlusten führt.

### 4.2.3 Steuerung der Bedarfsmenge und der Bedarfsverteilung

Der grundlegende Unterschied zwischen der Strategiepalette „Steuerung der Bedarfsmenge und der Bedarfsverteilung“ und den oben erläuterten Strategiepaletten „Variation der Produktionsraten“ und „Variation der Lagermengen“ besteht darin, dass man nicht versucht, sich reagierend auf vorgegebene Bedarfsverläufe einzustellen, sondern die Bedarfsverläufe *aktiv* beeinflusst.

Die in diesem Zusammenhang wesentlichen Aktionsmöglichkeiten sind durch die *Instrumente der Absatzpolitik* gegeben. Darüber hinaus kann man versuchen, bestätigte Liefertermine bereits bestehender Aufträge zu seinem Vorteil zu verändern oder bereits in der Angebotsphase Produkte, deren Verfügbarkeit nicht in ausreichendem Maße gegeben ist, durch solche zu substituieren, deren Lieferketten unterbelegt sind.

Eine weitere Möglichkeit der Bedarfsbeeinflussung besteht darin, dass man die den Kunden angebotenen Lieferzeiten variiert oder Aufträge ablehnt. Wie unter Kapitel 3 ausführlich erläutert, führen angebotene Lieferzeiten, die lang sind, tendenziell zu weniger Aufträgen und kleineren Bedarfsmengen bzw. angebotene Lieferzeiten, die kurz sind, zu mehr Aufträgen und größeren Bedarfsmengen.

---

<sup>235</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 348 und Wöhe und Döring, 1996, S. 553.

#### 4.2.3.1 Charakteristika der Strategiepalette „Steuerung der Bedarfsmenge und der Bedarfsverteilung“

Wie oben angeschnitten, lassen sich die Absatzmengen – und damit auch die einem bestimmten Unternehmen zukommenden Bedarfsmengen – durch die *Instrumente der Absatzpolitik* beeinflussen. Die Instrumente der Absatzpolitik werden in der Literatur auch als Marketinginstrumente bezeichnet und nach der gängigen Einteilung in Instrumente der Produkt-, Preis-, Kommunikations- und Distributionspolitik untergliedert<sup>236</sup>.

Die Möglichkeiten der kurzfristigen Beeinflussung der Bedarfsmenge sind vor allem durch die Instrumente der *Preis- und Kommunikationspolitik* gegeben<sup>237</sup>. Damit sind die Instrumente der Preis- und Kommunikationspolitik im Zusammenhang mit kurz- und mittelfristigem Forecasting von vorrangiger Bedeutung. Als absatzpolitische Instrumente der Preispolitik geben Wöhe und Döring den Preis, Rabatte und die Zahlungsbedingungen an; als jene der Kommunikationspolitik, die Werbung, die Verkaufsförderung und die Öffentlichkeitsarbeit.

Bzgl. einer detaillierten und umfassenden Erläuterung der absatzpolitischen Instrumente sei auf die einschlägige Literatur verwiesen<sup>238</sup>. Im Zusammenhang mit angewandtem short- und medium-term Forecasting ist festzustellen, dass der zentrale Aspekt aller Arten absatzpolitischer Instrumente durch die *Möglichkeit der Einflussnahme auf die Bedarfsmengen* gegeben ist. In Phasen schwacher Belegung wird man danach trachten, die Bedarfsmengen zu heben; in Phasen starker Belegung wird man versuchen, sie zu senken. Wobei das eigentliche Ziel in Phasen starker Belegung nicht darin bestehen wird, die Bedarfsmengen zu verkleinern, sondern *die Profite zu erhöhen* (z.B. durch zeitlich begrenzte Preisanhebungen).

Wie in Kapitel 3 erläutert, sind die Bedarfsmengen für das einzelne Unternehmen auch davon abhängig, inwieweit das Unternehmen in der Lage ist, die vom Kunden gewünschten (bzw. die für den Kunden erforderlichen) Lieferzeiten zu erreichen. Das bedeutet weiter, dass die Bedarfsmengen für das einzelne Unternehmen mit den Längen der den Kunden angebotenen Lieferzeiten variieren. Das Anbieten von langen Lieferzeiten führt also tendenziell zu kleineren Bedarfsmengen; das Anbieten von kurzen Lieferzeiten zu größeren Bedarfsmengen<sup>239</sup>.

Auf Basis dieses Zusammenhangs lässt sich die Bedarfsmenge durch Variation der dem Kunden angebotenen Lieferzeiten beeinflussen. Diese Strategie beinhaltet als Extremausprägung das Ablehnen von Kundenaufträgen, welche aufgrund starker Belegung nicht zum vom Kunden gewünschten Zeitpunkt geliefert werden können. Oke stellt diesbezüglich in Anlehnung an New et al. Folgendes fest: „Perhaps some businesses should, when necessary, take this strategy to heart but saying no to the wrong type of orders (which over-commit capacity) is a very hard thing for some managers to do.“<sup>240</sup>

Besondere Bedeutung kommt der Ablehnung von Kundenaufträgen dann zu, wenn

<sup>236</sup> Vgl. Wöhe und Döring, 1996, S. 634 und Heinen 1991, S. 674.

<sup>237</sup> Vgl. Wöhe und Döring, 1996, S. 734.

<sup>238</sup> Vgl. Wöhe und Döring, 1996, S. 631 ff.; Heinen 1991, S. 674 ff.; Lechner et al., 1996, 454 ff.

<sup>239</sup> Vgl. auch Oke, 2003, S. 86.

<sup>240</sup> Oke, 2003, S. 86.

- a) Aufträge für den Fall von Lieferterminverzögerungen mit Strafzahlungen oder Preisabschlägen verbunden sind, oder
- b) gute Aussicht darauf besteht, dass man bei Kapazitätsknappheit Aufträge mit *besseren* relativen Deckungsbeiträgen akquirieren kann.

Eine weitere Möglichkeit zur aktiven Beeinflussung der Bedarfsverläufe besteht darin zu versuchen, bereits bestätigte Liefertermine von bestehenden Aufträgen zum eigenen Vorteil zu verändern. Dadurch wird nicht die Bedarfsmenge sondern deren *zeitliche Verteilung* verändert. Umgesetzt kann diese Strategie auf zwei Arten werden:

- a) Man gibt Terminänderungswünschen von Kunden statt, sofern sie einem nützen. Man wird also in Phasen schwacher Auslastung Wünschen nach Lieferzeitverkürzungen stattgeben bzw. Verschiebungen von Lieferterminen in die Zukunft in Phasen starker Belegung akzeptieren. Diese Vorgangsweise setzt eine gute Kommunikation zwischen dem Verkauf und der Produktionsplanung und -steuerung voraus.
- b) Man geht aktiv auf Kunden zu, hinterfragt die bestätigten Liefertermin und bittet um Umstellungen.

Letzteres erfordert Fingerspitzengefühl, kann jedoch dann zum Erfolg führen, wenn sich die Bedarfsituation beim Kunden verändert hat oder dem Kunden glaubhaft gemacht werden kann, dass ein, in der Phase der Auftragsterminierung aus Sicherheitsgründen berücksichtigter, Zeitpuffer nicht weiter erforderlich ist. Daraus können sich Win-Win-Situationen ergeben, aus welchen sowohl der Lieferant wie auch der Kunde Vorteile ziehen.

Abgesehen von den Instrumenten der Absatzpolitik können aktive Maßnahmen der Bedarfsbeeinflussung aber auch bereits in der *Angebotsphase* gesetzt werden, indem man jene Materialien, deren Verfügbarkeiten durch stark belegte Arbeitsplätze geprägt sind, durch solche ersetzt, deren Produktionslinien unterbelegt sind. Substitutionsstrategien dieser Art setzen einmal mehr enge Zusammenarbeit zwischen Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf voraus.

#### 4.2.3.2 Kostenfunktionen der Strategiepalette „Steuerung der Bedarfsmenge und der Bedarfsverteilung“

Im Hinblick auf die *absatzpolitischen Instrumente* ist festzustellen, dass der Anwendungsbereich quantitativer Planungsmöglichkeiten in der Marketing-Praxis stark eingeschränkt ist und nichtquantitative Beurteilungen im Vordergrund stehen. Die Ursachen dafür liegen darin, dass Marktreaktionsfunktionen nicht mit ausreichender Sicherheit bekannt sind und die verschiedenen absatzpolitischen Instrumente in großer Vielfalt miteinander kombiniert werden können<sup>241</sup>.

Bezüglich der *Preispolitik* lassen sich jedoch einige konkrete Richtlinien angeben. Als wichtigster Grundsatz gilt, dass die erzielten Preise *über längere Zeiträume* zumindest die gesamten Kosten abdecken müssen<sup>242</sup>. Senkungen der Preise auf eine Niveau, das zwischen den variablen und den vollen Kosten liegt, können in Phasen niedriger

<sup>241</sup> Vgl. Wöhe und Döring, 1996, S. 734 und Heinen 1991, S. 716.

<sup>242</sup> Vgl. Heinen, 1991, S. 1.282 f.

Beschäftigungsgrade jedoch sinnvoll sein<sup>243</sup>. Wenn man dadurch auch keine Deckung der Gesamtkosten erreicht, so wird doch ein Teil der Fixkosten abgedeckt. Verglichen mit dem Fall, dass man Aufträge mit Preisen unter den Vollkosten nicht annehmen würde, erreicht man damit in Phasen niedriger Beschäftigungsgrade eine Ergebnisverbesserung. Vereinzelt kann es sogar sinnvoll sein, die Preise für einzelne Artikel oder Artikelsegmente, die Teil eines Komplettauftrages sind, unter die variablen Kosten zu senken, wenn der *Komplettauftrag* in Summe einen ausreichenden Deckungsbeitrag abwirft<sup>244</sup>.

Im Zusammenhang mit der *Variation der angebotenen Lieferzeiten* ist festzustellen, dass für Bedarfswfälle, die mit kurzen Lieferzeiten gewünscht sind, tendenziell höhere Preise zu erzielen sind als für solche, die mit langen bzw. auch von der Konkurrenz leicht zu realisierenden Lieferzeiten gewünscht sind<sup>245</sup>.

Die *Verschiebung von Lieferterminen* bereits bestätigter Aufträge kann durch erhöhten administrativen Aufwand zu Zusatzkosten führen. Dieses kommt vor allem dann zu tragen, wenn eine große Anzahl von Kleinaufträgen überprüft bzw. überarbeitet werden muss.

Bzgl. der Glättung der Bedarfsverläufe durch die Auswahl von Materialien im Abgleich mit der jeweiligen Belegungssituation bereits im Angebotsstadium kann im Hinblick auf die Kosten keine allgemein gültige Aussage gemacht werden. Für diese Strategie ist individuell zu prüfen, wie sich die mit Substitutionsprodukten verbundenen Herstell- und Transportkosten gegenüber den erzielbaren Preisen, die häufig von den Produkteigenschaften geprägt sein werden, für verschiedene Varianten darstellen.

#### 4.2.3.3 Risiken der Strategiepalette „Steuerung der Bedarfsmenge und der Bedarfsverteilung“

Bzgl. der *Preispolitik* stellen Wöhe und Döring fest, dass diese immer mit einem großen Risiko behaftet sei, weil sich die Reaktionen der Nachfrager und Konkurrenten nur schwer prognostizieren ließen. Deshalb bediene sich die Marketing-Praxis des absatzpolitischen Instruments „Preis“ mit größter Vorsicht<sup>246</sup>.

Auch das *Zurückweisen von Aufträgen* dürfte ein hohes Risiko für die Entwicklung der Beziehung zum Kunden beinhalten. Letzteres trifft auch auf das *aktive Hinterfragen* von bereits bestätigten Lieferterminen beim Kunden, mit der Bitte diese in die Zukunft verschieben zu dürfen, zu. Die *Bitte um Verkürzung von Lieferzeiten* in Phasen schwacher Auslastung sollte sich im Gegensatz dazu eher unproblematisch gestalten. Gänzlich ohne Risiko verläuft die *Genehmigung von Terminänderungswünschen*, die durch den Kunden an den Lieferanten herangetragen werden.

Zusammengefasst lassen sich aus Abschnitt 4.2 folgende Erkenntnisse ziehen:

---

<sup>243</sup> Vgl. Lechner et al., 1996, S. 780 und Heinen, 1991, S. 1.283.

<sup>244</sup> Vgl. Heinen et al. 1991, S. 1.284.

<sup>245</sup> Vgl. Ray und Jewkes, 2003, S. 2.

<sup>246</sup> Vgl. Wöhe und Döring, 1996, S. 681.

Grundsätzlich muss man unterscheiden zwischen einem *passiven* Reagieren auf Bedarfsentwicklungen und einer *aktiven* Gestaltung des Bedarfsverlaufs.

Die beiden *passiven* Strategiepaletten „Variation der Produktionsraten“ und „Variation der Lagermengen“ unterscheiden sich vor allem darin, dass die Variation der Produktionsraten *nur* dann sinnvoll eingesetzt werden kann, wenn die Kostenfunktionen bestimmte Charakteristika aufweisen. Die Variation der Lagermengen setzt dem gegenüber voraus, dass Produkte identifiziert werden können, deren Absatz innerhalb der Dauer ihrer Haltbarkeit als gesichert gilt.

Die Produktion auf Lager wird in der Literatur nahezu ausschließlich im Zusammenhang mit kundenanonymer Fertigung gesehen. Wie erläutert wurde, können aber auch Materialien aus bereits bestehenden Kundenaufträgen auf Lager produziert werden, indem ihre Produktionsstarttermine vorgezogen werden. Mit dieser Ausprägung der Strategie „Variation der Lagermengen“ kann auch dann auf Lager produziert werden, wenn es keine Artikel gibt, deren Absatz auch dann als gesichert gilt, wenn dafür keine Kundenaufträge vorliegen.

Bei ausschließlichem Einsatz der Strategie „Variation der Produktionsraten“ kann dann nicht mit den Bedarfsraten Schritt gehalten werden, wenn diese über die maximal realisierbaren Produktionsraten steigen. Mit der Strategie „Variation der Lagermengen“ ist das im Gegensatz dazu möglich, da Bedarfsspitzen über Lagermaterialien abgedeckt werden können. Lagermaterialien sind in diesem Zusammenhang als Kapazitätsspeicher zu sehen.

Die Risiken der beiden passiven Strategien bestehen darin, dass Überschätzungen der zukünftigen Bedarfe zu Kosten führen, welchen kein Nutzen gegenübersteht. Andererseits führen Unterschätzungen zu verschlechterten Servicegraden.

Die Möglichkeiten der *aktiven* Bedarfsbeeinflussung sind im Vergleich mit den passiven Strategien weiter gestreut. Es ist zu unterscheiden zwischen sehr einfachen und risikoarmen Strategien (wie beispielsweise dem selektiven Stattgeben von kundenseitigen Terminänderungswünschen) und Strategien, welche nur mit größtem Fingerspitzengefühl eingesetzt werden sollten (wie beispielsweise die Instrumente der Preispolitik). Auch sind die quantitativen Wirkungen der aktiven Strategien auf das Zielsystem schwieriger zu quantifizieren, als das für die passiven der Fall ist.

Welche der verfügbaren Strategien im Einzelfall zu einer besseren Zielerfüllung führen, muss individuell geprüft werden. Die Auswahl von passenden Strategien bzw. Strategiekombinationen wird jedoch häufig dadurch erleichtert werden, dass der Verlauf der Kostenfunktionen, die Haltbarkeit der Produkte und die Ausprägungen der Absatzmärkte Randbedingungen vorgeben, die zu einer signifikanten Einschränkung der Palette aussichtsreicher oder überhaupt realisierbarer Alternativen führen.

### **4.3 Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die Hauptfragestellungen der Dissertation**

Im ersten Teil von Kapitel 4 wurde ein Zielsystem zur Planung und Steuerung von Lieferketten im Kontext mit kurz- und mittelfristigem Forecasting deduktiv aus

übergeordneten, der Literatur entnommenen Zielen abgeleitet. Dieses Zielsystem beinhaltet sechs Parameter, wobei vier dieser sechs Parameter in der Regel in Form von Unternehmensbudgetdaten quantifiziert sind.

Im zweiten Teil von Kapitel 4 wurde die Palette aller zur Zielerreichung zur Verfügung stehenden Strategien erläutert. Im Mittelpunkt des Interesses standen dabei die Charakteristiken, die Kostenwirkungen und die Risiken der verschiedenen Strategien.

Für die drei Hauptfragestellungen der Dissertation ergeben sich daraus folgende Erkenntnisse und Konsequenzen:

- Der Einsatz eines Kriteriums, das es erlaubt, Forecastfehler möglichst frühzeitig zu erkennen (die Ausarbeitung eines solchen Kriteriums ist der Gegenstand der ersten Hauptfragestellung), führt in der Regel zu einer verbesserten Zielerfüllung (bzw. einem besseren Unternehmensergebnis).
- Forecastebensysteme mit organisationsübergreifendem Charakter (FCES-OCs) müssen entsprechend der zweiten Hauptfragestellung *alle Informationen enthalten*, die notwendig sind, um erfolgsversprechende Strategien aus der Palette aller möglichen Strategien auswählen zu können, was auch beinhaltet, dass mögliche Planungs- und Steuerungsmaßnahmen (bzw. Planungs- und Steuerungsstrategien) entsprechend ihrer Wirkungen auf die Zielerfüllung bewertet werden können müssen. Das heißt, dass durch FCES-OCs die Datenbasis dafür gegeben sein muss, dass einsetzbare Planungs- und Steuerungsmaßnahmen bzgl. der Parameter im Zielsystem bewertbar sind und die durch das Budget quantifizierten Zielparameter ebenfalls in den FCES-OCs geführt werden müssen.
- Durch die in Kapitel 4 erarbeitete Palette der möglichen Planungs- und Steuerungsstrategien ist der *Aktionsraum* für die Bearbeitung der dritten Hauptfragestellung gegeben, in der es darum geht, forecastbasierend Planungs- und Steuerungsmaßnahmen festzulegen, die zu einer zufriedenstellenden Zielerfüllung führen. Die erläuterten Planungs- und Steuerungsstrategien stellen also mögliche Handlungsalternativen mit unterschiedlichen Eigenschaften im Hinblick auf die Zielerfüllung dar.
- Kapitel 4 hat auch gezeigt, dass nicht nur Möglichkeiten dazu gefunden werden müssen, unter den einsetzbaren Alternativen jene Planungs- und Steuerungsmaßnahmen bzw. Kombination von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auswählen zu können, die den Erwartungswerten der Forecasts entsprechend zur besten Zielerfüllung führen, sondern auch Möglichkeiten dazu, die *mit Forecastfehlern verknüpften Risiken* bewerten zu können.

Zusammengefasst haben sich damit aus Kapitel 4 konkrete Forderungen und Randbedingungen für die Bearbeitung der zweiten und dritten Hauptfragestellung ergeben. Darüber hinaus wurde im Kontext mit den anwendbaren Planungs- und Steuerungsstrategien deutlich, dass große Forecastfehler in vielfältiger Weise zu Ineffizienzen führen, was unterstreicht, dass ein Kriterium zur Früherkennung von Forecastfehlern in der Regel zu einer verbesserten Zielerfüllung führt.

## 5 Die Festlegung und die Synchronisation von Forecastebenen

Im vierten Kapitel wurde ein *Zielsystem* zur Planung und Steuerung von industriellen Lieferketten gemischter Auftrags- und Lagerfertigung im Rahmen von kurz- und mittelfristigem Forecasting und die *Strategien*, die zur Erfüllung der Ziele dieses Zielssystems angewandt werden können, dargestellt. Dabei wurde stillschweigend vorausgesetzt, dass die angeführten Strategien in der Praxis auch umsetzbar sind.

Dazu ist festzustellen, dass im Hinblick auf den Planungs- und Steuerungsaufwand in der Regel nicht jeder Arbeitsplatz und jede Lagerposition *einzel*n berücksichtigt werden können<sup>247</sup>. Daraus folgt die Frage, wie man den Planungs- und Steuerungsprozess einerseits so simpel wie möglich gestaltet, ohne andererseits das im Hinblick auf das Zielsystem erforderliche Genauigkeitsniveau zu unterschreiten<sup>248</sup>. Min und Zhou stellen dazu treffend fest: "Without knowing which essential components of the supply chain must be managed, one cannot establish specific supply chain goals."<sup>249</sup>

Diese Frage ist eng mit der Festlegung von Forecastebenen für Forecastebenen-systeme mit organisationsübergreifendem Charakter (FCES-OCs) verknüpft. Denn auch bei der Festlegung der Forecastebenen für FCES-OCs geht es darum, eine gute Balance zwischen Aufwand bzw. Einfachheit und ausreichender Planungsgenauigkeit zu finden<sup>250</sup>. Jedenfalls müssen in FCES-OCs jene Aggregate, Arbeitsplätze und Materialien als eigene Forecastebenen berücksichtigt werden, welche für die Planung und Steuerung der Lieferkette auf Basis von Forecastdaten von entscheidender Bedeutung sind.

Wie in Kapitel 3 erläutert lassen sich bei günstigen Voraussetzungen, große Mengen von Endartikeln in einigen wenigen *aggregierten* Forecastebenen zusammenfassen, wobei die Möglichkeiten solcher Aggregationen von den *Strukturen der Lieferkette* abhängen. Dem gegenüber zeigt ein Blick in die Literatur, dass die Festlegung von aggregierten Forecastebenen bisher mit dem Schwerpunkt auf *statistischen* Analysen bearbeitet

---

<sup>247</sup> Vgl. Luczak, Eversheim, u. Schotten, 1998, S. 33.

<sup>248</sup> Vgl. Thomas u. Griffin, 1996, S.13 u. van der Vorst et al., 1998, S. 489.

<sup>249</sup> Min und Zhou, 2002, S. 235.

<sup>250</sup> Vgl. Fliedner, u. Lawrence, 1995, S. 199 sowie Fliedner, 1999, S. 1.133.

wurde. Überdies ist die Festlegung von aggregierten Forecastebenen *an sich* bisher wenig erforscht<sup>251</sup>.

Das Ziel des 5. Kapitels besteht daher darin zu zeigen, wie

- a) eine Festlegung von Forecastebenen *auf Basis der Lieferkettenstrukturen* und
- b) eine weitgehende *Reduktion* der erforderlichen Forecastebenen *unter Gewährleistung* ausreichender Planungsgenauigkeit im Hinblick auf das Zielsystem erreicht werden kann.

Darüber hinaus sollen die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, dass die verschiedenen Ebenen von FCES-OCs *synchronisiert* werden können. Zu diesem Zweck werden die Aufeinanderfolge und die zeitbezogenen Abhängigkeiten jener Aktivitäten, welche zwischen der Forecasterstellung und der Warenübergabe an den Kunden erfolgen, analysiert.

Im Detail ist das Kapitel wie folgt aufgebaut: unter 5.1 wird ein Überblick über die aus der Literatur zur Verfügung stehenden *Methoden* zur Erstellung von einfachen, in ihrer Funktionalität und Genauigkeit aber genügenden, Lieferkettenmodellen gegeben und jene Methoden ausgewählt, welche in der Dissertation zur Anwendung kommen.

Unter den ausgewählten Methoden nimmt die *Theory of Constraints* (TOC) eine Schlüsselrolle ein. Ihre im Zusammenhang mit den Hauptfragestellungen wesentlichen Grundzüge werden unter 5.2 umrissen.

Unter 5.3 wird ein Leitfaden dafür angegeben, wie festgelegt werden sollte, *welche* Forecastebenen in das FCES-OC aufgenommen werden.

Unter 5.4 folgt die grundlegende Analyse der Aufeinanderfolge und der zeitbezogenen Abhängigkeiten jener Aktivitäten, welche zwischen der Forecasterstellung und der Warenübergabe an den Kunden erfolgen.

Unter 5.5 werden die unter 5.1 bis 5.4 gefundenen Ergebnisse zusammengefasst.

Schließlich erfolgt unter 5.6 die Diskussion und Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf die drei Hauptfragestellungen.

## 5.1 Methoden zur Erstellung effizienter Lieferkettenmodelle

Der folgende Abschnitt besteht aus drei Teilen. Unter 5.1.1 wird die Literatur über Lieferkettenmodelle dahingehend untersucht, ob sie Methoden und Ansätze zur *Erstellung* effizienter Lieferkettenmodelle beinhaltet. Unter 5.1.2 werden Strategien und Verfahren im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung und unter 5.1.3 die ABC- und die XYZ-Analyse auf deren Nützlichkeit bzgl. der selben Problemstellung überprüft.

---

<sup>251</sup> Vgl. Fließner, 1999, S. 1.135.

### 5.1.1 Lieferkettenmodelle

Min und Zhou beschreiben eine Lieferkette „ [...] as an *integrated system* which synchronises a series of inter-related business processes in order to: (1) acquire raw material and parts; (2) transform these raw materials and parts into finished products; (3) add value to these products; (4) distribute and promote these products to either retailers or customers; (5) facilitate information exchange among various business entities (e.g. suppliers, manufacturers, distributors, third-party logistic providers, and retailers).“<sup>252</sup>

Diese von Min und Zhou beschriebenen Funktionsbereiche sind eng mit den in dieser Dissertation untersuchten Forecastprozessen verknüpft. Letzteres legt nahe, Modelle von Lieferketten zur Lösung der Hauptfragestellungen zu verwenden. Insbesondere Modelle für die *operative* Planung und Steuerung von Lieferketten könnten hilfreich sein. Modelle zur Behandlung strategischer Fragen - wie beispielsweise zur Konfiguration von Lieferketten - scheiden dem Rahmen der Dissertation entsprechend von vorne herein aus<sup>253</sup>.

Vor allem in den letzten zehn Jahren ist ein breites Spektrum an Lieferkettenmodellansätzen entstanden. In ihrer umfassend angelegten Arbeit „Supply chain modeling: past, present and future“ verwenden Min und Zhou zur Klassifizierung dieses breiten Spektrums in Anlehnung an zahlreiche weitere Autoren die Modellkategorien

- deterministic (non-probabilistic),
- stochastic (probabilistic),
- hybrid und
- IT-driven Models<sup>254</sup>.

*Deterministische* Modelle setzen bekannte sowie konstante Modellparameter voraus und sind daher für das in Kapitel 3 erläuterte und der Dissertation zugrunde liegende Umfeld fluktuierender Bedarfe nur bedingt geeignet.

An sich gut geeignet wären *stochastische* und *hybride* Modelle. Stochastische Modelle berücksichtigen Unsicherheits- und Zufallsparameter bzgl. Bedarfsverläufen, Lieferzeiten und Produktionsraten; hybride Modelle stellen Mischtypen aus stochastischen und deterministischen Modellen dar. Bei genauerer Untersuchung der unter diesen beiden Kategorien fallenden Modelle zeigt sich jedoch, dass sie kaum Ansatzpunkte dafür beinhalten, wie die Lieferkettenplanung und -steuerung *einfach und effizient* gestaltet werden kann. Auch sind viele Modellansätze auf unrealistisch simplifizierte Fälle beschränkt (z.B. auf ein einziges Produkt oder ohne Berücksichtigung von Kapazitätsgrenzen) oder für spezielle Anforderungen entwickelt<sup>255</sup>.

---

<sup>252</sup> Min und Zhou, 2002, S. 231 f.

<sup>253</sup> Zur Unterscheidung zwischen operativen und strategischen Lieferkettenmodellen vgl. van der Vorst et al., 1998, S. 494, Thomas und Griffin, 1996, S. 1 ff. und Min und Zhou, 2002, S. 233.

<sup>254</sup> Vgl. Min und Zhou, 2002, S. 239 ff.

<sup>255</sup> Vgl. Min und Zhou, 2002, S. 242 ff.; Erengüç et al., 1999, S. 225; Hegedus u. Hopp, 2001, S. 295; Petrovic et al., 1998, S. 301.

Modelle der Kategorie *IT-driven* basieren auf Softwarepaketen bestimmter Ausprägungen<sup>256</sup>, wobei im Zusammenhang mit den Hauptfragestellungen der Dissertation Software aus den Bereichen CPFR (collaborative planning and forecasting replenishment), ERP (enterprise resource planning) und MRP (material requirement planning) von Interesse ist. Zwar stellen Min und Zhou fest, dass die Entwicklung von IT-getriebenen Lieferkettenmodellen noch im Anfangsstadium steckt, jedoch wird dieser Modellansatz vielfach als vielversprechend angesehen<sup>257</sup>. Konkrete Ansätze zur Vereinfachung der Lieferkettenkomplexität lassen sich aber auch aus diesen Modellen nicht ableiten<sup>258</sup>.

Zusammengefasst muss man also feststellen, dass Lieferkettenmodelle an sich kaum Anhaltspunkte dafür bieten, wie die Komplexität der Planung und Steuerung von Lieferketten reduziert werden kann<sup>259</sup>. Diese Feststellung steht im Gegensatz zur Forderung, dass Lieferkettenmodelle im Allgemeinen einfach und effizient gestaltet werden sollen<sup>260</sup>. Unabhängig von den Lieferkettenmodellkategorien geben Min und Zhou zur Komplexitätsreduktion aber zwei Hinweise, die in der Dissertation berücksichtigt werden.

Der *erste Hinweis* besteht in einer Differenzierung der Lieferkettenbeziehungen in die vier Kategorien (1) managed business links, (2) monitored business links, (3) not managed business links und (4) non-member business links<sup>261</sup>. Wesentlich an dieser Differenzierung ist, dass sie eine Komplexitätsverringering beinhaltet. Umgelegt auf die Festlegung von Forecastebenen für das FCES-OC bedeutet das, dass man aus der Grundgesamtheit *möglicher* Forecastebenen *nur jene* auswählt, deren Bedeutung eine aufwändigere Planung und Steuerung oder zumindest ein Monitoring rechtfertigen.

Der *zweite Hinweis*, den Min und Zhou geben, besteht in der Empfehlung, die Theory of Constraints (TOC) zur Reduktion der Lieferkettenkomplexität heranzuziehen. Die TOC sei dazu bestens geeignet<sup>262</sup>.

Abgesehen von diesen beiden Hinweisen sei an dieser Stelle festgehalten, dass in Abschnitt 5.1.2 erneut Argumente für die Verwendung IT-getriebener Modelle auf Basis der *MRP-Logik* gefunden werden.

### 5.1.2 Strategien und Verfahren im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung

Als gängige Strategien und Verfahren im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung werden in der einschlägigen Literatur

- Kanaan,

---

<sup>256</sup> Vgl. Min und Zhou, 2002, S. 239 ff.

<sup>257</sup> Vgl. Min und Zhou, 2002, S. 240 u. 244; Hegedus u. Hopp, 2001, S. 293 ff.; Erengüç et al., 1999, S. 233.

<sup>258</sup> Vgl. Min und Zhou, 2002, S. 244 f. und Ireland u. Bruce, 2000, S. 80 ff.

<sup>259</sup> Vgl. auch Min und Zhou, 2002, S. 245.

<sup>260</sup> Vgl. Min und Zhou, 2002, S. 233 f. u. Thomas und Griffin, 1996, S. 13.

<sup>261</sup> Vgl. Min und Zhou, 2002, S. 235.

<sup>262</sup> Vgl. Min und Zhou, 2002, S. 246.

- belastungsorientierte Auftragsfreigabe,
- das Fortschrittskennzahlenkonzept,
- MRP (Material Requirement Planning) und
- OPT (Optimized Production Technology) angeführt<sup>263</sup>.

Die erfolgreiche Anwendung von *Kanban* erfordert weitgehend konstanten Bedarf<sup>264</sup> und kann daher gemäß den unter Kapitel 3 erläuterten Rahmenbedingungen keinen Beitrag zur Lösung der oben angeführten Fragestellung leisten.

Die Strategien *belastungsorientierte Auftragsfreigabe* und das *Fortschrittskennzahlenkonzept* sind gemäß ihrer Ausprägung dafür gedacht auf einzelne Arbeitsplätze oder Gruppen von Arbeitsplätzen angewandt zu werden<sup>265</sup>. Eine Hilfestellung zur *Auswahl* von Arbeitsplätzen, die in einem übergeordneten Planungs- und Steuerungsprozess berücksichtigt werden sollten, bieten diese beiden Strategien nicht<sup>266</sup>.

*MRP* ist ein rechnergestütztes Verfahren, das aus gegebenen Primärbedarfen (Qualitäten mit zugeordneten Mengen und Terminen) Sekundärbedarfe errechnet und diese überdies mit den Lagerbeständen abgleicht<sup>267</sup>. Auf diese Weise erhält man aus gegebenen Primärbedarfen die zu beschaffenden bzw. zu produzierenden Sekundärbedarfe in Qualitäten, Mengen und den zugehörigen Bereitstellungsterminen und -orten.

Voraussetzung für die Ermittlung der Sekundärbedarfe ist die Kenntnis der Erzeugnisstruktur (z. B. in Form von Gozintographen oder Stücklisten), der Durchlaufzeiten in den einzelnen Dispositionsstufen und der Lagerbestände<sup>268</sup>. Die Kenntnis der Erzeugnisstruktur erlaubt die Ableitung von Mengen und Qualitäten an Sekundärbedarfen aus den Primärbedarfen, und jene der Durchlaufzeiten die Ableitung der erforderlichen Vorlaufverschiebungen für die Terminierung der einzelnen Dispositionsstufen.

*MRP I* berücksichtigt *beschränkte* Produktionskapazitäten im übrigen nicht explizit. Erst Manufacturing Resource Planning (*MRPII*) integriert auch die Kapazitätsplanung auf Basis begrenzter Kapazitäten<sup>269</sup>.

*MRP* ermöglicht es also über die Erzeugniszusammenhänge von Endartikelbedarfen auf Kapazitäts- und Sekundärmaterialbedarfe zu schließen. Wie in Abschnitt 5.4 gezeigt wird, wird genau diese Funktion benötigt, wenn man Forecasts des Verkaufs in der Beschaffung und in der Produktionsplanung und -steuerung verwenden will.

In der Praxis sind *MRP*-Systeme als hierarchisch strukturierte Sukzessivplanungsmodelle aufgebaut<sup>270</sup>, welche in der Regel dadurch gekennzeichnet sind, dass auf eine Grobplanung auf hoch aggregierter Ebene zunehmend detailliertere Planungsschritte

<sup>263</sup> Vgl. Luczak, Eversheim u. Schotten, 1998, S. 63 ff.; Kurbel, 1995, S. 184 ff. u. Heinen, 1991, S. 602 ff.

<sup>264</sup> Vgl. Luczak, Eversheim u. Schotten, 1998, S. 67.

<sup>265</sup> Vgl. Luczak, Eversheim u. Schotten, 1998, S. 68 ff. u. Kurbel, 1995, S. 184 ff.

<sup>266</sup> Vgl. Luczak, Eversheim u. Schotten, 1998, S. 68 ff. u. Kurbel, 1995, S. 184 ff.

<sup>267</sup> Vgl. Neumann, 1996, S. 91 ff., Luczak, Eversheim u. Schotten, 1998, S. 65 f. u. Heinen, 1991, S. 602 ff.

<sup>268</sup> Vgl. Neumann, 1996, S. 91 ff.

<sup>269</sup> Vgl. Neumann, 1996, S. 99.

<sup>270</sup> Vgl. Neumann, 1996, S. 208 u. 220, Luczak, Eversheim u. Schotten, 1998, S. 65 f. u. Heinen, 1991 S. 602 ff.

folgen. Erst in diesen detaillierten Planungsschritten werden Restriktionen aus tieferen hierarchischen Planungsebenen berücksichtigt bzw. mit den Vorgaben aus der ersten hoch aggregierten Grobplanung abgeglichen. Dieser Abgleich zwischen hochaggregierter Grob- und detaillierter Feinplanung gestaltet sich jedoch schwierig, da die in der Grobplanung gesetzten Vorgaben in der Feinplanung häufig nicht umgesetzt werden können<sup>271</sup>.

Neumann fordert daher bereits für die hochaggregierte Grobplanungsebene eine Berücksichtigung der Kapazitätsangebote. Diese Berücksichtigung könne in einem *kapazitätsorientierten PPS-System* erfolgen<sup>272</sup>. Die oberste Planungsebene eines solchen Systems ist nach Neumann durch folgende Charakteristika gekennzeichnet:

- Berücksichtigung des gesamten Produktionsprogramms und aller Produktionsstätten des Unternehmens.
- Aggregation der Produkte, die auf die selben Ressourcen zugreifen, zu Produktgruppen.
- Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Produktionskapazitäten.

Dieser Lösungsansatz erinnert an die in Kapitel 3 angestellten Betrachtungen, die gezeigt haben, dass große Mengen von Einzelartikeln zu Artikelgruppen bzw. in einer einzigen Forecastebene zusammengefasst werden können, wenn sie sich im Rahmen des Forecastprozesses einheitlich verhalten. Überdies besteht eine der in Kapitel 4 aufgestellten Forderungen darin, dass die zur Verfügung stehenden Produktionskapazitäten in FCES-OCs berücksichtigt werden müssen. Die oben angeführten Charakteristika eines kapazitätsorientierten PPS-Systems werden deshalb auch als Prämissen zur Erstellung von FCES-OCs herangezogen.

Im Zusammenhang mit MRP haben sich fruchtbare Ansätze zur Erstellung von FCES-OCs ergeben. Abgesehen davon beinhaltet MRP aber keine Ansätze dafür festzulegen, *wie* die Aggregation von Einzelprodukten zu übergeordneten Bedarfs- bzw. Planungssegmenten, welche in der obersten Planungsebene berücksichtigt werden, erfolgen soll. Denn in diesem Kontext stellt sich auch die Frage, *welche* Arbeitsplätze und Sekundärmaterialien man unter dem Ziel einer Komplexitätsreduktion im Forecastebenenystem berücksichtigt.

MRP bietet hier also keine Hilfestellung. Sehr wohl bietet diese aber OPT. OPT ist nach Luczak, Eversheim u. Schotten dadurch gekennzeichnet, dass die Planungsaktivitäten auf die *Engpassressourcen konzentriert* werden<sup>273</sup>. Damit erreicht man in der Regel eine Komplexitätsreduktion, da ja all jene Arbeitsplätze bzw. Fertigungsmaterialien, welche keine Engpässe sind, gar nicht in den Planungs- und Steuerungsprozess einbezogen werden. Wie ein Blick in die angloamerikanischen Literatur zeigt, ist OPT aber nichts weiter als ein Synonym für TOC<sup>274</sup>, welche – wie oben bereits angekündigt - unter Abschnitt 5.2 genauer erläutert wird.

---

<sup>271</sup> Vgl. Neumann, 1996, S. 220 f. u. Luczak, Eversheim u. Schotten, 1998, S. 65 f.

<sup>272</sup> Vgl. Neumann, 1996, S. 220 ff.

<sup>273</sup> Vgl. Luczak, Eversheim u. Schotten, 1998, S. 70 f.

<sup>274</sup> Vgl. Verma, 1997, S. 189 sowie Simons u. Simpson, 1997, S. 3 ff.

### 5.1.3 ABC- und XYZ-Analyse

Die *ABC-Analyse* ist ein Instrument, das Objekte wie Aufgaben, Probleme, Produkte, Aktivitäten oder Geschäftsbeziehungen nach bestimmten Kriterien in drei Stufen reiht. Unter „A“ eingereihte Objekte sind von größter Bedeutung, jene unter „B“ von mittlerer und jene unter „C“ von kleiner Bedeutung. Mit dieser Reihung wird es möglich, die knappen finanziellen und personellen Ressourcen vorrangig für jene Objekte in Anspruch zu nehmen, deren Bedeutung verstärkte Planungsaktivitäten rechtfertigt<sup>275</sup>.

Hat man eine Grundgesamtheit von Forecastebenen so sollte es auf Basis der ABC-Analyse möglich sein, die Forecastebenen nach ihrer Bedeutung zu reihen. Aufnahme in das FCES-OC sollten dann nur Forecastebenen finden, die ein bestimmtes Bedeutungsmaß überschreiten. Dabei stellt sich allerdings die Frage, wodurch dieses Bedeutungsmaß bzw. Bewertungskriterium gegeben ist.

Diese Frage lässt sich auf Basis des unter Abschnitt 4.1.6 festgelegten Zielsystems beantworten. Wie in Abschnitt 5.3 gezeigt wird, ist das Bewertungskriterium *Deckungsbeitrag* für Forecastebenen in Form von Constraints und das Bewertungskriterium *Lagerkosten* für Forecastebenen in Form von Lagerpositionen sinnvoll (Anm.: Auf den Begriff Constraint wird in Abschnitt 5.2 eingegangen).

In der *XYZ-Analyse* werden Bedarfsverläufe von Bedarfsobjekten gleichfalls in ein 3-Klassen-System eingeordnet. Unter „X“ eingeordnete Bedarfsobjekte weisen einen sehr gleichförmigen, nahezu schwankungslosen Bedarfsverlauf auf. Unter „Y“ werden Bedarfsobjekte mit saisonal schwankendem bzw. trendförmigem Bedarfsverlauf eingeordnet und unter „Z“ jene, mit unregelmäßigem Bedarfsverlauf<sup>276</sup>.

Für die Festlegung der Forecastebenen des FCES-OC ist der grundlegende Ansatz der XYZ-Analyse einer *Differenzierung der Bedarfsobjekte nach ihren Bedarfsverläufen* von Bedeutung. Beispielsweise wird es für Bedarfsobjekte, die einen nahezu schwankungsfreien Bedarfsverlauf aufweisen, *nicht* erforderlich sein, aufwändige abteilungsübergreifende Kommunikation für die Erstellung der Forecasts zu betreiben.

Allerdings gilt auch für diese Art der Differenzierung ähnliches wie für die Anwendung der ABC-Analyse: Die Differenzierung der Bedarfsobjekte nach ihren Bedarfsverläufen muss für Forecastebenen in Form von Lagerpositionen und solchen in Form von Constraints *individuell* erfolgen. Details dazu folgen in den Abschnitten 5.3.1 und 5.3.2.

Zusammengefasst lassen sich aus Abschnitt 5.1 folgende Erkenntnisse ziehen:

Als potentiell nützliche Methoden und Hilfsmittel zur Selektion bzw. Festlegung von Forecastebenen für FCES-OCs wurden

- die TOC,
- die ABC-Analyse,
- der grundlegende Ansatz der XYZ-Analyse,

<sup>275</sup> Vgl. Gudehus, 1999, S. 122 ff.; Heinen, 1991, S. 500 ff.; Neumann, 1996, S. 26 f.; Wöhe und Döring, 1996, S. 546 ff.

<sup>276</sup> Vgl. Heinen, 1991, S. 515 u. Tempelmeier, 1992, S. 31.

- die Differenzierung der Planungsbereiche in „managed, monitored“ und „not managed“ in Anlehnung an Min und Zhou und
- das kapazitätsorientierte PPS-System nach Neumann im Zusammenhang mit der MRP-Logik gefunden.

Der Inhalt des kapazitätsorientierten PPS-Systems nach Neumann besteht in der Berücksichtigung des gesamten Produktionsprogramms, einer Aggregation der Produkte auf Basis der von ihnen beanspruchten Ressourcen und der Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Kapazitäten. In diesem Zusammenhang hat sich gezeigt, dass die Zustände der Lieferkette nur dann im FCES-OC abgebildet werden können, wenn es die Charakteristika eines kapazitätsorientierten PPS-Systems mit beinhaltet.

## 5.2 Theory of Constraints

Im Folgenden werden im Kontext mit Forecastprozessen wichtige Grundzüge der Theory of Constraints (TOC) erläutert. Ausgangspunkt für diese Betrachtung ist die oben zitierte Empfehlung von Min und Zhou, die TOC zur Reduktion der Lieferkettenkomplexität heranzuziehen.

Die ersten Ansätze der TOC sind in den späten 1970er Jahren entstanden und gehen auf den israelischen Physiker Eliyahu Goldratt zurück. 1984 erreichten die Methoden der TOC durch die Veröffentlichung des Management-Romans *The Goal* von Goldratt weite Verbreitung<sup>277</sup>. Seither wurde die TOC durch zahlreiche Publikationen Goldratts aber auch anderer Autoren verfeinert<sup>278</sup>. Anwendungen der TOC in verschiedenen Unternehmen – darunter auch General Motors und General Electric – haben zu großen Erfolgen in Form von drastischen Lagerbestandssenkungen, signifikant verbesserter Terminplanung und verkürzten Lieferzeiten geführt<sup>279</sup>. Mittlerweile wird die TOC als wertvolle Ergänzung oder sogar als Ersatz für etablierte PPS-Strategien und -Verfahren wie MRP und Just in Time gesehen<sup>280</sup>.

Der *Hauptansatz* der TOC besteht darin, die „Constraints“ eines Systems zu identifizieren und die Planung und Steuerung des Systems an diesen Constraints auszurichten<sup>281</sup>. Unter Constraints versteht man jene Elemente des Systems, die die Systemleistung begrenzen<sup>282</sup>. Beispielsweise können Constraints in Form von Personal- oder Maschinenkapazitätsgrenzen auftreten. Sind die Constraints eines Systems bekannt, so kann man die volle Leistungsfähigkeit des Systems nutzen, indem man das Potential der Constraints zur Gänze ausschöpft. Die Ausschöpfung der vollen Leistungsfähigkeit

---

<sup>277</sup> Vgl. Verma, 1997, S. 189.

<sup>278</sup> Vgl. Verma, 1997, S. 189.

<sup>279</sup> Vgl. Radovilsky, 1998, S. 113 sowie Simons u. Simpson, 1997, S. 3.

<sup>280</sup> Vgl. Radovilsky, 1998, S. 113.

<sup>281</sup> Vgl. Simons u. Simpson, 1997, S. 5 ff., Verma, 1997, S. 191 f. und Goldratt, 2007.

<sup>282</sup> Vgl. Simons u. Simpson, 1997, S. 4 sowie Goldratt, 2007.

des Systems ist also gleichbedeutend mit der vollen Ausschöpfung der Leistungsfähigkeit der Constraints.

Zur Umsetzung dieses Ansatzpunktes beinhaltet die TOC das folgende 5-Punkte-Programm<sup>283</sup>.

1. Identify the system's constraints.
2. Decide how to exploit the system's constraints.
3. Subordinate everything else to the above decision.
4. Elevate the system's constraint.
5. If in the previous steps a constraint has been broken, go back to the first step.

Die *Identifizierung* von Constraints, welche durch Kapazitätsgrenzen verursacht sind, erfolgt üblicherweise durch grobe Kapazitätsplanung<sup>284</sup>. Verursacht durch Variationen der Kapazitätsangebote und auch jener der Kapazitätsbedarfe können darüber hinaus aber auch temporäre Constraints auftreten<sup>285</sup>.

Das volle Ausschöpfen der Constraints soll durch eine ununterbrochene Nutzung der Constraints gewährleistet werden. Zu diesem Zweck wird die gesamte Terminplanung an den Constraints ausgerichtet. Ressourcen, welche die Leistung des Systems nicht begrenzen werden *Nonconstraints* genannt. Die Nutzung von *Nonconstraints* wird völlig jener der Constraints untergeordnet. Ihre Rolle besteht darin, die Constraints permanent mit Arbeitsvorrat zu versorgen. Was im Sinne einer Bestandsminimierung aber auch heißt, dass *Nonconstraints nicht* genutzt werden, solange die Constraints ausreichend versorgt sind.

Um ein *Leerlaufen* der Constraints aufgrund von Abweichungen der Istleistungen von Constraints und auch *Nonconstraints* von den Planleistungen zu vermeiden, wird mit *Pufferzeiten* geplant. In einem System, dessen Leistung nur durch eine einzige Constraint bestimmt ist, wird unmittelbar vor der Constraint ein Zeitpuffer eingeplant. Dieser erste Puffer schützt vor Leerläufen der Constraints. Überdies bestimmt seine Länge die Terminierung von Aktivitäten auf *Nonconstraints* und von Lagerentnahmen, welche der Constraint vorgelagert sind. Ein zweiter Zeitpuffer wird unmittelbar nach dem letzten Produktionsschritt eingeplant. Dieser zweite Puffer schützt vor Überschreitungen des Liefertermins<sup>286</sup>.

Die Auftragsterminierung für den Fall einer einzigen Constraint geht wie folgt vor sich:

- a) Kapazitätsbezogene Einplanung und Terminierung des Auftrags auf der Constraint (also jener Ressource, welche die Systemleistung begrenzt).
- b) Ermittlung des Liefertermins, indem zum Starttermin auf der Constraint die nachfolgende Durchlaufzeit inkl. des zweiten Zeitpuffers addiert wird.

Für den Fall, dass nach dieser Terminierung keine weiteren Constraints auftreten (bisherige *Nonconstraints* könnten durch die Neueinlastung zu Constraints werden), ist die Terminierung damit abgeschlossen.

---

<sup>283</sup> Vgl. Verma, 1997, S. 191 f., Simons u. Simpson, 1997, S. 4 und Goldratt, 2007.

<sup>284</sup> Vgl. Simons u. Simpson, 1997, S. 4.

<sup>285</sup> Vgl. Simons u. Simpson, 1997, S. 4 u. 5 sowie Goldratt, 2007.

<sup>286</sup> Vgl. Radovilsky, 1998, S. 114 sowie Simons u. Simpson, 1997, S. 6 ff.

Von dem einfachen Fall einer einzigen Constraint abgesehen existieren auch Lösungsalgorithmen für *zwei oder mehr* Constraints und auch für den Fall, dass bestimmte Produkte mehrfach ein und die selbe Constraint beanspruchen<sup>287</sup>. Diese Lösungsalgorithmen beinhalten sogenannte *Rods*<sup>288</sup>. Rods sind Zeitspannen, welche *zwischen* Constraints bzw. zwischen aufeinanderfolgenden Nutzungen ein und der selben Constraint durch ein und das selbe Produktionslos angeordnet werden. Sie beinhalten Prozess- und Übergangszeiten sowie wiederum Pufferzeiten zur Vermeidung von Leerläufen der Constraints durch nicht geplante Fluktuationen der Produktionsraten.

Für die Festlegung der Länge der Rods wie auch der Zeitpuffer werden in der Literatur verschiedene Schätzverfahren angegeben<sup>289</sup>, wobei die Länge der Rods auch dadurch bestimmt ist, wie groß die Lose sind, welche von einer Constraint auf die nächste weitergegeben werden<sup>290</sup>. Überdies ist die genaue Lage eines Rods davon abhängig, ob die vor oder die hinter ihm liegende Constraint die kürzere Bearbeitungszeit für das betrachtete Produktionslos aufweist<sup>291</sup>.

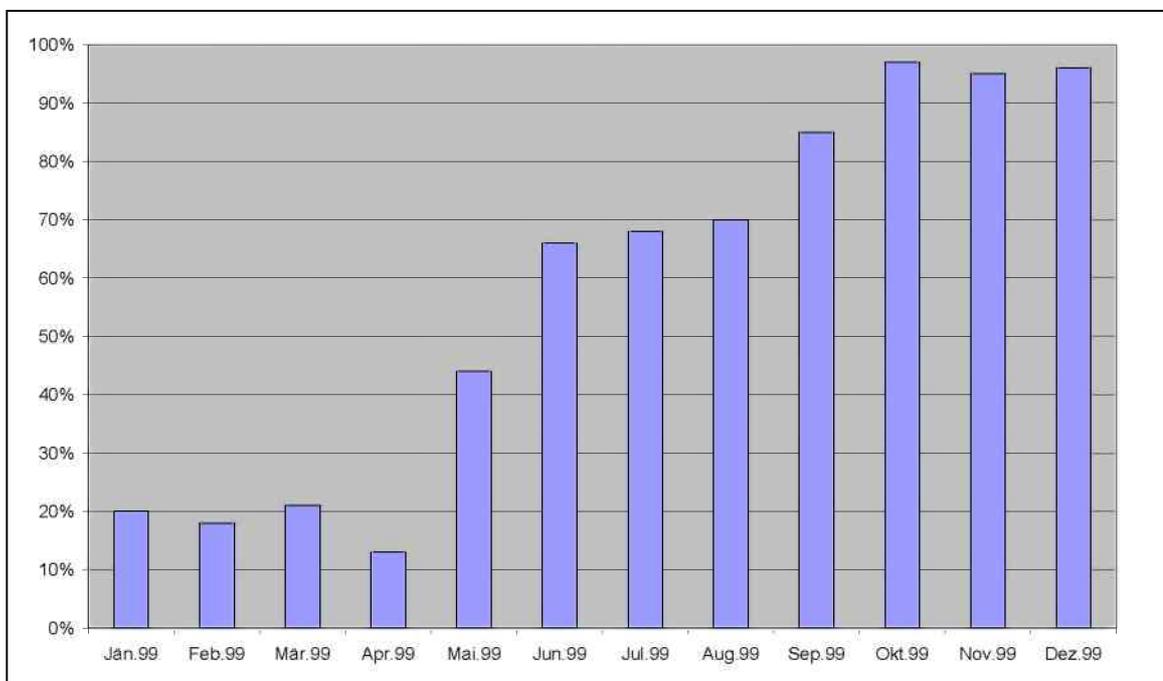


Abb. 5.1: Entwicklung der Termtreue des Produktionsstandorts  $\alpha$  nach Umsetzung des 5-Punkte-Programms der TOC ab April 1999; Quelle: Daten von RHI-Refractories, eigene Darstellung.

Durch die Konzentration der Planungs- und Steuerungsaktivitäten auf die Constraints beinhaltet die TOC eine Komplexitätsreduktion der Planung und Steuerung. Ein Beispiel dafür, wie stark Komplexitätsreduktionen dieser Art ausfallen können, sei an dieser Stelle

<sup>287</sup> Vgl. Simons u. Simpson, 1997, S. 5 ff.

<sup>288</sup> Vgl. Simons u. Simpson, 1997, S. 5 ff.

<sup>289</sup> Vgl. Radovilsky, 1998, S. 114.

<sup>290</sup> Vgl. Simons u. Simpson, 1997, S. 7.

<sup>291</sup> Vgl. Simons u. Simpson, 1997, S. 7.

anhand eines *Fallbeispiels* aus der zentralen Supply Chain Management von RHI-Refractories illustriert.

Die Einführung eines neuen Kennzahlensystems im Produktionsstandort  $\alpha$  von RHI-Refractories brachte im Januar 1999 zu Tage, dass die Termintreue zum Teil nicht einmal 20% erreichte. Am Produktionsstandort  $\alpha$  werden 55 Fertigungsmaterialien der Kategorie A auf Lager gehalten (Kategorie A nach der ABC-Analyse), jährlich mehr als 10.000 verschiedene Endartikel produziert und mehr als 80 verschiedene Arbeitsplätze geführt (Arbeitsplätze im MRP-System).

Durch Anwendung des 5-Punkte-Programms der TOC wurden in einem ersten Schritt drei Constraints identifiziert und die Planungs-, Steuerungs- und Controllingaktivitäten auf diese drei Constraints konzentriert. Damit konnten a) die Planungs- und Steuerungsaktivitäten reduziert und b) die Termintreue innerhalb kurzer Zeit enorm verbessert werden (vgl. Abb. 5.1).

Mittlerweile kann die Termintreue des Produktionsstandorts  $\alpha$  permanent auf einem Niveau von mehr als 95% gehalten werden. Dabei wurden in der Zeit von April 1999 bis März 2005 lediglich zwölf verschiedene Constraints identifiziert. Nur drei dieser zwölf Constraints müssen ständig in der Planung und Steuerung berücksichtigt werden. Die anderen neun treten bzw. traten nur zeitweilig durch Produktmixverschiebungen oder durch Engpässe bei der Bereitstellung der Fertigungsmaterialien auf. Überdies sind jene drei Constraints, welche ständig berücksichtigt werden müssen, in der Planung weitgehend voneinander unabhängig, was die Planung noch einmal erleichtert.

Zurückkommend auf die Problemstellung dieses Kapitels lässt sich sagen, dass die TOC ein wertvolles Hilfsmittel für die Erarbeitung von Lieferkettenmodellen, die den Anforderungen von short- und mediumterm Forecastprozessen gerecht werden, darstellt. Mit Hilfe der TOC können Forecastebenen so festgelegt werden, dass *all jene* Elemente enthalten sind, welche die Leistung der Lieferkette begrenzen. Dadurch, dass man die Constraints ihrer Kapazität nach berücksichtigt, kann die oben zitierte Forderung Neumanns nach einem kapazitätsorientierten PPS-System, das bereits auf hochaggregierten Planungsebenen Kapazitätsangebote und -bedarfe berücksichtigt, erfüllt werden. Die Konzentration auf die Constraints gewährleistet überdies, dass die gewünschte Komplexitätsreduktion des Lieferkettenmodells erreicht wird.

### 5.3 Die Festlegung von Forecastebenen

Im Folgenden wird gezeigt, wie Forecastebenen eines Forecastebenen-systems mit organisationsübergreifendem Charakter durch einen kombinierten Einsatz der *oben erläuterten Methoden und Ansätze* systematisch und anforderungsgerecht festgelegt werden können.

Als in Frage kommende Forecastebenen werden

- durch Grenzkapazitäten und Grenzlieferraten bedingte Constraints,
- Materiallager (Lagerpositionen aus Fertigungsmaterialien,

- Halb- und Fertigfabrikaten) sowie
- Verkaufs u. Vertriebssegmente berücksichtigt.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass das maximale Leistungsvermögen der Lieferkette in der Regel durch *Grenzkapazitäten* oder durch *Grenzlieferraten* limitiert ist. Damit sind auch die *Constraints* in der Regel durch Grenzkapazitäten oder Grenzlieferraten gegeben.

Diese Festlegung beruht auf der Überlegung, dass die Verfügbarkeiten von Lagermaterialien bei anforderungs- und zeitgerechter Disposition nur durch Grenzkapazitäten und Grenzlieferraten limitiert sind. Begrenzte Materialverfügbarkeiten können daher nur in Form *temporärer* Constraints auftreten, während permanente Constraints ausschließlich durch begrenzte Kapazitäten und begrenzte Lieferraten verursacht sind.

Materiallager bzw. Lagerpositionen müssen – wie unten im Detail gezeigt wird – deshalb als eigene Forecastebenen geführt werden, da sie in der Regel zumindest zum Teil auf Basis von Forecasts geplant und gesteuert werden müssen und überdies durch ihre Wirkungen auf Servicegrade und die durch sie verursachten Kosten Einfluss auf das Unternehmensergebnis haben.

Durch begrenzte Absatzmöglichkeiten gegebene Constraints werden in diesem Abschnitt nicht behandelt. Davon ausgehend, dass sich ihre limitierende Wirkung in den Forecasts widerspiegeln muss, werden sie aber in Kapitel 8 ausführlich berücksichtigt, wenn es darum geht, die operative Steuerung der Lieferkette an den Forecastergebnissen auszurichten.

Im einzelnen ist Abschnitt 5 wie folgt strukturiert: Unter 5.3.1 werden Forecastebenen in Form von Produktions- und Lieferraten behandelt; unter 5.3.2 jene in Form von Lagerpositionen und unter 5.3.3 die Forecastebenen des Verkaufs.

### 5.3.1 Forecastebenen in Form von Produktions- und Lieferraten

In diesem Abschnitt werden jene Leistungseinheiten untersucht, welche das maximale Leistungsvermögen der Lieferkette aufgrund ihrer begrenzten Produktions- und Lieferraten in Form von kurz- und mittelfristig permanenten Constraints limitieren. Typische Beispiele für Constraints dieser Art sind begrenzte Maschinen-, Personal- und Anlagenkapazitäten sowohl innerhalb des Unternehmens als auch bei den Lieferanten.

Das *Ziel* dieser Untersuchung besteht darin, Anhaltspunkte dafür zu geben, wie jene Leistungseinheiten selektiert werden können, welche als Forecastebenen in FCES-OCs aufgenommen werden müssen.

In Anlehnung an das von Neumann beschriebene kapazitätsorientierte PPS-System (vgl. Abschnitt 5.1.2) wird dabei vom gesamten Produktionsprogramm des Unternehmens ausgegangen.

In einem **ersten Schritt** wird erhoben, welche Endprodukte durch Leistungen jeder einzelnen Constraint erstellt werden. Wenn bestimmte Endprodukte durch Leistungen von mehr als einer Constraint erstellt werden, so scheinen sie nach dieser Zuordnung

auch bei mehr als einer Constraint auf. Es geht also darum festzustellen, *welche Constraints zur Erstellung des jeweiligen Endprodukts bzw. Endproduktsegments genutzt werden müssen*.

Die Constraints erhält man, indem man wie unter 5.2. erläutert grobe Kapazitätspläne macht. Beispielsweise kann man aus dem Budget aller Endartikel und über Erzeugniszusammenhänge die Leistungsbedarfe für die einzelnen Leistungseinheiten ermitteln und diesen Leistungsbedarfen die Leistungsangebote gegenüberstellen. Als potentielle Constraints sind all jene Leistungseinheiten zu sehen, welche gemessen an den Leistungsbedarfen nur geringfügig höhere Leistungsangebote aufweisen. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Leistungsbedarfe stark fluktuieren (vgl. auch die Ausführungen zur Bewertung der Constraints in Anlehnung an die XYZ-Analyse weiter unten in diesem Abschnitt). Darüber hinaus kann man auch auf Erfahrungen aus der gegenwärtigen und zurückliegenden Planungs- und Steuerungstätigkeit zurückgreifen.

In dieser Entwicklungsstufe des Forecastebenen-systems ist es wichtig, dass vor allem jene Constraints erfasst werden, welche die Planung über *längere* Planungshorizonte dominieren. Temporär auftretende Constraints können bei Bedarf bzw. zum Zeitpunkt ihres Auftretens *zusätzlich* in das Forecastebenen-system aufgenommen werden.

Als *Ergebnis* des ersten Schrittes erhält man Zuordnungen der Endartikel des gesamten Endartikelprogramms zu den einzelnen Constraints, wobei Mehrfachzuordnungen der Endartikel wie oben erläutert dann zustande kommen, wenn Endartikel mehr als eine Constraint beanspruchen (vgl. Tab. 5.1). Man kann auch sagen, um bestimmte Endartikel produzieren zu können, müssen diese und jene Constraints genutzt werden. Diese Zuordnungen sind der Ausgangspunkt für den zweiten Schritt.

	<b>Endproduktpaket</b>
<b>Constraint<sub>1</sub></b>	Endprodukte, welche Constraint <sub>1</sub> beanspruchen
<b>Constraint<sub>2</sub></b>	Endprodukte, welche Constraint <sub>2</sub> beanspruchen
<b>Constraint<sub>3</sub></b>	Endprodukte, welche Constraint <sub>3</sub> beanspruchen
.....	.....
<b>Constraint<sub>n</sub></b>	Endprodukte, welche Constraint <sub>n</sub> beanspruchen

Tab. 5.1, Ergebnis nach dem ersten Schritt; Zuordnung aller Endartikel zu jenen Constraints, die zu ihrer Erstellung genutzt werden müssen; Quelle: eigene Darstellung

In einem **zweiten Schritt** werden die Deckungsbeiträge ermittelt, die *durch die Nutzung* jeder einzelnen Constraint erarbeitet werden sollen. Diese mit jeder einzelnen Constraint verknüpften Deckungsbeiträge werden im folgenden mit  $DBC_n$  bezeichnet (Deckungsbeitrag der Constraint  $n$ ).

Aus Vergangenheitsdaten kann jeder  $DBC_n$  ermittelt werden, indem man die Deckungsbeiträge aller Endprodukte, welche unter der Nutzung der betrachteten Constraint erstellt wurden, summiert. Unterscheidet sich die zukünftige Entwicklung bzw. das Budget signifikant von der Situation in der Vergangenheit, so wird man das berücksichtigen müssen.

Im Allgemeinen können die  $DBC_n$  wie folgt berechnet werden:

$$DBC_n = \sum_{t=1}^m \text{budgetierter } DB_{n,t} \text{ pro Mengeneinheit} \cdot \text{budgetierte Absatzmenge}_{n,t} \quad (5.1)$$

Die Indizes n und t bezeichnen alle Endprodukte, welche die Constraint n nutzen; wobei es sich um m Endprodukte (bzw. Endproduktsegmente) mit den Indizes t = 1 bis m handelt.

	<b>Endproduktpaket</b>	<b>DBC<sub>n</sub></b>
<b>Constraint<sub>1</sub></b>	Endprodukte, welche Constraint <sub>1</sub> beanspruchen	Summe der Deckungsbeiträge jener Endprodukte, die Constraint <sub>1</sub> beanspruchen
<b>Constraint<sub>2</sub></b>	Endprodukte, welche Constraint <sub>2</sub> beanspruchen	Summe der Deckungsbeiträge jener Endprodukte, die Constraint <sub>2</sub> beanspruchen
<b>Constraint<sub>3</sub></b>	Endprodukte, welche Constraint <sub>3</sub> beanspruchen	Summe der Deckungsbeiträge jener Endprodukte, die Constraint <sub>3</sub> beanspruchen
.....	.....	
<b>Constraint<sub>n</sub></b>	Endprodukte, welche Constraint <sub>n</sub> beanspruchen	Summe der Deckungsbeiträge jener Endprodukte, die Constraint <sub>n</sub> beanspruchen

Tab. 5.2, Summe der Deckungsbeiträge, die mit den einzelnen Constraints verknüpft sind; Quelle: eigene Darstellung.

Als Ergebnis dieser Zuordnung erhält man die in Tab. 5.2 skizzierte Aufstellung. Diese Aufstellung erlaubt eine *Reihung* der Constraints nach ihrer Bedeutung für das Unternehmen.

Jene Constraint, mit welcher der höchste Deckungsbeitrag verknüpft ist, ist die Constraint mit der größten Bedeutung für das Unternehmen: Constraints welche mit niedrigen Deckungsbeiträgen verknüpft sind, wird man im Gegensatz dazu mit weniger Aufwand planen und steuern.

Vor allem bei einer sehr großen Anzahl von Constraints bietet sich an, eine **ABC-Analyse** der Constraints auf Basis der mit ihnen verknüpften Deckungsbeiträge zu machen und Constraints erst ab einem bestimmten Mindest-DBC<sub>n</sub> in das FES-OC aufzunehmen. Ob und wo man den Schnitt zwischen Constraints, welche in das FES-OC aufgenommen werden und solchen, die aufgrund ihrer untergeordneten Bedeutung keine Berücksichtigung finden, macht, hängt

- von der Anzahl der in Summe identifizierten Constraints,
- dem Anspruch an den Forecastprozess sowie
- den zur Verfügung stehenden Ressourcen für die Planung und Steuerung im Zusammenhang mit Forecasts ab.

Es handelt sich hier also um eine Frage, die individuell geklärt werden muss.

Eine weitere Möglichkeit, die Anzahl jener Constraints, welche in das FCS-OC aufgenommen werden, zu reduzieren, besteht darin, die *Bedarfsverläufe* der einzelnen Constraints in Anlehnung an die **XYZ-Analyse** zu bewerten. Bei Constraints ergibt sich hierbei aber das Problem, dass Vergangenheitsbedarfsverläufe durch die Vergangenheitsleistungen der Constraints im allgemeinen nur bedingt widerspiegelt werden. Denn es kann ja durchaus sein, dass der Bedarfsverlauf des Marktes Spitzen

aufweist, welche durch die Constraints gar nicht abgedeckt werden könnten (vgl. auch Abschnitte 2.2.1 und 3.2).

Zur Lösung dieses Problems bietet sich an, die Verläufe der Bedarfe auf Basis der Verläufe der *realisierbaren* Lieferzeiten zu bewerten. Die realisierbaren Lieferzeiten sind ja durch die Belegung der Constraints bestimmt (vgl. Abschnitt 3.2). Sind realisierbare Lieferzeiten weitgehend konstant, gemessen an den Marktanforderungen nicht zu lang und kommt es überdies generell zu keinem Leerlaufen der mit ihnen verknüpften Constraints aufgrund fehlender Aufträge, so besteht kein Bedarf, diese Constraints in FCES-OCs aufzunehmen.

Anders verhält es sich mit Constraints, deren Belegung so stark schwankt, dass

- a) die marktkonformen Lieferzeiten überschritten werden und/oder
- b) es aufgrund fehlender Aufträge zu Leerläufen von Constraints kommt.

Ein Leerlaufen von Constraints hat zur Folge, dass Constraints zumindest zwischenzeitlich nicht beschäftigt werden können und Kapazität und in letzter Konsequenz Deckungsbeiträge unwiederbringlich verloren gehen. Constraints, welche von Leerläufen dieser Art betroffen sind, *wird man in die FCES-OCs aufnehmen*. Denn genau jene Constraints sind es, die unter Einsatz der in Kapitel 4 erläuterten Strategien geplant und gesteuert werden müssen.

Am Ende des oben beschriebenen mehrstufigen Prozesses steht eine *Auswahl* von Constraints, deren Nutzung für den Unternehmenserfolg von größter Bedeutung sind und überdies durch eine Planung und Steuerung auf Basis von Forecasts verbessert werden kann. Es sind genau die Constraints dieser Auswahl, welche in den FCES-OCs jede für sich eine eigene Forecastebene erhalten.

Es versteht sich, dass die Auswahl der Constraints, die in die FCES-OCs aufgenommen wird, jederzeit adaptiert oder ergänzt werden kann. Eine enge Verknüpfung der Planung und Steuerung auf Ebene der FCES-OCs mit der Feinplanung der Produktion und der Beschaffung ist daher jedenfalls wünschenswert. Ergeben sich in der Feinplanung neue Constraints (beispielsweise durch Maschinenreparaturen oder durch extreme, bisher nicht beobachtete Produktmixverschiebungen), so muss die Auswahl der Constraints in den FCES-OCs adaptiert werden.

### 5.3.2 Forecastebenen in Form von Materiallagern

In diesem Abschnitt geht es um Fertigungsmaterial-, Halb- und Endproduktlager, welche *auf Basis von Forecasts* disponiert werden müssen. Wie bereits oben erläutert können Materiallager als temporäre Constraints auftreten. Das Ziel des Forecastprozesses besteht in diesem Zusammenhang darin, diese Lager so zu beschicken, dass sie einerseits nicht zu temporären Constraints werden und andererseits die Lagerkosten niedrig bleiben (vgl. auch Abschnitt 4.1.6).

Wie auf Basis von Auftragsdaten disponierte Materialien von solchen abgegrenzt werden können, welche auf Basis von Forecasts disponiert werden müssen, wurde in Abschnitt 3.3 im Zusammenhang mit dem Konzept des *Decoupling-Points* gezeigt. Neben der Lage der Decoupling-Punkte können bzgl. der Frage, welche Materiallager in das FCS-OC

aufgenommen werden sollten, weitere Abgrenzungskriterien angewandt werden. Einmal mehr sind es auch hier Abgrenzungskriterien aus der *ABC-Analyse* und darüber hinaus solche aus einer etwas modifizierten *XYZ-Analyse*.

Die Grundgesamtheit aus der selektiert werden muss, ist durch alle Lagerpositionen aus Fertigungsmaterialien, Halb- und Fertigfabrikaten gegeben. In welcher Reihenfolge die drei Abgrenzungskriterien – Lage der Decouplingpunkte und Ergebnisse der ABC- bzw. der modifizierten XYZ-Analyse – angewandt werden, hängt von der Datenverfügbarkeit ab. Um den Aufwand gering zu halten, wird man jenes Kriterium zuerst anwenden, bzgl. dessen die beste Datenbasis vorhanden ist. So kann der Aufwand für die Datenerhebung gering gehalten werden, da ja nach jeder Abgrenzung nur noch eine Teilmenge der Grundgesamtheit übrig ist und daher zusätzlich erforderliche Daten auch nur noch für diese verbleibende Teilmenge erhoben werden müssen.

Die Abgrenzung zwischen Lagerpositionen, welche auf Basis von Forecasts und solchen, welche auf Basis von Auftragsdaten disponiert werden, nach dem Konzept des **Decoupling-Points** erfolgt entsprechend Abschnitt 3.3. Zu bedenken ist hierbei, dass sich Wiederbeschaffungszeiten verlängern können. Zweifelsfälle wird man daher eher jenen Lagerpositionen zuordnen, welche auf Basis von Forecasts disponiert werden müssen.

Die **ABC-Analyse** erfolgt entsprechend dem Zielsystem auf *Basis der Lagerkosten* für die einzelnen Lagerpositionen. In das FCES-OC werden nur solche Lagerpositionen aufgenommen, deren Lagerkosten einen bestimmten Grenzwert überschreiten. Um saisonale Einflüsse auszuschalten, bietet sich eine Analyse über das Zeitfenster der letzten 12 Monate an. Bei sich dynamisch entwickelnden Lägern wird man möglicherweise kleinere Zeitfenster wählen.

Die oben bereits angekündigte Modifikation der **XYZ-Analyse** beruht auf folgender Überlegung: In das FCES-OC sollten *nur* Forecastebenen von Lagerpositionen aufgenommen werden, für welche die Forecastgenauigkeit *durch Kommunikation verbessert werden kann*. Den ein wesentliches Ziel des FCES-OC besteht ja darin, die Forecastgenauigkeit *durch* Kommunikation zu verbessern.

Ist der Bedarfsverlauf für eine bestimmte Lagerposition beispielsweise hochkonstant, so wird sich die Mühe detaillierter Kommunikation zwischen den verschiedenen Organisationseinheiten Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung sowie Verkauf nicht lohnen, da dadurch keine Verbesserung der Forecastgenauigkeit erreicht werden kann. Gleiches gilt für Lagerpositionen, deren Bedarfsverläufe auf Basis von Zeitreihen historischer Bedarfe mit Hilfe der zur Erstellung von quantitativen Forecasts zur Verfügung stehenden mathematischen Modelle *mit ausreichender Genauigkeit* prognostiziert werden können<sup>292</sup>.

Der Aufwand detaillierter organisationsübergreifender Kommunikation wird sich aber sehr wohl für solche Lagerpositionen lohnen, für die das nicht gilt. Und zwar insbesondere dann, wenn diese Lagerpositionen in der oben angeführten ABC-Analyse unter der Kategorie „A“ eingeordnet werden.

Zusammengefasst lässt sich für die Auswahl von Forecastebenen in Form von Lagerpositionen auf Basis der ABC- und einer etwas abgewandelten XYZ-Analyse die in Tab. 5.1. dargestellte Empfehlung angeben.

---

<sup>292</sup> Zu quantitativen Forecastmethoden auf Basis historischer Daten vgl. Abraham und Ledolter, 1983.

	A-Objekte	B-Objekte	C-Objekte
Forecastgenauigkeit durch Kommunikation verbesserbar	Aufnahme sinnvoll		
Forecastgenauigkeit durch Kommunikation nicht verbesserbar	Aufnahme in das Forecastebenen-system nicht sinnvoll		

Abb. 5.1, Auswahl von Forecastebenen in Form von Lagerpositionen für ein FCES-OC auf Basis der ABC- und einer etwas abgewandelten XYZ-Analyse; Quelle: eigene Darstellung.

Nach der Anwendung dieses 3-Schritte-Programms auf die Grundgesamtheit der Lagerpositionen aus Fertigungsmaterialien sowie Halb- und Fertigfabrikaten erhält man jene Lagerpositionen, welche a) die höchsten Lagerkosten verursachen, b) tatsächlich oder potentiell auf Basis von Forecasts disponiert werden müssen und für welche c) zu erwarten ist, dass eine organisationsübergreifende Kommunikation zu erhöhter Forecastgenauigkeit führt. Die so selektierten Lagerpositionen erhalten jede für sich eine Forecastebene im FCES-OC.

Eine Bewertung der Lagerpositionen nach den mit ihnen verknüpften Deckungsbeiträgen, wie sie für die Constraints gemacht wurde, ist im übrigen deshalb nicht erforderlich, da Lagerpositionen, welche durch das oben erläuterte 3-Schritte-Selektionsschema *nicht* für das FCES-OC selektiert wurden, zwar großen Einfluss auf die erzielten Deckungsbeiträge des Unternehmens haben können, andererseits aber zumindest eines der folgenden drei Kriterien erfüllen:

- a) Sie verursachen nur geringe Lagerkosten.
- b) Sie werden auf Basis von Auftragsdaten disponiert.
- c) Sie weisen einen regelmäßigen bzw. auch ohne organisationsübergreifende Kommunikation ausreichend gut prognostizierbaren Bedarfsverlauf auf.

Damit ist es *nicht* sinnvoll, Lagerpositionen dieser Ausprägung in das FCES-OC aufzunehmen.

### 5.3.3 Forecastebenen in Form von Verkaufs- und Vertriebssegmenten

Die Mitarbeiter des Verkaufs sind im Allgemeinen ganz wesentlich an der Erstellung von Forecasts beteiligt<sup>293</sup>. Dies hat seine Wurzeln darin, dass Mitarbeiter des Verkaufs aufgrund Ihrer Kundennähe und ihrer Kenntnisse über Entwicklungen der Absatzmärkte und absatzpolitische Aktivitäten vor allem dann als *wichtigste* Datenquelle für die Forecasterstellung gesehen werden, wenn historische Daten keine zuverlässigen Schlüsse

<sup>293</sup> Vgl. Winklhofer et al., 1996, S. 207 f. und Moon et al., 2000, S. 22 f.

auf zu erwartende Entwicklungen zulassen oder nur unzureichend zur Verfügung stehen<sup>294</sup>. Darüber hinaus erstellen Verkaufsabteilungen aber auch Forecasts um Verkaufs-Ziele zu formulieren, wobei diese Ziele häufig mit Prämiensystemen und dem Budget verbunden sind. Vor allem die Prämiensysteme sind für die Verkaufsmitarbeiter bzw. für ihre Einkommen häufig von großer Bedeutung<sup>295</sup>.

Die Literatur gibt kaum direkte Hinweise dafür, wie die Forecasts des Verkaufs segmentiert sind. Möglichkeiten der Segmentierung ergeben sich aber aus den einschlägigen Gliederungskriterien, nach welchen Verkaufsorganisationen im Allgemeinen strukturiert sind. Zu nennen sind z. B.:

- Produktgruppen,
- Absatzgebiete bzw. Regionen,
- Kundengruppen bzw. Kundenarten und
- Verantwortungsbereiche von Produktmanagern<sup>296</sup>.

Für den Forecastprozess ist abgesehen davon, wie der Verkauf im Detail segmentiert sein mag, wesentlich, dass dieser in Segmente geteilt ist und jedes dieser Segmente mit zumindest einem *Verkaufssegment-Verantwortlichen* verbunden ist. Damit ergibt sich eine wie auch immer geartete Segmentierung des Verkaufs nach den oben angeführten, einschlägigen Kriterien und jedem einzelnen dieser Segmente ist ein verantwortlicher Verkaufsmitarbeiter zugeordnet.

Jedes dieser Segmente könnte als Forecastebene in die FCES-OCs aufgenommen werden. So erhielte man z. B. Forecasts für Produktgruppen, Regionen, Kundengruppen, usw. Ob Forecastdaten dieser Ausprägung eine ausreichende Detailtiefe aufweisen, um zur Planung und Steuerung von Lieferketten verwendet werden zu können, muss allerdings geprüft werden. Bei umfangreichen Produktpaletten und komplexen Liefernetzwerkstrukturen wird die erforderliche Detailtiefe eher nicht ohne weiteres gegeben sein. Dieses Problem wird in Abschnitt 5.4 weiter untersucht und in Kapitel 7 werden Möglichkeiten zu seiner Lösung gezeigt.

Als *Restümee* des Abschnitts 5.3 ist festzuhalten, dass mit der Auswahl der Forecastebenen in Form von bestimmten Leistungseinheiten bzw. Constraints, bestimmten Lagerpositionen und in Form von Verkaufssegmenten nach den oben dargestellten Selektionsverfahren festgelegt ist, *welche Forecastebenen* in den FCES-OCs geführt werden. Während die Selektion und Festlegung von Forecastebenen in Form von Leistungseinheiten und Lagerpositionen aber bereits klar umrissen ist, besteht hinsichtlich der *erforderlichen* Ausprägung der Forecastebenen des Verkaufs noch Klärungsbedarf.

Um der Lösung dieses Problems näher zu kommen, wird im folgenden Abschnitt 5.4 untersucht, wie Forecastebenen in Form von Constraints und Lagerpositionen mit Forecastebenen des Verkaufs verflochten und verzahnt sind.

---

<sup>294</sup> Vgl. Wotruba und Thurlow, 1976, S. 11; Moon et al., 2000, S. 26; Moon et al., 1998, S. 49; Lawrence und O'Conner, 2000, S. 373; Lawrence et al., 2000, S. 157.

<sup>295</sup> Vgl. Moon et al., 1998, S. 45 ff.; Steward in Fildes et al., 2002, S. 8 ff.; Winkelhofer et al., 1996, S. 205.

<sup>296</sup> Vgl. Heinen, 1991, S. 629 f.

## 5.4 Synchronisation des Forecastprozesses – grundlegende Betrachtungen

Die Synchronisation des Informationsflusses zwischen den verschiedenen Partnern in der Lieferkette wird als wichtige Voraussetzung dafür gesehen, dass Kapazitäten gut genutzt, Servicegrade hoch und Lagerbestände auf niedrigem Niveau gehalten werden können<sup>297</sup>.

Im Kontext mit Forecastprozesses umfasst die Synchronisation des Informationsflusses zwei zentrale Aspekte. Der erste Aspekt besteht in der *zeitlichen Verkettung* der Forecastebenen untereinander und auch mit den durch Forecasts beeinflussten Aktivitäten zur Planung und Steuerung der Lieferketten; der zweite Aspekt besteht in der *Transformation der Bedarfsmengen* zwischen den verschiedenen Forecastebenen.

Der Aspekt der *zeitlichen Verkettung* bezieht sich auf folgende Fragen:

- a) Für *welchen* Orts-Zeitbezugspunkt erstellt der Verkauf seine Forecasts? Erstellt er sie z.B. für Versandtermine ab Produktionswerk, Termine der Warenübergabe an den Kunden an einem bestimmten Ort oder für gar Fakturierungstermine ohne Ortsangabe?
- b) Wie kann aus dem Bedarfstermin des Kunden am vereinbarten Übergabeort auf Materialentnahmetermine und Belegungstermine von Leistungseinheiten geschlossen werden?
- c) Wie kann von den Zeitintervallen, in welchen Über- oder Unterbelegungen von Leistungseinheiten bzw. Lagerunterdeckungen zu erwarten sind, auf Zeitintervalle geschlossen werden, in welchen Maßnahmen zur Steuerung der Lieferkette gesetzt werden sollten?

Der Aspekt der *Transformation der Bedarfsmengen* zwischen den verschiedenen Forecastebenen bezieht sich auf die folgende Frage:

- d) Wie können Mengen und Mengeneinheiten zwischen zusammenhängenden Forecastebenen mit ausreichender Genauigkeit übertragen bzw. transformiert werden?

Abb. 5.3 zeigt schematisch, wie Materialentnahmetermine, Belegungstermine von Fertigungseinheiten und Kundenabholungstermine auf der Zeitachse miteinander verkettet sind.

Bzgl. *Frage a)* lässt sich grundsätzlich feststellen, dass ein Termin gewählt werden muss, der als *Bezugspunkt* für die Berechnung aller anderen wesentlichen Zeitpunkte in Abb. 5.3 herangezogen werden kann. Aus der Sicht des Verkaufs bieten sich die Zeitpunkte der Warenübergabe an den Kunden am Übergabeort oder die Versandtermine ab dem Produktionswerk des Endartikels an. Diese Termine sind jene, die dem Verkauf aufgrund seiner Kundennähe am ehesten bekannt sein sollten.

---

<sup>297</sup> Vgl. Donselaar et al., 2001, S. 520; Heikkilä, 2002, S. 751; Giamoccaro und Pontrandolfo, 2002, S. 2; Min und Zhou, 2002, S. 237; Erengüc et al., 1999, S. 226.

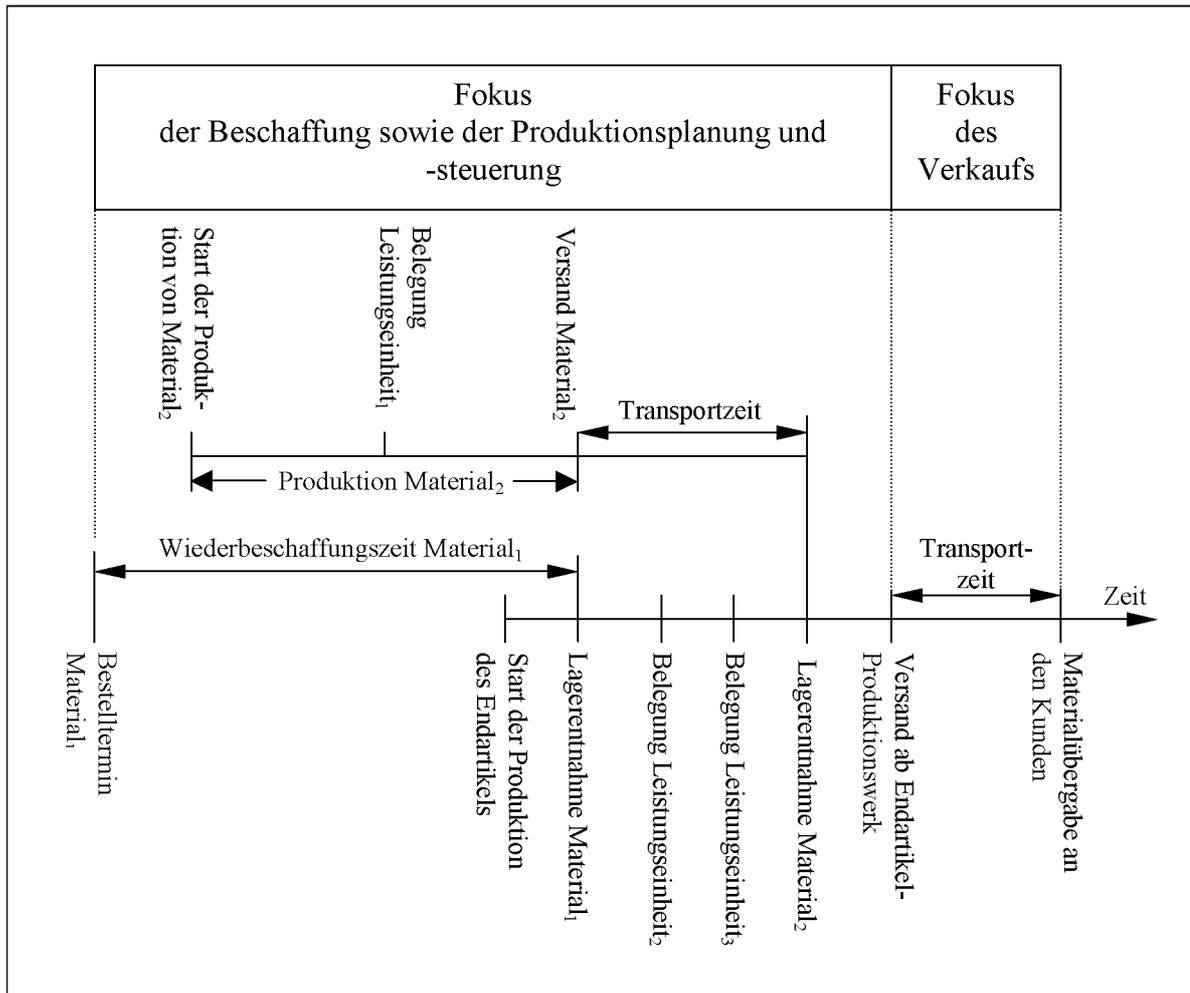


Abb. 5.3: schematische Darstellung der zeitlichen Verkettung verschiedener Forecastebenen bzgl. eines bestimmten Endprodukts; Quelle: eigene Darstellung.

Welchen Termin und mit diesem Termin verbundenen Ort der Verkauf als Zeitbezugspunkt für seine Forecasts auch immer wählt ist sekundär, solange gewährleistet ist, dass aus diesem Orts-Zeit-Bezugspunkt auf die für die Beschaffung und Produktionsplanung und -steuerung wesentlichen Termine geschlossen werden kann.

Die Fragen b) und d) seien anhand eines Beispiels erläutert:

Wenn der Verkauf den Absatz von 100t der Endproduktgruppe A für die Kalenderwoche 40 am Ort X prognostiziert, so ist nicht ohne weiteres ableitbar, für welche Kalenderwoche (bzw. Kalenderwochen) Lagerentnahmen bzw. Belegungen von Leistungseinheiten zu erwarten sind. Auch lässt sich nicht ohne weiteres sagen, welche Lagerpositionen (aus Primär- und Sekundärbedarfen) und welche Leistungseinheiten (Arbeitsplätze, Aggregate) betroffen sind und weiter auch nicht, wie die Quantitäten der Entnahme und der Belegung sein werden.

Ist die Endproduktgruppe in ihrem Erzeugniszusammenhang *homogen und deterministisch*, so lassen sich die gewünschten Transformationen von Forecastebenen des Verkaufs zu solchen in Form von Lagerpositionen und Leistungseinheiten aus dem Erzeugniszusammenhang gewinnen. Ist die Endproduktgruppe bzgl. des

Erzeugniszusammenhangs hingegen *heterogen*, so ist die gewünschte Transformation ohne eine weitere Differenzierung des Verkaufsforecasts *nicht* möglich.

Noch stärker als für bzgl. des Erzeugniszusammenhangs heterogene Endproduktgruppen wird das für Verkaufsforecastebenen in Form von Regionen oder Kundengruppen gelten. Denn Verkaufsforecastebenen in Form von Regionen oder Kundengruppen können eine vielfältige Mischung an Endprodukten mit völlig divergierenden Erzeugniszusammenhängen enthalten.

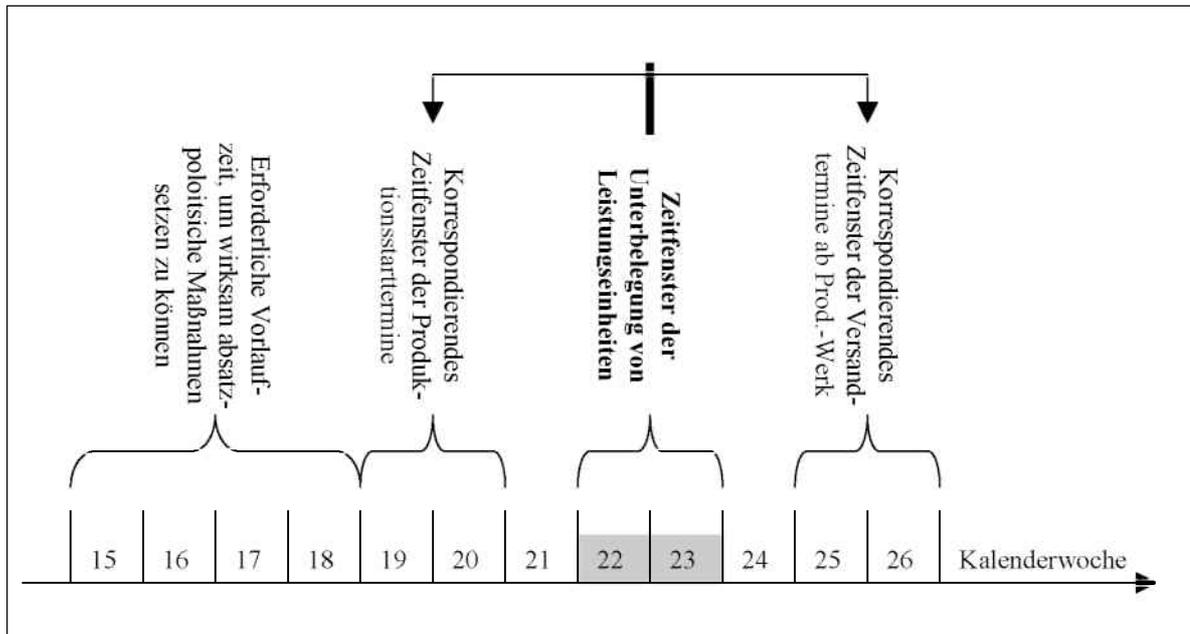


Abb. 5.4, Zusammenhang zwischen Zeitfenstern der Unterbelegung von Leistungseinheiten und dem Zeitpunkt zu dem absatzpolitische Maßnahmen gesetzt werden sollten für den Fall, dass der Decoupling-Point mit dem Produktionsstarttermin zusammenfällt; Quelle: eigene Darstellung.

Eine Lösung des Problems bestünde darin, dass der Verkauf Forecasts für jeden *einzelnen* Endartikel erstellt. Ganz abgesehen von dem damit verbundenen Aufwand - in der Dissertation wird von Produktpaletten einiger Zehntausend Endartikel ausgegangen - kann überdies nicht vorausgesetzt werden, dass der Verkauf überhaupt dazu in der Lage ist, auf Ebene des Einzelartikels generell eine Forecastgenauigkeit zu erreichen, die jene, welche auf Basis von historischen Daten und quantitativen Methoden erreicht werden kann, übersteigt<sup>298</sup>. Hingegen wird der Verkauf aufgrund seiner Kundennähe und seiner Kenntnisse des Absatzmarktes aber sehr wohl hilfreiche Informationen *entsprechend* seiner internen Strukturen zur Verfügung stellen können (z. B. nach Regionen, Kundengruppen oder Verantwortungsbereichen von Produktmanagern)<sup>299</sup>.

Davon ausgehend wird man versuchen müssen, Verkaufsforecastebenen zu bilden, die *einerseits* einheitliche Erzeugniszusammenhänge aufweisen *andererseits* aber auch so ausgeprägt sind, dass der Verkauf seine Markt- und Kundeninformationen einbringen kann. Einmal mehr muss man auch hierbei einen Kompromiss aus möglichst geringer

<sup>298</sup> Vgl. auch Lamouri und Thomas, 2000, S. 410 sowie Bunn und Vassilopoulos, 1999, S. 432.

<sup>299</sup> Vgl. Moon et al., 2000, S. 26.

Komplexität der festzulegenden Struktur und einer ausreichenden Abbildungsgenauigkeit finden. Die Lösung dieses Problems ist eines der Hauptziele in Kapitel 7.

Frage c) stellt gewissermaßen die Umkehrung von Frage b) dar. Während es bei Frage b) darum geht, wie Forecast-Informationen in der Lieferkette *upstream* weitergegeben werden können, geht es bei Frage c) darum, wie die Weitergabe von Informationen *downstream* erfolgen kann. Kündigt sich beispielsweise eine Unterbelegung einer Leistungseinheit an, so könnte man darauf mit Preissenkungen reagieren. Wesentlich ist dabei, dass diese Preissenkungen vom Verkauf *zur rechten Zeit* gesetzt wird.

Abb. 5.4 gibt diesen Zusammenhang, für den Fall dass der Decoupling-Point mit dem Produktionsstarttermin zusammenfällt, beispielhaft wieder. Anhand Abb. 5.4 lässt sich Folgendes sagen: Kündigt sich für die Kalenderwochen 22 und 23 Unterbelegungen an, so sollte der Verkauf danach trachten, für Versandtermine in den Kalenderwochen 25 und 26 zusätzliche Aufträge zu akquirieren. Mit den verstärkten Akquirierungsaktivitäten müsste der Verkauf in Kalenderwoche 15 beginnen. Spätestens zu Beginn von Kalenderwoche 18 sollten bereits zusätzliche Aufträge für die Produktion frei gegeben sein.

Um Aussagen dieser Art treffen zu können, müssen also *Durchlaufzeiten* und für die Umsetzung von Steuerungsmaßnahmen erforderlichen *Vorlaufzeiten* berücksichtigt werden.

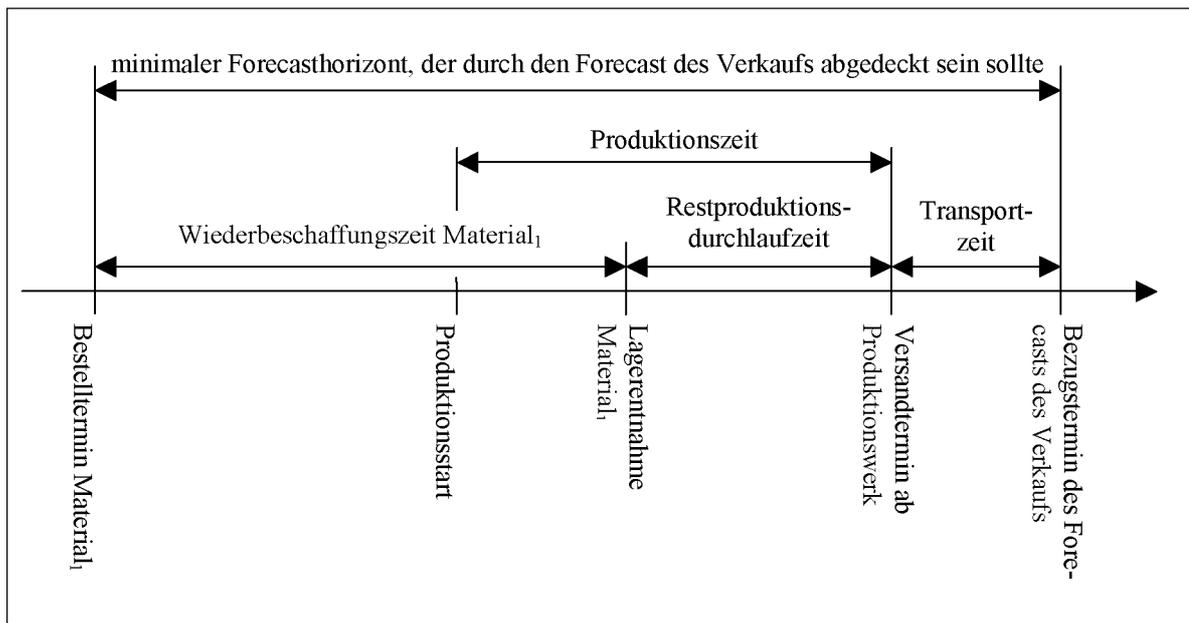


Abb. 5.5, Zusammenhang zwischen Wiederbeschaffungszeit, Restproduktionsdurchlaufzeit, Transportzeit und dem minimalen Forecasthorizont, der durch den Forecast des Verkaufs abgedeckt sein sollte; Quelle: eigene Darstellung.

Abgesehen von den Fragen a) bis d) lässt sich anhand von Abbildung 5.3 auch zeigen, *wie lang* die Forecasthorizonte des Verkaufs sein sollten, um in der Beschaffung und Produktionsplanung und -steuerung ohne die Integration zusätzlicher Daten verwendet werden zu können. Will man beispielsweise Material<sub>1</sub> auf Basis von Verkaufsforecasts disponieren, so muss der Forecasthorizont des Verkaufs zumindest die Wiederbeschaffungszeit für Material<sub>1</sub> und die Restproduktionsdurchlaufzeit ab der

Lagerentnahme enthalten (wenn der Verkauf Forecasts für den Versandtermin ab Produktionswerk erstellt), bzw. zusätzlich die Transportzeit zum Kunden (wenn der Verkauf Forecasts für den Übergabetermin an den Kunden erstellt). Diese Zusammenhänge sind in Abb. 5.5 verdeutlicht.

Ist der Forecasthorizont des Verkaufs kürzer als oben dargestellt, können Forecasts des Verkaufs zwar grundsätzlich auch in der Beschaffung und in der Produktionsplanung und -steuerung verwendet werden, müssen aber beispielsweise extrapoliert oder durch Forecasts anderer Art ergänzt werden.

Obige Ausführungen zeigen, dass

- a) ein Orts-Zeitbezugspunkt für die Forecasts des Verkaufs festgelegt werden muss (z.B. der Termin der Warenübergabe an den Kunden inkl. des Übergabeorts),
- b) Wiederbeschaffungs-, Durchlauf-, Transport- und Vorlaufzeiten bei der Übertragung von spezifischen Forecasts einer Organisationseinheit in für andere Organisationseinheiten verwendbare Forecasts berücksichtigt werden müssen,
- c) bei dieser Übertragung auch Mengen- und Einheitentransformationen erforderlich sind und
- d) die gewünschte Mindestlängen der Forecasthorizonte des Verkaufs aus Wiederbeschaffungs-, Durchlauf- und Transportzeiten abgeleitet werden können.

Bzgl. der Punkte a) und d) besteht kein weiterer Klärungsbedarf. Anders verhält sich das für die Punkte b) und c). Wege zur Erfüllung der mit den Punkte b) und c) verknüpften Anforderungen werden in Kapitel 7 gezeigt.

## 5.5 Zusammenfassung der Ergebnisse aus Kapitel 5

Es wurde untersucht, wie die Forecastebenen von FCES-OCs unter Berücksichtigung der Lieferkettenstrukturen und des Zielsystems so festgelegt werden können, dass eine gute Balance zwischen der Anzahl der berücksichtigten Forecastebenen und der Effektivität von FCES-OCs gewährleistet ist. Darüber hinaus wurden grundlegende Betrachtungen über die Synchronisation des Forecastprozesses vor allem in Bezug auf die Diskontinuitäten zwischen den drei Organisationseinheiten Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf angestellt.

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass eine Festlegung der Forecastebenen in der Form, *dass all jene Bereiche der Lieferketten erfasst sind, die auf Basis von Forecasts geplant werden müssen und überdies signifikanten Einfluss darauf haben, inwieweit die Ziele des Zielsystems erreicht werden können*, durch eine gezielte Kombination verschiedener Methoden, Theorien und Überlegungen möglich ist.

Da es nicht möglich war, aus der Literatur ausgereifte und integrierte Konzepte darüber zu entnehmen, *wie aggregierte Forecastebenen unter Berücksichtigung der*

*Lieferkettenstrukturen gebildet werden können*, wurde ein Konzept erarbeitet, das eben diese gezielte Kombination der oben angeführten Faktoren enthält. Dieses Konzept ist als *Anleitung* dafür zu verstehen, *wie die Forecastebenen für das FCES-OC festgelegt werden sollten*.

Im einzelnen geht dieses Konzept davon aus, dass es drei Typen von Forecastebenen gibt. Diese drei Typen sind

1. die Constraints (permanente und temporäre),
2. die Lagerpositionen (Fertigungsmaterialien sowie Halb- und Fertigfabrikate)
3. und die Verkaufssegmente (z. B. Kundengruppen und Regionen).

Zur Bestimmung jener Elemente, die als eigene Forecastebenen in die FCES-OCs aufgenommen werden, wurden folgende *Merkmale der Lieferkette* berücksichtigt:

- die Leistungseinheiten, welche die Leistung der gesamten Lieferketten begrenzen (Constraints),
- temporäre Materialengpässe,
- die Lage der Decouplingpunkte,
- die Bedarfsverläufe und
- die Lagerkosten.

Als *Methoden, Ansätze und Hilfsmittel* zu Bewertung dieser Elemente wurden

- die TOC,
- das kapazitätsorientierten PPS-System nach Neumann,
- die ABC-Analyse,
- das Konzept der Decouplingpunkte und
- der grundlegende Ansatz der XYZ-Analyse verwendet.

Wobei der grundlegende Ansatz der XYZ-Analyse an Besonderheiten, die sich aus bestimmten Anforderungen an FCES-OCs und aus der Verfügbarkeit von Daten zu Bedarfsverläufen im Kontext mit Constraints ergeben, angepasst wurde.

Damit konnte ein Teil der Forecastebenen, welche in die FCES-OCs aufgenommen werden, *klar umrissen* werden; nämlich die Forecastebenen in Form von Constraints und in Form von Lagerpositionen. Klärungsbedarf besteht aber noch bzgl. der Festlegung der Forecastebenen des Verkaufs.

Dieses Problemfeld ist eng mit der Frage danach verbunden, wie die *Mengen und Zeittransformationen* zwischen Forecasts des Verkaufs und jenen der Beschaffung und der Produktionsplanung und -steuerung erfolgen sollen.

Wie gezeigt wurde, *erzwingen* die Merkmale der Lieferkette eine bestimmte Ausprägung der Forecastebenen des Verkaufs. Sieht man von Endartikeln ab, deren Decouplingpunkte vor dem Start des letzten Produktionsschrittes liegen, ist es nicht erforderlich, dass der Verkauf für jeden einzelnen Endartikel einen eigenen Forecast

erstellt. Jedoch muss gewährleistet sein, dass die Inhalte der Forecastebenen des Verkaufs auf den Ebenen der Constraints und der Lagerpositionen aggregiert werden können.

Es wäre wünschenswert, dass der Verkauf seine Forecasts *direkt* für die im FCES-OC als Forecastebenen geführten Constraints und Lagerpositionen erstellt. Beispielsweise würden sich dann für den in Abschnitt 5.2 vorgestellten Produktionsstandort  $\alpha$  anstatt der 10.000 Endartikel und der 54 A-Materialien lediglich 13 Forecastebenen für die Constraints und 5 für die A-Materialien ergeben (Anmerkung: 49 der 54 A-Materialien des Produktionsstandortes  $\alpha$  werden auf Basis von Auftragsdaten disponiert).

Allerdings ist diese Idee völlig praxisfern, denn der Verkauf kann ja mit den Kunden nicht über die Bedarfe für die Constraint XY oder das Sekundärmaterial YZ sprechen, da weder der Kunde noch der Verkauf wissen können, in welcher Form Kundenspezifikationen zu Kapazitäts- und Materialbedarfen führen.

Diese Überlegung zeigt aber, wie groß das Potential zur Komplexitätsverminderung in all jenen Fällen ist, in welchen die Anzahl der Endartikel jene der Constraints zuzüglich der Anzahl der Materialien, die auf Basis von Forecasts disponiert werden müssen, um ein Mehrfaches übersteigt. Offen bleibt vorerst die Frage, wie dieses Potential angesichts der Diskontinuitäten zwischen den Forecastebenen des Verkaufs und jenen der Beschaffung und der Produktionsplanung und -steuerung genutzt werden kann.

Abgesehen von der Festlegung der Forecastebenen für die FCES-OCs wurde in Kapitel 5 gefunden, wie die *Mindestlängen* der Forecasthorizonte des Verkaufs anhand einer Addition bestimmter Zeitabschnitte ermittelt werden können und dass für die Forecasts des Verkaufs *Zeit- und Ortsbezugspunkte* vereinbart werden müssen.

Überdies ist festzuhalten, dass der Ansatz von Min und Zhou einer Untergliederung der Planungsbereiche nach ihrer Bedeutung in aktiv gestaltete, beobachtete und nicht beobachtete Planungsbereiche in FCES-OCs integriert werden kann, indem man in den einzelnen Bewertungsschritten zur Auswahl der Forecastebenen entsprechende Klassenabgrenzungen setzt. Dieser Ansatz schließt mit ein, dass Forecastebenen ihre Klassenzuordnung wechseln können. Auslöser dafür können z.B. neu auftretende Constraints, bisher nicht beobachtete Bedarfsspitzen oder Verschiebungen von Decouplingpunkten sein.

Auch wird es aus *strategischen* Gründen vereinzelt notwendig sein, fallweise Forecastebenen, die gemessen am Zielsystem von untergeordneter Bedeutung sind, in die FCES-OCs aufzunehmen. Beispielsweise kann sich diese Notwendigkeit bei der Markteinführung von neuen Produkten oder in besonderen Wettbewerbssituationen ergeben.

## 5.6 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf die Hauptfragestellungen der Dissertation

Die in Kapitel 5 bearbeitete Festlegung und Synchronisation der Forecastebenen berührt vor allem die Ausarbeitung von FCES-OCs - also die zweite Hauptfragestellung.

Abgesehen davon gibt es aber auch Berührungspunkte mit der ersten und der dritten Hauptfragestellung. Bzgl. der ersten Hauptfragestellung ist festzustellen, dass durch die Forecastebenen jene Bedarfssegmente gegeben sind, auf die das zu erarbeitende Kriterium zur Verfolgung der Forecasterfüllung anzuwenden ist. Bzgl. der dritten Hauptfragestellung hat sich gezeigt, dass eine Reihe von Aktivitäten wie z.B. verkaufsfördernde Maßnahmen im Hinblick auf drohende Unterbelegungen mit entsprechenden Vorlaufzeiten zu setzen sind. Letzteres muss in der Ausarbeitung von forecastbasierenden Planungs- und Steuerungsmaßnahmen berücksichtigt werden.

Zurückkommend auf die zweite Hauptfragestellung (Ausarbeitung von FCES-OCs) lässt sich entsprechend der in Kapitel 5 gewonnenen Erkenntnisse Folgendes feststellen:

Kapitel 5 hat gezeigt, dass die Effizienz von FCES-OCs durch eine an den Strukturen der Lieferketten orientierte Untergliederung der Forecastebenen in Constraints, in Lagerpositionen und in Verkaufsforecastebenen maximiert werden kann. Die Untergliederung der Forecastebenen in diese drei Typen wird daher als Basisstruktur für die Ausarbeitung von FCES-OCs in Kapitel 7 herangezogen.

Darüber hinaus ist es mit den in Kapitel 5 gewonnenen Erkenntnissen möglich, folgende Elemente von FCES-OCs zu bestimmen:

- Forecastebenen in Form von Constraints.
- Forecastebenen in Form von Lagerpositionen.
- Mindestlängen der Forecasthorizonte des Verkaufs.

Bzgl. der *Forecastebenen des Verkaufs* hat sich in diesem Zusammenhang gezeigt, dass diese durch die verkaufsinterne Organisation *vorgeprägt* sind. Wie ihre Ausprägung *im Detail* zu sein hat, muss aber noch ausgearbeitet werden.

Diese Detailausprägung ist durch die in FCES-OCs geführten Constraints und Lagerpositionen bestimmt. Denn nur wenn die Forecasts des Verkaufs *zeit- und mengenrichtig* auf die Constraints und die Lagerpositionen übertragen werden, können sie als Grundlage für die Planung und Steuerung der Beschaffung und der Produktion herangezogen werden. Das *Ziel* der Ausarbeitung der Forecastebenen des Verkaufs muss daher darin bestehen, die Verkaufsforecastebenen einerseits so festzulegen, dass diese Übertragbarkeit gewährleistet ist und andererseits, die durch die verkaufsinterne Organisation vorgeprägte Segmentierung beibehalten werden kann oder nur wenig ergänzt werden muss. Denn nur, wenn die durch die verkaufsinterne Organisation vorgeprägte Segmentierung weitgehend beibehalten werden kann, ist der Verkauf in der Lage, Forecasts guter Qualität zu erstellen.

Damit liegt in der Ausarbeitung der Forecastebenen des Verkaufs einer der Schlüssel zur *Reduktion der Komplexität* (bzw. dessen Effizienzmaximierung) von FCES-OCs. Bei voller Ausschöpfung des in Kapitel 5 durch eine Analyse und Nutzung der Lieferkettenstrukturen gefundene Potentials zur Komplexitätsreduktion würde sich die Anzahl der Forecast-Ebenen auf die Anzahl der in den FCES-OCs geführten Constraints zuzüglich der Anzahl der gleichfalls in den FCES-OCs geführten Lagerpositionen reduzieren und dennoch eine uneingeschränkte Planbarkeit der in den FCES-OCs geführten Constraints und Lagerpositionen gewährleistet sein.

Davon abgesehen ist die Anzahl der in den FCES-OCs geführten Constraints und Lagerpositionen durch die Grenzsetzungen der in Kapitel 5 vorgestellten Anleitung zur Festlegung der Forecastebenen für die FCES-OCs steuerbar. Bei Ressourcenmangel oder

in Einführungsphasen hat man damit die Möglichkeit, sich bzgl. der forecastbasierenden Unternehmensergebnismaximierung auf die allerwichtigsten Forecastebenen zu konzentrieren oder nur relativ wenige Forecastebenen in die Klasse der aktiv gesteuerten Forecastebenen aufzunehmen und relativ viele in die Klassen der beobachteten und nicht beobachteten. Durch die erläuterten Selektions- und Bewertungsverfahren ist es damit möglich, die für die Betreibung des Forecastprozesses zur Verfügung stehenden Ressourcen gezielt auf jene Elemente der Lieferketten zu konzentrieren, die im Hinblick auf die Zielerfüllung im Kontext mit einer forecastbasierenden Planung und Steuerung das größte Potential zu einer verbesserten Zielerfüllung beinhalten.

Davon abgesehen hat Kapitel 5 auch ergeben, dass die Forecasts des Verkaufs Orts- und Zeitbezugspunkte aufweisen müssen und die Verknüpfung der Forecasts des Verkaufs mit jenen der Beschaffung und der Produktionsplanung und -steuerung auf Basis der MRP-Logik erfolgen kann.

Alle in Kapitel 5 gefundenen Ansätze zur Bildung von FCES-OCs sind Ausgangspunkte für Kapitel 7, in dem die zweite Hauptfragestellung explizit bearbeitet wird.

## 6 Überwachung der Forecasterfüllung

In diesem Kapitel wird die **erste der drei Hauptfragestellungen** der Dissertation bearbeitet. Diese erste Hauptfragestellung lautet:

*Auf Basis des Konzepts „Forecastconsumption“ soll eine Methode ausgearbeitet werden, die es erlaubt, die Forecasterfüllung kontinuierlich zu verfolgen und vorausschauend zu bewerten. Ziel dieser Methode ist es, zu einem beliebigen Zeitpunkt Aussagen darüber treffen zu können, ob gegebene Forecasts aller Voraussicht nach noch erfüllt werden können oder aber überprüft bzw. überarbeitet werden müssen.*

Im Detail ist das Kapitel wie folgt aufgebaut:

Anknüpfend an bereits gewonnene Erkenntnisse werden unter 6.1 empirische Indizien dafür präsentiert, dass der Auftragsbestand als Indikator für zukünftige Bedarfsentwicklungen betrachtet werden kann.

Durch logische Verknüpfung dieser empirischen Indizien, bestimmter in vorausgegangenen Abschnitten gewonnener Erkenntnisse und der Analyse von empirischem Datenmaterial wird unter 6.2 ein mathematisches Kriterium entwickelt, das eine vorausschauende Bewertung der Forecasterfüllung innerhalb bestimmter Forecasthorizonte ermöglicht.

Unter 6.3 wird dieses Kriterium auf zwei Fallbeispiele aus der zentralen Europalogistik von RHI-Refractories angewandt.

Abgeschlossen wird das Kapitel mit der Diskussion und der Bewertung der Ergebnisse unter 6.4.

### 6.1 Der Auftragsbestand als Indikator für zukünftige Bedarfsentwicklungen

In Abschnitt 2.2.7 wurde gezeigt, dass das Konzept des Forecastkonsums (bzw. Forecastconsumption) eine strikte Trennung zwischen bereits bestehenden Aufträgen (actual demand) und den noch offenen, vorerst nur prognostizierten Bedarfen (forecasted demand) beinhaltet. Der Gesamtbedarf ergibt sich dabei aus der Summe der bereits bestehenden Aufträge und den vorerst nur prognostizierten Bedarfen.

Der mit der Zeit fortschreitende Prozess der Substitution von prognostizierten Bedarfen durch eingehende Aufträge wurde in Abb. 2.2 schematisch skizziert<sup>300</sup>. In den

---

<sup>300</sup> Vgl. Abschnitt 2.2.7.

Abschnitten 3.4.2 und 3.5 wurde das Konzept des Forecastkonsums in Beziehung zu Verteilungen von Kundenlieferzeiten gestellt. Dabei hat sich gezeigt, dass die Ausprägung des fortschreitenden Prozesses der Substitution von prognostizierten Bedarfen durch eingehende Aufträge von der Verteilung der Kundenlieferzeiten abhängt.

Die folgende Betrachtung knüpft an diese Erkenntnis an. In Abb. 6.1 ist anhand von vier Momentaufnahmen dargestellt, wie sich der kumulierte Bedarf für ein bestimmtes Produktsegment von RHI-Refractories entwickelt hat. Aus den immer weiter steigenden kumulierten Bedarfskurven ist ersichtlich, wie sich neue Aufträge zu den jeweils bereits bestehenden addieren. Geht man von einem fixierten Zeiter sprung aus (in Abb. 6.1 könnte das z.B. der 31.12.00 sein), so nimmt der kumulierte Bedarf aufgrund der neu eingehenden Aufträge immer weiter zu.

Ausgehend vom *jeweiligen* Zeitpunkt der Momentaufnahme weisen die kumulierten Bedarfskurven eine charakteristische Form auf. Im engeren Zeithorizont ab dem Zeitpunkt der Momentaufnahme steigen die Kurven verhältnismäßig stark an, um dann mit länger werdenden Zeithorizonten zu verflachen. Es zeigt sich hier ein Charakteristikum dieser Kurven, das bei einer Streuung der Kundenlieferzeiten *zwangsläufig* auftreten muss.

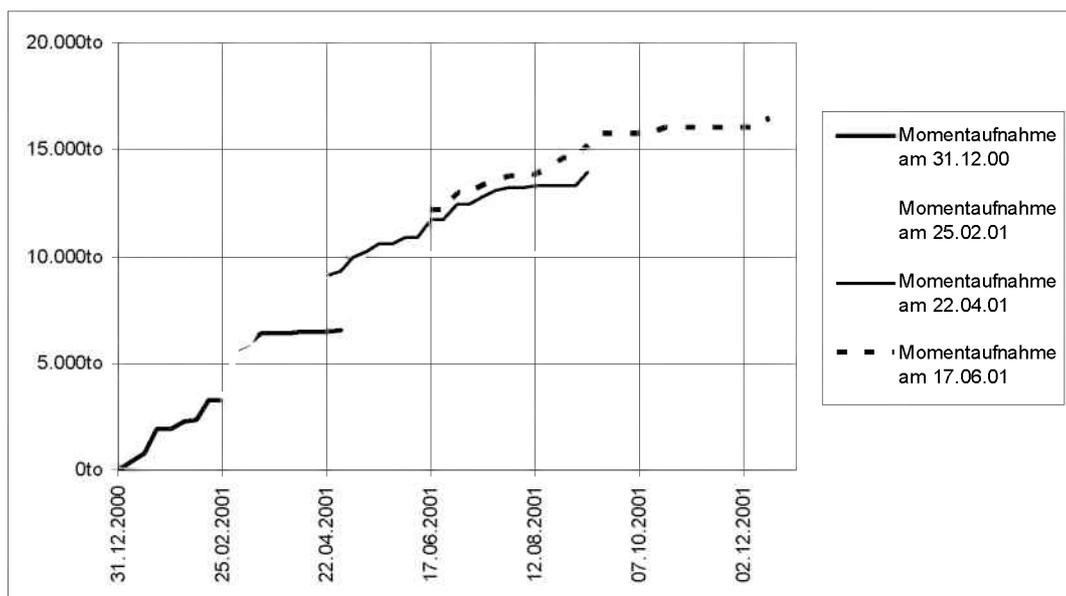


Abb. 6.1: Entwicklung der kumulierten Bedarfe eines bestimmten Produktsegments von RHI-Refractories anhand von Momentaufnahmen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Rohdaten von RHI-Refractories.

Bezogen auf ein nicht zu schmales Zeitfenster muss eine Streuung der Kundenlieferzeiten nämlich dazu führen, dass für dieses Zeitfenster Bedarfe mit langen Kundenlieferzeiten *frühzeitig* vorliegen, während Bedarfe mit kurzen Kundenlieferzeiten *erst später* dazu kommen. Daraus folgt, dass sich ein *einzelnes* nicht zu schmales Zeitintervall mit dem Fortschreiten der Zeit immer weiter auffüllt und zwar so lange, bis die verbleibende Zeitspanne bis zum Ende des Zeitintervalls die kürzeste auftretende Kundenlieferzeit unterschreitet<sup>301</sup>.

<sup>301</sup> Vgl. auch Abschnitt 3.5

Einige Beispiele für diesen Vorgang sind in Abb. 6.2 wiedergegeben. Sie stammen aus dem selben Datensatz wie die Momentaufnahmen in Abb. 6.1. Auf der Ordinate sind die Bedarfe aus bestehenden Aufträgen in Mengeneinheiten aufgetragen; auf der Abszisse der jeweilige Zeitabstand zwischen dem Zeitpunkt der Datenerhebung und dem Ende des jeweiligen Zeitintervalls (die Zeitintervalle sind durch Kalenderwochen gegeben).

Aus Abb. 6.2 ist ersichtlich, dass die ersten Bedarfe aus bestehenden Aufträge für die Kalenderwochen 200124, 200133 und 200137 bereits zumindest 12 Wochen vor dem jeweiligen Ablauf dieser Kalenderwochen vorlagen. Die ersten Bedarfe für Kalenderwoche 200117 lagen bereits zumindest 16 Wochen vor dem Ablauf dieser Kalenderwoche vor. Überdies lässt sich erkennen, dass sich die *Endbedarfs*mengen zum Teil bereits sehr früh einstellten. So ergab sich die Endbedarfsmenge für Kalenderwoche 200137 bereits 12 Wochen vor deren Ablauf. Es sei noch angemerkt, dass die Zuordnung der Bedarfe zu den Kalenderwochen nach ihren *Lieferterminen ab dem Produktionswerk* erfolgt ist und die Produktionsdurchlaufzeit drei bis vier Wochen beträgt.

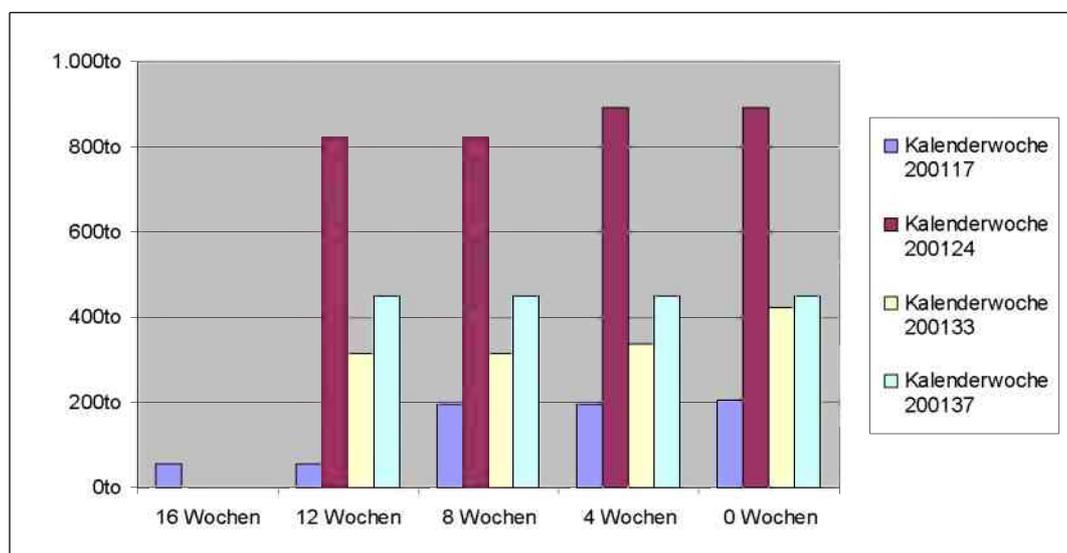


Abb. 6.2: Entwicklung der Bedarfsmengen für vier verschiedene Kalenderwochen in Abhängigkeit von der verbleibenden Zeit zwischen dem Zeitpunkt der Datenerhebung und dem Ablauf der jeweiligen Kalenderwoche; Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Daten von RHI-Refractories.

Wenn also zumindest einzelne Kunden ihre Aufträge frühzeitig platzieren, so liegen schon *frühzeitig* konkrete Bedarfsinformationen in Form von bereits bestehenden Aufträgen vor. Abb. 6.3 zeigt diesen Zusammenhang in anderer Form. Dargestellt sind zwei der vier Momentaufnahmen kumulierter Bedarfskurven aus Abb. 6.1; dazu der Durchschnitt aus den vier Momentaufnahmen in Abb. 6.1 und ein fiktiver Forecast, der für beide Momentaufnahmen gelte. Im Unterschied zu Abb. 6.1 sind die Momentaufnahmen auf ein und den selben Zeitsprung bezogen.

Stellt man die beiden Momentaufnahmen kumulierter Bedarfskurven in Abb. 6.3 in Relation zum fiktiven Forecast und zur Durchschnittskurve, so lässt sich Folgendes feststellen: die Momentaufnahme vom 22.04.01 liegt *unter* der Durchschnittskurve, während jene vom 31.12.00 *über* der Durchschnittskurve und sehr viel näher beim fiktiven Forecast liegt. Fragt man nun danach, wie sich die kumulierte Bedarfsmenge für Forecasthorizonte im Bereich von 10 bis 12 Wochen für die beiden verschiedenen

Momentaufnahmen entwickeln könnte, so liegt es nahe anzunehmen, dass für die Momentaufnahme am 31.12.00 *eher* zu erwarten ist, dass der Forecast *überschritten* wird als für die Momentaufnahme vom 22.04.01; während umgekehrt eine *Unterschreitung* des Forecasts eher ausgehend von der Momentaufnahme am 22.04.01 zu befürchten ist als ausgehend von der Momentaufnahme vom 31.12.00.

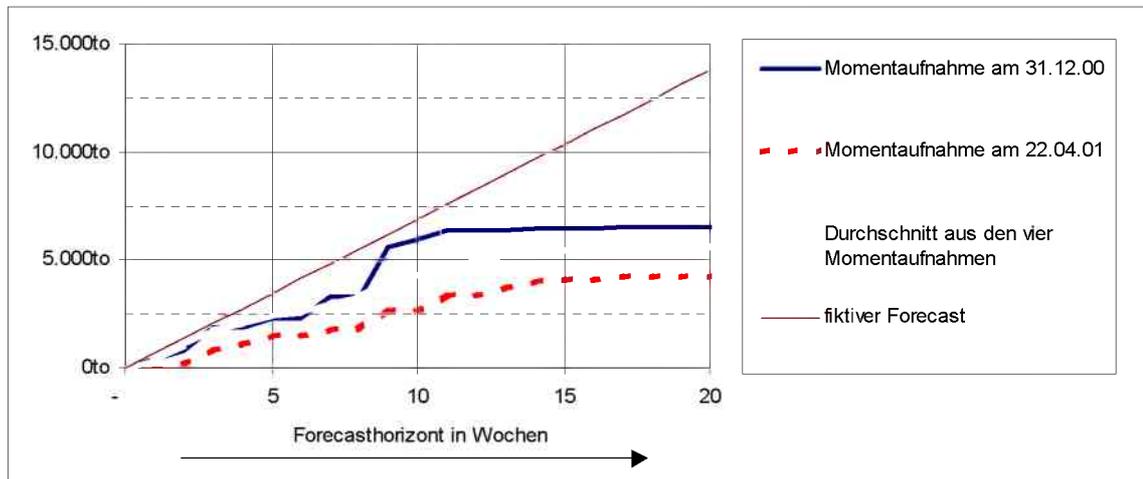


Abb. 6.3: zwei der vier bereits in Abb. 6.1 dargestellten kumulierten Bedarfskurven; im Unterschied zu Abb. 6.1 jedoch auf den selben Zeitursprung bezogen; zusätzlich sind der Durchschnitt aus den vier Momentaufnahmen in Abb. 6.1 und ein fiktiver Forecast mit eingetragen; Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Daten von RHI-Refractories.

Zusammengefasst lässt sich aus den obigen Betrachtungen die Hypothese ableiten, dass eine Streuung von Kundenlieferzeiten dazu führt, dass der Auftragsstand eines bestimmten Zeitintervalls zu einem bestimmten Zeitpunkt, der vor dem Ablauf dieses Zeitintervalls liegt, als Indikator für die Endbedarfsmengen dieses Zeitintervalls herangezogen werden kann. Ob Kundenlieferzeiten in der Praxis tatsächlich Streuungen aufweisen, wurde in Abschnitt 3.6 untersucht. Es hat sich gezeigt, dass alle zur Verfügung stehenden empirischen Daten darauf hindeuten, dass die Streuungen von Kundenlieferzeiten in der Praxis erheblich sind. Damit sollte es möglich sein, aus einem Vergleich zwischen dem Auftragsstand zu einem bestimmten Zeitpunkt und dem zugehörigen Forecast quantitative Aussagen darüber zu machen, ob die im Forecast geführten Bedarfsmengen als wahrscheinliche Endbedarfsmengen anzusehen sind. Letzteres sollte umso stärker gelten, je kürzer die verbleibende Zeitspanne bis zum Ende des untersuchten Zeitintervalls im Vergleich zu den kürzesten Kundenlieferzeiten ist.

Inwieweit diese an sich trivial erscheinende Hypothese haltbar ist, wird in den beiden nächsten Abschnitten untersucht.

## 6.2 Bildung eines Kriteriums zur Analyse gegebener Forecasts auf Basis von Istauftragsständen

In diesem Abschnitt wird ausgehend von der unter 6.1 gefundenen, hypothetischen Annahme, dass zwischenzeitliche Teilbedarfsmengen aus bereits fixierten Kundenaufträgen als Indikator für die Größe der Endbedarfsmengen herangezogen werden können, ein Kriterium entwickelt, das eine Beurteilung gegebener Forecasts hinsichtlich ihrer Fehlerhaftigkeit auf Basis von Istauftragsständen erlaubt.

Zu diesem Zweck werden unter 6.2.1 einige modellhafte Betrachtungen angestellt.

Unter 6.2.2 folgt auf Basis dessen die Formulierung des gesuchten Kriteriums.

### 6.2.1 Die Prognostizierbarkeit von Endbedarfsmengen auf Basis von Teilbedarfsmengen

Die erste Frage, die geklärt werden soll, besteht darin, wie Teilbedarfsmengen eines bestimmten Zeitintervalls zu einem Zeitpunkt, der vor dem Ablauf dieses Zeitintervalls liegt, mit der Endbedarfsmenge dieses Zeitintervalls zusammenhängen.

Eine fiktive Ausprägung dieser Frage könnte wie folgt lauten:

Am Ende von Kalenderwoche 30 liegt der Auftragsstand für die Kalenderwoche 35 bei 500to (das sind die Mengen aus allen bis Ende der Kalenderwoche 30 vorliegenden Aufträge, die in Kalenderwoche 35 geliefert werden müssen); welche Endbedarfsmenge ist für Kalenderwoche 35 zu erwarten?

Grundsätzlich sind bzgl. des Zusammenhangs zwischen frühzeitig vorliegenden Teilbedarfsmengen und den Endbedarfsmengen für ein bestimmtes Planungsintervall zwei *Extremausprägungen* möglich:

- a) Die *Verteilung der Kundenlieferzeiten* der Endbedarfsmenge *jedes* beliebigen Planungsintervalls stellt sich immer wieder *exakt gleich* ein. Damit ergibt sich zwangsläufig, dass der Korrelationskoeffizient zwischen bereits vorliegenden Teilbedarfsmengen und den Bedarfsmengen, die noch zu erwarten sind, 1 ist<sup>302</sup>. Überdies ist das Mengenverhältnis zwischen Teilbedarfsmengen und den Bedarfsmengen, die noch zu erwarten sind, durch die Verteilung der Kundenlieferzeiten exakt gegeben.
- b) Der Korrelationskoeffizient zwischen frühzeitig vorliegenden Teilbedarfsmengen und den Bedarfsmengen, die noch zu erwarten sind, ist Null.

---

<sup>302</sup> Zum Begriff Korrelationskoeffizient vgl. von Auer, 2003, S. 32.

Ist **Ausprägung a)** der Fall, so lässt sich die Endbedarfsmenge durch eine Multiplikation der Teilbedarfsmenge, die zu einem beliebigen Zeitpunkt vor Ablauf des untersuchten Zeitintervalls vorliegt, mit einem Faktor, der aus der Verteilung der Kundenlieferzeiten abgeleitet wird, berechnen.

Für das obige fiktive Zahlenbeispiel könnte die Verteilung der Kundenlieferzeiten beispielsweise wie folgt ausgeprägt sein:

Lieferzeitklasse Angaben in Wochen	Mengenanteil
0 bis < 1	5%
1 bis < 2	5%
2 bis < 3	10%
3 bis < 4	10%
4 bis < 5	10%
5 bis < 6	10%
6 bis < 7	20%
7 bis < 8	20%
8 bis < 9	5%
9 bis < 10	5%

Tab. 6.1: fiktive Verteilung von Kundenlieferzeiten; Quelle: eigene Darstellung.

Geht man von dieser Verteilung aus, so müsste sich für das obige fiktive Beispiel ergeben, dass die Ende Kalenderwoche 30 vorliegende Teilauftragsmenge für Kalenderwoche 35 von 500 to 60% der Endbedarfsmenge für Kalenderwoche 35 darstellen. Damit läge die Endbedarfsmenge für KW35 bei 833 to.

Liegt also Ausprägung a) vor, so lässt sich aus einer gegebenen Teilbedarfsmenge sehr einfach auf die exakte Endbedarfsmenge rechnen. Das heißt auch, dass die exakte Endbedarfsmenge für ein bestimmtes Zeitintervall berechnet werden kann, *sobald* die verbleibende Zeit bis zum Ende des Zeitintervalls, für das die Endbedarfsmenge berechnet werden soll, kleiner ist als die längste Kundenlieferzeit.

Ist **Ausprägung b)** der Fall, so sind Verteilungen der Kundenlieferzeiten *verschiedener* Planungsintervalle voneinander verschieden und es gibt keine Möglichkeit die Endbedarfsmengen mit der unter Ausprägung a) erläuterten Vorgangsweise vorauszuberechnen. Geht man aber davon aus, dass die Verteilung der Kundenlieferzeiten über unendlich lange Zeitspannen – also eine unendliche Zahl von Planungsintervallen – zu einer bestimmten Verteilung konvergieren, so lässt sich folgende die Betrachtung anstellen.

Eingehende Kundenaufträge verhielten sich bzgl. ihrer Kundenlieferzeiten gemäß der in Tab. 6.1 gegebenen Verteilung. Das gelte nun ausdrücklich *nicht* für jedes *einzelne* Planungsintervall. Die in Tab. 6.1 gegebene Verteilung stelle sich aber über unendlich lange Zeitspannen ein (Anmerkung: Unter Wochenbedarfsmenge ist hier die Endbedarfsmenge, welche in einer bestimmten Woche geliefert werden muss, gemeint). Die einzelnen Wochenbedarfsmengen seien stochastisch voneinander unabhängig. Die zwischen beliebigen Wochenbedarfsmengen auftretenden Autokorrelationen sind damit alle Null<sup>303</sup>. Da - wie oben für Ausprägung b) vorausgesetzt - auch zwischen Teilbedarfsmengen verschiedener Lieferzeitklassen eines einzelnen Planungsintervalls

<sup>303</sup> Zum Begriff der Autokorrelation vgl. Abraham u. Ledolter, 1983, S. 61 ff. und von Auer, 2003, S. 39.

keine Korrelationen bestehen, sind die Erwartungswerte von Teilbedarfsmengen *bestimmter Kundenlieferzeitintervalle* für alle Planungsintervalle (bzw. Kalenderwochen) konstant. Letzteres setzt im übrigen einen stationären Prozess voraus<sup>304</sup>.

Das würde beispielsweise bedeuten, dass der Erwartungswert der Teilbedarfsmenge mit einer Lieferzeit von 2 bis < 3 Wochen für alle Planungsintervalle gleich groß ist. Geht man weiter davon aus, dass alle Teilbedarfsmengen eine konstante Standardabweichung  $\sigma$  aufweisen, so könnte bzgl. der Teilbedarfsmengen für das oben skizzierte, fiktive Zahlenbeispiel Folgendes gelten:

Lieferzeitklasse Angaben in Wochen	Mengenanteil	Erwartungswert	Standardabweichung
0 bis < 1	5%	50to	$\sigma$
1 bis < 2	5%	50to	$\sigma$
2 bis < 3	10%	100to	$\sigma$
3 bis < 4	10%	100to	$\sigma$
4 bis < 5	10%	100to	$\sigma$
5 bis < 6	10%	100to	$\sigma$
6 bis < 7	20%	200to	$\sigma$
7 bis < 8	20%	200to	$\sigma$
8 bis < 9	5%	50to	$\sigma$
9 bis < 10	5%	50to	$\sigma$
Summe	100%	1.000to	

Tab. 6.2, Quelle: eigene Darstellung.

Die in Tab. 6.1 gegebene Verteilung der Kundenlieferzeiten wurde beibehalten. Zur besseren Veranschaulichung wurde der Erwartungswert der Gesamtbedarfsmenge für jede beliebige Kalenderwoche fiktiv auf 1.000to festgelegt.

Welche Aussage ist auf Basis dessen bzgl. der oben gestellten Frage nach der Endbedarfsmenge für Kalenderwoche 35 möglich; wenn also am Ende von Kalenderwoche 30 eine Teilauftragsmenge von 500to vorliegt?

Sind Zufallsvariablen – wie im betrachteten Fall vorausgesetzt – voneinander unabhängig, so ergibt sich die Standardabweichung der Summe dieser Zufallsvariablen wie folgt<sup>305</sup>:

$$\sigma(x_1 + \dots + x_n) = \sqrt{\sigma^2(x_1) + \dots + \sigma^2(x_n)} \quad (6.1)$$

$x_1 + \dots + x_n$  .... voneinander unabhängige Zufallsvariablen

Über den Erwartungswert der Endbedarfsmenge von Kalenderwoche 35 lässt sich damit Folgendes sagen:

vorliegende Teilbedarfsmenge bis Ende Kalenderwoche 30	500to
Erwartungswert Auftragseingang mit Lieferzeiten 4 bis < 5 Wochen	100to
Erwartungswert Auftragseingang mit Lieferzeiten 3 bis < 4 Wochen	100to
Erwartungswert Auftragseingang mit Lieferzeiten 2 bis < 3 Wochen	100to
Erwartungswert Auftragseingang mit Lieferzeiten 1 bis < 2 Wochen	50to

<sup>304</sup> Vgl. dazu Abraham und Ledolter, 1983, S. 194.

<sup>305</sup> Vgl. Fahrmeir et al., 1997, S. 246 ff.

Erwartungswert Auftragseingang mit Lieferzeiten 0 bis < 1 Wochen	50to
Erwartungswert Endbedarfsmenge Kalenderwoche 35	900to

Für den Endbedarfswert von Kalenderwoche 35 ergibt sich also ein Erwartungswert von 900to. Entsprechend Beziehung (6.1) liegt die Standardabweichung dieser Endbedarfsmenge am Ende von Kalenderwoche 30 bei:

$$\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}} = \sigma\sqrt{5}$$

Am Ende von Kalenderwoche 31 – also 4 Wochen vor Ablauf der Kalenderwoche 35 – liegt sie bei:

$$\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}} = \sigma\sqrt{4}$$

Die Standardabweichung der Endbedarfsmenge der Kalenderwoche 35 ( $\sigma_{\text{EBM-KW35}}$ ) wird mit dem Fortschreiten der Zeit also immer kleiner, bis die Endbedarfsmenge schließlich am Ende von Kalenderwoche 35 fixiert ist.

$\sigma_{\text{EBM-KW35}}$  hängt also davon ab, wie viel Zeit bis zum Ende von Kalenderwoche 35 verbleibt; es gilt

$$\sigma_{\text{EBM-KW35}}(\Delta t) = \sigma_{\text{Teilbedarfsmenge}}\sqrt{\Delta t} \quad (6.2)$$

$\Delta t$  .... vorbleibende Zeitspanne bis zum Ende von Kalenderwoche 35

In Abb. 6.4 ist dieser Zusammenhang graphisch wiedergegeben. Je näher das Ende von Kalenderwoche 35 rückt, umso kleiner ist die Standardabweichung der Endbedarfsmenge. Oder anders ausgedrückt: je näher das Ende von Kalenderwoche 35 rückt, umso genauer kann die Endbedarfsmenge vorhergesagt werden.

In Tab. 6.2 wurde die Standardabweichung der Teilbedarfsmengen der Anschaulichkeit wegen als konstant für alle Lieferzeitklassen angenommen. Ist die Aussage, dass die Standardabweichung der Endbedarfsmenge umso kleiner wird, je näher das Ende des untersuchten Planungsintervalls rückt, auch dann gültig, wenn die Standardabweichungen der Teilbedarfsmengen verschiedener Lieferzeitklassen *voneinander differieren*?

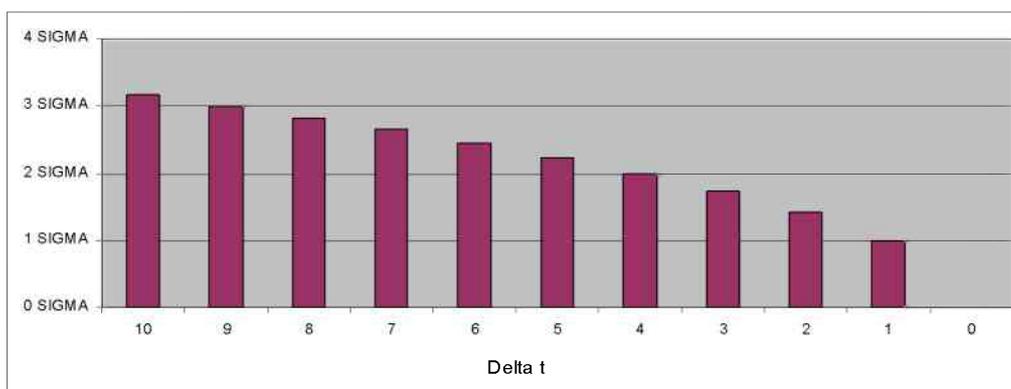


Abb. 6.4:  $\sigma_{\text{EBM-KW35}}$  als Funktion von  $\Delta t$ ; Quelle: eigene Darstellung.

Gemäß Beziehung (6.1) kann diese Frage eindeutig mit ja beantwortet werden. Was sich gegenüber einer über alle Lieferzeitklassen konstanten Standardabweichung ändert, ist lediglich der qualitative Verlauf der Funktion  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}} = f(\Delta t)$ . Je nach Ausprägung der verschiedenen Standardabweichungen der einzelnen Lieferzeitklassen wird sich  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  damit in anderer Form an Null annähern als in Abb. 6.4 dargestellt; die Annäherung an Null mit kleiner werdendem  $\Delta t$  bleibt aber jedenfalls erhalten. Gleiches gilt für beliebig ausgeprägte Verteilungen der Kundenlieferzeiten (bzw. für beliebige Ausprägungen der Erwartungswerte der Teilbedarfsmengen).

Bleibt die Annäherung von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  an Null auch erhalten, wenn die *Autokorrelationen* zwischen den Endbedarfsmengen verschiedener Planungsintervallen *nicht* Null sind? Signifikante Autokorrelationen zwischen Endbedarfsmengen verschiedener Planungsintervalle würden dazu führen, dass die Erwartungswerte der Endbedarfsmengen eines bestimmten Planungsintervalls von Endbedarfsmengen anderer Planungsintervalle abhängen. Zwar würden dadurch die Erwartungswerte des untersuchten Planungsintervalls davon abhängen, wie die Bedarfsmengen vorausgehender Planungsintervalle ausgeprägt sind, die Annäherung von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  mit kleiner werdendem  $\Delta t$  an Null bleibt aber dennoch erhalten.

Selbst wenn sich die Standardabweichungen der einzelnen lieferzeitabhängigen Teilbedarfsmengen von Planungsintervall zu Planungsintervall verändern würden, bliebe die Annäherung von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  an Null weiter gegeben (auch wenn sich dann ihre Berechnung komplizierter gestalten würde).

Liegt also Ausprägung b) vor, so ist im Gegensatz zu Ausprägung a) vorzeitig zwar *keine exakte* Bestimmung der Endbedarfsmenge möglich; liegt aber eine bestimmte Verteilung der Kundenlieferzeiten zugrunde, so kann die Endbedarfsmenge *umso genauer* vorausgesagt werden, *je kleiner* der Zeitabstand bis zum Ende des untersuchten Planungsintervalls wird.

Im *Allgemeinen* ist davon auszugehen, dass abgesehen von den Extremausprägungen a) und b) *Mischformen* auftreten, die dadurch gekennzeichnet sind, dass die zwischen Teilbedarfsmengen verschiedener Lieferzeitklassen innerhalb ein und des selben Planungsintervalls auftretenden Korrelationskoeffizienten größer als Null und kleiner als Eins sind.

Wie im Folgenden gezeigt wird, ist eine monotone Annäherung von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  an Null mit fortschreitender Zeit in solchen Fällen nicht unbedingt gegeben.

Bestehen Korrelationen zwischen Teilbedarfsmengen ein und des selben Planungsintervalls, so lässt sich  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  wie folgt berechnen<sup>306</sup>.

$$\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t) = \sqrt{\sum_{i=1}^n \text{VAR}(TBM_i) + 2 \sum_{i < j} \text{COV}(TBM_i, TBM_j)} \quad (6.3)$$

$TBM_i$

Teilbedarfsmenge des Kundenlieferzeitintervalls i

<sup>306</sup> Vgl. Fahrmeir et al., 1997, S. 350 ff.

$i$  Kundenlieferzeitenintervalle innerhalb von  $\Delta t$   
 $COV(TBM_i, TBM_j)$  Kovarianz zwischen Teilbedarfsmengen

Anmerkung: die Kovarianz steht mit dem Korrelationskoeffizienten in folgender Beziehung<sup>307</sup>:

$$\text{Korrelationskoeffizient}(x_1, x_2) = \frac{COV(x_1, x_2)}{\sigma_{x_1} \sigma_{x_2}}$$

Übersteigen Kovarianzen zwischen Teilbedarfsmengen bestimmte Größen und sind sie überdies negativ, so nimmt  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  mit dem Fortschreiten der Zeit um ein Planungsintervall zu (und nicht ab). Dieser Umstand sei anhand eines einfachen *Beispiels* mit nur zwei Lieferzeitklassen verdeutlicht.

Gegeben seien Lieferzeitintervall 1 mit Lieferzeiten von 0 bis max. einer Woche und Lieferzeitintervall 2 mit einer Lieferzeit von größer 1 und maximal 2 Wochen. Damit setzt sich jede Endbedarfsmenge aus nur zwei Teilbedarfsmengen zusammen.

Damit  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  für das Planungsintervall Kalenderwoche 44 am Ende von Kalenderwoche 43 kleiner ist als am Ende von Kalenderwoche 42 müsste gelten:

$$VAR(TBM_{1, KW44}) + VAR(TBM_{2, KW44}) + 2COV(TBM_{1, KW44}, TBM_{2, KW44}) > VAR(TBM_{2, KW44})$$

Wobei der Index *KW44* bedeutet, dass die jeweilige Teilbedarfsmenge in Kalenderwoche 44 geliefert werden muss.

Damit müsste gelten:

$$VAR(TBM_{1, KW44}) + 2COV(TBM_{1, KW44}, TBM_{2, KW44}) > 0 \quad (6.4)$$

Da Kovarianzen aber auch negativ und überdies auch größer als eine der beiden mit ihnen zusammenhängende Varianzen sein können, ist (6.4) nicht immer erfüllt. Leicht vor Augen führen kann man sich das anhand des folgenden Zahlenbeispiels:

Planungsintervall	Teilbedarfsmenge 1	Teilbedarfsmenge 2	Endbedarfsmenge
1	50	150	200
2	150	50	200
3	30	170	200
4	170	30	200
5	100	100	200
6	50	150	200
7	60	140	200
8	70	130	200
9	75	125	200
10	130	70	200

<sup>307</sup> Vgl. von Auer, 2003, S. 32.

Die Endbedarfsmenge zeigt sich in diesem Beispiel als Konstante, während die Teilbedarfsmengen jeweils Schwankungen und damit jede für sich Varianzen aufweisen.

Im Allgemeinen ist daher damit zu rechnen, dass  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  mit dem Fortschreiten der Zeit auch ansteigen kann.

In der Praxis zeigt sich jedoch, dass Zunahmen von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  mit dem Fortschreiten der Zeit *nur selten auftreten und eine signifikante Abnahme von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  mit dem Fortschreiten der Zeit als Standardfall anzusehen ist.*

In Abb. 6.5 sind neun Beispiele von Verläufen von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  bestimmter Constraints aus RHI-Produktionsstätten in China (3 Kurven), Deutschland (2 Kurven), Kanada (eine Kurve), Mexiko (eine Kurve), Österreich (eine Kurve) und Spanien (eine Kurve) angeführt. Die Analysen wurden jeweils für Aufträge mit Lieferterminen im Zeitraum 01.01.2007 bis 30.06.2007 erstellt. Lieferzeitklassen wurden nach Wochenintervallen gebildet. Die Zahlen auf der Abszisse geben die verbleibende Zeit bis zum Ende des betrachteten Planungsintervalls in Wochen an. Die Prozentangaben auf der Ordinate beziehen sich auf die maximale aus den Stichproben berechnete Standardabweichung, die jeweils mit 100% normiert wurde.

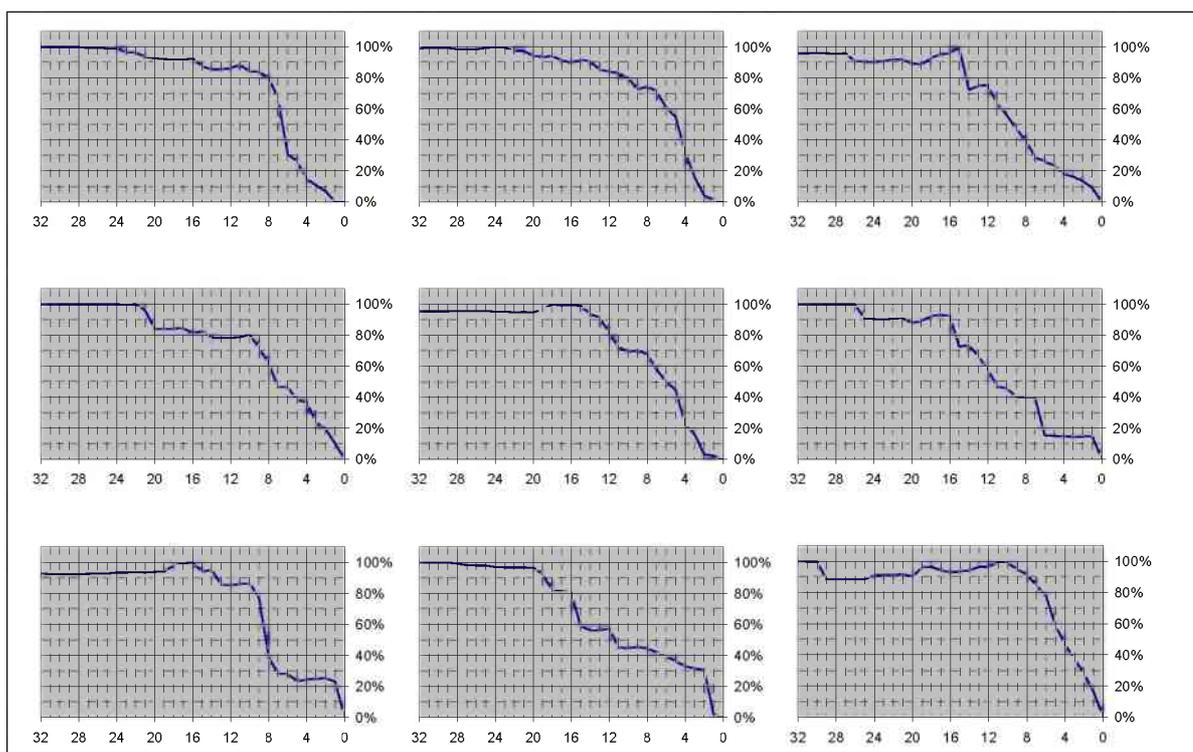


Abb. 6.5: Verlauf von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  mit dem Fortschreiten der Zeit für neun Constraints; Quelle: Rohdaten von RHI-Refractories in eigener Darstellung.

In Abb. 6.6 folgen sechs Beispiele von Verläufen von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  für Vertriebssegmente, welche nach dem selben Analyseschema erstellt wurden. Diese Vertriebssegmente sind die RHI-Regionen Afrika, China, Indien und Westeuropa sowie die RHI-Marktsegmente Hochöfen und Zementproduktion.

Eine Ursache für die vereinzelt Zuwächse von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  könnte darin bestehen, dass Auftragsdisponenten Planungsintervalle, welche schon mit Großaufträgen, die in der

Regel mit längeren Lieferzeiten eingehen, belegt sind, bei der Terminierung von neu eingehenden Aufträgen meiden, um Bedarfsverläufe für die Produktion im Bereich der gegebenen Möglichkeiten zu glätten.

Die heterogene Auswahl der in den Abbildungen 6.5 und 6.6 gezeigten Beispiele wurde im übrigen bewusst gewählt, um Anhaltspunkte darüber zu gewinnen, ob Zuwächse von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  mit dem Fortschreiten der Zeit in der Praxis häufig auftreten.

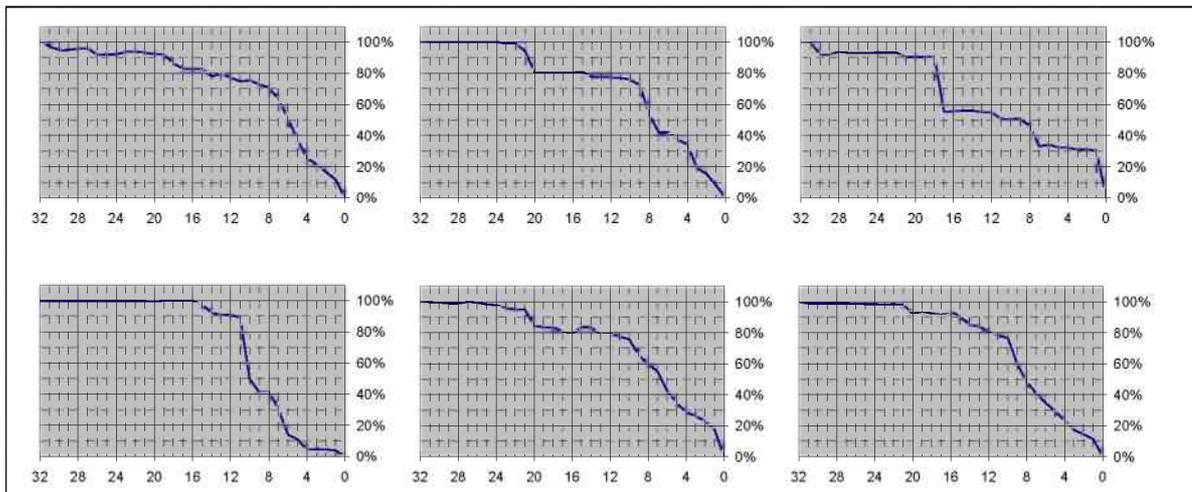


Abb. 6.6: Verlauf von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}$  mit dem Fortschreiten der Zeit für sechs Vertriebssegmente; Quelle: Rohdaten von RHI-Refractories in eigener Darstellung.

Zusammenfassend kann anhand der obigen Betrachtungen festgestellt werden, dass  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  für ein bestimmtes Planungsintervall in der Regel *umso kleiner ist, je kleiner der Zeitabstand bis zum Ende dieses Planungsintervalls wird*, sofern der Zeitabstand bis zum Ende des Planungsintervalls eine bestimmte Länge unterschreitet. Darüber hinaus kann der Verlauf von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  in Abhängigkeit von der Länge des Zeitabstands bis zum Ende des Planungsintervalls aus den historischen Daten geschätzt werden.

Auf diesen Erkenntnissen basiert das im folgenden Abschnitt 6.2.2 gebildete Kriterium zur Beurteilung von gegebenen Forecast auf Basis von Istauftragsständen.

Darüber hinaus legen obige Betrachtungen den Schluss nahe, dass Endbedarfsmengen auf Basis von nach Lieferzeitklassen differenzierten Teilbedarfsmengen und bereits vorliegenden Kundenaufträgen genauer prognostiziert werden können als ausschließlich auf Basis der Endbedarfsmengen. Letzteres erscheint auch deshalb plausibel, da bereits vorliegende Kundenaufträge und die Zuordnung jedes Bedarfsfalls zu einer Lieferzeitklasse gegenüber dem Fall, dass man nur die Endbedarfsmengen kennt, Zusatzinformationen darstellen, deren Nutzung einen Genauigkeitsgewinn mit sich bringen sollte. Damit würde gelten:

$$e(TBM, KLZ, HBV) \leq e(HBV) \quad (6.5)$$

$e(TBM, KLZ, HBV)$	Forecastfehler von Forecasts, die auf Basis von bereits vorliegenden Teilbedarfsmengen, den Verteilungen von Kundenlieferzeiten und historischen Bedarfsverläufen erstellt werden.
$e(HBV)$	Forecastfehler von Forecasts, die <i>ausschließlich</i> auf Basis von Zeitreihen der historischen <i>End</i> bedarfsmengen erstellt werden.

Ein mathematischer Beweis der allgemeinen Gültigkeit von (6.5) dürfte schwierig und aufwändig sein, da er auch eine Analyse von Kovarianzen zwischen Teilbedarfsmengen *unterschiedlicher* Planungsintervalle beinhalten müsste. Abgesehen davon ist (6.5) für die Formulierung des in der dritten Hauptfragestellung gesuchten Kriteriums nicht erforderlich.

Auch wegen des Aufwands und der Schwierigkeiten wird deshalb von einem Beweis von (6.5) abgesehen. (6.5) wird innerhalb dieser Dissertation im Kontext mit den obigen Betrachtungen aber als gut begründete Hypothese betrachtet und in den unter Abschnitt 6.3 ausgeführten Fallbeispielen mit Erfolg verifiziert.

## 6.2.2 Ein Kriterium zur Beurteilung gegebener Forecasts auf Basis von Teilbedarfsmengen aus bereits fixierten Kundenaufträgen

Sofern der gegebene und mit dem gesuchten Kriterium zu prüfende Forecast korrekt ist, muss der *zum Zeitpunkt der Prüfung vorliegende Teilauftragsstand* gemäß den obigen Ausführungen *in einem bestimmten Verhältnis* zur *im gegebenen Forecast angezeigten Endbedarfsmenge* stehen. Wobei die Grenzen innerhalb welcher die Teilbedarfsmengen liegen müssen, in der Regel umso enger werden, je näher das Ende des untersuchten Planungsintervalls rückt.

Es ist also zu klären, ob der zum Zeitpunkt der Beurteilung vorliegende Teilauftragsstand ein Maß erreicht hat, das die durch den Forecast angezeigte Endbedarfsmenge weiterhin als wahrscheinlich erscheinen lässt.

Dieser Ansatz lässt sich wie folgt ausdrücken:

$$FC_i - AE_{i,\max}(\Delta t) \leq TBM_i(\Delta t) \leq FC_i - AE_{i,\min}(\Delta t) \quad (6.7)$$

$FC_i$	gegebener bzw. zu überprüfender Forecast der Endbedarfsmenge des Planungsintervalls $i$
$AE_{i,\max}(\Delta t)$ und $AE_{i,\min}(\Delta t)$	als wahrscheinlich angesehener maximaler bzw. minimaler noch ausständiger Auftragseingang für das Planungsintervall $i$
$TBM_i(\Delta t)$	für das Planungsintervall $i$ vorliegende Teilbedarfsmenge, wenn bis zum Ende des Planungsintervall $i$ die Zeitspanne $\Delta t$ verbleibt.

Bezogen auf den *gegebenen Forecast* kann (6.7) zu folgender Beziehung umgeformt werden:

$$TBM_i(\Delta t) + AE_{i,\min}(\Delta t) \leq FC_i \leq TBM_i(\Delta t) + AE_{i,\max}(\Delta t) \quad (6.8)$$

Solange der gegebene Forecast also innerhalb der durch (6.8) festgelegten Grenzen liegt, wird dieser weiterhin als wahrscheinlich angesehen. Liegt der gegebene Forecast jedoch außerhalb dieser Grenzen, wird er angezweifelt und muss überprüft bzw. überarbeitet werden.

Damit bleibt die Frage zu klären, wie  $AE_{i,\max}(\Delta t)$  und  $AE_{i,\min}(\Delta t)$  bestimmt werden sollen.

Bevor auf die Bestimmung von  $AE_{i,\max}(\Delta t)$  und  $AE_{i,\min}(\Delta t)$  eingegangen wird, sei noch darauf hingewiesen, dass für die Planung und Steuerung von Lieferketten in aller erster Linie *kumulierte* Forecasts von Bedeutung sind<sup>308</sup>. Bedarfsmengen kumulierter Forecasts errechnen sich wie folgt<sup>309</sup>:

$$FC_{\text{kum}}(t, n) = \sum_{i=t}^n FC_i \quad (6.9)$$

$FC_i$  Forecastbedarfsmengen einzelner aneinandergrenzender Planungsintervalle, beginnend mit Planungsintervall  $t$  bis zum Planungsintervall  $n$ .

Setzt man die Untergrenze des Zeitintervalls, über das die Forecastbedarfe kumuliert werden sollen, in die *Gegenwart*, so lässt sich (6.9) bzgl. der Überprüfung *kumulierter* Forecasts wie folgt ausdrücken:

$$TBM_{\Delta t} + AE_{\Delta t,\min} \leq FC_{\Delta t} \leq TBM_{\Delta t} + AE_{\Delta t,\max} \quad (6.10)$$

$\Delta t$  Zeitintervall beliebiger Länge mit Untergrenze in der Gegenwart.

$TBM_{\Delta t}$  zum Zeitpunkt der Überprüfung innerhalb des Zeitfensters  $\Delta t$  vorliegende Teilbedarfsmenge.

$AE_{\Delta t,\min}$  und  $AE_{\Delta t,\max}$  als wahrscheinlich angesehener maximaler bzw. minimaler *noch ausständiger* Auftragseingang für das Zeitfenster  $\Delta t$ .

$FC_{\Delta t}$  gegebener bzw. zu überprüfender Forecast der Endbedarfsmenge mit Lieferterminen innerhalb des Zeitintervalls  $\Delta t$ .

(6.10) ist der Ansatz, mit dem unter Abschnitt 6.3 Fallbeispiele bearbeitet werden. Dabei werden 26 verschiedene kumulierte Forecasts berechnet.  $\Delta t$  beginnt bei einer Woche und nimmt in Wochenschritten bis zu einem Maximum von 26 Wochen zu.

<sup>308</sup> Vgl. Kapitel 8.

<sup>309</sup> Vgl. Abraham u. Ledolter, 1983, S. 127.

Zur Bestimmung von  $AE_{\Delta t, \min}$  und  $AE_{\Delta t, \max}$  können die unter 6.2.1 gewonnenen Erkenntnisse bzgl.  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  herangezogen werden. Gemäß den unter 6.2.1 getroffenen Festlegungen ist  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  genau so aufzufassen wie die Standardabweichung des Mittelwertes von  $AE_{\Delta t}$ . Davon ausgehend lassen sich  $AE_{\Delta t, \min}$  und  $AE_{\Delta t, \max}$  bestimmen, indem man aus den historischen Auftragsdaten den Mittelwert, die Verteilung und die Standardabweichung von  $AE_{\Delta t}$  schätzt und daraus mit bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeiten (z.B. 90 oder 95%) verknüpfte Ober- und Untergrenzen für  $AE_{\Delta t}$  schätzt, welche dann als  $AE_{\Delta t, \min}$  und  $AE_{\Delta t, \max}$  in (6.10) eingesetzt werden können.

Abgesehen von den in der Regel wenigen Fällen, in welchen  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  mit dem Fortschreiten der Zeit wieder zunimmt, verkleinert sich die Breite des durch (6.10) gegebenen Intervalls mit dem Fortschreiten der Zeit immer weiter. D.h., dass Fehler der gegebenen Forecasts in der Regel um so eher als solche erkannt werden können, je kürzer  $\Delta t$  wird.

Aufbauend auf die Beobachtung, dass  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  mit dem Fortschreiten der Zeit in der Regel signifikant abnimmt, bietet sich eine *weitere, sehr anschauliche Möglichkeit* der Bestimmung von  $AE_{\Delta t, \min}$  und  $AE_{\Delta t, \max}$  an, die überdies auch keine Schätzungen der stochastischen Größen von  $AE_{\Delta t}$  erfordert.

Diese Art der Bestimmung besteht darin, dass man die *extremen historischen IST-Ausprägungen* von  $AE_{\Delta t}$  heranzieht. Diese Möglichkeit wird im Folgenden dargestellt und in den Fallbeispielen mit Erfolg eingesetzt.

Überprüft man kumulierte Forecasts einmal pro Woche entsprechend Beziehung (6.10) und liegt die Länge des untersuchten Planungsintervall (also  $\Delta t$ ) z. B. *bei einer Woche*, so wird man die größten und kleinsten Auftragsengänge (bzw. Bedarfsmengen) mit Kundenlieferzeiten von kleiner einer Woche für jede einzelne vergangene Kalenderwoche erheben. Liegt  $\Delta t$  bei 3 Wochen und der Zeitabstand zwischen den einzelnen Überprüfungen erneut bei einer Woche, so wird man Zeitintervalle mit der Länge von 3 Wochen bilden und für jedes einzelne dieser Zeitintervalle die Bedarfsmengen summieren, die mit Lieferzeiten von kleiner als 3 Wochen eingegangen sind. Die größte und kleinste so gebildete Bedarfsmenge entsprechen dann  $AE_{\Delta t, \max}$  und  $AE_{\Delta t, \min}$  für ein  $\Delta t$  von 3 Wochen. Aufgrund des Zeitabstandes von einer Woche zwischen den einzelnen Überprüfungsterminen, wird man die Dreiwochenintervalle so legen, dass ihre Grenzen jeweils eine Woche voneinander entfernt liegen. Beispielsweise werden einzelne Dreiwochenintervalle also die Kalenderwoche 1, 2 und 3; 2, 3 und 4; 3, 4 und 5; usw. umfassen.

Allgemein lässt sich das wie folgt ausdrücken:

$$AE_{\Delta t, \min} = \text{MIN}(AE_{I, \Delta t}, AE_{I+l, \Delta t}, AE_{I+2l, \Delta t}, AE_{I+3l, \Delta t}, \dots, AE_{I+nl, \Delta t}) \quad (6.11)$$

$$AE_{\Delta t, \max} = \text{MAX}(AE_{I, \Delta t}, AE_{I+l, \Delta t}, AE_{I+2l, \Delta t}, AE_{I+3l, \Delta t}, \dots, AE_{I+nl, \Delta t}) \quad (6.12)$$

$AE_{I, \Delta t}$  Bedarfsmenge deren Liefertermin im Zeitintervall  $(I; I+\Delta t)$  lag und nach dem Zeitpunkt  $I$  einging.

$AE_{I+nl, \Delta t}$  Bedarfsmenge deren Liefertermin im Zeitintervall  $(I+n*I; I+n*I+\Delta t)$  lag und nach dem Zeitpunkt  $I$  einging.

- $I$  Untergrenze des Zeitintervalls, für das Vergangenheitsdaten herangezogen werden bzw. vorliegen.
- $I + nl + \Delta t$  Obergrenze des Zeitintervalls, für das Vergangenheitsdaten herangezogen werden bzw. vorliegen.
- $l$  Intervallabstand zwischen zwei Zeitpunkten, zu welchen gegebene Forecasts überprüft werden.

Anstatt der Mini- und Maximalwerte kann aus den einzelnen Auftragseingängen auch ein Mittelwert errechnet werden, der zur Erstellung *kumulierter Forecasts* herangezogen werden kann.

$$AE_{\Delta t, \text{Mittelwert}} = \text{MITTELWERT}(AE_{I, \Delta t}, AE_{I+l, \Delta t}, AE_{I+2l, \Delta t}, AE_{I+3l, \Delta t}, \dots, AE_{I+nl, \Delta t}) \quad (6.13)$$

$$FC_{t, \text{kum}, \Delta t} = TBM_{t, \Delta t} + AE_{\Delta t, \text{Mittelwert}} \quad (6.14)$$

$FC_{t, \text{kum}, \Delta t}$  Kumulierter Forecast zum Erstellungszeitpunkt  $t$  für das Zeitintervall  $(t; t+\Delta t)$ .

$TBM_{t, \Delta t}$  Zum Zeitpunkt  $t$  vorliegende Teilbedarfsmenge für das Zeitintervall  $(t; t+\Delta t)$ .

$AE_{\Delta t, \text{max}}$  und  $AE_{\Delta t, \text{min}}$  entsprechend (6.11) und (6.12) können im Zusammenhang mit (6.10) wie folgt interpretiert werden:

Liegt der gegebene Forecast außerhalb des durch (6.10), (6.11) und (6.12) gegebenen Intervalls, so ist zu seiner Erfüllung eine *Extremausprägung* des Auftragseingangs erforderlich, die in dem zugrunde gelegten vergangenen Beobachtungszeitraum *noch nie* aufgetreten ist. Genau dann, wenn zur Erfüllung des gegebenen Forecasts eine im Beobachtungszeitraum nicht aufgetretene Extremausprägung des Auftragseingangs erforderlich wäre, *wird der gegebene Forecast angezweifelt bzw. überprüft und überarbeitet*.

Die Beziehungen (6.10) bis (6.12) werden der Analyse von Fallbeispielen im folgenden Abschnitt zu Grunde gelegt. *Wann* die Forecastfehler auf Basis der Beziehung (6.10), (6.11) und (6.12) als solche erkannt werden, hängt dabei auch von deren Größe ab. Große Forecastfehler sollten jedenfalls früher erkannt werden können als kleine. Forecastfehler, welche ein *Mindestmaß*, das sich errechnen lässt, *unterschreiten*, können gar nicht vorzeitig erkannt werden.

Zusammengefasst ist festzustellen, dass es durch logische Schlüsse und durch die Untersuchung des Verlaufs von  $\sigma_{\text{Endbedarfsmenge}}(\Delta t)$  mit dem Fortschreiten der Zeit in der Praxis möglich war, ein Kriterium zu entwickeln, das exakt den Anforderungen der ersten Hauptfragestellung der Dissertation entspricht.

Dieses Kriterium wird im Weiteren anhand von zwei Fallbeispielen auf seine Praxistauglichkeit hin überprüft. Darüber hinaus wird in den Fallbeispielen auch geprüft, ob verifiziert werden kann, dass die Forecastfehler von Forecasts, die auf Basis von lieferzeitklassenbasierenden Teilbedarfsmengen und bereits vorliegenden Kundenaufträgen erstellt werden, dann kleinere Forecastfehler als Forecasts aufweisen, die ausschließlich auf Zeitreihen der Endbedarfsmengen basieren, wenn der Zeitabstand

zwischen dem Termin der Erstellung des Forecasts und dem Ende des Zeitintervalls, für das der Forecast erstellt wird, bestimmte Längen unterschreitet.

### 6.3 Anwendung des Kriteriums auf Fallbeispiele

In diesem Abschnitt soll das in Abschnitt 6.2 gebildete Kriterium anhand von zwei Fallbeispielen verifiziert werden.

Die beiden Fallbeispiele stammen aus dem Tätigkeitsbereich der zentralen Europolistik von RHI-Refractories und wurden ausschließlich nach Kriterien der Datenverfügbarkeit ausgewählt. Für beide Fälle haben sich die Forecasts des Verkaufs *als falsch erwiesen*. Die Rohdaten zu den beiden Fallbeispielen sind dem Anhang zu entnehmen.

Im Einzelnen werden vier Fragen bearbeitet:

- a) Sind die Forecastfehler der gegebenen Forecasts auf Basis der Beziehungen (6.10), (6.11) und (6.12) erkennbar?
- b) Zu welchem Zeitpunkt sind diese Forecastfehler auf Basis der Beziehungen (6.10), (6.11) und (6.12) erkennbar?
- c) Kann verifiziert werden, dass eine auf Kundenlieferzeiten und Teilbedarfsmengen basierende Prognose der Endbedarfsmenge eines Planungsintervalls umso genauer ist, je näher dessen Ende auf der Zeitachse rückt?
- d) Kann verifiziert werden, dass auf Kundenlieferzeiten und Teilbedarfsmengen basierende Prognosen von Endbedarfsmengen *größere* Genauigkeiten aufweisen als solche, die unter *bloßer* Nutzung von Zeitreihen historischer Endbedarfsmengen erstellt werden, wenn der der Zeitabstand zwischen dem Termin der Erstellung des Forecasts und dem Ende des Zeitintervalls, für das der Forecast erstellt wird, bestimmte Längen unterschreitet?

Zur Beantwortung von Frage d) werden Forecasts auf Basis von etablierten quantitativen Forecasttechniken mit Hilfe der Software *STATGRAPHICS Centurion XV*<sup>310</sup> erstellt und mit Forecasts verglichen, zu deren Berechnung neben den historischen Bedarfsverläufen *auch* die nach Lieferzeitklassen differenzierten Teilauftragsstände entsprechend den in Abschnitt 6.2 gefundenen Erkenntnissen verwendet wurden.

---

<sup>310</sup> Vgl. Statgraphics, 2007.

### 6.3.1 Fallbeispiel Produktsegment PS<sub>1</sub>

Ende November des Jahres 2002 gab die für das Produktsegment PS<sub>1</sub> zuständige Verkaufseinheit bekannt, dass sich das Bedarfsniveau von PS<sub>1</sub> für die nächsten vier Folgemonate – also bis Ende des ersten Quartals 2003 – exakt auf dem Durchschnittsniveau des Bedarfs der ersten elf Kalendermonate des Jahres 2002 bewegen werde.

Leider zeigte sich jedoch, dass diese Vorhersage fehlerbehaftet war. In den Produktionsstätten, die PS<sub>1</sub> produzieren, kam es in den Monaten Februar und März 2003 zu starken Unterbelegungen bzw. Beschäftigungsabweichungen. Abb. 6.7 gibt diese Situation grafisch wieder.

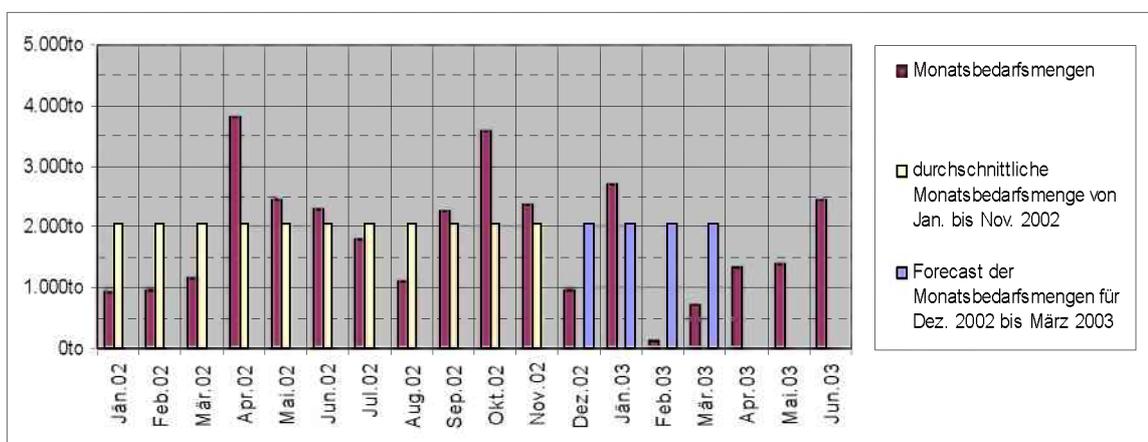


Abb. 6.5, Monatsbedarfsmengen und Forecastbedarfsmengen des Verkaufsforecasts Ende November 2002; Quelle: Daten von RHI-Refractories in eigener Darstellung.

Aus Abb. 6.7 ist der Einbruch des Bedarfs in den Monaten Februar und März 2003 und auch die Forecastfehler, die insbesondere für Februar und März 2003 groß sind, klar ersichtlich.

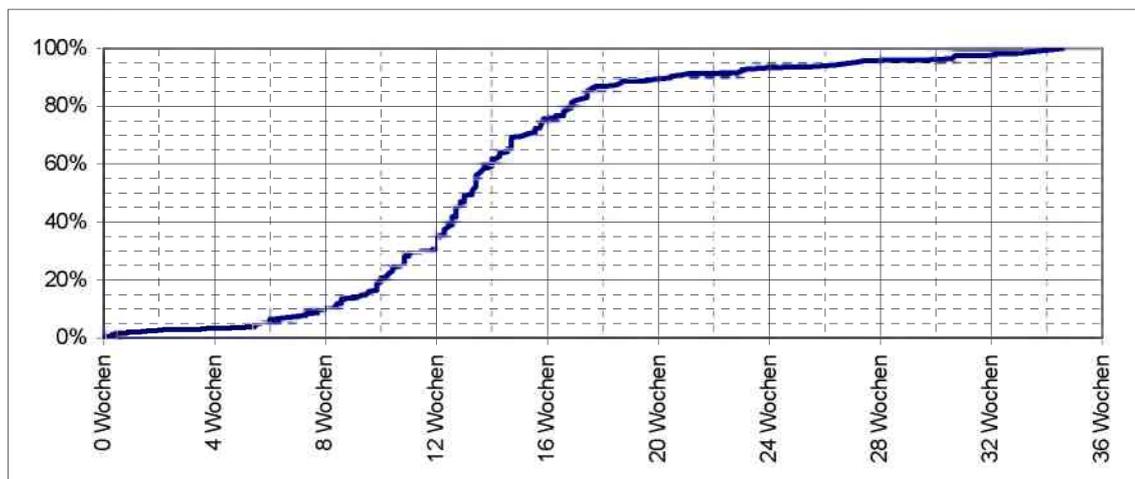


Abb. 6.8, Summenkurve der Kundenlieferzeiten auf Basis der Bedarfsmengen; Produktsegment PS<sub>1</sub>; Basis: 341 Kundenaufträge mit Lieferterminen im Zeitfenster 01.01.2001 bis 30.06.2003; Quelle: eigene Darstellung nach Rohdaten von RHI-Refractories.

Abb. 6.8 zeigt die auf Basis der Endbedarfsmengen berechnete Verteilung der Kundenlieferzeiten für alle 341 Kundenaufträge mit Lieferterminen im Zeitfenster 01.01.2001 bis 30.06.2003. Da die Produktionsdurchlaufzeiten für  $PS_1$  bei 3 bis 4 Wochen liegen, ist aus Abb. 6.6 ableitbar, dass der Anteil der Lieferungen ab Lager 4% der Gesamtliefermenge überschreitet. Darüber hinaus ist zu sehen, dass 50% der Gesamtbedarfsmenge bereits 13 Wochen vor ihrem Liefertermin als Kundenaufträge vorliegen. Zieht man von diesen 13 Wochen die Produktionsdurchlaufzeit ab, so ergibt sich, dass 50% der Gesamtbedarfsmenge bereits 9 bis 10 Wochen vor dem Produktionsstarttermin vorliegen. Etwa 5% der Gesamtbedarfsmenge liegt mehr als 30 Wochen vor dem zugehörigen Liefertermin in Form von Kundenaufträgen vor. Etwa 60% der Gesamtbedarfsmenge geht mit Lieferzeiten zwischen 9 und 17 Wochen ein.

$\Delta t$	$AE_{\Delta t, \text{Mittelwert}}$	$AE_{\Delta t, \text{min}}$	$AE_{\Delta t, \text{max}}$
1 Woche	7to	0to	213to
2 Wochen	18to	0to	264to
3 Wochen	33to	0to	275to
4 Wochen	45to	0to	306to
5 Wochen	59to	0to	306to
6 Wochen	78to	0to	352to
7 Wochen	112to	0to	769to
8 Wochen	148to	0to	769to
9 Wochen	207to	0to	1.109to
10 Wochen	282to	2to	1.241to
11 Wochen	369to	16to	1.241to
12 Wochen	489to	26to	2.091to
13 Wochen	640to	31to	2.502to
14 Wochen	861to	31to	2.891to
15 Wochen	1.106to	344to	4.159to
16 Wochen	1.395to	494to	4.427to
17 Wochen	1.728to	742to	4.476to
18 Wochen	2.101to	755to	4.708to
19 Wochen	2.495to	855to	5.805to
20 Wochen	2.901to	863to	5.939to
21 Wochen	3.310to	1.340to	6.206to
22 Wochen	3.711to	1.446to	6.570to
23 Wochen	4.095to	1.491to	7.136to
24 Wochen	4.499to	1.796to	7.482to
25 Wochen	4.886to	1.842to	7.758to
26 Wochen	5.289to	2.784to	8.539to

Tab. 6.3, nach den Beziehungen (6.11) bis (6.13) berechnete  $PS_1$ -Bedarfsmengen für verschiedene Werte von  $\Delta t$ ; Quelle: eigene Darstellung nach Rohdaten von RHI-Refractories.

Zwischen der Abgabe des Verkaufsforecasts Ende November 2002 und den Unterbelegungen in den Monaten Februar und März 2003 liegen etwa 13 bzw. 17 Wochen (bezogen auf Ende Februar und Ende März). Vergleicht man die Verteilung der Kundenlieferzeiten mit diesen Zeitspannen, so zeigt sich, dass bei *durchschnittlichem* Teilauftragsbestand für Februar zum Zeitpunkt der Abgabe des Verkaufsforecasts schon mehr als 50% der Endbedarfsmenge und für März auch mehr als 15% der Endbedarfsmenge vorliegen müssten. Man kann auf Basis dessen mutmaßen, dass sich

die niedrige Ist-Endbedarfsmenge für Februar in der Ende November vorliegenden Teilbedarfsmenge für Februar bereits abzeichnen könnte.

In Tab. 6.3 sind die größten, kleinsten und durchschnittlichen, nach den Beziehungen (6.11) bis (6.13) berechneten, Bedarfsmengen für 26 Werte von  $\Delta t$  angeführt. Diese Bedarfsmengen wurden aus den im Anhang angeführten Auftragsdaten berechnet. Dabei wurden alle Aufträge mit Lieferterminen aus dem Beobachtungszeitraum 02.07.2001 bis 01.12.2002 (also bis zum letzten Tag von Kalenderwoche 48 in 2002) berücksichtigt. Der Intervallabstand zwischen zwei Zeitpunkten, zu welchen der gegebene Forecasts überprüft wird, wurde mit einer Woche festgelegt.

Entsprechend der Beziehung (6.10) wurden aus den Daten in Tab. 6.3 Intervalle errechnet, innerhalb welcher der gegebene Forecast des Verkaufs liegen muss, wenn zu seiner Erfüllung Auftragseingangsmengen ausreichen, welche auch im Beobachtungszeitraum aufgetreten sind. Überdies wurden nach der Beziehung (6.14) kumulierte Forecasts berechnet.

Diese Intervalle und diese Forecasts sind in den Abb. 6.9 dem gegebenen Forecast des Verkaufs und den Ist-Bedarfsmengen gegenübergestellt. Im einzelnen handelt es sich dabei um Ergebnisse von Analysen zu *drei verschiedenen* Zeitpunkten.

**Abb. 6.9 a)** zeigt das Ergebnis der Überprüfung am Ende der Kalenderwoche 200248; also zu dem Zeitpunkt, zu dem der Forecast des Verkaufs abgegeben wurde. Für den Februar deutet sich die Unterbelegung bereits an; der kumulierte Forecast des Verkaufs liegt über der Obergrenze des durch (6.10) gegebenen Intervalls. Die Erfüllung des kumulierten Forecasts des Verkaufs bis Ende März erscheint gemessen an den im Beobachtungszeitraum aufgetretenen Auftragseingangsmengen jedoch noch möglich. Auffällig ist, dass die Ist-Auftragseingangsmengen bis Ende März die Minimalwerte aus dem Beobachtungszeitraum unterschreiten.

**Abb. 6.9 b)** zeigt das Ergebnis der Überprüfung am Ende der Kalenderwoche 200250. Der kumulierte Forecast des Verkaufs liegt von Anfang Februar bis beinahe Ende März *über* der Obergrenze des nach (6.10) errechneten Intervalls. In diesem Zeitfenster ist der kumulierte Forecast des Verkaufs also *nur noch dann* haltbar, wenn die im Beobachtungszeitraum aufgetretenen maximalen Auftragseingangsmengen *überschritten* werden.

Aus **Abb. 6.9 c)** ist ersichtlich, dass der Forecast des Verkaufs nach dem durch die Beziehung (6.10) gegebenen Kriterium spätestens am Ende von Kalenderwoche 200251 überprüft werden müsste.

Es zeigt sich also, dass die Forecastfehler des Verkaufs schon sehr frühzeitig, nämlich mehr als drei Monate bevor das Ende des in Frage stehenden Zeitintervalls erreicht wird, als solche erkannt werden konnten. Die schwache Belegung des Februar ließ sich überdies bereits zum Zeitpunkt der Abgabe des Forecasts durch den Verkaufs erkennen.

Damit sind die in der Einleitung von Abschnitt 6.3 angeführten Fragen a) und b) beantwortet.

Zur Beantwortung von Frage c) wurden kumulierte Forecasts für die Bedarfe im Zeitfenster (KW200301;KW200326) entsprechend der Beziehung (6.14) errechnet; also auf Basis von Teilbedarfsmengen und Kundenlieferzeiten. Um Überschneidungen zwischen dem Zeitfenster, für das die Forecasts erstellt wurden und jenem, auf dessen Basis die Mittelwerte der Auftragseingänge nach (6.13) berechnet werden, zu vermeiden,

wurde das Zeitfenster auf das (6.13) angewandt wurde, auf das Zeitintervall (KW200127;KW200226) begrenzt.

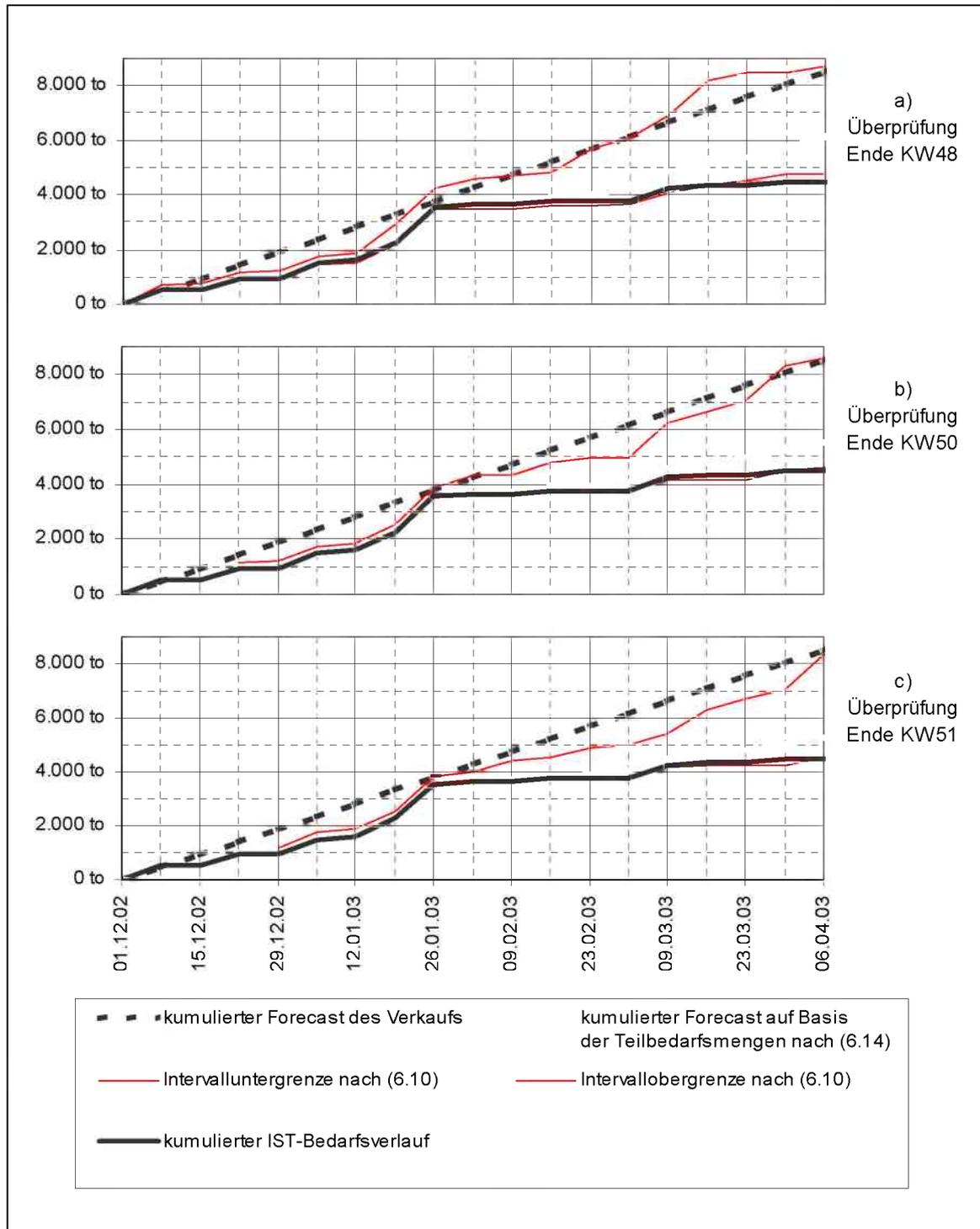


Abb. 6.9, Ergebnisse der Überprüfung des Forecasts des Verkaufs zu drei verschiedenen Zeitpunkten, kumulierte Mengen über der Zeitachse; Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Rohdaten von RHI-Refractories.

Aus den auf diese Art errechneten kumulierten Forecasts nach (6.14) wurden durch Differenzbildung Forecasts für jede *einzelne* Kalenderwoche im Zeitfenster (KW200301;KW200326) berechnet; und zwar für 26 verschiedene Werte von  $\Delta t$ . Forecasts mit einem  $\Delta t$  von 26 Wochen wurden auf Basis von Teilauftragsständen berechnet, welche 26 Wochen vor dem Ablauf jener Kalenderwoche vorlagen, für die der Forecast erstellt wurde. Für Forecasts mit einem  $\Delta t$  von 25 Wochen beträgt dieser Zeitabstand 25 Wochen, usw. Da das Zeitintervall, für das die Forecasts der Wochenbedarfsmengen erstellt wurden, 26 Wochen umfasst, erhält man daraus für jeden  $\Delta t$ -Wert 26 Forecasts.

$\Delta t$ in Wochen	RMSE in to	MAE in to	ME in to
26	420	363	31
25	419	356	9
24	422	360	10
23	423	365	28
22	423	366	31
21	426	374	56
20	425	371	47
19	425	373	53
18	423	366	32
17	377	323	49
16	377	323	48
15	337	278	57
14	324	249	41
13	219	170	55
12	213	147	20
11	97	82	34
10	74	70	58
9	64	62	45
8	48	44	15
7	43	39	22
6	28	22	10
5	14	13	12
4	10	10	8
3	12	12	11
2	9	9	8
1	4	4	4

Tab. 6.4, Forecastfehler in Abhängigkeit von  $\Delta t$ ; Quelle: eigene Darstellung auf Basis von Rohdaten von RHI-Refractories.

In Tab. 6.4 sind der RMSE (die Wurzel aus dem mittleren quadratischen Forecastfehler), der MAE (mittlerer absoluter Forecastfehler) und der ME (Mittelwert der Forecastfehler) für die verschiedenen Werte von  $\Delta t$  angegeben. Der MAPE (mittlerer absoluter prozentueller Forecastfehler) konnte übrigens nicht berechnet werden, da einzelne Ist-Wochenbedarfsmengen bei Null liegen<sup>311</sup>.

<sup>311</sup> Zur Definition von RMSE, MAE, ME und MAPE vgl. Abraham und Ledolter, 1983, S. 373 f.

Aus Tab. 6.4 ist ersichtlich, dass die Forecastfehler ab einem  $\Delta t$  von 17 Wochen mit kleiner werdendem  $\Delta t$  abnehmen (vgl. auch Abb. 6.12 weiter unten). Damit kann Frage c) positiv beantwortet werden.

Für  $\Delta t$ -Werte von 18 bis 26 Wochen kann *keine* Abnahme der Forecastfehler beobachtet werden. In diesem Bereich sind die vorliegenden Teilbedarfsmengen offenbar noch zu niedrig, um als Indikatoren für die Endbedarfsmengen herangezogen werden zu können. Vergleicht man die Summenkurve der Kundenlieferzeitenverteilung in Abb. 6.8 mit dieser Erkenntnis, so zeigt sich, dass nur etwa 10% der Bedarfsmengen mit Lieferzeiten von größer als 17 Wochen eingehen. Damit wird deutlich, warum die Forecastfehler für  $\Delta t$ -Werte von 18 bis 26 Wochen keine Tendenz aufweisen.

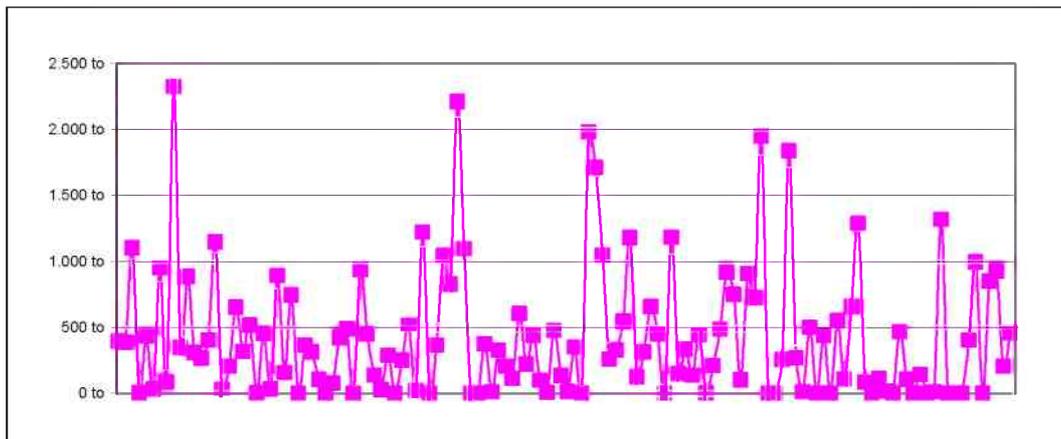


Abb. 6.10, Plot aller verfügbaren  $PS_1$ -Wochenbedarfe über der Zeitachse; Quelle: RHI-Refractories.

Zur Beantwortung von Frage d) wurden erneut für das Zeitintervall (KW200301;KW200326) Forecasts auf Basis *etablierter* quantitativer Methoden mithilfe der Software STATGRAPHICS Centurion XV<sup>312</sup> erstellt. Zur Auswahl und Schätzung der quantitativen Forecastmodelle wurden die historischen Daten aus den Zeitfenstern (KW200127;KW200226) und (KW200101;KW200252) zugrunde gelegt. Das erste dieser beiden Zeitfenster ist auch jenes, nach dem die kumulierten Forecasts nach (6.14) und Abb. 6.9 erstellt wurden; das zweite ist jenes, das man wählt, wenn man *alle* bis Ende 2002 verfügbaren historischen Wochenbedarfsmengen zur Auswahl und Schätzung der mathematischen Forecastmodelle heranzieht.

Anhand des Plots aller Wochenbedarfe im Zeitfenster (KW200101;200326) über der Zeitachse in Abb. 6.10 sind weder saisonale Muster noch ein Trend erkennbar. Überdies scheint die Varianz weitgehend konstant zu sein. Von einer varianzstabilisierenden Transformation der Daten wurde daher abgesehen.

In den Abb. 6.10 und 6.11 sind die Autokorrelations- und die partielle Autokorrelationsfunktion berechnet aus den Wochenbedarfsdaten des kurzen Schätzintervalls (KW200127;KW200226) dargestellt. Die beiden Funktionen deuten

<sup>312</sup> Vgl. Statgraphics, 2007.

darauf hin, dass die Zeitreihe dieses Schätzintervalls durch die ARIMA-Modelle (1,0,0) oder (0,0,1) angepasst werden könnten<sup>313</sup>.

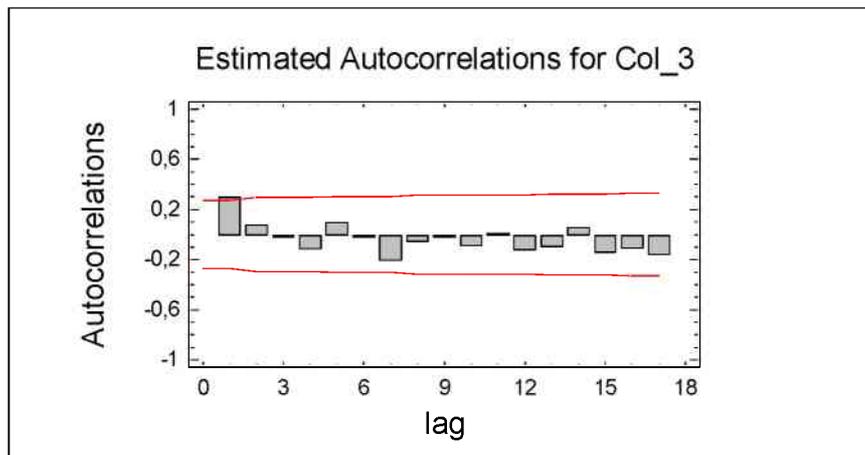


Abb. 6.11, geschätzte Autokorrelationsfunktion der  $PS_t$ -Wochenbedarfe im Zeitfenster (KW200127;KW200226); Quelle: Statgraphics-Auswertung.

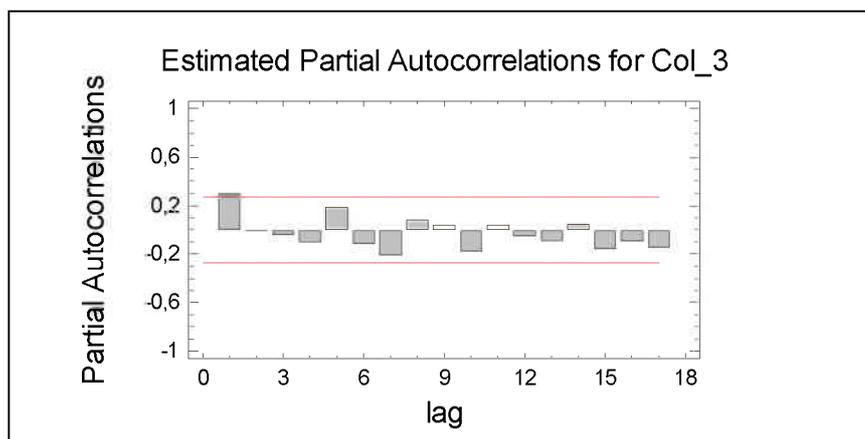


Abb. 6.12, geschätzte partielle Autokorrelationsfunktion der  $PS_t$ -Wochenbedarfe im Zeitfenster (KW200127;KW200226); Quelle: Statgraphics-Auswertung.

Die automatisierte Modellselektion von Statgraphics passt die in Tab. 6.5 angeführten Modelle an. Die Einschnittforecastfehler in der Schätzperiode für die einzelnen Modelle sind in Tab. 6.5 in Form des RMSE, dem MAE und dem ME mit aufgelistet.

Die kleinsten Einschnitt-Forecastfehler in der Schätzperiode ergeben sich für die Modelle (N) und (O). Entsprechend der Autokorrelationsfunktion und der partiellen Autokorrelationsfunktion sind diese beiden Modelle aber nicht vorrangig angezeigt<sup>314</sup>. Eine nähere Untersuchung zeigt, dass die Autokorrelationen der Residuen von LAG 1 bis LAG 17 beider Modelle zwar ausnahmslos innerhalb der Intervallgrenzen liegen, die durch ein 95%-Schätzintervall gegeben sind. Jedoch ergibt sich der Absolutwert des mittleren Forecastfehlers für Einschnitt-Forecasts nach Modell (N) für das Zeitfenster KW(200301;200326) mit größer als 1.800to; und auch für Modell (O) liegt dieser Wert

<sup>313</sup> Vgl. Abraham und Ledolter, 1983, S. 194 ff. und Duke.edu, 2007.

<sup>314</sup> Vgl. Abraham und Ledolter, 1983, S. 194 ff. und Duke.edu, 2007.

mit größer als 1.400to sehr hoch. Diese beiden Modelle passen also gut zur Schätzperiode aber keineswegs zum Datensatz im Zeitfenster (KW200227;200326).

Models	RMSE	MAE	ME
(A) Random walk	604 to	452 to	0 to
(B) Constant mean = 437,385	508 to	369 to	0 to
(C) Linear trend = 242,714 + 7,34607 t	501 to	366 to	0 to
(H) Simple exponential smoothing with alpha = 0,1	512 to	365 to	51 to
(I) Brown's linear exp. smoothing with alpha = 0,1	529 to	382 to	35 to
(J) Holt's linear exp. smoothing with alpha = 0,1 and beta = 0,1	535 to	391 to	28 to
(M) ARIMA(1,0,0) with constant	494 to	345 to	3 to
(N) ARIMA(0,1,2) with constant	485 to	329 to	21 to
(O) ARIMA(1,1,1) with constant	485 to	332 to	43 to
(P) ARIMA(0,0,1) with constant	495 to	345 to	2 to
(Q) ARIMA(1,1,1)	499 to	347 to	-14 to

Tab. 6.5, an die Schätzperiode KW200127;KW200226) angepasste Modelle und die sich ergebenden Einschnitt-Forecastfehler in der Schätzperiode; Quelle: Statgraphics-Auswertung.

Für die durch die Wochenbedarfe in der Schätzperiode berechneten Autokorrelations- und partiellen Autokorrelationsfunktion angezeigten Modelle (M) und (P) – also ARIMA (1,0,0) und ARIMA (0,0,1) jeweils mit Konstanter – ergeben sich auch über das Schätzintervall hinaus relativ kleine Einschnitt-Forecastfehler. Die Zahlenwerte sind in Tabelle 6.6 wiedergegeben.

Modell	ME	MAE	RMSE
ARIMA (1,0,0) mit Konstanter	-65to	389to	444to
ARIMA (0,0,1) mit Konstanter	-72to	388to	440to

Tab. 6.6, Einschnitt-Forecastfehler für das Zeitfenster (KW200301;200326) auf Basis des Schätzintervalls (KW200127;200226); Quelle: Statgraphics-Auswertung.

Für das Modell ARIMA (0,0,1) mit Konstanter ergeben sich gegenüber dem Modell ARIMA (1,0,0) mit Konstanter geringfügig bessere MAE- und RMSE-Werte. Die Parameterschätzung für das Modell ARIMA (0,0,1) mit Konstanter durch Statgraphics führt zu dem in Tab. 6.7 wiedergegebenen Ergebnis. Die P-Werte der beiden geschätzten Parameter liegen beide unter 5%; beide Parameter sind also auf einem 95%-Niveau statistisch signifikant<sup>315</sup>.

Parameter	Estimate	Std. Error	t	P-value
MA(1)	-0,294747	0,13437	-2,19354	0,032946
Mean	436,581	88,8449	4,91397	0,000010
Constant	436,581			

Tab. 6.7, Ergebnis der Parameterschätzung für das Modell ARIMA (0,0,1) mit Konstanter auf Basis des Schätzintervalls (KW200127;200226); Quelle: Statgraphics-Auswertung.

<sup>315</sup> Zur Bedeutung des P-Wertes vgl. von Auer, 2003, S. 111 ff.

Die Autokorrelationen der Residuen des Modells ARIMA (0,0,1) mit Konstanter im Schätzintervalls (KW200127;200226) sind in Abb. 6.13 dargestellt. Alle Autokorrelationen liegen innerhalb des 95%-Konfidenzintervalls.

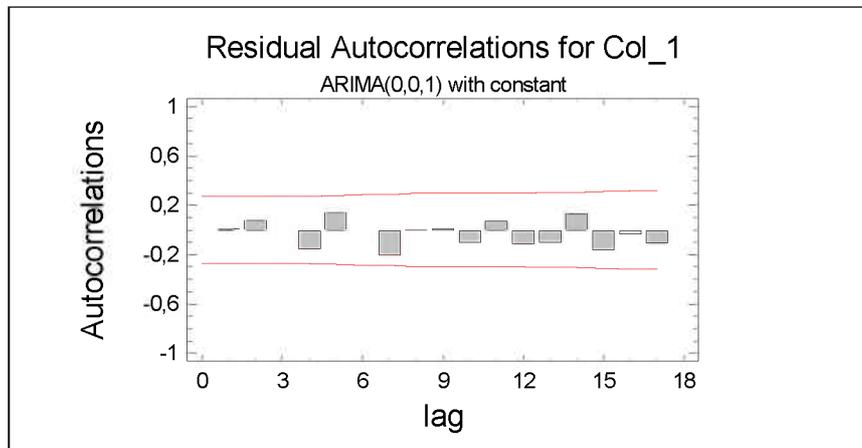


Abb. 6.13, Autokorrelationen der Residuen des Modells ARIMA (0,0,1) mit Konstanter im Schätzintervalls (KW200127;200226); auch ein 95%-Konfidenzintervall ist mit eingetragen; Quelle: Statgraphics-Auswertung.

Auch der Portmanteau Test nach Ljung und Box sowie Ansley und Newbold<sup>316</sup> ergibt, dass das Modell ARIMA (0,0,1) die Zeitreihe der Schätzperiode adäquat repräsentiert. Der aus den Residuen errechnete Portmanteau-Wert für  $K=12$  liegt mit 7,7 weit unter dem  $\chi^2$ -Wert für 10 Freiheitsgrade und einem Signifikanzniveau von 5% mit 18,3.

Durch eine analoge Vorgangsweise wie oben für das Schätzintervall (KW200127;KW200226) wurde auch für das längere Schätzintervall (KW200101;KW200252) ein Modell gesucht. Die Autokorrelations- und die partielle Autokorrelationsfunktion berechnet aus den Daten des Schätzintervalls (KW200101;KW200252) weisen auf ein konstantes Mittelwertmodell hin. Die einzelnen untersuchten Modelle und ihre Einschnitt-Forecastfehler sind in Tab. 6.8 angeführt.

Model	RMSE	MAE	ME
(A) Random walk	715 to	541 to	0 to
(B) Constant mean = 460,767	510 to	373 to	0 to
(C) Linear trend = 441,431 + 0,36832 t	513 to	372 to	0 to
(H) Simple exponential smoothing with alpha = 0,1	525 to	392 to	-8 to
(I) Brown's linear exp. smoothing with alpha = 0,1	545 to	411 to	-13 to
(J) Holt's linear exp. smoothing with alpha = 0,1 and beta = 0,1	538 to	406 to	0 to
(N) ARIMA(1,0,0) with constant	515 to	373 to	0 to
(O) ARIMA(0,0,1) with constant	515 to	373 to	0 to
(P) ARIMA(0,1,1)	521 to	372 to	27 to
(Q) ARIMA(0,0,2) with constant	515 to	373 to	0 to

Tab. 6.8, an die Schätzperiode (KW200101;KW200252) angepasste Modelle und die sich ergebenden Einschnitt-Forecastfehler in der Schätzperiode; Quelle: Statgraphics-Auswertung

<sup>316</sup> Vgl. Abraham und Ledolter, 1983, S. 263.

Der kleinste RMSE ergibt sich für das konstante Mittelwertmodell und auch der MAE für dieses Modell liegt nur unwesentlich über den MAE-Werten für Modell (C) und (P). Der Trendparameter von Modell (C) ist statistisch nicht signifikant (P-Wert größer als 0,8). Gleiches gilt für die Parameter  $\theta_1$  und  $\Phi_1$  der Modelle (N) und (O). Auch die P-Werte für die Parameter  $\Phi_1$  und  $\Phi_2$  sind mit 0,68 und 0,38 sehr hoch.

Im Gegensatz dazu weisen die geschätzten Parameter für die Modelle (P) und (B) – (B) ist das konstante Mittelwertmodell - P-Werte von kleiner 0,01 auf. Die Autokorrelationen der Residuen für die beiden Modelle (P) und (B) für LAGs von 1 bis 24 liegen ausnahmslos innerhalb des 95%-Konfidenzintervalls. Auch der Portmanteau-Test weist die Modelle (P) und (B) als adäquat aus.

Die Einschnitt-Forecastfehler der beiden Modelle (P) und (B) im Zeitfenster (KW200301;200326) sind in Tabelle 6.9 angeführt. Der Mittelwert des konstanten Mittelwertmodells wurde bei der Berechnung dieser Werte für jeden einzelnen Forecast immer wieder aus allen verfügbaren Vergangenheitsdaten neu berechnet (danach ergibt sich beispielsweise der Forecast für KW200311 aus dem Mittelwert der Wochenbedarfe von KW200101 bis KW200310).

Vergleicht man die Einschnitt-Forecastfehler aus den Modellen etablierter quantitativer Forecastmethoden in den Tab. 6.6 und 6.9 mit den in Tab. 6.4 aufgelisteten Forecastfehlern von Forecasts, die nach den in Abschnitt 6.2 vorgestellten Beziehungen berechnet wurden, so zeigt sich, dass letztere bereits für hohe  $\Delta t$ -Werte *ausnahmslos kleiner* sind als erstere. Darüber hinaus erreichen die Forecastfehler von Forecasts, die nach den in Abschnitt 6.2 gefundenen Beziehungen berechnet wurden, für kleine  $\Delta t$ -Werte nur noch Bruchteile jener, die nach den etablierten quantitativen Methoden berechnet wurden.

Modell	ME	MAE	RMSE
Konstantes Mittelwertmodell	-109to	382to	433to
ARIMA (0,1,1) mit Konstanter	-92to	379to	432to

Tab. 6.9, Einschnitt-Forecastfehler für das Zeitfenster (KW200301;200326) auf Basis des Schätzintervalls (KW200101;200252); Quelle: Statgraphics-Auswertung.

Wie erwartet sind also die Forecasts auf Basis von Teilauftragsständen, Verteilungen von Kundenlieferzeiten und historischen Bedarfsverläufen *genauer* als solche, die unter bloßer Nutzung von Zeitreihen historischer Endbedarfsmengen erstellt wurden.

Zur besseren Verdeutlichung dieses Ergebnisses sind MAE-Werte der Ein- bis 26-Schritt-Forecasts nach dem Modell ARIMA (0,1,1) mit Konstanter jenen, die sich nach den in Abschnitt 6.2 gefundenen Beziehungen ergeben, in Abb. 6.14 gegenübergestellt. Das Modell ARIMA (0,1,1) mit Konstanter wurde gewählt, da es bei den Einschnittforecasts den kleinsten MAE-Wert aller untersuchten und statistisch signifikanten Modelle aufweist. Auch Abb. 6.14 liegen im übrigen die Forecastfehler im Zeitintervall (KW200301;KW200326) zugrunde.

Aus Abb. 6.14 ist ersichtlich, dass die MAE-Werte von Forecasts auf Basis von Kundenlieferzeiten und Teilauftragsmengen beginnend bei 17-Schritt-Forecasts stark unter die MAE-Werte von Forecasts auf Basis des ARIMA-Modells fallen. Dieser starke Abfall erklärt sich daraus, dass etwa 50% der Kundenaufträge mit Kundenlieferzeiten von größer als 13 Wochen eingehen (vgl. dazu auch Abb. 6.8).

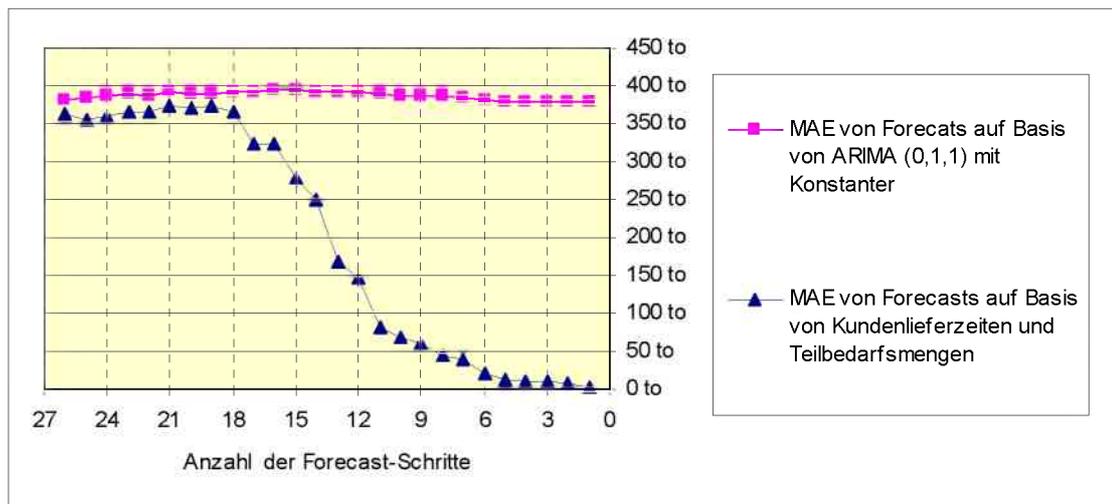


Abb. 6.14, MAE-Werte der Ein- bis 26-Schritt-Forecastfehler im Zeitintervall (KW200301; KW200326); Quelle: eigene Darstellung nach Rohdaten von RHI-Refractories.

Zusammengefasst lässt sich also feststellen, dass die in Abschnitt 6.2 formulierten Beziehungen in der Anwendung wie erwartet verhalten haben und ihre Gültigkeit bzgl. aller eingangs formulierten Fragen a) bis d) verifiziert werden konnten.

### 6.3.2 Fallbeispiel Produktsegment PS<sub>2</sub>

Ende Januar 2004 gab die für das Produktsegment PS<sub>2</sub> verantwortliche Verkaufseinheit die Prognose ab, dass der Jahresbedarf für PS<sub>2</sub> in 2004 der niedrigste seit langem sein werde. Insbesondere das erste Halbjahr sollte ein überaus schwieriges werden. Wie sich zeigen sollte, kam es jedoch ganz anders.

Wie aus Tab. 6.10 ersichtlich wurde bereits für das erste Halbjahr 2004 ein höherer Halbjahresbedarf verzeichnet als für die ersten Halbjahre der Jahre 2002 und 2003. Ab Mitte Mai 2004 kam es gar zu einem explosionsartigen Ansteigen der realisierbaren Lieferzeiten, da die Produktionskapazitäten bei weitem nicht mit den Bedarfswerten für das zweite Halbjahr Schritt halten konnten.

Halbjahr	IST-Bedarfsmenge
1/2002	1.383 to
2/2002	2.785 to
1/2003	1.823 to
2/2003	2.055 to
1/2004	1.916 to

Tab. 6.10, Ist-Bedarfsmengen von PS<sub>2</sub>; Quelle: RHI-Refractories

Abb. 6.15 zeigt die Monatsbedarfsmengen für PS<sub>2</sub> von Juni 2002 bis Juni 2004. Von Interesse ist vor allem die Frage, ob sich die Bedarfsspitze im Juni 2004 anhand der

Beziehungen (6.10), (6.11) und (6.12) frühzeitig erkennen lässt. Als Forecast des Verkaufs wurde der Halbjahresbedarf für das erste Halbjahr in 2002 herangezogen, welcher den niedrigsten Ersthilbjahresbedarf im Beobachtungszeitraum darstellt.

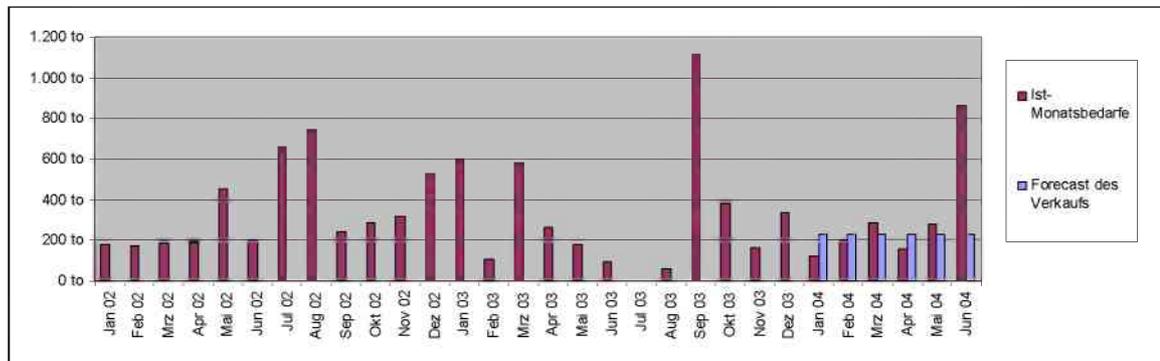


Abb. 6.15, Monatsbedarfsmengen für das Produktsegment  $PS_2$  aus allen  $PS_2$  enthaltenden 176 Kundenaufträgen im Zeitfenster Januar 2002 bis Juni 2004 und der Forecast des Verkaufs für das Zeitfenster Januar 2004 bis Juni 2004. Quelle: RHI-Refractories.

Abb. 6.16 zeigt die Verteilung der Kundenlieferzeiten aller  $PS_2$  enthaltenden 176 Kundenaufträge mit Lieferterminen im Zeitfenster (KW200201;KW200416). Der Anteil der ab-Lager-Lieferungen liegt bei 3%, die Produktionsdurchlaufzeit bei etwa 4 Wochen. Der 50%-Durchgang der Kurve liegt bei 16 Wochen. Differieren die Verteilungen der Kundenlieferzeiten in unterschiedlichen Zeitintervallen nicht zu stark voneinander, so sollte es nach dieser Verteilung möglich sein, die im Juni 2004 auftretende Bedarfsspitze frühzeitig zu erkennen.

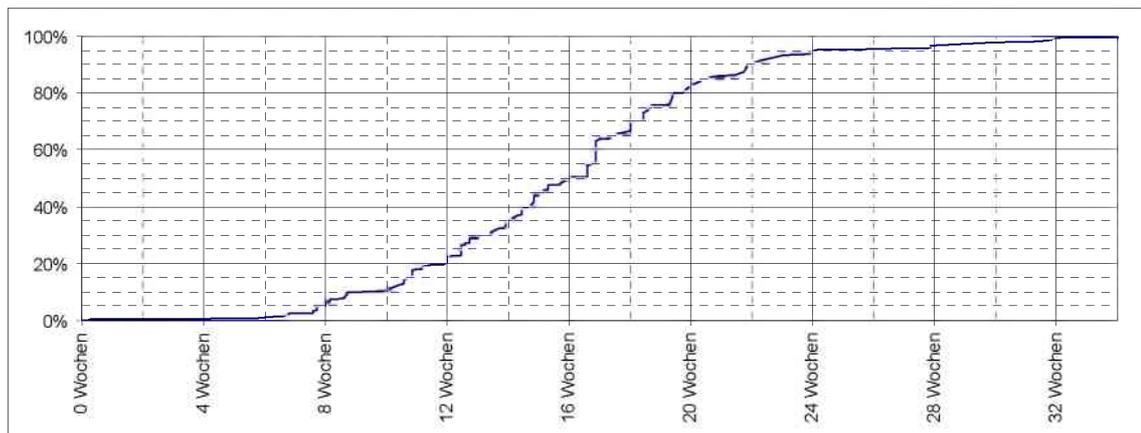


Abb. 6.16, Summenkurve der Kundenlieferzeiten auf Basis der Bedarfsmengen; Produktsegment  $PS_2$ ; Basis: 179 Kundenaufträge mit Lieferterminen im Zeitfenster (KW200201;KW200426); Quelle: eigene Darstellung nach Rohdaten von RHI-Refractories.

Abb. 6.17 zeigt – wie schon Abb. 6.9 für  $PS_1$  – für drei verschiedene Analyse-Zeitpunkte den Forecast des Verkaufs, die nach der Beziehung (6.10) errechneten Intervallgrenzen, den nach Beziehung (6.14) errechneten Forecasts und den Ist-Bedarfsverlauf.

**Abb. 6.17 a)** zeigt die Situation unmittelbar nach der Abgabe des Forecasts durch den Verkauf am Ende von Kalenderwoche 200405. Der steile Anstieg der Intervallgrenzen

nach (6.10) zwischen dem 13.06.2004 und dem 20.06.2004 deutet die Bedarfsspitze im Juni bereits an. Bis zum 20.06.2004 liegt der kumulierte Forecast des Verkaufs lediglich um 11to oder 0,9% über der Untergrenze des sich nach Beziehung (6.10) ergebenden Intervalls. Der pessimistische Forecast des Verkaufs zeigt also keine Korrelation mit dem Ende Kalenderwoche 200405 vorliegenden Auftragsstand.

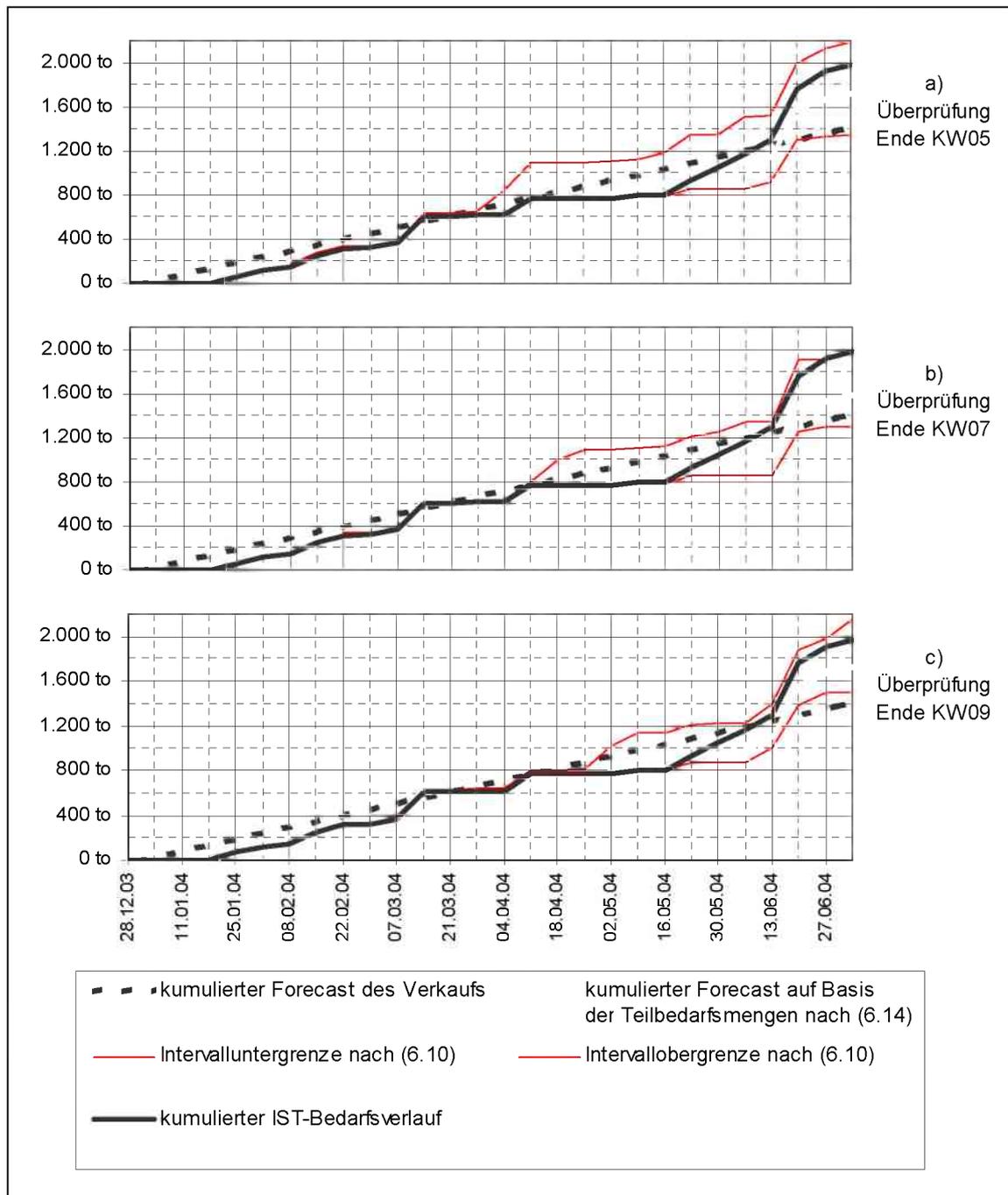


Abb. 6.17, Ergebnisse der Überprüfung des Forecasts des Verkaufs zu drei verschiedenen Zeitpunkten, kumulierte Mengen über der Zeitachse; Quelle: eigene Darstellung nach Rohdaten von RHI-Refractories.

Abb. 6.17 b) gibt die Situation am Ende von Kalenderwoche 200407 wieder. Da keine weiteren Aufträge eingegangen sind, bestätigt sich der Forecast des Verkaufs vorerst.

Damit vergrößert sich der Abstand zwischen der Intervalluntergrenze nach (6.10) und dem Forecast des Verkaufs im Bereich um Mitte Juni.

In KW200409 gehen jedoch Aufträge ein. **Abb. 6.17 c)** zeigt die Situation nach diesen Auftragseingängen am Ende von Kalenderwoche 200409. Ausgelöst durch den Auftragseingang liegt der Forecast des Verkaufs *unter* der Intervalluntergrenze nach (6.10). Nach dem durch (6.10) gegebenen Kriterium müsste der Forecast zu diesem Zeitpunkt überprüft werden.

Der Forecastfehler wäre also frühzeitig erkannt worden; nämlich 4 Monate vor Ablauf des Zeitintervalls, für das der Forecast erstellt war. Möglicherweise hätte die Erkenntnis, dass der zum Zeitpunkt der Abgabe des Forecasts durch den Verkauf vorliegende Auftragsstand einer durchschnittlichen Bedarfssituation entspricht, aber auch schon früher zu einer Überarbeitung dieses Forecasts geführt. Darüber hinaus lässt sich die Bedarfsspitze für den Juni bereits auf Basis der Ende Januar vorliegenden Daten als solche erkennen. Damit sind die Fragen a) und b), die in der Einleitung von Abschnitt 6.3 gestellt wurden, beantwortet.

Bzgl. Frage c) wurden wie schon für  $PS_1$  kumulierte Forecasts für 26 verschiedene  $\Delta t$ -Werte errechnet und daraus durch Differenzbildung Forecasts der einzelnen Wochenbedarfe abgeleitet. Als Schätzintervall wurde auf Basis der bereits unter 6.3.1 angestellten Überlegungen das Zeitfenster (KW200401;KW200426) gewählt. Die Forecasts der Wochenbedarfsmengen wurden für das Zeitfenster (KW200401; KW200426) erstellt. Tab. 6.11 gibt die sich daraus ergebenden Forecastfehler wieder.

Aus Tab. 6.11 ist ersichtlich, dass die RMSE- und MAE-Werte ab einem  $\Delta t$  von 20 Wochen abnehmen. Auch die ME-Werte zeigen ein ähnliches Verhalten. Sie sinken ab einem  $\Delta t$  von 12 stark ab. Damit kann Frage c) positiv beantwortet werden.

Zu Beantwortung von Frage d) wurden wie schon für  $PS_1$  mit Hilfe von Statgraphics Centurion XV eine ganze Reihe von etablierten quantitativen Forecastmodellen angepasst und die errechneten Forecasts nicht nur auf Basis des Schätzintervalls sondern auch auf Basis der sich für das Testintervall ergebenden Forecastfehler bewertet. Wiederum wurden zwei unterschiedliche Schätzintervalle zugrunde gelegt; und zwar die Intervalle (KW200227;KW200326) und (KW200201;KW200352). Als Testintervall wurde das Zeitfenster (KW200401;200426) gewählt. Von einer varianzstabilisierenden Transformation der Zeitreihen wurde nach einer visuellen Beurteilung von Plots abgesehen.

Von den untersuchten Modellen hat sich das Modell ARIMA (1,0,0) mit Konstanter auf Basis des längeren Schätzintervalls (KW200201;KW200352) am besten bewährt. Die P-Werte der geschätzten Parameter liegen beide unter 1,5%. Die Autokorrelationen der Residuen wurden bis zu einem LAG von 23 berechnet und liegen ausnahmslos innerhalb des 95%-Konfidenzintervalls. Der aus den Residuen errechnete Portmanteau-Wert für ein K von 24 liegt mit 19,5 unter dem  $\chi^2$ -Wert für 22 Freiheitsgrade und einem Signifikanzniveau von 5% von 33,9. Überdies ergeben sich für dieses Modell innerhalb der Gruppe der geprüften Modelle die kleinsten MAE-Werte für Einschnitt-Forecasts im Testintervall.

$\Delta t$ in Wochen	RMSE in to	MAE in to	ME in to
26	104	78	11
25	104	79	15
24	104	78	11
23	104	76	6
22	103	74	-3
21	103	73	-4
20	67	58	9
19	65	56	7
18	65	55	-6
17	63	50	-11
16	61	46	-10
15	59	44	-8
14	59	42	-5
13	60	39	-14
12	40	28	-4
11	26	14	-4
10	16	10	0
9	16	9	-3
8	10	5	0
7	3	1	0
6	2	1	0
5	2	1	0
4	2	1	0
3	2	1	0
2	2	1	0
1	2	1	0

Tab. 6.11, Forecastfehler in Abhängigkeit von  $\Delta t$ ; Quelle: eigene Darstellung nach Rohdaten von RHI-Refractories.

In Tab. 6.12 sind die Ergebnisse für das Modell ARIMA (1,0,0) zusammengefasst. Vergleicht man die RMS-, MAE- und ME-Werte nach dem ARIMA-Modell (1,0,0) mit Konstanter mit jenen in Tab. 6.11, so zeigt sich, dass sie zum Teil etwas unter den Fehlerwerten für  $\Delta t$ -Werte von 9 bis 26 Wochen liegen. Erst ab einem  $\Delta t$  von 8 Wochen sind die Fehlerwerte in Tab. 6.11 ausnahmslos kleiner als jene aus dem ARIMA-Modell (1,0,0) mit Konstanter.

Parameter	Estimate	Std. Error	t	P-value
AR(1)	0,244438	0,096047	2,54498	0,012426
Mean	77,0474	13,2008	5,83659	0
Constant	58,2141			

Fehlergrößen für das Testintervall (KW200401;200426)		
RMSE	MAE	ME
99,6 to	68,7 to	-1,1 to

Tab. 6.12, Ergebnisse zum Modell ARIMA (1,0,0) auf Basis der langen Schätzperiode (KW200201;KW200352); Quelle: Statgraphics-Auswertung.

Die Ursachen dafür liegen darin, dass a) die Fehlerwerte aus dem ARIMA-Modell *Einschritt*-Forecastfehler repräsentieren und b) das Schätzintervall für das ARIMA-

Modell wesentlich länger ist, als jenes, nach dem die Daten in Tab. 6.11 errechnet wurden. Diese Umstände seien anhand des MAE-Wertes verdeutlicht.

In Abb. 6.18 sind die Ein- bis 26-Schritt-MAE-Werte aus dem ARIMA-Modell und den nach (6.13) und (6.14) errechneten Forecasts gegenübergestellt. Für das ARIMA-Modell zeigt sich, dass die 2- bis 26-Schritt-MAE-Werte höher sind als der Einschritt-MAE-Wert. Dennoch liegen die 23- bis 26-Schritt-MAE-Werte des ARIMA-Modells unter jenen, die sich für Forecasts ergeben, die nach (6.13) und (6.14) errechnet wurden. Dieses Ergebnis, das Beziehung (6.5) scheinbar in Frage stellt, erklärt sich aus den unterschiedlich langen Schätzintervallen.

Das Schätzintervall für das ARIMA-Modell war (KW200201;200352); jenes für die Forecasts nach (6.13) und (6.14) war (KW200227;200326). Das Schätzintervall für das ARIMA-Modell hat also die doppelte Länge des Schätzintervalls, auf Basis dessen die Forecasts nach (6.13) und (6.14) berechnet wurden.

Die Ausdehnung des Schätzintervalls für das ARIMA-Modell nach hinten – also bis auf KW200352 – bringt mit sich, dass Forecasts, die mehr als einen Schritt nach vorne reichen und für das Zeitintervall (KW200401;200426) gelten, auf Basis von Daten berechnet werden, die zum Zeitpunkt der Forecastberechnung noch *nicht* zur Verfügung gestanden wären. Z.B. würde man den 26-Schritt-Forecast für KW200401 am Ende von KW200327 nicht auf Basis des Schätzintervalls (KW200201;200352) berechnen können, da es für das Intervall (KW200328;200352) noch gar keine Wochenbedarfsmengen gäbe. Das eigentlich zu lange Schätzintervall für das ARIMA-Modell wurde aber dennoch gewählt, um einerseits den Rechenaufwand klein zu halten und andererseits nicht Gefahr zu laufen, die Anwendung des ARIMA-Modells *nur* deshalb einzuschränken, da die unter 6.2 vorgestellten Beziehungen bestimmte Restriktionen erfordert.

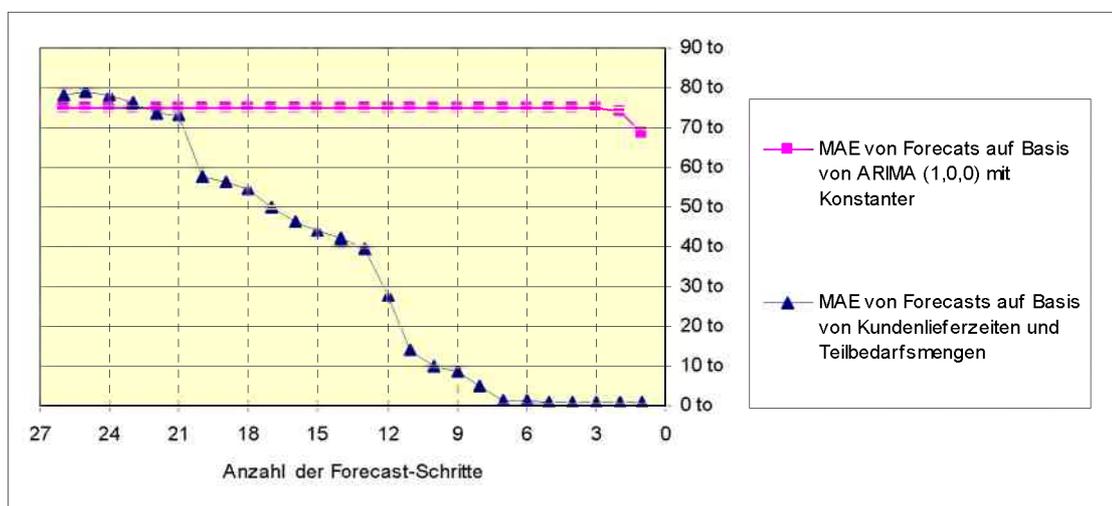


Abb. 6.18, MAE-Werte der Ein- bis 26-Schritt-Forecastfehler im Zeitintervall (KW200401; KW200426); Quelle: eigene Darstellung nach Rohdaten von RHI-Refractories.

Dehnt man das Schätzintervall für die Berechnung der Forecasts nach (6.13) und (6.14) auf die KW200352 auf – also auf (KW200227;KW200352) – so sinken die 23- bis 26-Schritt-MAE-Werte im Durchschnitt um 1,5to ab. Jedoch bleiben sie auch dann noch jeweils über den MAE-Werten aus dem ARIMA-Modell.

Das erklärt sich aus dem niedrigen Bedarfsniveau im Zeitfenster (KW200201;200226). Das niedrige Bedarfsniveau in diesem Zeitfenster führt für das ARIMA-Modell zu geschätzten Parametern, die gut zum Testintervall passen, das ja auch einen relativ niedrigen Halbjahresbedarf zeigt. Für die Berechnung der kumulierten Forecasts nach den Beziehungen (6.13) und (6.14) lässt sich das Schätzintervall aber *nicht* auf (KW200201;KW200352) ausdehnen, da für das Zeitfenster (KW200127;200152) keine Daten vorliegen. Beispielsweise ist die Bedarfsmenge deren Liefertermin im Zeitintervall (KW200127;KW200201) lag und nach dem Ende von KW200127 einging, nicht bekannt; Gleiches gilt für das Zeitintervall (KW200128;KW200202). Genau diese Daten wären aber nötig um (6.13) und (6.14) anwenden zu können.

Das Ziel, auf das die Beziehungen (6.13) und (6.14) zugeschnitten sind, besteht darin, die Erfüllung von gegebenen Forecasts vorausschauend zu verfolgen. Rückt man von diesem Ziel ab, und konzentriert sich darauf, *nicht*kumulierte Forecasts zu erstellen, so ist eine Ausdehnung des Schätzintervalls auf (KW200201;KW200352) – also wie für die ARIMA-Modelle – auch für die Berechnung auf Basis von Kundenlieferzeiten und Teilbedarfsmengen möglich. Nichtkumulierte Forecasts für Wochenbedarfsmengen können z.B. wie folgt berechnet werden.

$$FC_{KWxx; l=y} = TBM_{KWxx; KWxx-y} + AEM_{l=y} \quad (6.15)$$

$FC_{KWxx; l=y}$        $y$ -Schritt-Forecast für die Endbedarfsmenge der Kalenderwoche xx.

$TBM_{KWxx; KWxx-y}$       Teilbedarfsmenge für Kalenderwoche xx, die zum Zeitpunkt Kalenderwoche xx minus  $y$  Wochen vorliegt.

$AEM_y$       Mittlerer Wochenbedarf mit Kundenlieferzeiten von kleiner gleich  $y$  Wochen.

Berechnet man nach (6.15) Forecasts für das Testintervall (KW200401;KW200426) auf Basis des Schätzintervalls (KW200201;KW200352), so ergeben sich der MAE-Wert für den 23 bis 26-Schritt-Forecast wie in Tab. 6.13 angeführt.

Forecastmodell	$l=23$	$l=24$	$l=25$	$l=26$
ARIMA (1,0,0)	75,1 to	75,1 to	75,1 to	75,1 to
Beziehung (6.15)	74,8 to	73,6o	74,6 to	74,8 to

Tab. 6.13; MAE-Werte für das Testintervall (KW200401;200426) auf Basis des Schätzintervalls (KW200101;200352); Quelle: eigene Darstellung.

Aus Tab. 6.13 ist ersichtlich, dass die sich auf Basis von Beziehung (6.15) ergebenden MAE-Werte - wie nach Beziehung (6.5) erwartet - unter jenen liegen, die sich für das ARIMA-Modell ergeben.

Zusammengefasst lässt sich also auch für das zweite Fallbeispiel feststellen, dass sich die in Abschnitt 6.2 gebildeten Beziehungen wie erwartet verhalten hat und bzgl. *aller* eingangs formulierten Fragen a) bis d) verifiziert werden konnte.

## 6.4 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse

Ausgehend von den unter 6.1 diskutierten Indizien dafür, dass Momentaufnahmen des Auftragsbestands bzw. des Zwischenstandes des Forecastkonsums Indikatoren für zukünftige Bedarfsentwicklungen darstellen, wurde unter 6.2 ein Kriterium gebildet, das es erlaubt, diese Momentaufnahmen dazu zu verwenden, gegebene Forecasts dahingehend zu bewerten, ob sie signifikante Fehler aufweisen.

Dieses Kriterium und mit ihm im Kontext stehende Beziehungen wurden auf zwei Fallbeispiele angewandt. Alle Ergebnisse dieser Betrachtung sind wie erwartet ausgefallen und in beiden Beispielen war es möglich, den fehlerhaften Forecast frühzeitig als solchen zu erkennen.

Im Hinblick auf die erste Hauptfragestellung ist damit festzustellen, dass es sowohl möglich war, die gesuchte Methode exakt der Fragestellung entsprechend aus theoretischen Überlegungen und der Analyse von empirischen Daten heraus abzuleiten als auch deren Praxisrelevanz anhand von zwei Fallbeispielen unter Beweis zu stellen.

Bzgl. einer ihrer Zielsetzung entsprechend erfolgreichen Anwendung der Methode auf beliebige konkrete Einzelfälle ist festzustellen, dass diese zu einem großen Teil von der Streubreite der Kundenlieferzeiten abhängt. Grundsätzlich kann die Methode aber auch dann zum Erfolg führen, wenn die Kundenlieferzeiten gar keine Streuung aufweisen. Denn es muss immer gelten, dass für ein bestimmtes Planungsintervall bis zu einem bestimmten Zeitpunkt eine bestimmte Teilbedarfsmenge vorliegen muss, damit die Erfüllbarkeit eines gegebenen Forecasts als wahrscheinlich angesehen werden kann.

Für die Anwendung der Methode auf beliebige konkrete Einzelfälle wird daher empfohlen, Bedarfsmengen für verschiedene  $\Delta t$ -Werte nach den Beziehungen (6.11) und (6.12) zu berechnen und die Breite des damit gegebenen Intervalls an den Forecast-Genauigkeitsanforderungen zu messen. Darüber hinaus wird es in Einzelfällen sinnvoll sein, andere als die durch die Beziehungen (6.10) bis (6.12) gegebenen Kriterien als Grundlage für die Auslösung der Überprüfung von gegebenen Forecasts einzusetzen. Das durch die Beziehungen (6.10) bis (6.12) gegebene Kriterium ist in diesem Zusammenhang als ein erster Ansatz zu sehen, der zwar anschaulich und einfach ist, wahrscheinlich aber noch weiterentwickelt werden kann.

Eine zukünftige Forschungsfrage könnte also darin bestehen, unterschiedliche Kriterien als Grundlage für die Auslösung der Überprüfung von Forecasts zu testen. Dies sollte auf Basis einer größeren Anzahl von Fallbeispielen aus der Praxis erfolgen. Daraus könnte man vermutlich auch konkretere Erkenntnisse darüber gewinnen, was die Voraussetzungen für eine ihrer Zielsetzung entsprechenden, erfolgreichen Anwendung der Methode sind.

Möglicherweise liegt das potentielle Hauptanwendungsgebiet der unter Abschnitt 6.2 vorgestellten Beziehungen aber nicht in der Überprüfung von gegebenen Forecasts sondern in der *Erstellung* von Forecasts. Denn wie sich in den Fallbeispielen gezeigt hat, kann der Genauigkeitserfolg gegenüber etablierten quantitativen Forecastmethoden, welche auf den Zeitreihen der vollen Planungsintervallbedarfe beruhen, innerhalb nicht zu langer Forecasthorizonte sehr groß ausfallen (vgl. Abb. 6.14 und 6.18). Letzteres gilt insbesondere für kumulierte Forecasts.

Daraus eröffnet sich ein weites Feld von weiteren Forschungsfragen und potentiellen Anwendungsmöglichkeiten. Als Beispiele seien der Beweis bzw. die Gültigkeitsbereiche von Beziehung (6.5), die Festlegung von Sicherheitsbeständen in der Lagerdisposition und die Erstellung von kumulierten Forecasts für die Belegung von Engpässen genannt.

Nicht zuletzt daran zeigt sich, dass der neue Ansatz, einer systematischen Nutzung der Verteilungen von Kundenlieferzeiten einen Beitrag zur Vervollkommnung von Lösungsmethoden bzgl. bestimmter Fragestellungen leisten kann.

## 7 Forecastebenensysteme mit organisationsübergreifendem Charakter

In diesem Kapitel wird die **zweite der drei Hauptfragestellungen** der Dissertation anknüpfend an die in den Kapiteln 3 bis 5 gewonnenen Erkenntnisse bearbeitet. Darüber hinaus müssen aber auch Ergebnisse aus Kapitel 8 berücksichtigt werden. Diese zweite Hauptfragestellung lautet:

*Es soll eine Anleitung dafür erarbeitet werden, wie Forecastebenensysteme mit organisationsübergreifendem Charakter (FCES-OCs) gebildet werden können.*

*Wobei unter einem FCES-OC eine Sammlung von Forecastdaten und Informationen, die im Hinblick auf die Planung und Steuerung von Lieferketten auf Basis von Forecasts relevant sind, verstanden wird. Im Detail ist ein FCES-OC so strukturiert, dass es die Funktion einer Plattform für eine effiziente forecastspezifische Kommunikation zwischen den Organisationseinheiten Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf erfüllt und insbesondere die Möglichkeit bietet, durch den Verkauf erstellte Forecasts nahtlos in die unternehmenszielorientierte Ausarbeitung von adäquaten forecastbasierenden Planungs- und Steuerungsmaßnahmen integrieren zu können.*

Im Detail ist das Kapitel 7 wie folgt aufgebaut:

Unter 7.1 wird für das in Kapitel 5 aufgeworfene Problem, der Integration von Forecastebenen der Beschaffung, der Produktionsplanung und -steuerung unter dem Ziel, die Anzahl der Forecastebenen im FCES-OC ein Minimum zu beschränken, eine Lösung präsentiert. Überdies wird in diesem Abschnitt die für die Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen erforderliche Abbildung der variablen Herstellkosten erläutert.

Unter 7.2 werden die Anforderungen an das idealtypische FCES-OC im Detail formuliert und zu einem Anforderungsprofil verdichtet.

Unter 7.3 wird die Anleitung dafür, wie FCES-OCs ausgearbeitet werden sollten, aus einer Zusammenführung aller als wesentlich bewerteten Elemente abgeleitet und formuliert.

Schließlich folgt unter Abschnitt 7.4 die Diskussion und Bewertung der Ergebnisse.

## 7.1 Überbrückung der Diskontinuitäten zwischen Beschaffung, Produktionsplanung und -steuerung und Verkauf

In Kapitel 5 wurde ein Konzept dafür erarbeitet, welche *Constraints* und welche *Lagerpositionen* in Form von Forecastebenen in FCES-OCs aufgenommen werden sollen. Vor dem Hintergrund der Rahmenbedingungen der Dissertation, welche als bestimmende Merkmale umfangreiche Produktpaletten (einige zehntausend Endartikel) und komplexe, multinationale Liefernetzwerkstrukturen beinhalten, stand dabei im Mittelpunkt des Interesses, wie die **Anzahl** der in FCES-OCs geführten Forecastebenen *möglichst klein* gehalten werden kann, ohne dass im Zusammenhang mit Forecasts wesentliche Planungsaspekte aus dem Forecastprozess ausgeschlossen werden. Hierbei handelt es sich damit um eine unmittelbar mit der Effizienz von FCES-OCs verknüpfte Frage.

Für das Problem der effizienzorientierten Selektion von im FCES-OC in Form von Forecastebenen zu führenden *Lagerpositionen* und *Constraints* wurden in Kapitel 5 bereits Lösungsvorschläge präsentiert. Darüber hinaus hat sich in Kapitel 5 gezeigt, dass für Forecastebenen des *Verkaufs* zwar bestimmte Strukturen zu erwarten sind, im Allgemeinen aber **keine Übertragbarkeit von Forecastdaten des Verkaufs auf die selektierten Lagerpositionen und Constraints gegeben ist**.

Ein Lösungsansatz dieses Problems besteht darin zu untersuchen, **wie die Forecastebenen des Verkaufs ausgebildet sein müssen**, damit die Forecastdaten des Verkaufs auf die nach Effizienzkriterien selektierten und im FCES-OC bereits als Forecastebenen geführten Lagerpositionen und Constraints **übertragen werden können**.

Geht man davon aus, dass die im FCES-OC als Forecastebenen geführten Lagerpositionen und Constraints im Hinblick auf *Effizienzkriterien* weitgehend *ideal* ausgewählt und dass sie darüber hinaus für die Planung und Steuerung auf Basis von Forecastdaten *unentbehrlich* sind, so ist dieser Lösungsansatz gut begründet. Beides – sowohl die Auswahl der Lagerpositionen und der Constraints nach Effizienzkriterien als auch jene nach ihrer Bedeutung für den forecastbasierenden Planungs- und Steuerungsprozess – war Kapitel 5 zugrunde gelegt, womit der erläuterte Lösungsansatz volle Berechtigung hat.

Abgesehen davon haben die Erkenntnisse aus Kapitel 5 die Vermutung nahe gelegt, dass die MRP-Logik ein wichtiges Werkzeug für die Übertragung von Forecastdaten zwischen Forecastebenen darstellen könnte.

Das sind die Ausgangspunkte für diesen Abschnitt, dessen *Ziel* darin besteht anzugeben, wie die Forecastebenen des Verkaufs unter Beachtung von Effizienzkriterien gestaltet werden müssen, *damit Forecastdaten des Verkaufs* auf die in FCES-OCs geführten und bereits festgelegten *Constraints* und *Lagerpositionen* **übertragen werden können**.

Zu diesem Zweck wird eine Prozedur vorgestellt, die fünf Schritte umfasst, welche aufeinander aufbauen. Das Endergebnis dieser Prozedur besteht in besonderen **Endartikelgruppen**. Wie sich zeigen wird, gilt für jede dieser Endartikelgruppen, dass sich die ihr zugeordneten Endartikel in der Planung und Steuerung der Lieferketten hinsichtlich der in den FCES-OCs geführten Constraints und Lagerpositionen sowie auch

hinsichtlich der Ziele der Planung und Steuerung von Lieferketten auf Basis von Forecastdaten *gleichartig* verhalten.

Jeder einzelnen dieser besonderen Endartikelgruppen wird schließlich **eine Verkauf-Forecastebene zugeordnet**.

Erstellt der Verkauf seine Forecasts auf Basis von Verkauf-Forecastebenen dieser Form, so ist sichergestellt, dass die Forecastdaten des Verkaufs *zeit- und mengenrichtig* auf die im FCES-OC geführten Constraints und Lagerpositionen übertragen und überdies auch Herstellkosten korrekt zugeordnet werden. Damit sind die durch den Verkauf in der Struktur der in dieser Art vorgegebenen Verkaufsforecastebenen erstellten Forecasts in der Planung und Steuerung uneingeschränkt verwendbar.

Oder anders gesagt: **Jede einzelne dieser Endartikelgruppen determiniert eine Verkaufsforecastebene.**

Im Detail ist der folgende Abschnitt so gestaltet, dass jedem der fünf Schritte der oben erwähnten Prozedur ein Abschnitt gewidmet ist.

Im **ersten Schritt** unter 7.1.1 wird darauf eingegangen, wie die Grundgesamtheit der Endartikel, welche Verkaufsforecastebenen zugeordnet werden müssen, selektiert werden können.

Unter 7.1.2 folgt **Schritt 2**: Die im ersten Schritt selektierten Endartikel werden entsprechend den zu ihrer Produktion erforderlichen Constraints und Lagerpositionen zu Endartikelgruppen zusammengefasst.

Unter 7.1.3 folgt **Schritt 3**: Es wird gezeigt, wie die mengenrichtige Übertragung von Forecastdaten des Verkaufs auf die Constraints und die Lagerpositionen sichergestellt werden kann.

Unter 7.1.4 bzw. **Schritt 4** wird die gleiche Thematik bezogen auf die zeitrichtige Übertragung behandelt.

Schließlich folgt unter 7.1.5 bzw. **Schritt 5** die Sicherstellung der Abbildung von variablen Herstellkosten.

### **7.1.1 Schritt 1 – Erhebung der Grundgesamtheit jener Endartikel, aus welchen sich die Verkaufsforecastebenen konstituieren**

Grundsätzlich sind nur solche Endartikel von Interesse, welche bei ihrer Produktion bzw. ihrem Verkauf *zumindest eine*, der in Kapitel 5 in Form von Constraints *oder* in Form von Lagerpositionen festgelegten und im FCES-OC zu berücksichtigenden Forecastebenen beanspruchen.

Jeder einzelne in der Grundgesamtheit *aller* Endartikel enthaltene Endartikel muss daher dahingehend überprüft werden, ob er Berührungspunkte mit den im FCES-OC geführten Constraints und Lagerpositionen aufweist. Jene Endartikel, welche Berührungspunkte aufweisen, werden selektiert und in den vier verbleibenden Schritten zur Festlegung der Verkaufsforecastebenen herangezogen.

Damit ist auch die Menge jener Endartikel gegeben, *welche im FCES-OC berücksichtigt werden müssen*. Endartikel, welche in dieser Grundgesamtheit nicht enthalten sind, weisen keine Berührungspunkte mit den im FCES-OC geführten Constraints und Lagerpositionen auf und sind entsprechend den in Kapitel 5 getroffenen Festlegungen nicht weiter von Interesse.

### 7.1.2 Schritt 2 – Gliederung der Endartikel entsprechend der zu ihrer Produktion erforderlichen Constraints und Lagermaterialien

Alle Endartikel, der im ersten Schritt abgeleiteten Grundgesamtheit der im FCES-OC zu berücksichtigenden Endartikel, werden nach dem in Tab. 7.1 angedeuteten Schema gruppiert. Ziel dieses zweiten Schrittes ist es, Endartikel, welche mit *ein und dem selben Satz* aus Constraints und Lagerpositionen verknüpft sind, zu Gruppen zusammenzufassen.

In dem in Tab. 7.1 skizzierten Beispiel würden die Endartikel  $EP_1$  und  $EP_3$  der selben Endartikelgruppe angehören; nämlich der Gruppe jener Endartikel, zu deren Produktion lediglich eine der im FCES-OC geführten Constraints genutzt werden muss (und zwar  $C_1$ ) und die überdies keine der im FCES-OC geführten Lagerpositionen enthalten (der zugeordnete Satz aus Constraints und Lagerpositionen würde also nur  $C_1$  enthalten). Eine weitere Endartikelgruppe würde sich für Artikel, die so wie  $EP_2$  mit  $C_1$  und  $LP_1$  verknüpft sind, ergeben.

	$C_1$	$C_2$	...	$C_n$		$LP_1$	$LP_2$	...	$LP_n$
$EP_1$	X	-	...	-		-	-	...	-
$EP_2$	-	-	...	X		X	-	...	-
$EP_3$	X	-	...	-		-	-	...	-
...	...	...	...	...		...	...	...	...
$EP_n$	X	X	...	-		-	X	...	-

Tab. 7.1, Zuordnung aller Endprodukte ( $EP_n$ ) der unter dem ersten Schritt festgelegten Grundgesamtheit zu den im FCES-OC geführten Constraints ( $C_n$ ) bzw. Lagerpositionen ( $LP_n$ ); Quelle: eigene Darstellung.

Für Endartikel, die selbst Lagerpositionen sind, zeigt sich, dass sich für diese jeweils ein sich von allen anderen Sätzen unterscheidender Satz von Constraints und Lagerpositionen ergibt. Für solche Endartikel ergeben sich also keine Gruppen von Endartikeln sondern Eins-zu-eins-Beziehungen zwischen dem Endartikel und dem ihm zugeordneten Satz aus Lagerpositionen und Constraints.

Am Ende des 2. Schrittes erhält man damit *Endartikelgruppen* bzw. als *Lagerpositionen* zu führende Endartikel. Mit jeder dieser Endartikelgruppen bzw. Lagerpositionen ist ein *nur einmal vorkommender Satz aus Constraints und Lagerpositionen* verknüpft. Dieser

Typ von Endartikelgruppe – wobei unter Gruppe der Einfachheit halber jetzt und im Weiteren auch die als Lagerpositionen zu führenden Endartikel gemeint sind - wird im weiteren als EAG(C,LP) bezeichnet. Wobei EAG für Endartikelgruppe steht und (C,LP) darauf hinweist, dass die Gruppierung auf den im FCES-OC geführten Constraints und Lagerpositionen basiert.

An dieser Stelle sei angemerkt, dass in der Regel nicht notwendig sein wird, jeden einzelnen Endartikel zu analysieren. Häufig lassen sich ganze Produktgruppen bestehend aus einer Vielzahl einzelner Endartikel zuordnen<sup>317</sup>, was den oft scheinbar großen Analyseaufwand kleiner macht. Letzteres gilt im Übrigen auch für die noch folgenden Schritte der Prozedur.

### 7.1.3 Schritt 3 – Sicherstellung der mengenrichtigen Übertragung von Verkaufsforecastdaten auf die Constraints und die Lagerpositionen

In diesem Schritt wird die Grundlage dafür gelegt, dass die Forecastdaten des Verkaufs, die in der Regel in Verkaufsmengeneinheiten erstellt werden, auf Kapazitäts- bzw. Leistungsbedarfe bzgl. der Constraints und auf Lagermaterialbedarfe **umgerechnet** werden können.

Dabei wird von Verkaufsmengeneinheiten ausgegangen (z.B. kg, Stück, m oder m<sup>3</sup>), welche mittel Übertragungskoeffizienten (ÜK) in Kapazitätseinheiten (z.B. Stunden oder kg) und Lagermengeneinheiten (z.B. Stück oder kg) umgerechnet werden. Die ÜKs erlauben neben der Umrechnung der Einheiten auch eine Umrechnung der Quantitäten.

Die ÜKs bzgl. Constraints (ÜK<sub>C</sub>) bzw. Lagerpositionen (ÜK<sub>LP</sub>) sind wie folgt definiert:

Der  $\text{ÜK}_{C(x),\text{Endartikel}(y)}$  gibt an, welche Kapazität von Constraint x erforderlich ist, um *eine* Verkaufsmengeneinheit des Endartikels y herzustellen. Seine Einheit ist Kapazitätseinheit der Constraint x pro Verkaufsmengeneinheit des Endartikels y.

Der  $\text{ÜK}_{LP(x),\text{Endartikel}(y)}$  gibt an, welche Mengen der Lagerposition x in *einer* Verkaufsmengeneinheit des Endartikels y enthalten ist. Seine Einheit ist Mengeneinheit der Lagerposition x pro Verkaufsmengeneinheit des Endartikels y.

Im Weiteren werden die ÜK<sub>C</sub> und ÜK<sub>LP</sub> *innerhalb* jeder der im zweiten Schritt abgeleiteten Endartikelgruppen gebildet. Das erfolgt entsprechend dem in Tab. 7.2 skizzierten Schema für jede einzelne EAG(C,LP). Für jeden Endartikel einer bestimmten EAG(C,LP) werden die Übertragungskoeffizienten für jede mit dieser EAG(C,LP) verknüpften Constraint bzw. Lagerpositionen erhoben.

Um die Anzahl der sich ergebenden Verkaufsforecastebenen klein zu halten, ist es dabei von Vorteil, ÜK-Klassen zu bilden. In diesem Zusammenhang gilt es erneut, eine

<sup>317</sup> Vgl. dazu Abschnitt 3.6.

Balance zwischen möglichst wenigen ÜK-Klassen und erforderlicher Abbildungsgenauigkeit zu finden.

Endartikel, welche der selben EAG(C,LP) angehören und identische ÜK-Klassenzuordnungen aufweisen, werden erneut zu Gruppen zusammengefasst. Beispielsweise wären Artikel 2 und 3 in Tab. 7.2 in dieser Art zu gruppieren.

Auf diese Weise ergeben sich aus jeder EAG(C,LP) ein bis n Untergruppen, die im Folgenden als EAG(C,LP,ÜK) bezeichnet werden. Jede einzelne EAG(C,LP,ÜK) ist dadurch gekennzeichnet, dass die in ihr enthaltenen Endartikel *identische Constraints, identische Lagerpositionen und - entsprechend der Klassenzuordnung - identische Übertragungskoeffizienten aufweisen*.

	ÜKs bzgl. Constraint x					ÜKs bzgl. Lagerposition y			
	Klasse 1	Klasse 2	...	Klasse n		Klasse 1	Klasse 2	...	Klasse n
Artikel <sub>1</sub>	X	-	...	-		X	-	...	-
Artikel <sub>2</sub>	X	-	...	-		-	X	...	-
Artikel <sub>3</sub>	X	-	...	-		-	X	...	-
.....	.....	.....	...	.....		.....	.....	...	.....
Artikel <sub>n</sub>	-	X	...	-		-	X	...	-

Tab. 7.2, schematische Darstellung der Zuordnung der Endartikel einer bestimmten EAG(C,LP) zu Klassen von Übertragungskoeffizienten; Quelle: eigene Darstellung.

Für jede dieser EAG(C,LP,ÜK) wird eine spezielle Stückliste erstellt, die im Folgenden als *FC-Stückliste* (FC-SL) bezeichnet wird. FC-SLs geben an, welche Mengen der im FCES-OC geführten Lagermaterialien zur Produktion *einer* Verkaufseinheit der zugeordneten Verkaufsforecastebene benötigt werden. Gibt es alternative Stücklisten, so müssen diese nach dem selben Schema erstellt und gleichfalls geführt werden<sup>318</sup>.

Die EAG(C,LP,ÜK) werden im vierten und fünften Schritt noch weiter differenziert, diese letzte Differenzierung betrifft aber nur noch Zeit-, Kapazitäts- und Herstellkostenaspekte. Auf Lagerpositionen bezogene Aspekte werden also nicht mehr berührt.

Damit kann davon ausgegangen werden, dass jede EAG(C,LP,ÜK) zumindest eine Verkaufsforecastebene repräsentiert und die Umrechnung der in diesen Ebenen erstellten Forecasts des Verkaufs auf Bedarfen an Lagermaterialien mittels der FC-SL erfolgen kann.

Die *Erstellung von FC-SLs* ist möglich, indem man die entsprechenden Verkaufsmengeneinheiten mit den jeweils zugeordneten  $\text{ÜK}_{LP}$  multipliziert. Ist z.B. die Verkaufsforecastebene mit der Einheit Stück mit den Lagerpositionen 1, 2 sowie 3 und den Übertragungskoeffizienten

<sup>318</sup> Vgl. dazu Kapitel 8 und insbesondere Abschnitt 8.4.

$$\ddot{U}K_1 = 500\text{kg/Stück,}$$

$$\ddot{U}K_2 = 3\text{m/Stück und}$$

$$\ddot{U}K_3 = 2 \text{ Stück/Stück}$$

verknüpft, so ergibt sich die FC-SL für diese Verkaufsforecastebene wie folgt:

500kg von Lagerposition 1

3m von Lagerposition 2

2 Stück von Lagerposition 3

Auf Basis der so erstellten FC-SL und der MRP-Logik lassen sich die Bedarfe an Lagermaterialien bzgl. jener Lagerpositionen, die im FCES-OC geführt werden, also aus den Mengenangaben in den einzelnen Verkaufsforecastebenen berechnen.

Wenn die Forecastdaten des Verkaufs also nach den EAG(C,LP,ÜK) differenziert sind, lässt sich damit der Mengentransfer der Forecastdaten des Verkaufs auf die im FCES-OC geführten Lagerpositionen mittels der FC-SL bewerkstelligen.

#### 7.1.4 Schritt 4 – Sicherstellung der zeitrichtigen Übertragung von Verkaufsforecastdaten auf die Constraints und die Lagerpositionen

In diesem Schritt wird die Grundlage für die *zeitrichtige* Übertragung der Forecastdaten des Verkaufs auf die Constraints bzw. die Lagerpositionen gelegt. Darüber hinaus werden die in Schritt 3 ermittelten  $\ddot{U}K_C$  dazu genutzt, um aus den Forecastdaten des Verkaufs auf die Kapazitäts- bzw. Leistungsbedarfe auf den Constraints zu schließen.

Dabei wird davon ausgegangen, dass dem Verkauf für die einzelnen Bedarfsfälle *mit bestimmten Orten verknüpfte Bereitstellungstermine* bekannt sind. Aus diesen Parametern kann durch Berücksichtigung von Transport- und Übergangszeiten auf Bereitstellungstermine in den Produktionsstätten geschlossen werden<sup>319</sup>. Ausgehend von den Bereitstellungsterminen in den Produktionsstätten können **Start- und Endtermine auf den Constraints** und die erforderlichen **Bereitstellungstermine von Fertigungsmaterialien** auf Basis der TOC ermittelt werden<sup>320</sup>.

In Abb. 7.1 sind die Abhängigkeiten der verschiedenen Termine für den Fall einer Produktgruppe mit einer Constraint und einer Fertigungsmaterial-Lagerposition schematisch dargestellt. Um eine zeitrichtige Übertragung der Forecastdaten des Verkaufs erreichen zu können, müssen *Teildurchlauf- und Pufferzeiten* dieser Art für alle Endartikel jeder einzelnen EAG(C,LP,ÜK) ermittelt werden.

<sup>319</sup> Vgl. Abschnitt 5.4.

<sup>320</sup> Vgl. Abschnitt 5.2.

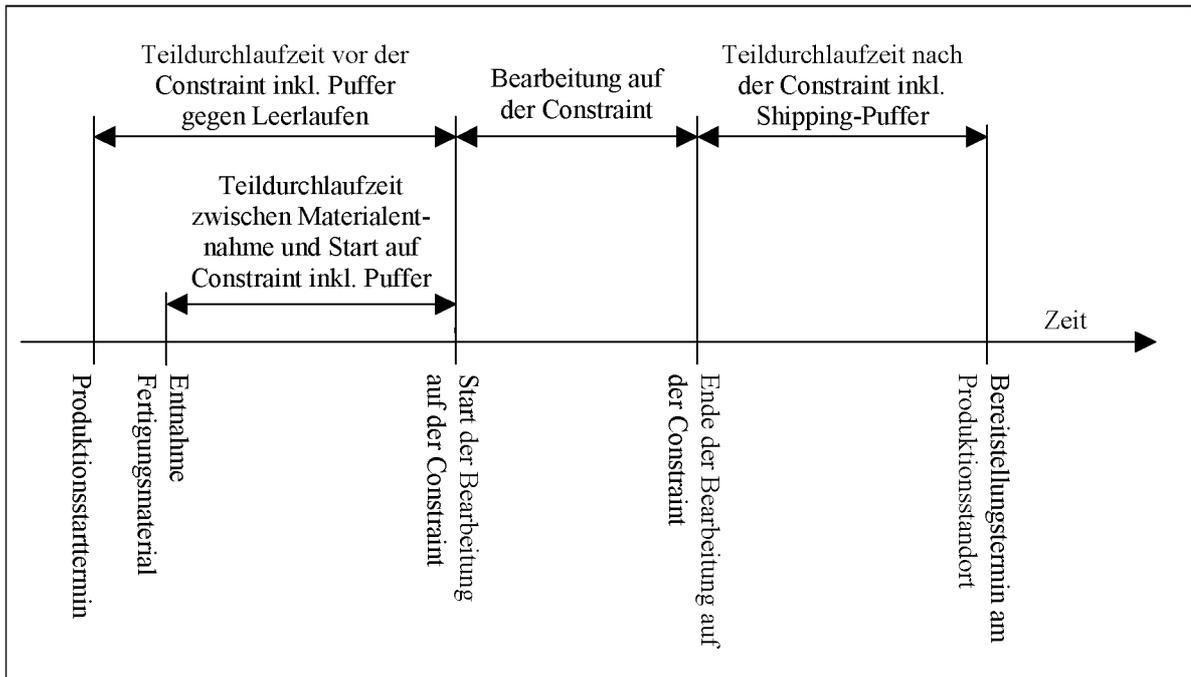


Abb. 7.1, Zusammenhang zwischen verschiedenen Terminen bzgl. des Bereitstellungsstermins am Produktionsstandort; Quelle: eigene Darstellung.

Erneut wird man dabei versuchen, Endartikel jeder einzelnen EAG(C,LP,ÜK) zu wenigen Gruppen identischer Teildurchlauf- und Pufferzeiten zusammenzufassen. Auch hierbei geht es darum, eine Balance zwischen Abbildungsgenauigkeit des FCES-OCs und dessen Komplexität zu finden. Daher wird auch in diesem Schritt vielfach eine Bildung von Teildurchlauf- und Pufferzeit-Klassen sinnvoll sein. Dieser Vorgang ist in Tab. 7.3 angedeutet.

	Teildurchlaufzeit vor der Constraint inkl. Puffer			Auf die Verkaufsmengeneinheit bezogene Bearbeitungszeit auf der Constraint			Teildurchlaufzeit nach der Constraint inkl. Puffer			Teildurchlaufzeit zwischen Lagerentnahme und dem Starttermin auf der Constraint		
	Klasse			Klasse			Klasse			Klasse		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
EA <sub>1</sub>	X				X		X					X
EA <sub>2</sub>		X				X			X		X	
EA <sub>3</sub>	X				X		X					X
.....												
EA <sub>n</sub>			X	X				X			X	

Tab. 7.3, schematische Darstellung der Bildung von EAG(C,LP,ÜK,Z) innerhalb einer bestimmten EAG(C,LP,ÜK) mit einer Constraint und einer Lagerposition; die Lagerentnahme liegt vor dem Starttermin auf der Constraint; die Endartikel EA<sub>1</sub> und EA<sub>3</sub> würden in ein und die selbe EAG(C,LP,ÜK,Z) fallen; Quelle: eigene Darstellung.

Geht man auf diese Weise vor, ergeben sich aus jeder EAG(C,LP,ÜK) ein bis  $n$  Untergruppen von Endartikeln. Alle Endartikel jeder einzelnen dieser Untergruppen sind identisch bzgl. der Constraint- und der Lagerpositionsbezüge und darüber hinaus auch bzgl. der Übertragungskoeffizienten- und der Teildurchlaufzeit- und Pufferzeitklassenzuordnungen. Endartikelgruppen dieser Art werden im Folgenden als EAG(C,LP,ÜK,Z) bezeichnet.

Enthält eine EAG(C,LP,ÜK) mehr als eine Constraint, so müssen auch die Längen von Rods<sup>321</sup> bestimmt werden. Zur Bestimmung der Längen von Rods und auch von Pufferzeiten ist festzuhalten, dass aus der TOC-Literatur verschiedene Schätzmethode wie auch Modellansätze zur Verfügung stehen<sup>322</sup>. Zu kleine Pufferzeiten bzw. zu kurze Längen von Rods führen zu einem zu häufigen Leerlaufen der Constraints und damit zu Umsatzverlusten; zu große zu einem Übermaß an Lagerbeständen. Es gilt also ein Optimum zwischen niedrigen Lagerwerten und der Vermeidung von Leerläufen der Constraints (bzw. von Umsatzverlusten) zu finden<sup>323</sup>.

Von den dazu aus der TOC-Literatur zur Verfügung stehenden Hilfsmitteln abgesehen, ist es insbesondere im Hinblick auf die Klassen- und Gruppenbildung sinnvoll, auf Erfahrungen aus der Feinplanung und auf Informationen aus existierenden Arbeitsplänen und aus (Teil-)Rückmeldungen von Fertigungsaufträgen zurückzugreifen. Für große Lose in den Vertriebsforecasts wird man überdies Losteilungen von Lagerentnahmen vorsehen müssen<sup>324</sup>.

Jeder der so gewonnenen EAG(C,LP,ÜK,Z) wird ein *Arbeitsplan* zugeordnet, der die Teildurchlauf- und die Pufferzeiten sowohl bzgl. der Constraints als auch bzgl. der Lagerentnahmen sowie die mengenbezogenen Belegungszeiten und Kapazitätsbedarfe bzgl. der Constraints enthält. Wobei die mengenbezogenen Kapazitätsbedarfe durch die unter Schritt 3 ermittelten  $\dot{U}K_C$  gegeben sind. Gibt es alternative Fertigungsmöglichkeiten (alternative Produktionsstandorte oder Arbeitsplätze), so müssen diese nach dem selben Schema erstellt werden<sup>325</sup>.

Arbeitspläne dieser Art werden im Weiteren als *Forecastarbeitspläne* (FC-Arbeitspläne) bezeichnet. Ausgehend von den gegebenen Bereitstellungsterminen an den Produktionsstandorten und Verkaufsmengen erlauben die FC-Arbeitspläne eine Berechnung von Bearbeitungsstart- und Bearbeitungsendterminen auf den Constraints, den Lagerentnahmetermeninen sowie den Kapazitätsbedarfen auf den Constraints für jeden Verkaufsdatensatz.

Nach Schritt 4 liegen  $n$  EAG(C,LP,ÜK,Z) vor. Jeder dieser EAG(C,LP,ÜK,Z) ist zumindest ein FC-Arbeitsplan und zumindest eine FC-Stückliste zugeordnet. Erstellt der Verkauf Forecasts auf den Ebenen der EAG(C,LP,ÜK,Z) – also differenziert nach Artikelgruppen wie sie nach den EAG(C,LP,ÜK,Z) gegeben sind – so lassen sich die Forecastbedarfe auf Basis der FC-Arbeitspläne, der FC-Stücklisten und der MRP-Logik auf die im FCES-OC geführten Constraints und Lagerpositionen (bzw. auch auf die alternativ einsetzbaren Constraints und alternativ verwendbaren Lagerpositionen) *mengen- und zeitrichtig* übertragen.

---

<sup>321</sup> Vgl. Abschnitt 5.2.

<sup>322</sup> Vgl. Radovilsky, 1998, S. 113 ff.

<sup>323</sup> Vgl. Radovilsky, 1998, S. 114.

<sup>324</sup> Vgl. dazu auch Heinen, 1991, S. 545.

<sup>325</sup> Vgl. dazu Kapitel 8 und insbesondere Abschnitt 8.4.

### 7.1.5 Schritt 5 – Integration von variablen Herstellkosten

Die variablen Herstellkosten pro Verkaufsmengeneinheit sind im Hinblick auf die Ziele der Planung und Steuerung von Lieferketten von zentraler Bedeutung<sup>326</sup>. Damit müssen auch den Verkaufsforecastdaten variable Herstellkosten zugeordnet werden.

Analog zu den vorangegangenen Schritten müssen für alle in einer bestimmten EAG(C,LP,ÜK,Z) gruppierten Endartikel die variablen Herstellkosten pro Verkaufsmengeneinheit erhoben werden. Erneut wird man Klassen – diesmal Klassen variabler Herstellkosten – bilden und jede EAG(C,LP,ÜK,Z) weiter differenzieren. Die auf diese Art erstellten Endartikelgruppen werden im Weiteren als EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) bezeichnet.

Bzgl. der variablen Herstellkosten stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage, *welche* variablen Herstellkosten man ansetzt, *wenn* sich diese z.B. je nach Arbeitsplatz-, Stücklisten- oder Produktionsstättenzuordnung oder danach, ob man selbst fertigt oder zukaufft, voneinander unterscheiden; also **Fertigungsalternativen** mit jeweils unterschiedlichen variablen Herstellkosten gegeben sind.

Wie sich in Kapitel 8 zeigt, müssen für die Anwendung bestimmter Verfahren zur Ausarbeitung von maßgeschneiderten Planungs- und Steuerungsmaßnahmen (vor allem bei der Anwendung linearer Optimierung) die variablen Herstellkosten für *jede* das Unternehmensergebnis möglicherweise verbessernde *Fertigungsalternative* bekannt sein und damit auch erhoben werden. Wobei damit nicht nur die variablen Herstellkosten, die sich innerhalb der Normalarbeitszeit einstellen, gemeint sind, sondern auch solche, die sich aus der Nutzung von eventuell möglichen und teureren Überstunden ergeben. Damit müssen für jede mit alternativen Stücklisten oder alternativen Arbeitsplänen verknüpfte Einplanungsalternative sowohl die sich in der Normalarbeitszeit ergebenden variablen Herstellkosten als auch jene erhoben werden, die sich unter Nutzung von Überstunden ergeben, sofern sich die variablen Herstellkosten durch die Nutzung dieser Überstunden erhöhen. Detailangaben dazu, warum diese Daten erforderlich sind, finden sich vor allem in Abschnitt 8.4.

Im Hinblick auf die Komplexität des FCES-OC wird man bzgl. der alternativen Stücklisten und Arbeitspläne und der mit ihnen verknüpften, bei nichtlinearen Kostenfunktionen möglicherweise nur verhältnismäßig aufwändig abbildbaren Herstellkosten sehr darauf achten, nur solche Einplanungsalternativen vorzusehen, welche in der Regel zu zufriedenstellenden Deckungsbeiträgen führen. Erst wenn es die Bedarfssituation erfordert, wird man auch Alternativen prüfen, deren Ergebnisbeitrag bestimmte Grenzen unterschreitet<sup>327</sup>.

Damit ist die Ableitung der erforderlichen Ausprägung der Verkaufsforecastebenen aus den bereits festgelegten Forecastebenen in Form von Lagerpositionen und Constraints abgeschlossen.

Zur besseren Übersichtlichkeit ist das oben erläuterte 5-Schritte-Konzept zur Bildung der Verkaufsforecastebenen in Tab. 7.4 zusammenfassend skizziert.

<sup>326</sup> Vgl. dazu Abschnitte 4.1 und Kapitel 8.

<sup>327</sup> Vgl. dazu Abschnitte 8.3 und 8.4.

Schritt	Aktivität	Ergebnis
1	Erhebung aller Endartikel, die Berührungspunkte mit den im FCES-OC geführten Constraints oder Lagerpositionen aufweisen.	Endartikel, die im FCES-OC berücksichtigt werden.
2	Gruppierung der in Schritt 1 erhobenen Endartikel nach den von ihnen berührten Constraints und Lagerpositionen (bzw. nach Constraint-Lagerpositions-Sätzen).	Endartikelgruppen in Form von EAG(C,LP). Und für jede dieser EAG(C,LP) die von ihr berührten Constraints und Lagerpositionen (Constraint-Lagerpositions-Satz).
3	Differenzierung jeder EAG(C,LP) in 1 bis n EAG(C,LP,ÜK) durch Erhebung der ÜK für alle unter Schritt 1 erhobenen Endartikel und durch ÜK-Klassenbildung; Der weiteren Bildung der FC-Stücklisten und ihrer Alternativen (sofern vorhanden) für jede EAG(C,LP, ÜK) aus den ÜK <sub>LP</sub> .	Endartikelgruppen in Form von EAG(C,LP,ÜK). Mindestens eine FC-SL für jede EAG(C,LP,ÜK). Der ÜK <sub>C</sub> und dessen Alternativen (bei alternativen Constraints) gleichfalls für jede EAG(C,LP,ÜK).
4	Differenzierung der EAG(C,LP,ÜK) in 1 bis n EAG(C,LP,ÜK,Z) durch Zuordnung von Teildurchlauf- und Pufferzeiten sowie – soweit erforderlich – Rods zu allen unter Schritt 1 erhobenen Endartikeln und durch Teildurchlaufzeit-, Pufferzeit- und Rod-Klassenbildung. Erstellung eines Forecast-Arbeitsplanes und seiner Alternativen für jede EAG(C,LP,ÜK,Z) auf Basis der ihr zugeordneten Zeitelemente und den unter Schritt 3 festgelegten ÜK <sub>C</sub> .	Endartikelgruppen in Form von EAG(C,LP,ÜK,Z). Zumindest ein Forecast-Arbeitsplan für jede dieser EAG(C,LP,ÜK,Z).
5	Differenzierung der EAG(C,LP,ÜK,Z) in 1 bis n EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) entsprechend der variablen Herstellkosten für jeden unter Schritt 1 erhobenen Endartikel und unter Bildung von Herstellkosten-Klassen. Erhebung der alternativen Herstellkosten für alle durch alternative FC-Stücklisten bzw. durch alternative FC-Arbeitspläne für eine bestimmte EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) gegebenen Einplanungsalternativen. Bei nichtlinearen Kostenfunktionen Berechnung differenzierter variabler Herstellkosten in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad der Constraints für jede Kombination aus EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) und Einplanungsalternative.	Endartikelgruppen in Form von EAG(C,LP,ÜK,Z,HK). Variable Herstellkosten für jede dieser EAG(C,LP,ÜK,Z,HK). Alternative variable Herstellkosten für jene EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) für die durch alternative FC-SL oder alternative FC-Arbeitspläne Einplanungsalternativen gegeben sind. Bei nichtlinearen Kostenfunktionen variable Herstellkosten in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad der Constraints.

Tab. 7.4, zusammenfassende Darstellung der oben im Detail erläuterten 5-Schritte-Prozedur zur Festlegung der Verkaufsforecastebenen und der für die Planung und Steuerung erforderlichen Parameter auf Basis der im FCES-OC geführten Constraints und Lagerpositionen; *Quelle: eigene Darstellung.*

Wie oben erläutert **entspricht jede EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) einer Verkaufsforecastebene.**

Die Erstellung der Verkaufsforecasts kann *grundsätzlich in beliebiger Art und Weise erfolgen* – also ganz nach den Bedürfnissen des Verkaufs wie z.B. nach Deckungsbeiträgen, Absatzmengen oder Umsätzen für bestimmte Regionen, Kunden- oder Produktsegmente – *muss aber zusätzlich* entsprechend den sich aus den

EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) ergebenden Verkaufsforecastebenen differenziert werden. Erst dann ist gewährleistet, dass die Forecastdaten des Verkaufs zur Planung und Steuerung der Lieferkette(n) herangezogen werden können.

Möglich wurde die Bildung der Verkaufsforecastebenen in Form der EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) durch Anwendung der TOC verbunden mit einer Bildung von ÜK-, Teildurchlaufzeit-, und Pufferzeit-Klassen. Die Anzahl der sich ergebenden EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) ist wesentlich von dieser Klassenbildung beeinflusst. Je weniger Klassen man bildet, um so weniger komplex wird das FCES-OC; um so kleiner ist aber auch seine Abbildungsgenauigkeit und um so größer sind auch die Lagerbestände, die sich bei exakter Einhaltung der sich aus dem FCES-OC ergebenden Termine einstellen. In diesem Zusammenhang ist die *Kontrolle der Abbildungsgenauigkeit* des FCES-OCs von Bedeutung.

Diese Kontrolle der Abbildungsgenauigkeit kann durch einen Vergleich der Forecastdaten mit den Ist-Kapazitäts- und Ist-Materialbedarfen erfolgen, nachdem die Fehler der Verkaufsforecasts korrigiert wurden. Auch kann man sich mit historischen Ist-Bedarfssituationen helfen, indem man ausgehend von Ist-Spezifikationen und Ist-Bereitstellungsterminen von Endartikeln mit dem FCES-OC auf Belegungstermine der Constraints und auf Materialentnahmetermine rechnet und diese dann mit den historischen Ist-Belegungs- und Ist-Entnahmetermine vergleicht.

Die *Bedeutung von mit EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) bezeichneten Endartikelgruppen* für Forecastprozesse im Allgemeinen ist daran zu ermessen, dass sie *eine Brücke* zwischen den Verkaufsforecastdaten und den Erfordernissen in der Produktionsplanung- und -steuerung schlagen. Bei umfangreichen Produktpaletten gepaart mit komplexen Liefernetzwerkstrukturen dürfte es kaum Alternativen zu dieser Art der Bildung von Verkaufsforecastebenen geben. Durch die in Kapitel 5 beschriebenen vielschichtigen und speziell am Charakter von forecastbasierenden Planungs- und Steuerungsaufgaben im Kontext mit den gegebenen Liefernetzwerkstrukturen orientierten Einschränkungstrategien ist überdies gewährleistet, dass in den EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) hinsichtlich der Ziele der Planung und Steuerung auf Basis von Forecasts kein unnötiger Ballast enthalten ist und damit für das FCES-OC auch ein hohes Maß an Effizienz gegeben ist.

## 7.2 Das idealtypische Forecastebenen-system mit organisationsübergreifendem Charakter

In Kapitel 5 wurden drei Typen von Forecastebenen identifiziert: Lagerpositionen, Constraints und Verkaufssegmente.

Verknüpft man die jeweiligen Charakteristika jeder dieser drei Typen mit der in Kapitel 4 erläuterten Palette der Strategien zur Planung und Steuerung von Lieferketten und der damit verbundenen Zielsetzung im Hinblick auf die zweite Hauptfragestellung und berücksichtigt überdies Datenbedarfe, die für die Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen erforderlich sind, so lassen sich daraus die Anforderungen an FCES-OCs ableiten.

Genau das wird im Folgenden ausgeführt. Darüber hinaus wird gezeigt, wie diese Anforderungen erfüllt werden können.

Im Einzelnen ist dieser Abschnitt in fünf Teilbereiche gegliedert:

Unter 7.1.1 werden jene Anforderungen an FCES-OCs zusammengefasst, welche sich nicht auf einen der drei Typen von Forecastebenen beschränken lassen.

Unter 7.1.2 folgen die Anforderungen an Forecastebenen vom Typ Lagerpositionen, unter 7.1.3 jene an Forecastebenen vom Typ Constraint und unter 7.1.4 jene an Forecastebenen vom Typ Verkaufsforecastebene.

Schon in den Abschnitten 7.1.1 bis 7.1.4 wird das idealtypische FCES-OC sukzessive aus den Anforderungen heraus entwickelt und schließlich unter 7.1.5 zusammenfassend skizziert.

## 7.2.1 Allgemeine Anforderungen an das Forecastebenen-system

Aus der zweiten Hauptfragestellung ergeben sich an FCES-OCs folgende Anforderungen:

- a) FCES-OCs sollen die Forecastdaten strukturiert abbilden.
- b) Diese Struktur soll gewährleisten, dass FCES-OCs als *Plattform* für eine effiziente forecastspezifische Kommunikation zwischen Verkauf, Produktionsplanung und -steuerung und Beschaffung dienen können.
- c) Mit den in FCES-OCs enthaltenen Informationen soll die Planung und Steuerung der Lieferkette(n) möglich sein.

Entsprechend den unter 5.3, 5.4 und 7.1 gewonnenen Erkenntnissen lassen sich die oben unter b) und c) angeführten Anforderungen gut erfüllen, wenn die in FCES-OCs geführten Forecastebenen in Constraints, Lagerpositionen und Verkaufssegmente strukturiert werden.

Unter 5.3 wurde gezeigt, dass Forecastebenen in Form von *Constraints* und *Lagerpositionen* mit Hilfe der TOC, dem Ansatz eines kapazitätsorientierten PPS-Systems nach Neumann, der ABC-Analyse, dem Konzept der Decoupling-Punkte und einer etwas modifizierten XYZ-Analyse auf Basis der Lieferkettenstrukturen festgelegt werden können. Auch wurde unter 5.3 gezeigt, dass durch diese Art der Festlegung von Forecastebenen in Form von Constraints und Lagerpositionen genau jene Elemente der Lieferkette(n) in FCES-OCs abgebildet werden, *welche mit Forecasts bedeutend besser plan- und steuerbar sind als ohne Forecasts und welche überdies von zentraler Bedeutung für den Erfolg der Planung und Steuerung im Hinblick auf das Zielsystem sind*. Damit ist bereits ein hohes Maß an **Effizienz** garantiert, da eine Konzentration auf im Zusammenhang mit dem Forecastprozess wesentliche bzw. wesentlichste Elemente der Lieferkette(n) erfolgt.

Die Durchgängigkeit der **Kommunikation** vom Verkauf in Richtung Produktionsplanung und -steuerung bzw. Beschaffung (upstream) kann durch die unter 7.1 erläuterte Verknüpfung der Forecastebenen durch Anwendung der TOC, durch Klassenbildung und auf Basis der MRP-Logik erreicht werden. Diese Verknüpfung gibt

ein eindeutiges Bild darüber, *wie Verkaufsforecastebenen mit Constraints und Lagerpositionen zusammenhängen*. Im Sinne einer effizienten Kommunikation ist es darüber hinaus von Vorteil, für jede einzelne im FCES-OC geführte Lagerposition und auch jede einzelne Constraint in einer entsprechenden Informationsdatenbank den Namen dessen auszuweisen, der für das Management der Lagerposition bzw. der Constraint zuständig ist.

Die Kommunikation in Richtung „downstream“ ist vergleichsweise einfach realisierbar, indem allen Forecastebenen in Form von Constraints und Lagerpositionen die Namen der für die jeweils downstream folgenden Forecastebenen Verantwortlichen zugeordnet werden.

Z.B. könnte das Fertigungsmaterial xy auf 5 verschiedenen Constraints verwendet werden und in Endprodukte übergehen, welche von 20 verschiedenen Verkaufsverantwortlichen vertrieben werden. Würden für das Fertigungsmaterial xy Lieferengpässe auftreten, so wären demnach 25 Verantwortliche zu informieren. Die Forderung nach einer auch downstream durchgängigen Kommunikation setzt damit die Zuordnung jeder einzelnen Forecastebene an einen für diese Forecastebene Verantwortlichen voraus. Die Verknüpfungen zwischen Lagerpositionen und Constraints ergeben sich dabei aus den FC-Stücklisten. Jene zwischen Lagerpositionen bzw. Constraints auf der einen und Verkaufsforecastebenen auf der anderen Seite können aus historischen Bedarfsdaten oder aus dem Budget abgeleitet werden. Im Wesentlichen geht es hierbei um die Klärung der Frage, *welcher Verkaufsverantwortliche, welche EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) verkaufen wird*.

Das Herzstück eines FCES-OC im Hinblick auf die Planung und Steuerung der Lieferkette(n) besteht in der Befüllung der einzelnen Forecastebenen in Form von aus Lagerpositionen, Constraints und Verkaufsforecastebenen mit Mengenbedarfen, welchen Bedarfstermine zugeordnet sind. Darüber hinaus müssen aber auch Informationen über Deckungsbeiträge, die sich aus den Umsätzen und den variablen Kosten errechnen lassen, vorliegen. Der *elementare Forecastdatensatz* enthält damit jedenfalls die Forecastebene, die Bedarfsmenge und den Bedarfstermin. Darüber hinaus müssen für die Verkaufsforecastdaten zu erwartende Umsätze oder mit einer bestimmten Einplanungsvariante verknüpfte Deckungsbeiträge bekannt sein. Um überdies auf Deckungsbeiträge schließen zu können, welche sich für Einplanungsalternativen ergeben, müssen auch die mit diesen Einplanungsalternativen verknüpften variablen Kosten bekannt sein<sup>328</sup>. Wie unter 7.1.5 erläutert sind die variablen Kosten für Einplanungsalternativen Parameter, welche durch die Verkaufsforecastebene und die mit ihnen verknüpften Stücklisten- und Arbeitsplatzvarianten eindeutig festgelegt sind. Auf die mit Verkaufsforecastdaten verknüpften Umsätze bzw. Deckungsbeiträge wird unter 7.2.4 weiter eingegangen.

Die Abbildung und Verwaltung dieser Daten kann und sollte wie durch die unter 7.1 gewonnenen Erkenntnisse nahegelegt in einem MRP-System erfolgen. Dabei bilden die im FCES-OC geführten Constraints Arbeitsplätze, die im FCES-OC geführten Lagerpositionen Lagerangebote und Verkaufsforecastebenen Bedarfselemente. Verknüpft sind die Arbeitsplätze und die Lagerangebote mit den Bedarfselementen durch die FC-Stücklisten und die FC-Arbeitspläne.

---

<sup>328</sup> Vgl. auch Kapitel 8.

Bzgl. der Leistungsangebote der Constraints ist festzuhalten, dass diese entsprechend der variablen Herstellkosten differenziert ausgewiesen werden müssen, sofern die Kostenfunktionen der Constraints *nicht als linear* angesehen werden können. Diese differenzierte Ausweisung der Leistungsangebote der Constraints ist im Zusammenhang mit den unter 7.1.5 diskutierten und der innerhalb einer bestimmten Einplanungsalternative durch den Auslastungsgrad der Constraints bestimmten und damit nicht als konstant zu betrachtenden variablen Herstellkosten zu sehen.

Eine typische Ausprägung eines solchen Zusammenhangs besteht z.B. darin, dass sich für eine bestimmte Verkaufsforecastebene innerhalb der Normalarbeitszeit eine Monatskapazität von maximal 4.000to und variable Herstellkosten von 500 €/to ergeben. Zusätzlich kann durch Einplanung von Überstunden eine Kapazität von *weiteren* 1.000to allerdings auch zu *erhöhten* variablen Herstellkosten von 600 €/to genutzt werden.

Weitere Ausprägungen je nach Kostenfunktionsverläufen sind möglich. Details dazu sind in Abschnitt 8.4 angeführt.

Zur Verwirklichung eines solchen MRP-Systems bieten sich zwei Alternativen an. Entweder man gliedert das FCES-OC in ein *vorhandenes* MRP-System ein oder man führt ein *separates* Forecast-MRP-System. Letzteres braucht eine Schnittstelle zu bestehenden MRP-Systemen, um die Bedarfe aus bereits bestehenden Kundenaufträgen und die jeweils verfügbaren Kapazitäten und Lagerbestände im Forecast-MRP-System berücksichtigen zu können. Eine Integration von bestehenden Kundenaufträgen, Kapazitätsangeboten, Lagerbeständen, geplanten Lagerzugängen und Forecastdaten – also tatsächlich noch unsicheren Bedarfen – ist jedenfalls erforderlich<sup>329</sup>.

Als Vorteil für ein *separates* Forecast-MRP-System ist anzuführen, dass die *Vermischung* von Forecast- und Auftragsdaten weniger wahrscheinlich ist als bei einer Abbildung des FCES-OC in bestehenden MRP-Systemen, welche als Planungs- und Steuerungswerkzeuge für die Beschaffung und die Produktionsplanung und -steuerung dienen. Überdies muss eine kontinuierliche Verrechnung von eingehenden Kundenaufträgen gegen Forecasts in separaten Forecast-MRP-Systemen nicht zwingend erfolgen. Es genügt, wenn der Abgleich zwischen Forecastdaten und eingehenden Kundenaufträgen in Abständen in der Art erfolgt, dass man alle aktuell bestehenden und noch nicht ausgelieferten Kundenaufträge und die seit dem letzten Forecastupdate getätigten Auslieferungen in das Forecast-MRP-System übernimmt und die Forecasts stichtagbezogen (z.B. unmittelbar vor regulären Forecastupdates) anpasst; wobei der Zeitpunkt der Forecastanpassung und jener der Übernahme der Daten aktueller Kundenaufträge und bereits getätigter Auslieferungen naturgemäß übereinstimmen müssen.

Bzgl. einer *kontinuierlichen Gegenverrechnung* eingehender Kundenaufträge ist zu beachten, dass Kriterien dafür festzulegen sind, welche Parameter bei der Gegenverrechnung beachtet werden. Z.B. könnte man die Gegenverrechnung auf Verkaufsforecastebene (das ist die Minimalanforderung an die Gegenverrechnungslogik) oder auch gegen die Forecastbedarfsfallsnummer machen (was allerdings erfordern würde, dass der eingehende Kundenauftrag diese Forecastbedarfsfallsnummer als Merkmal trägt). In der Regel werden sich Zuordnungskriterien aus einer Kombination aus Verkaufsforecastebene und dem Verkaufsverantwortlichen bewähren.

---

<sup>329</sup> Vgl. auch Kapitel 8.

Ob man sich nun für ein separates Forecast-MRP-System oder für eine Einbettung des FCES-OC in bestehende MRP-Systeme entscheidet, wird im Einzelfall individuell zu bewerten sein. Jedenfalls ist jedoch eine *stricte Trennung* zwischen Bedarfen aus bereits fixierten Kundenaufträgen und Bedarfen aus Forecasts über den gesamten Forecastprozess zu empfehlen. Ist eine solche Trennung nicht gegeben, könnte in Extremfällen eintreten, dass Rohstoffe für Bedarfe eingekauft werden, welche nie zu Aufträgen werden oder die Produktion aufgrund von Unterbelegung leer läuft, obwohl im Forecast eine Bedarfsspitze angekündigt wird.

Unmittelbar verbunden mit der Abbildung von zukünftigen Bedarfssituationen ist die Forderung nach einer systematischen **Verfolgung der Forecastgenauigkeit**<sup>330</sup>. Daraus folgt die Notwendigkeit einer Aufzeichnung der abgegebenen Forecasts und der Istbedarfsmengen. Die Aufzeichnung der abgegebenen Forecasts kann entweder in regelmäßigen Abständen (beispielsweise nach regulären Forecastmeetings<sup>331</sup>) oder auch unregelmäßig erfolgen (z.B. nach unvorhergesehenen größeren Änderungen der Bedarfssituation).

Damit stellt sich die Frage, zu welchen Zeitpunkten die Aufzeichnungen der Forecasts erfolgen bzw. welche Forecasts mit den Istdaten verglichen werden sollen. Beispielsweise könnte jede einzelne Änderung der Forecasts aufgezeichnet werden, was aber sehr aufwändig wäre und überdies stünde man immer noch vor der Frage, welche dieser Forecasts man mit den Istdaten vergleicht. Als Ausweg bietet sich hier eine *regelmäßige* Aufzeichnung eines Zwischenstandes an; also z.B. im Wochenabstand immer am selben Wochentag oder immer exakt zum 15. des Monats. Jedenfalls wird man Forecasts, welche das Ergebnis regulärer Forecastmeetings darstellen, aufzeichnen. Dass auch die Ist-Bedarfsdaten aufgezeichnet werden müssen, um Kennzahlen<sup>332</sup> bzgl. der Forecastgenauigkeit errechnen zu können, sei der Vollständigkeit halber erwähnt.

Um die Herkunft bzw. die Ursachen von Forecastfehlern verfolgen zu können, sollte überdies zu jedem einzelnen Forecastdatensatz der Name des dafür Verantwortlichen mitgeführt werden. Letzteres gilt insbesondere für Forecasts, welche von Verkaufsverantwortlichen erstellt werden<sup>333</sup>.

Als wesentliches Qualitätskriterium für den Prozess der Erstellung von Forecasts durch aufwändige Kommunikation ist der *Vergleich* der aus einem solchen Prozess resultierenden Forecastfehler mit Forecastfehlern, die sich aus *quantitativen* Forecastmethoden wie z.B. ARIMA-Modelle ergeben, zu sehen<sup>334</sup>. Sind letztere kleiner als solche, die aus dem Kommunikationsprozess resultieren, so ist der Prozess als ganzes in Frage gestellt und muss entweder verbessert oder möglicherweise durch die bloße Anwendung quantitativer Methoden ersetzt werden.

Aus diesem Grund sollten zur Bewertung der aus dem Prozess resultierenden Forecastgenauigkeit mittels *quantitativer* Methoden anhand von Zeitreihen vergangener Istbedarfe erstellte Forecasts zugezogen werden. Wie oben erwähnt müssen Zeitreihen vergangener Istbedarfe auch für die Berechnung der Forecastfehler erhoben werden. Bzgl. der Datenspeicherung entsteht hier also kein Zusatzaufwand. Die Erstellung von

---

<sup>330</sup> Vgl. Abschnitt 2.4.3.

<sup>331</sup> Vgl. Abschnitt 2.4.2.

<sup>332</sup> Vgl. Abschnitt 2.4.3.

<sup>333</sup> Vgl. Abschnitt 2.4.5.2.

<sup>334</sup> Vgl. Abschnitt 5.3.2.

quantitativen Forecasts aus solchen Zeitreihen lässt sich mit entsprechender Software<sup>335</sup> und Sachkenntnis ohne großen Aufwand bewerkstelligen.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, dass eine Fallstudie von Lawrence et al. ergab, dass in Unternehmen erstellte Forecasts häufig *größere* Fehler aufweisen als solche, welche für das selbe Forecastsegment und Zeitfenster unter Anwendung *einfachster* quantitativer Forecastmethoden erstellt werden<sup>336</sup>, was die Notwendigkeit des Vergleichs der aus dem Kommunikationsprozess resultierenden Forecastfehler mit jenen, die sich aus quantitativen Methoden ergeben, unterstreicht.

Abgesehen davon sind folgende Fragen zu klären:

- a) **Wie lang** sollen die **Forecasthorizonte** sein?
- b) **Wie oft** bzw. in welchen Zeitabständen sollen **Forecastupdates** durchgeführt werden?
- c) Wie lang sollen die **Basiszeitintervalle** sein, nach welchen die Forecasts erstellt werden (werden Forecasts z.B. für jede einzelne Kalenderwoche oder jeden einzelnen Monat erstellt?)

Konkrete Angaben lassen sich dazu nicht machen, da die Bandbreite von individuellen Ausprägungen der durch die Marktanforderungen und durch die Charakteristika der Lieferkette(n) bedingten Gegebenheiten zu unterschiedlich sind<sup>337</sup>. Es muss also eine fallbezogene Festlegung der oben angeführten Größen erfolgen<sup>338</sup>.

Als Vorgangsweise bietet sich auch hierzu an, die gesuchten Größen zuerst für die Constraints und der Lagerpositionen festzulegen und dann mittels der sich aus den EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) ergebenden Zusammenhänge auf die Verkaufsforecastebenen zu übertragen. Geht man auf diese Weise vor, so sind die Anforderungen von Beschaffung und Produktionsplanung und -steuerung erfüllt und überdies ist Konsistenz zwischen den verschiedenen Forecastebenen gegeben. Sollten die Anforderungen des Verkaufs höher als jene der Beschaffung bzw. der Produktionsplanung und -steuerung sein (längere Forecasthorizonte, höhere Updatefrequenz, kürzere Basisintervalllänge), so kann man in einem weiteren Schritt nachbessern. Schließlich sollte jeder Forecastebene des FCES-OC ein Forecasthorizont, reguläre Updatetermine und ein Basiszeitintervall zugeordnet sein. Überdies sollte Konsistenz zwischen verknüpften Forecastebenen gegeben sein.

Um der großen Bedeutung von *graphischen* Auswertungen gerecht zu werden<sup>339</sup>, sollte es möglich sein, mit den einzelnen Forecastebenen verknüpfte Forecast- und Istdaten in Form von Graphiken anzuzeigen. Für diese Art der Betrachtung sind in den Abb. 7.2 und 7.3 zwei Beispiele gegeben. Weitere Details dazu, wie diese Graphiken aufgebaut sein sollten, finden sich unter Abschnitt 7.2.5.

Um bestimmte Planungs- und Steuerungsstrategien aus der Strategiepalette **Variation der Lagermengen** anwenden zu können, müssen Halb- oder Endprodukte bekannt sein,

---

<sup>335</sup> Z.B. mit der Software STATGRAPHICS Centurion XV; allgemeine Informationen zu dieser Software siehe unter der im Literaturverzeichnis unter *Statgraphics, 2007* angeführten Internetadresse.

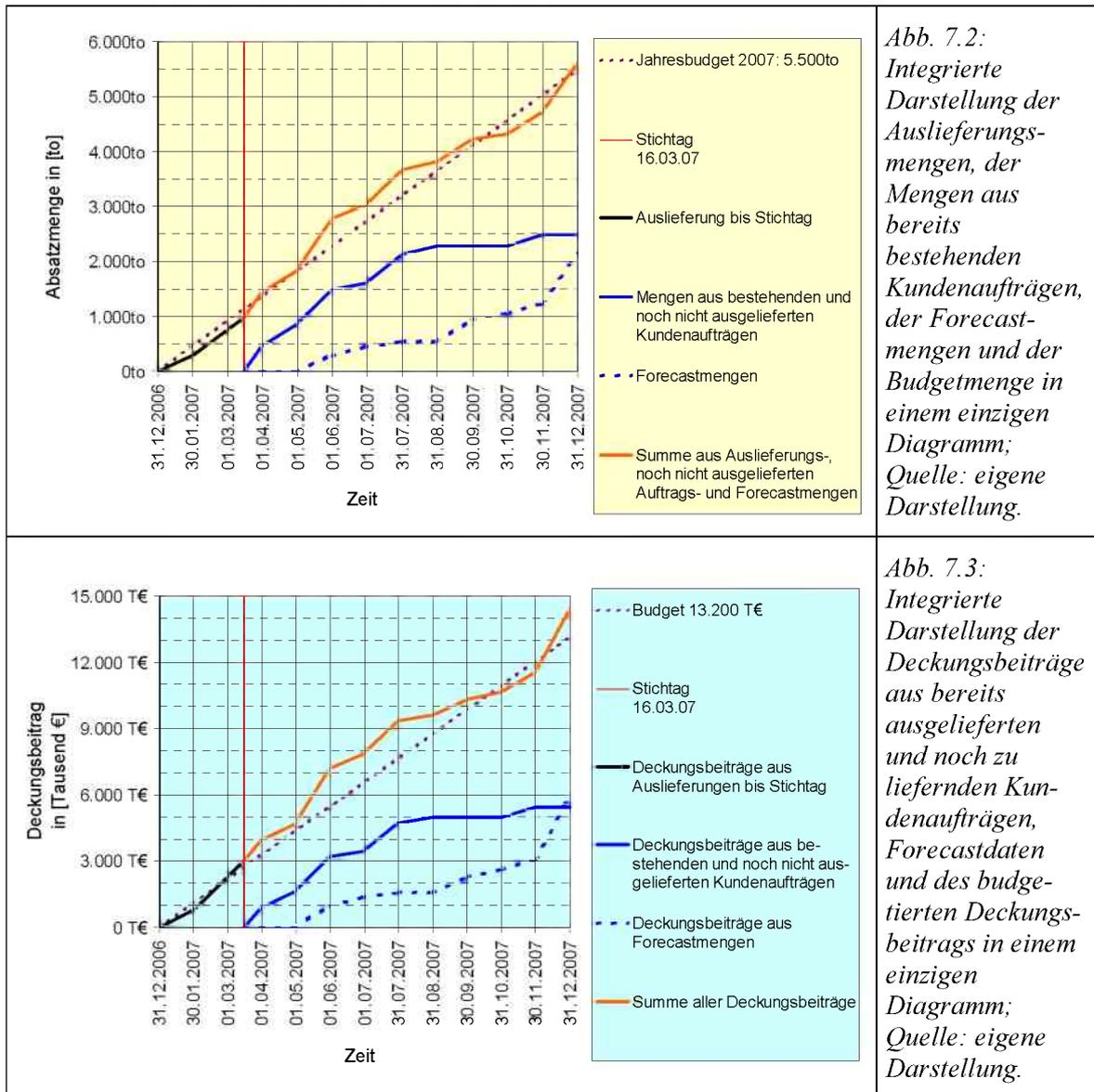
<sup>336</sup> Vgl. Lawrence et al., 2000.

<sup>337</sup> Vgl. dazu das Zitat von White unter Abschnitt 2.2.3.

<sup>338</sup> Bzgl. der Festlegung der Forecasthorizonte vgl. auch Abschnitt 5.4.

<sup>339</sup> Vgl. Abschnitt 2.4.1.

deren Verkauf als gesichert angesehen werden kann, auch wenn dafür zum Zeitpunkt des Produktionsstarts noch keine Kundenaufträge vorliegen<sup>340</sup>.



Können solche Produkte identifiziert werden, so können diese zur Überbrückung von Phasen unterdurchschnittlicher Belegung auf Lager produziert werden. Zur Berechnung der Produktionsmengen sollten für jedes einzelne Produkt Forecasts erstellt werden. Ist die Haltbarkeit der Produkte begrenzt, so müssen überdies die Haltbarkeitsdauern berücksichtigt werden. Aus den Forecasts, den zu erwartenden und mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten verknüpften Forecastfehlern und den Haltbarkeitsdauern lassen sich für jedes einzelne Produkt Mengen errechnen, deren Verkauf innerhalb bestimmter Zeithorizonte als gesichert angesehen werden kann<sup>341</sup>. Ob man die erforderlichen Forecasts unter Anwendung quantitativer Forecastmethoden errechnet oder die

<sup>340</sup> Vgl. Abschnitt 4.2.2.

<sup>341</sup> Vgl. dazu Abschnitt 8.5.2.

gewählten Produkte jedes für sich als Forecastebene im FCES-OC führt, lässt sich auch hier nach dem Kriterium entscheiden, ob eine Prognose der Absatzmengen auf Basis der dem Verkauf zugänglichen Informationen über Kunden und Absatzmärkte gegenüber quantitativen Methoden voraussichtlich zu einer erhöhten Forecastgenauigkeit führt<sup>342</sup>.

Für die Anwendung von Strategien aus der Palette Variation der Lagermengen im Allgemeinen müssen überdies die verfügbaren Lagerkapazitäten bekannt sein, sofern damit gerechnet werden muss, dass die sich aus einer Optimierungsrechnung ergebenden Lagermengen in den verfügbaren Lagerräumen nicht Platz finden<sup>343</sup>.

## 7.2.2 Anforderungen an Forecastebenen vom Typ Lagerpositionen

Für Forecastebenen in Form von Lagerpositionen ergeben sich über die in Abschnitt 7.2.1 erläuterten Aspekte hinaus folgende Anforderungen:

- a) Um alternative Planungs- und Steuerungsmaßnahmen bewerten zu können, müssen repräsentative **Lagerkostensätze** zur Verfügung stehen<sup>344</sup>.
- b) Um im Fall von Preisanstiegsraten, welche die Lagerkosten übersteigen, Lagerbeschickungspläne erarbeiten zu können, welche zu einem optimalen Kostenergebnis führen, müssen **Prognosen über diese Preisanstiegsraten** vorliegen<sup>345</sup>. Überdies müssen bei begrenzter Haltbarkeit der betroffenen Materialien deren Haltbarkeitsdauern bekannt sein.
- c) Um die Lagerbeschickung optimal planen und steuern zu können, müssen für jede einzelne Lagerposition **Servicegrade** bekannt sein, welche in der Planung und Steuerung anzustreben bzw. zu realisieren sind<sup>346</sup>.
- d) Zur weiteren Steigerung der Effizienz des Forecastprozesses kann eine **ABC-XYZ-Analyse**<sup>347</sup> **der Bedarfsmuster der einzelnen Verkäufer** von Nutzen sein. Diese Art der Analyse wird im Folgenden erläutert.

Analysiert man für jeden einzelnen Verkäufer die durch ihn verursachte Bedarfsmenge und die zugehörige Bedarfsvariation für eine bestimmte Lagerposition nach dem Schema der ABC-XYZ-Analyse, so wird sich in der Regel herausstellen, dass es einzelne Verkäufer gibt, welche überdurchschnittlich große Anteile der Bedarfe für die betrachtete Lagerposition akquirieren und deren Bedarfsvariation überdies auch überdurchschnittlich

---

<sup>342</sup> Vgl. dazu auch Abschnitt 5.3.2.

<sup>343</sup> Vgl. dazu Abschnitt 8.5.2.

<sup>344</sup> Vgl. Abschnitt 4.2.2.

<sup>345</sup> Vgl. Abschnitt 5.3.2.

<sup>346</sup> Kostenoptimale Servicegrade lassen sich aus einer Minimierung von Lager- und Fehlmengenkosten errechnen; wobei unter Fehlmengenkosten jene Kosten verstanden werden, welche entstehen, wenn Lagermengen zur Deckung von anstehenden Bedarfen nicht ausreichen. Vgl. dazu Gudehus, 1999, S. 302 ff.

<sup>347</sup> Zur ABC-XYZ-Analyse im Allgemeinen vgl. Heinen, 1991, S. 500 ff. und S. 515.

hoch ist und durch qualitative Forecastmodelle hinsichtlich der Forecastfehler nur unzureichend modelliert werden kann. Solche Verkäufer würde man im Sprachgebrauch der ABC-XYZ-Analyse als **AZ-Verkäufer** bezeichnen. Genau diese Verkäufer sind es, mit welchen bzgl. einer bestimmten Lagerposition besonders intensiv kommuniziert werden muss.

Den Gegenpol zu den AZ-Verkäufern bilden die CX-Verkäufer, deren Bedarfanteile am Gesamtbedarf für eine bestimmte Lagerposition vernachlässigbar sind und überdies kaum Variationen aufweisen oder durch quantitative Modelle ausreichend genau prognostiziert werden können. Bzgl. der CX-Verkäufer wird es zumeist keiner intensiven forecastspezifischen Kommunikation bedürfen.

Die für ABC-XYZ-Analysen dieser Art erforderlichen Zusammenhänge zwischen Lagerpositionen und Verkaufsebenen lassen sich aus den Forecast-Stücklisten entnehmen.

Die Anwendung dieser Form von ABC-XYZ-Analyse kann z.B. zur Folge haben, dass die Forecasts einer bestimmten Lagerposition für AZ-Verkäufer durch Kommunikation erstellt werden, während die Forecasts der selben Lagerposition für CX- oder z.B. auch AX-Verkäufer auf Basis von Zeitreihen und quantitativen Techniken erstellt werden. Analoges wie für die Lagerpositionen gilt bzgl. der ABC-XYZ-Analyse im übrigen auch für die Constraints<sup>348</sup>.

### 7.2.3 Anforderungen an Forecastebenen vom Typ Constraint

Wie für die Lagerpositionen kann auch für die Constraints die Effizienz der Kommunikation auf Basis von **ABC-XYZ-Analysen der Bedarfsmuster der Verkäufer für jede einzelne Constraint** gesteigert werden. Die für ABC-XYZ-Analysen dieser Art erforderlichen Zusammenhänge zwischen Constraints und Verkaufsebenen lassen sich aus den Forecast-Arbeitsplänen ableiten.

Abgesehen von den bereits unter 7.2.1 diskutierten Leistungsangeboten müssen **Auslastungsuntergrenzen** bekannt sein, sofern solche in der Planung- und Steuerung beachtet werden müssen.

Um sie bei der Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen berücksichtigen zu können, müssen nicht vernachlässigbare **Vorlaufzeiten**, die für die Anpassungen von Leistungsangeboten der Constraints an die Bedarfsraten erforderlich sind, bekannt sein<sup>349</sup>.

Um drohende Unterschreitungen der Produktionsmengenbudgets als solche erkennen zu können, müssen die **Produktionsmengenbudgets** für die einzelnen Constraints bekannt sein<sup>350</sup>. Dazu sei angemerkt, dass ein Erreichen der budgetierten Produktionsmenge zwar an und für sich noch kein Garant dafür ist, dass auch das budgetierte Unternehmensergebnis erreicht wird. Werden die Produktionsmengenbudgets jedoch *unterschritten*, so müssen entweder die in Prozent ausgewiesenen Ist-Deckungsbeiträge

<sup>348</sup> Vgl. dazu auch Abschnitt 8.5.5.

<sup>349</sup> Vgl. Abschnitt 5.4.

<sup>350</sup> Vgl. Abschnitt 4.1.3 und Kapitel 8.

über den budgetierten Deckungsbeiträgen in Prozent oder die Ist-Fixkosten unter den budgetierten Fixkosten liegen<sup>351</sup>. Damit kommt dem Erreichen der Produktionsmengenbudgets im Allgemeinen eine zentrale Bedeutung zu.

Im Bezug auf die Maximierung der Deckungsbeiträge ist im Fall von Bedarfsspitzen, welche durch die verfügbaren Produktionskapazitäten nicht zur Gänze abgedeckt werden können, eine selektive Auftragsakquirierung auf Basis von **relativen Deckungsbeiträgen** von großer Bedeutung. Mithilfe von relativen Deckungsbeiträgen ist es im Umfeld wenig komplexer Lieferkettenstrukturen möglich, bevorzugt jene Bedarfsfälle als Aufträge zu akquirieren, welche im Zusammenwirken mit den begrenzten Produktionskapazitäten zu den höchsten Deckungsbeiträgen auf Unternehmensebene führen<sup>352</sup>.

Verhältnismäßig einfach gestaltet sich diese Art von selektiver Auftragsakquirierung, wenn die als potentielle Aufträge bekannten Bedarfsfälle *ausschließlich* mit jener Constraint verbunden sind, welche auch unter Nutzung aller zu ihrer Entlastung geeigneten Maßnahmen nicht alle anstehenden Forecastbedarfsfälle abdecken kann; oder im Fall, dass die als potentielle Aufträge bekannten Forecastbedarfsfälle zwar auch mit weiteren, gleichfalls nicht ausreichend entlastbaren Constraints verknüpft sind, diese Bedarfsfälle aber so *geteilt* werden können, dass *nur jene Teile* akquiriert werden, welche auf den einzelnen nicht ausreichend entlastbaren Constraints hohe relative Deckungsbeiträge aufweisen.

Komplexer wird dieses Problem der selektiven Auftragsakquirierung, wenn die als potentielle Aufträge bekannten Forecastbedarfsfälle auf einer oder mehreren Constraints zwar ausreichend hohe relative Deckungsbeiträge, auf anderen nicht ausreichend entlastbaren Constraints aber so niedrige relative Deckungsbeiträge aufweisen, dass sie auf diesen Constraints nach einer Reihung der relativen Deckungsbeiträge eigentlich nicht bearbeitet werden sollten *und* wenn diese Bedarfsfälle *nicht so geteilt werden können*, dass **nur** jene Teile der Bedarfsfälle akquiriert werden, die mit ausreichend hohen relativen Deckungsbeiträgen verknüpft sind. Für nicht adäquat teilbare Bedarfsfälle kann also eintreten, dass relative Deckungsbeiträge auf einzelnen nicht ausreichend entlastbaren Constraints unzureichend niedrig oder gar negativ sind, *der einzelne Bedarfsfall in Summe* aber zu einem sehr hohen Deckungsbeitrag führt, welcher durch Bedarfsteile bedingt ist, die aus Produktionslinien bedient werden würden, welche zumindest temporär keine Constraints aufweisen oder gar von Leerläufen bedroht sind.

In diesen komplexen Fällen reicht es für eine selektive Auftragsakquirierung auf quantitativer Basis also *nicht mehr aus*, die relativen Deckungsbeiträge der unmittelbar mit nicht ausreichend entlastbaren Constraints *verknüpften* Bedarfs-Teile zu kennen; vielmehr muss der **gesamte Deckungsbeitrag für nicht mehr weiter teilbare Bedarfspakete** bekannt sein<sup>353</sup>.

Auf dieses Problem der Ergebnisoptimierung im Zusammenhang mit eingeschränkter Teilbarkeit von Forecastbedarfen wird in Abschnitt 8.4 detailliert eingegangen. Darüber hinaus wird unter 7.2.4 erläutert, welche Informationen bzgl. der Teilbarkeit von Forecastbedarfen erforderlich sind, damit die Voraussetzungen für eine Ergebnisoptimierung gegeben sind.

<sup>351</sup> Vgl. auch Abschnitte 4.1.2 und 4.1.3.

<sup>352</sup> Vgl. Abschnitt 4.1.3.

<sup>353</sup> Vgl. Kapitel 8.

Was wie oben ausgeführt im Zusammenhang mit relativen Deckungsbeiträgen für Constraints gilt, gilt im übrigen **auch für Lagerpositionen**, wenn Lagermengen zwischenzeitlich nicht ausreichen, um alle Forecastbedarfsfälle abdecken zu können, welche als gewinnbringende Aufträge akquiriert werden könnten.

#### 7.2.4 Anforderungen an Forecastebenen vom Typ Verkaufsfcastebene

Wie sich in Kapitel 5 gezeigt hat, besteht eine der Hauptanforderungen an die Ausprägung der Verkaufsfcastebenen darin, dass eine **Übertragbarkeit** der in den Verkaufsfcastebenen abgebildeten Forecastdaten auf die Forecastebenen in Form von Lagerpositionen und Constraints gegeben sein muss.

Abgesehen von den Mengen- und Umsatz- bzw. Deckungsbeitragsangaben müssen die in den Verkaufsfcastebenen abgebildeten Forecasts, einen **Zeit-Ortsbezug** aufweisen<sup>354</sup>; d.h., dass jeder einzelne Verkaufs-Forecast-Datensatz einen Zeit-Ortsbezug aufweisen muss.

Um von beliebigen Zeit-Ortsbezügen – im Regelfall werden den Verkaufsverantwortlichen Zeitpunkt und Ort der Warenübergabe an den Kunden bekannt sein – auf Versandtermine in den Produktionsstätten umrechnen zu können, müssen überdies **Transportzeiten** für die auftretenden Relationen bekannt sein. In einfach gelagerten Fällen können die Transportzeiten für jede auftretende Transportrelation in Tabellen als Konstanten hinterlegt werden. Diese Tabellen lassen sich darüber hinaus verfeinern, indem z.B. die Abhängigkeiten der Transportzeiten von Mengen oder von der Jahreszeit bzw. dem Kalendermonat mit berücksichtigt werden.

Für die Ersteller der Verkaufsfcasts wird es zumindest fallweise erforderlich sein, mit den **Upstreampartnern** in der Lieferkette – also den für eine bestimmte Verkaufsfcastebene verantwortlichen Kollegen in der Produktionsplanung und -steuerung und in der Beschaffung – zu kommunizieren. Zu diesem Zweck sollten die zuständigen Verantwortlichen der Produktionsplanung und -steuerung sowie der Beschaffung *für jede einzelne* Verkaufsfcastebene ausgewiesen werden.

Um das budgetierte Betriebsergebnis erreichen zu können, ist es von zentraler Bedeutung, dass die budgetierten **Deckungsbeiträge** erreicht werden<sup>355</sup>. Damit kommt auch der Verfolgung und der im betrachteten Geschäftsjahr bereits realisierten zuzüglich der – im Zusammenhang mit den Forecasts stehenden – prognostizierten Deckungsbeiträge zentrale Bedeutung zu. Darüber hinaus wird man zu Analysezwicken im Falle von Abweichungen vom Deckungsbeitragsbudget auch die budgetierten *Umsätze* und die budgetierten *Absatzmengen* mit den bereits durch Auslieferungen realisierten und den noch zu erwartenden Umsätzen und Absatzmengen vergleichen.

Für jede der drei Größen – Deckungsbeitrag, Umsatz und Absatzmenge – wird man daher die durch Auslieferungen bereits realisierten, die durch bestehende Kundenaufträge mit Auslieferungsterminen in der Zukunft bereits gesicherten und die durch die Forecasts

---

<sup>354</sup> Vgl. Abschnitt 5.4.

<sup>355</sup> Vgl. Abschnitt 4.1.

prognostizierten Daten verfolgen und jeweils im Kontext mit den budgetierten Werten bewerten<sup>356</sup>. Die Auswertung dieser Daten sollte nach allen für die jeweilige Lieferkette wesentlichen Gesichtspunkten wie z.B. für den einzelnen Verkäufer, die Region oder die Verkaufsforecastebene möglich sein.

Wie bereits unter dem Abschnitt 7.2.3 erläutert<sup>357</sup> ist für die Erarbeitung von auf Forecasts basierenden maßgeschneiderten Planungs- und Steuerungsmaßnahmen erforderlich, auch Deckungsbeiträge, welche sich für mögliche **Teillieferungen von Forecastbedarfsfällen** ergeben würden, zu kennen.

Ein Forecastbedarfsfall kann aus mehreren Positionen bestehen, von welchen jede für sich als Verkaufsforecastebene im Sinne der EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) geführt ist und darüber hinaus aus Positionen, zu deren Produktion keine Constraints erforderlich sind. Der *gesamte* Deckungsbeitrag für einen solchen Forecastbedarfsfall setzt sich dann aus den Deckungsbeiträgen aller Einzelpositionen zusammen.

Kann nun zumindest eine der in Form von EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) geführten Positionen aufgrund begrenzter Leistungsangebote auf den Constraints gar nicht oder nur teilweise bedient werden, so bietet sich an, den Bedarfsfall zu teilen und nur das zu liefern, wofür die Leistungsangebote ausreichen. Damit erhält man auch den mit diesen Teillieferungen verknüpften Deckungsbeitrag. Um überhaupt prüfen zu können, ob solche Teillieferungen im Einzelfall lukrativ sind, müssen die Deckungsbeiträge für die möglichen Teillieferungsalternativen bekannt sein.

In den Forecasts des Verkaufs müssen Forecastpositionen, welche zu ein und dem selben Bedarfsfall gehören und *nicht weiter geteilt* werden können, daher durch ein entsprechendes Merkmal miteinander verknüpft werden. Dieses Merkmal kann z.B. eine Forecastbedarfsfallnummer sein. Für jede Forecastbedarfsfallnummer muss dann auch ein Deckungsbeitrag ausgewiesen werden.

Davon abgesehen können Teillieferungen auch in der Form zustande kommen, dass nicht einzelne Forecastpositionen ganz wegfallen, sondern eine Teilmenge geliefert wird, welche die *gleichen Mengenrelationen* zwischen den einzelnen Forecastpositionen aufweist wie die ursprüngliche Forecastbedarfsfall-Spezifikation. Das hieße also, dass die Mengen der ursprünglichen Bedarfsfallspezifikation mit einer Konstanten, die größer als Null und kleiner als eins ist, multipliziert werden. Ist diese Art der Teilung - die im Weiteren als *spezifikationsstreu Teilbelieferung* bezeichnet wird - möglich, sollte das gleichfalls im FCES-OC geführt werden. Die Deckungsbeiträge dürften sich zumeist gleichfalls durch Multiplikation mit einer Konstanten errechnen lassen.

Lassen sich die Deckungsbeiträge von spezifikationsstreuen Teilbelieferungen nicht durch Multiplikation mit einer Konstanten errechnen oder lassen sich Teillieferungsalternativen oder deren Deckungsbeiträge nicht durch eine Kombination von kleinsten nicht mehr teilbaren Teillieferungspaketen bilden, von welchen jedes für sich eine Forecastbedarfsnummer trägt, so müssen diese Teillieferungsalternativen und ihre Deckungsbeiträge eigens bzw. explizit als Teillieferungsalternativen angeführt werden. Teillieferungsalternativen dieser Art werden im Weiteren als *segmentierte Teilbelieferungen* bezeichnet.

---

<sup>356</sup> Vgl. dazu Abb. 7.2 und 7.3.

<sup>357</sup> Vgl. dazu auch Abschnitt 8.4.

Um eine doppelte Einplanung des ein und desselben Forecastbedarfsfalls zu vermeiden, müssen durch segmentierte Teilbelieferungen bedingte Teillieferungsalternativen auch eindeutig als solche gekennzeichnet sein. Letzteres kann z.B. dadurch erfolgen, dass man für ein und die selbe Forecastbedarfsnummer Indizes einführt, welche die segmentierten Teillieferungsalternative ausweisen.

## 7.2.5 Das idealtypische Forecastebenenystem

Im Folgenden sind die oben unter 7.2.1 bis 7.2.4 angeführten Anforderungen an das idealtypische Forecastebenenystem mit organisationsübergreifendem Charakter in einer 36 Punkte umfassenden Aufstellung konkretisiert und in möglichst kurzen prägnanten Formulierungen ausgedrückt. Im Sinne einer besseren Übersichtlichkeit wurden Punkte, welche ähnliche thematische Schwerpunkte haben, zu Gruppen zusammengefasst.

Als erster Punkt wurde ein Aspekt gewählt, der als **Grundsatz** für die Ausarbeitung eines FCES-OC im Allgemeinen gilt.

1. Ein FCES-OC ist im Hinblick auf die *Effizienz* der mit dem FCES-OC verknüpften Forecastprozesse so ausgebildet, dass eine optimale Balance zwischen Umfang und Komplexität des FCES-OCs auf der einen und dessen Abbildungsgenauigkeit und Nutzen auf der anderen Seite gegeben ist.

Die nächsten 15 Punkte betreffen Aspekte, welche mit der Festlegung der **Forecastebenen**, ihren Merkmalsausprägungen und ihrer wechselseitigen Beziehungen zusammenhängen.

2. Die Forecastebenen sind in Lagerpositionen, Constraints und Verkaufsforecastebenen gegliedert.
3. Forecastebenen in Form von Lagerpositionen und Constraints sind auf Basis der Lieferkettenstrukturen festgelegt.
4. Verkaufsforecastebenen sind von den Forecastebenen in Form von Lagerpositionen und Constraints abgeleitet.
5. Für jede Forecastebene ist der erforderliche Forecasthorizont, die Basisintervalllänge und der Zeitpunkt des jeweils nächsten regulären Forecastupdates festgelegt und abrufbar. Für miteinander korrespondierende Forecastebenen sind der Forecasthorizont, die Basisintervalllänge und der Zeitpunkt des jeweils nächsten regulären Forecastupdates überdies einheitlich festgelegt.
6. Jeder Forecastebene ist eine Mengeneinheit zugeordnet.
7. Für jede Verkaufsforecastebene existiert zumindest eine Forecaststückliste und ein Forecastarbeitsplan. Gibt es im Zusammenhang mit den im FCES-OC geführten Constraints und Lagerpositionen alternative Einplanungsmöglichkeiten, so existieren auch alternative Forecaststücklisten oder alternative Forecastarbeitspläne.

8. Für jede vorkommende Kombination aus Forecastarbeitsplan, Forecaststückliste und Verkaufsforecastebene (bzw. deren Alternativen) sind variable Herstellkosten pro Verkaufsforecastebenen-Mengeneinheit geführt. Können Kostenfunktionen nicht als linear betrachtet werden, so werden variable Herstellkosten überdies in Abhängigkeit vom Auslastungsgrad der Constraints angegeben<sup>358</sup>.
9. Für jede Verkaufsforecastebene werden die verantwortlichen Disponenten der mit der jeweiligen Verkaufsforecastebene verknüpften Lagerpositionen und Constraints ausgewiesen (damit der Verkaufsverantwortliche bei Bedarf mit den zuständigen Kollegen ohne Zeitverlust in Kontakt treten kann).
10. Für jede Forecastebene in Form von Lagerposition und Constraint liegen die Ergebnisse von ABC-XYZ-Analysen der Verkäufer vor (alle Verkäufer einer bestimmten Forecastebene werden bzgl. ihrer Bedarfsmengen und der Bedarfsvariabilität bewertet). Diese Daten sind den Verantwortlichen in der Beschaffung und in der Produktionsplanung und -steuerung einsehbar.
11. Alle Forecastebenen sind in einem MRP-System abgebildet und mittels der MRP-Logik so verknüpft (Arbeitspläne und Stücklisten), dass eine mengen- und zeitrichtige Übertragung der Verkaufsforecastdaten auf die Constraints und Lagerpositionen möglich ist.
12. Das MRP-System, in dem die Forecastdaten geführt werden, steht mit dem MRP-System, das zur operativen Planung und Steuerung eingesetzt wird, in Verbindung. Damit können Bedarfe aus bestehenden Kundenaufträgen und Leistungsangebote der Constraints sowie geplante Lagerzugänge in das Forecast-MRP-System übernommen werden.
13. Die erforderlichen Vorlaufzeiten für Anpassungen von Leistungsangeboten der Constraints sind bekannt.
14. Sind für Constraints bestimmte Auslastungsuntergrenzen gegeben, sind diese im FCES-OC geführt.
15. Die für die zeitrichtige Übertragung der Forecastdaten des Verkaufs auf die Lagerpositionen und Constraints erforderlichen Transportzeiten sind im FCES-OC hinterlegt und abrufbar.
16. Für alle vorkommenden Transportrelationen sind Transportkosten, welche überdies z.B. je nach Planungsperiode differenziert sein können, hinterlegt und abrufbar.

Die nächsten beiden Punkte betreffen die Ausprägungen der **Forecastdatensätze** für alle vorkommenden Forecastebenen.

17. Der *Basisdatensatz des Verkaufs* umfasst in der detailliertesten Ausprägung folgende Datenfelder<sup>359</sup>:

---

<sup>358</sup> Zum tieferen Verständnis dieser Notwendigkeit vgl. Abschnitt 8.4.

<sup>359</sup> Anmerkung: weitere Datenfelder sind natürlich möglich aber im Forecastprozess an sich nicht erforderlich.

- Forecastbedarfsfallnummer (Anmerkung: Bzgl. möglicher Teillieferungsalternativen wird davon ausgegangen, dass innerhalb einer Forecastbedarfsfallnummer geführte Bedarfe nicht mehr weiter geteilt werden können).
- Bedarfsname (z.B. Kundenname oder Projektname).
- Positionsnummer des Datensatzes innerhalb des durch die Forecastbedarfsfallnummer bzw. den Teillieferungsindex (siehe unten) bezeichneten Forecastbedarfsfalles (Anmerkung: Der einzelne Forecastbedarfsfall kann aus mehreren Datensätzen bestehen<sup>360</sup>).
- Verkaufsforecastebene.
- Bedarfsmenge in Verkaufsmengeneinheiten.
- Bereitstellungstermin.
- Bereitstellungsort der mit dem Bereitstellungstermin verknüpft ist.
- Prognostizierter Deckungsbeitrag für den durch die Forecastbedarfsfallnummer bezeichneten Bedarfsfalls in Verbindung mit der Standardeinplanungsalternative<sup>361</sup>.
- Forecastersteller.
- Name des Budgetverantwortlichen (bzw. auch anderer Verkaufsbereiche bzw. -einheiten, für welche das Budget, zu dem der Bedarfsfall gehört, erstellt wurde).
- Auskunft darüber, ob der durch die Forecastbedarfsfallnummer bezeichnete Forecastbedarfsfall auch in Form einer spezifikationstreuen Teilbelieferung<sup>362</sup> als Auftrag akquiriert werden kann.
- Teillieferungsalternativenindex, sofern segmentierte Teilbelieferungen<sup>363</sup> in der Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen berücksichtigt werden müssen.
- Deckungsbeitrag der mit dem durch den Teillieferungsalternativenindex bezeichneten Teillieferungsalternative.

Bzgl. aller Elemente, welche *Teillieferungen* betreffen, ist anzumerken, dass Teillieferungen für bestimmte Forecastbedarfsfälle in der Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen vor allem dann berücksichtigt werden sollten, wenn *erstens* die Leistungsangebote der Constraints nicht ausreichen, um alle Bedarfsfälle zeitgerecht bedienen zu können und *zweitens* davon auszugehen ist, dass aus mehreren Positionen bestehende Bedarfsfälle Positionen enthalten, welche einen kleineren

---

<sup>360</sup> Vgl. auch hierzu Abschnitt 8.4.

<sup>361</sup> Als Standardeinplanungsalternative wird man in der Regel die kostengünstigste Einplanungsalternative festlegen; vgl. dazu auch Abschnitt 8.4.

<sup>362</sup> Zur Definition des Begriffs „spezifikationstreue Teilbelieferung“ vgl. Abschnitt 7.2.4.

<sup>363</sup> Zur Definition des Begriffs „segmentierte Teilbelieferung“ vgl. Abschnitt 7.2.4.

Beitrag zu einem guten Unternehmensergebnis leisten könnten als Forecastbedarfsfälle, welche nur eine Forecastebene enthalten und gleichfalls mit nicht ausreichend verfügbaren Leistungsangeboten verknüpft sind. Beachtet man unter diesen Vorzeichen angezeigte Teillieferungsalternativen nicht, so wird man das volle Deckungsbeitragspotential im Allgemeinen nicht ausschöpfen können<sup>364</sup>.

18. Die Forecastdatensätze für die *Constraints* und die *Lagerpositionen* umfassen folgende Datenfelder:
- Forecastbedarfsfallnummer und – sofern vorhanden – den Teillieferungsalternativenindex.
  - Bedarfsname (z.B. Kundename oder Projektname).
  - Positionsnummer des Datensatzes innerhalb des durch die Forecastbedarfsfallsnummer bzw. den Teillieferungsindex bezeichneten Forecastbedarfsfalles.
  - Die Forecastebene in Form der Constraint bzw. der Lagerposition.
  - Bedarfsmenge in Leistungs- bzw. Lagermengeneinheiten.
  - Verkaufsforecastebene.
  - Termin zu welchem die Leistungserstellung spätestens erfolgt sein muss bzw. zum dem die Lagerentnahme frühestens erfolgt.
  - Für Forecastebenen in Form von Constraints sollte auch der späteste Versandtermin für die Produkte am Produktionsstandort angeführt sein.
  - Forecastersteller.
  - Name des Budgetverantwortlichen (bzw. auch anderer Verkaufsbereiche bzw. -einheiten, für welche das Budget, zu dem der Bedarfsfall gehört, erstellt wurde).

Die folgenden drei Punkte beziehen sich auf Aspekte, welche mit **Kundenaufträgen** – also bereits bestehenden Aufträgen – in Verbindung stehen.

19. Neben den Forecastbedarfen werden auf allen Forecastebenen auch die Bedarfe aus bereits bestehenden Kundenaufträgen geführt. Für die einzelne Forecastebene sind wahlweise die Forecastbedarfsmengen, die Bedarfsmengen aus bestehenden Kundenaufträgen oder die Gesamtbedarfsmenge aus Forecast- und Kundenbedarfsmengen jeweils verbunden mit den zugehörigen Terminen abrufbar.
20. Forecastbedarfe und Bedarfe aus Kundenaufträgen werden durchgehend klar und unmissverständlich voneinander unterschieden.
21. Ist eine kontinuierliche Substitution der Forecastbedarfe durch eingehende Kundenaufträge vorgesehen, so müssen Zuordnungskriterien festgelegt und eine entsprechende Gegenverrechnungslogik bzw. -funktion vorhanden sein.

---

<sup>364</sup> Vgl. dazu Abschnitt 8.4.

Die folgenden sechs Punkte beziehen sich auf Aspekte, welche primär im Zusammenhang mit der **Lagerhaltung** stehen.

22. Alle Lagerpositionen und Constraints sind verfügbaren Lagerkapazitäten zugeordnet (um die verfügbare Lagerkapazität im Fall der Planung von Lagerproduktion berücksichtigen zu können).
23. Sofern vorhanden, sind bestimmte Artikel ausgewiesen, die regelmäßig, in großen Mengen und vor allem auch weiterhin gesichert verkauft werden (Vermeidung von unvermuteten Vertriebskonzeptumstellungen, wenn auf Lager produziert wird).
24. Haltbarkeitsdauern aller Artikel sind bekannt.
25. Lagerkostensätze sind bekannt.
26. Im Fall von die Lagerkostensätze temporär überschreitenden Preisanstiegsraten bzgl. Materialien, die zugekauft werden, liegen Schätzungen über diese Preisanstiegsraten vor.
27. Für jede als Forecastebene geführte Lagerposition wird ein anzustrebender Servicegrad ausgewiesen.

Die folgenden vier Punkte beziehen sich auf Aspekte, welche im Zusammenhang mit der **Verfolgung und Analyse der Budgeterfüllung** sowie der die Analysen wesentlich erleichternden **graphischen Aufbereitung** der Forecastdaten im Kontext mit den Zielgrößen stehen.

28. Für jede einzelne Constraint ist das Produktionsmengenbudget bekannt.
29. Für jeden Verkaufsverantwortlichen ist die Budgetmenge in Absatzeinheiten sowie der Deckungsbeitrag und der Umsatz in Werteinheiten bekannt.
30. Für jede Lagerposition ist die Budgetmenge und der budgetierte Einkaufspreis bekannt.
31. Istdaten aus der Vergangenheit (bereits ausgelieferte Aufträge), Forecasts und aktuelle Kundenaufträge können in Form von kumulierten Deckungsbeiträgen, Verkaufs-, Kapazitäts- und Lagerpositionseinheiten in Grafiken angezeigt werden. Auch die Budgetmengen, die verfügbaren Lagermengen und -zugänge und die Produktionskapazitäten können in diesen Diagrammen angezeigt werden<sup>365</sup>.

Die folgenden fünf Punkte beziehen sich auf Aspekte, welche die Verfolgung der **Forecastgenauigkeit** betreffen.

32. Aufzeichnung bzw. Speicherung der Forecasts in regelmäßigen Abständen (z.B. immer am Wochen- oder Monatsanfang oder nach regulären Forecastupdateterminen z.B. auch im Zusammenhang mit consensus Forecasts) zum Zweck der Verfolgung der Forecastgenauigkeit.

---

<sup>365</sup> Vgl. Abb. 7.2 und 7.3 in Abschnitt 7.2.1.

33. Aufzeichnung bzw. Speicherung der Ist-Bedarfsdaten zum Zweck der Verfolgung der Forecastgenauigkeit und als Basis für die Erstellung von quantitativen Forecasts.
34. Aufzeichnung der für die Erstellung von Forecastsätzen auf Ebene von Constraints und Lagerpositionen Verantwortlichen, sofern sich diese Forecasts nicht ausschließlich aus den Verkaufsforecastebenen ergeben.
35. Automatisierte Auswertung der Forecastfehler auf Ebene jeder einzelnen Forecastebene und jedes einzelnen Verkaufsverantwortlichen, sowie auf Ebene beliebig wählbarer aggregierter Forecastebenen (z.B. für die Vertriebseinheit oder ein Absatzgebiet); Zeitfenster, für welche die Forecastfehler berechnet werden, sind überdies frei wählbar<sup>366</sup>.
36. Möglichkeit des Vergleichs der aus dem Prozess kommenden Forecasts mit quantitativen Forecasts (zur Kontrolle der Effizienz des Forecastprozesses).

Damit ist das idealtypische Forecastebensystem zusammenfassend umrissen. Es enthält alle innerhalb der ganzen Dissertation im Kontext mit FCES-OCs als wesentlich erachteten Aspekte.

Wie sich ein FCES-OC im *individuellen* Einzelfall ausprägt, hängt von der Komplexität der zugrundeliegenden Liefernetzwerkstrukturen und den zur Ausarbeitung von auf Forecasts basierenden Planungs- und Steuerungsmaßnahmen eingesetzten Verfahren ab. Letzteres zeigen vor allem die in Kapitel 8 gewonnenen Erkenntnisse.

In der Regel wird ein individuell abgepasstes FCES-OC jedoch nicht alle Aspekte umfassen, die in der obigen, umfassend und allgemein gehaltenen Darstellung vorkommen.

Abgesehen davon kann die Komplexität eines FCES-OC jedenfalls unter bestimmten Grenzen gehalten werden, indem man sich auf jene Planungssegmente konzentriert, für welche durch eine Umstellung auf einen forecastgestützten Planungs- und Steuerungsprozess am ehesten Ergebnisverbesserungen zu erwarten sind und sich bzgl. der Ausarbeitung von forecastbasierenden Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auf eher einfache Verfahren und Schätzmethoden beschränkt. Zu Details dazu sei auf die Kapitel 5 und 8 verwiesen.

### 7.3 Eine Anleitung zur Ausarbeitung von FCES-OCs

Die im folgenden Abschnitt präsentierte Anleitung zur Ausarbeitung von FCES-OCs setzt sich aus bereits an anderer Stelle ausführlich erläuterten Elementen zusammen, stellt diese aber in einen *komprimierten und übersichtlichen Zusammenhang* und gibt überdies einige unmittelbar auf die Ausarbeitung bezogene Hinweise.

---

<sup>366</sup> Vgl. dazu Abschnitt 8.5.5.

Die gewählte Reihenfolge der Entwicklungsschritte berücksichtigt dabei zum einen sich zwingend ergebende Abfolgen – z.B. können Verkaufsforecastebenen erst dann ermittelt werden, wenn die Constraints und die Lagerpositionen festgelegt sind – und zum anderen thematische Nähe und Verwandtschaften verschiedener Teilaspekte.

Im Einzelnen ist der Abschnitt in fünf Teile gegliedert:

Unter 7.3.1 wird erläutert, wie die im FCES-OC als Forecastebenen zu führenden *Constraints* festgelegt werden können.

Unter 7.3.2 folgt das Gleiche für die Festlegung der im FCES-OC als Forecastebenen zu führenden *Lagerpositionen*.

Unter 7.3.3 wird erläutert, wie die im FCES-OC zu führenden *Verkaufsforecastebenen* inkl. der Forecaststücklisten und der Forecastarbeitspläne festgelegt werden können.

Unter 7.3.4 werden die Forecastebenen in das MRP-System übernommen und die Budgetdaten integriert.

Schließlich folgen unter 7.3.5 noch einige letzte Schritte.

### 7.3.1 Festlegung der Forecastebenen in Form von Constraints

Anmerkung: Der Großteil der folgenden Schritte ist in Abschnitt 5.3.1 im Detail erläutert.

- (1) Erhebung der Grundgesamtheit potentieller Constraints.
- (2) Für jede einzelne potentielle Constraint Erhebung der Endprodukte, welche unter Nutzung dieser Constraint produziert werden.
- (3) Erhebung der Deckungsbeiträge für jede dieser Endartikelgruppen (das sind dann die Deckungsbeiträge, mit welchen jede einzelne Constraint verknüpft ist).
- (4) ABC-XYZ-Analyse der Constraints; ABC-Analyse nach den ihnen zugeordneten Deckungsbeiträgen und XYZ- bzw. modifizierte XYZ-Analyse nach der Variation der Lieferzeiten und/oder der Prognostizierbarkeit der Bedarfsverläufe auf Basis quantitativer Prognosen.
- (5) Festlegung der im FCES-OC geführten Constraints auf Basis der ABC-XYZ-Analyse (Anmerkung: die Art dieser Abgrenzung stellt einen der wichtigsten Stellhebel bzgl. der Komplexität FCES-OC dar).
- (6) Eventuell Erweiterung der so festgelegten Gruppe von Constraints durch Constraints, welchen strategische Bedeutung zugemessen wird.
- (7) Ermittlung der Leistungsangebote inkl. eventuell gegebener Auslastungsgraduntergrenzen, der Einheiten der Leistungsangebote und der zugehörigen Kostenfunktionen der Constraints.

- (8) Bildung von Auslastungssegmenten mit einheitlichen variablen Kosten für jene Constraints, deren Kostenfunktionen nicht durch lineare Verläufe angenähert werden können<sup>367</sup>.
- (9) Sind Constraints enthalten, welche durch Variationen der Lagermengen geplant und gesteuert werden, so müssen diesen Constraints Lagerräume zugeordnet werden und die Lagerkostensätze sowie die Lagerkapazitäten für diese Lagerräume erhoben werden.
- (10) Sind für bestimmte Constraints Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auf Basis der Variation der Lagermengen vorgesehen und sollen in diesem Zusammenhang Artikel als Kapazitätsspeicher auf Lager produziert werden, für die zum Zeitpunkt ihrer Einplanung zur Produktion noch keine Kundenaufträge vorliegen, so wird in Zusammenarbeit mit dem Verkauf eine Liste von Artikeln erstellt, die im Hinblick auf ihre Haltbarkeit, ihre Absetzbarkeit und ihre Bedarfsmengen als Kapazitätsspeicherartikel eingesetzt werden können.
- (11) Festlegung des Forecasthorizontes, der Basisintervalllänge und der Forecastupdatefrequenz für jede selektierte Constraint. Nach Möglichkeit wird man versuchen, diese Größen für alle Constraints einheitlich festzulegen.
- (12) Festlegung der für die Planung Verantwortlichen für jede selektierte Constraint.

### 7.3.2 Festlegung der Forecastebenen in Form von Lagerpositionen

Anmerkung: die folgenden Schritte sind im Detail in Abschnitt 5.3.2 erläutert.

- (13) Selektion der Lagerpositionen, die in das FCES-OC aufgenommen werden aus der Grundgesamtheit der Lagerpositionen anhand der Decouplingpunkte sowie von ABC- und modifizierten XYZ-Analysen. Im Sinne einer effizienten Selektion wird man die Reihenfolge der Selektionsschritte auf Basis der Datenverfügbarkeit festlegen (Anmerkung: auch diese Art der Abgrenzung ist als einer der wichtigsten Stellhebel dafür zu sehen, wie komplex das FCES-OC sein wird).
- (14) Ergänzung der so selektierten Lagerpositionen um Lagerpositionen von strategischer Bedeutung.
- (15) Festlegung der Mengeneinheit für jede selektierte Lagerposition.
- (16) Festlegung des anzustrebenden Servicegrads für jede einzelne selektierte Lagerposition.
- (17) Ermittlung der Haltbarkeitsdauern der einzelnen Lagermaterialien.
- (18) Ermittlung der Lagerkostensätze.
- (19) Prüfung ob Preisanstiegsraten zu erwarten sind, welche über den Lagerkostenzinssätzen liegen und im Fall des Falles Abschätzung dieser

---

<sup>367</sup> Vgl. dazu Abschnitt 8.4.

Anstiegsraten (Anmerkung: naturgemäß muss die Prüfung der Preisentwicklung fortlaufend erfolgen).

- (20) Festlegung der für die Planung Verantwortlichen für jede selektierte Lagerposition.
- (21) Ermittlung des Forecasthorizonts, der Basisintervalllänge und der Forecastupdatefrequenz für jede selektierte Lagerposition. Nach Möglichkeit wird man ausgehend von den für die Constraints festgelegten Größen versuchen, diese Größen weitgehend einheitlich festzulegen.
- (22) Für Lagerpositionen, die zugekauft werden, Erhebung der budgetierten Einkaufspreise.

### 7.3.3 Festlegung der FC-Stücklisten, der FC-Arbeitspläne und der Verkaufsforecastebenen

Anmerkung: die folgenden Schritte sind im Detail in Abschnitt 7.1 erläutert.

- (23) Für jede der oben selektierten Constraints und Lagerpositionen Erhebung jener Endartikel, zu deren Produktion die jeweilige Constraint genutzt bzw. Material von der jeweiligen Lagerposition entnommen werden muss.
- (24) Gruppierung dieser Endartikel entsprechend ihrer Verknüpfung zu Constraints und Lagerpositionen (bzw. Sätzen von Constraints und Lagerpositionen) unter Berücksichtigung von Alternativen bzgl. der Nutzung von Constraints oder Lagerpositionen.
- (25) Ermittlung der Übertragungskoeffizienten bzgl. der Lagerpositionen und der Constraints. Davon ausgehend Bildung von Übertragungskoeffizienten-Klassen und weiter Differenzierung der unter (24) gebildeten Endartikelgruppen in Untergruppen, die dadurch gekennzeichnet sind, dass alle Endartikel einer einzelnen Untergruppe hinsichtlich ihrer Verknüpfung mit Constraints, Lagerpositionen und Übertragungskoeffizienten-Klassen identisch sind  
Anmerkung: Diese Endartikeluntergruppen werden in Abschnitt 7.1 und im Weiteren mit EAG(C,LP,ÜK) bezeichnet.
- (26) Aus den Übertragungskoeffizienten-Klassen Ableitung von Forecaststücklisten für jede EAG(C,LP,ÜK). Existieren alternative und hinsichtlich der mit ihnen verknüpften Kosten als ergebnisfördernd anzusehende Lagerpositionszuordnungen, so werden diese in Form alternativer Forecaststücklisten abgebildet. Treten solche alternativen Stücklisten auf, so wird eine Stückliste als Standardstückliste ausgewählt. In der Regel wird das jene Stückliste sein, die mit den geringsten variablen Herstellkosten verbunden ist<sup>368</sup>.
- (27) Jede EAG(C,LP,ÜK) wird wie folgt weiter differenziert: Jedem Endartikel einer EAG(C,LP,ÜK) werden auf Basis der TOC Teildurchlauf- und Pufferzeiten sowie die Längen von Rods zugeordnet. Davon ausgehend werden innerhalb jeder EAG(C,LP,ÜK) Teildurchlaufzeit-, Pufferzeit- und Rod-Klassen gebildet. Artikel

---

<sup>368</sup> Vgl. dazu Abschnitt 8.4.

einer bestimmten EAG(C,LP,ÜK) mit identischer Zuordnung zu Teildurchlaufzeit-, Pufferzeit- und Rod-Klassen werden zu Gruppen zusammengefasst. Diese Endartikelgruppen werden in Abschnitt 7.1 und im weiteren mit EAG(C,LP,ÜK,Z) bezeichnet.

- (28) Für jede EAG(C,LP,ÜK,Z) werden Forecastarbeitspläne und - sofern vorhanden und als ergebnisfördernd zu betrachten – alternative Forecastarbeitspläne erstellt. Treten alternative Arbeitspläne auf, so wird ein Arbeitsplan als Standardarbeitsplan ausgewählt. In der Regel wird das jener Arbeitsplan sein, der mit den geringsten variablen Herstellkosten verbunden ist<sup>369</sup>.
- (29) Jede EAG(C,LP,ÜK,Z) wird wie folgt weiter differenziert (sofern bzgl. der variablen Herstellkosten innerhalb der EAG(C,LP,ÜK,Z) Heterogenität besteht): Die Endartikel jeder EAG(C,LP,ÜK,Z) werden in Untergruppen einheitlicher variabler Herstellkosten bzw. in Herstellkostenklassen zusammengefasst. Diese Untergruppen werden im Weiteren mit EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) bezeichnet.
- (30) Bei nichtlinearen Kostenfunktionen müssen für jede davon betroffene EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) die variablen Herstellkosten in Abhängigkeit von den oben unter (8) festgelegten Auslastungssegmenten erhoben werden.
- (31) Jede EAG(C,LP,ÜK,Z,HK) entspricht einer Verkaufsforecastebene.
- (32) Die für die Planung der Constraints und der Lagerpositionen einer einzelnen Verkaufsforecastebene Verantwortlichen lassen sich direkt aus der Struktur der Verkaufsforecastebene entnehmen.
- (33) Die Längen der erforderlichen Forecasthorizonte und Basiszeitintervalle sowie die Höhe der erforderlichen Updatefrequenzen werden für jede einzelne Verkaufsforecastebene unter Beachtung der Forecasthorizonte, der Basiszeitintervalle und der Updatefrequenzen, die für die verknüpften Constraints und Lagerpositionen bestimmt wurden, festgelegt. Dabei wird man versuchen, möglichst einheitliche Ausprägungen über weite Bereiche des Lieferkettennetzwerks oder das gesamte Liefernetzwerk zu erreichen.
- (34) Für jede Verkaufsforecastebene werden auf Basis des Budgets die ihr zugehörigen Verkaufsverantwortlichen (also jene Verkäufer, die Artikel verkaufen, welche in die jeweilige Verkaufsforecastebene fallen) und die entsprechenden Budgetmengen sowohl in Verkaufsmengeneinheiten als auch in Form von Deckungsbeitrags-Werteinheiten und Umsatz-Werteinheiten ermittelt.

---

<sup>369</sup> vgl. dazu Abschnitt 8.4.

### 7.3.4 Abbildung der Forecastebenen in einem MRP-System und Ermittlung der budgetierten Beschaffungs- und Produktionsmengen sowie der Zieldeckungsbeiträge auf Ebene der Constraints

- (35) In einem MRP-System werden die Budgetmengen der Verkaufsverantwortlichen für die einzelnen Verkaufsforecastebenen in Form von Verkaufsmengeneinheiten, in Form von Deckungsbeitrags-Werteinheiten und in Umsatz-Werteinheiten als Bedarfs-elemente abgebildet (z.B. könnte das Budget des Verkäufers A für die Verkaufsforecastebene XY ein Budget von 1,2 Mio. Euro Umsatz, 0,3 Mio. Euro Deckungsbeitrag und 1.100 Verkaufsmengeneinheiten umfassen).
- (36) Auch die Forecast-Stücklisten und die Forecast-Arbeitspläne sowie die Constraints und die Lagerpositionen werden im MRP-System abgebildet.
- (37) Mithilfe des MRP-Systems und den Standardeinplanungsalternativen (Forecast-Standardarbeitspläne und Forecast-Standardstücklisten) werden die Budgetdaten des Verkaufs auf die Constraints und die Lagerpositionen übertragen. Nach dieser Übertragung sind die mit den zugehörigen Verkaufsforecastebenen verknüpften und *budgetierten* Kapazitäts- bzw. Lagermengenbedarfe, Deckungsbeiträge und die Namen der Verkaufsverantwortlichen auf Ebene der Constraints und der Lagerpositionen ausgewiesen. In diesem Zusammenhang wird davon ausgegangen, dass das Verkaufsbudget mittels der Standardeinplanungsalternativen und den zur Verfügung stehenden Leistungsangeboten abgedeckt werden kann. Ist das nicht der Fall, müssen einige Standardeinplanungsalternativen durch andere Einplanungsalternativen ersetzt werden. Darüber hinaus kann die Übertragung der Verkaufsbudgetdaten auf die Constraints und Lagerpositionen auch durch lineare Optimierung erfolgen<sup>370</sup>.

### 7.3.5 Fünf letzte Schritte

- (38) Auf Ebene der Constraints und der Lagerpositionen werden die Verkaufsverantwortlichen bzgl. der Bedarfsmengen und der Bedarfsverteilung anhand einer ABC-XYZ-Analyse bewertet. Ziel dieser Bewertung ist es, für jede Constraint und jede Lagerposition jene Verkäufer herauszufiltern, mit welchen sich eine forecastspezifische Kommunikation lohnt<sup>371</sup> (Anmerkung: durch die Wahl der hier getroffenen Abgrenzung lässt sich der Kommunikationsaufwand steuern bzw. die Effizienz des Forecastprozesses optimieren).
- (39) Abbildung der Transportzeiten und der Transportkosten für alle auftretenden Transportrelationen.

---

<sup>370</sup> Vgl. dazu 8.4.

<sup>371</sup> Vgl. Abschnitt 7.2.2

- (40) Überprüfung des FCES-OC mit einem exemplarischen Verkaufs-Forecastdatensatz (dieser kann z.B. aus einer aktuellen Istbelegungssituation übernommen werden, was dann einen direkten Vergleich zwischen den Bedarfsmengen, die sich aus den Standard-PPS- und Standard-MRP-Systemen auf den Constraints und Lagerpositionen ergeben, mit jenem aus dem FCES-OC ermöglicht).
- (41) Für den Fall, dass eine kontinuierliche Substitution der Forecastbedarfe durch eingehende Kundenaufträge vorgesehen ist, Festlegung der Gegenverrechnungslogik.
- (42) Festlegung der ersten regulären Updatetermine (bzw. Ersterstellungstermine für die Forecasts).

Damit ist komprimierte Anleitung zur Ausarbeitung von FCES-OCs abgeschlossen. Zum tieferen Verständnis sei noch einmal auf die Kapitel 3 bis 5 und 8 sowie die Abschnitte 7.1 bis 7.3 verweisen.

## 7.4 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse

Die Hauptschwierigkeiten in der Ausarbeitung von FCES-OCs für komplexe und weltumspannende Liefernetzwerke mit vielen hundert Arbeitsplätzen und Tausenden von Lagerpositionen im Zusammenhang mit umfangreichen Produktpaletten von einigen Zehntausend Endartikeln liegen in der Klärung der Frage, wie man diese Komplexität so weit wie möglich reduzieren kann, ohne Gefahr zu laufen, ein erforderliches Mindestmaß an Abbildungsgenauigkeit und die notwendigen Voraussetzungen für die Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auf Basis von Forecastdaten aus den Augen zu verlieren.

Die oben erläuterte Anleitung zur Ausarbeitung von FCES-OCs begegnet diesen Schwierigkeiten dadurch, dass die Liefernetzwerkstrukturen vielschichtig dahingehend analysiert werden, welche Liefernetzwerkelemente in einen durch Bedarfsdatenerhebung durch den Verkauf geprägten Forecastprozess aufgenommen werden sollten, um durch diesen Forecastprozess einen möglichst großen Beitrag zur Unternehmensergebnisverbesserung leisten zu können. Es wurde also versucht, *genau* jene Elemente des Liefernetzwerkes herauszufiltern, *deren Planung und Steuerung im Hinblick auf die Unternehmensziele durch die Nutzung von Bedarfsinformationen des Verkaufs verbessert werden können*.

In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass der Ansatz der Ableitung von Forecastebenen aus den *Liefernetzwerkstrukturen* unter Berücksichtigung der Unternehmensziele einen weitgehend neuen Zugang zum Problem der Festlegung von Forecastebenen darstellen dürfte.

Abgesehen davon wurden in der oben erläuterten Anleitung alle dem aktuellen Stand der einschlägigen Literatur entsprechenden Planungs- und Steuerungsstrategien als potentiell einsetzbare Strategien berücksichtigt. Damit ist gemeint, dass durch ein nach der obigen Anleitung erstelltes FCES-OC alle Voraussetzungen dafür gegeben sind, dass jede nach

heutigem Ermessen denkbare Planungs- und Steuerungsstrategie bzgl. ihres monetären Einflusses auf das Unternehmensergebnis geprüft werden kann und damit auch alternative Planungs- und Steuerungsmaßnahmen miteinander verglichen werden können.

Um das gewährleisten zu können, war es unter anderem erforderlich, auf Kapitel 8, welches die Ausarbeitung von forecastbasierenden Planungs- und Steuerungsmaßnahmen behandelt, vorzugreifen. Durch diesen Vorgriff konnte aber sicher gestellt werden, dass nach der obigen Anleitung erstellte FCES-OCs auch alle Voraussetzungen dafür beinhalten, dass selbst anspruchsvolle Verfahren zur Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen – wie z.B. eine in Kapitel 8 präsentierte Anwendung der linearen Optimierung – eingesetzt werden können.

Die obige Anleitung baut damit nicht nur auf den Liefernetzwerkstrukturen im Kontext mit den Unternehmenszielen auf, sondern auch auf allen zur Verfügung stehenden Strategien der Planung und Steuerung und überdies auf den Charakteristiken und Datenbedarfen der Methoden zur Ausarbeitung von ergebnisoptimierenden Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auf Basis von Forecastdaten. Dieser integrale Rahmen dürfte ebenfalls wissenschaftliches Neuland beinhalten.

Bzgl. weiterer Forschungsschritte ist festzuhalten, dass es vermutlich aufschlussreich sein würde, für eine Reihe von Liefernetzwerken FCES-OCs nach der obigen Anleitung zu erstellen. Dabei würde sich zeigen, wie praxisnah die Anleitung ist, welche Teilaspekte im Regelfall in der Praxis einen großen Stellenwert einnehmen und welche möglicherweise nur theoretischen Charakter haben. Auch würde man Aufschlüsse über die Komplexität, die FCES-OCs annehmen, erhalten. Dabei könnte sich z.B. zeigen, dass scheinbar sehr weitläufige Liefernetzwerke in der Regel in einige kleinere, voneinander unabhängige FCES-OCs zerfallen, von welchen jedes für sich wieder gut überschaubar ist.

Vielleicht ließe sich die obige Anleitung, die in ihrer aktuellen Darstellung alle innerhalb der Dissertation diskutierten Aspekte enthält, mit den Erfahrungen aus einer Vielzahl solcher Anwendungen straffen. Insbesondere Vereinfachungen der - durch nichtlineare Kostenfunktionen und zumindest in der Theorie erforderliche Berücksichtigung von Teillieferungsalternativen bedingten - Differenzierungsschritte würden zu signifikanten Komplexitätsreduktionen führen.

Aber auch wenn sich zeigen sollte, dass die Umsetzung der obigen Anleitung in der Praxis nur begrenzt möglich ist, muss betont werden, dass die der Anleitung zugrunde liegenden Erkenntnisse *jedenfalls Aufschlüsse darüber geben*, welche Lieferkettenelemente nach Möglichkeit verkaufsforecastgestützt geplant und gesteuert werden sollten, wie man eine gute Balance zwischen Komplexität und Effizienz eines Forecastprozesses erreichen kann und welche Daten für die Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen erforderlich sind.

Davon abgesehen würde sich bei beschränkter oder ungenügender Praxistauglichkeit die Frage stellen, inwieweit Liefernetzwerke auf Basis von durch den Verkauf erstellten Forecasts *überhaupt* gezielt und kontrolliert geplant und gesteuert werden können, wenn es nicht möglich ist, die in der obigen Anleitung gestellten Ansprüche zu erfüllen. Damit dürfte der obigen Anleitung unabhängig von ihrer Praxistauglichkeit jedenfalls Bedeutung beikommen.

## 8 Auf Forecasts basierende Planungs- und Steuerungsmaßnahmen

In diesem Kapitel wird die **letzte der drei Hauptfragestellungen** der Dissertation vor allem anknüpfend an die Ergebnisse aus Kapitel 4 bearbeitet. Diese letzte Hauptfragestellung lautet:

*Es soll gezeigt werden, wie Maßnahmen zur Planung und Steuerung von Lieferketten auf Basis von Forecastdaten, Forecastfehlern, Fertigungskapazitäten, Lagerverfügbarkeiten, Deckungsbeiträgen, Kosten, Servicegraden und verfügbaren Istauftragsständen so festgelegt werden können, dass die Umsetzung dieser Maßnahmen gemessen an den Zielen der Planung und Steuerung von Lieferketten zu einem zufriedenstellenden Unternehmensergebnis führt.*

Im Detail ist Kapitel 8 wie folgt aufgebaut:

Unter 8.1 werden Musterfälle von Bedarfsverläufen festgelegt, welche alle denkbaren Bedarfsverläufe repräsentieren.

Unter 8.2 werden jene Charakteristika von Lieferketten herausgearbeitet, welche für die Festlegung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen von Bedeutung sind.

Unter 8.3 werden Erkenntnisse aus Kapitel 4 - die Palette der möglichen Planungs- und Steuerungsstrategien, deren Kostenwirkungen und die Ziele in der Planung und Steuerung - mit den Musterfällen von Bedarfsverläufen und den planungs- und steuerungsrelevanten Charakteristikern von Lieferketten zusammengeführt und für jede der so gewonnenen Verknüpfungen maßgeschneiderte Planungs- und Steuerungsmaßnahmen abgeleitet.

Unter 8.4 wird eine eigens erarbeitete Anwendung der linearen Optimierung auf bestimmte, sich aus Abschnitt 8.3 ergebende und mit einfachen Methoden nicht mehr lösbare Planungsprobleme präsentiert.

Unter 8.5 wird erläutert, wie durch Forecastfehler bedingte Risiken von bestimmten Planungs- und Steuerungsmaßnahmen beurteilt werden können.

Schließlich folgt unter 8.6 die Diskussion und Bewertung der Ergebnisse.

## 8.1 Bedarfsverläufe - Musterfälle

In Abb. 8.1 sind fünf Musterfälle von Bedarfsverläufen dargestellt, aus denen sich *alle* denkbaren Bedarfsverläufe zusammensetzen lassen.

Der Bedarfsverlauf kann entweder

- 1) exakt dem Verlauf der Linie folgen, die sich ergibt, wenn die Budgetmenge linear über der Zeit aufgetragen wird (Abb. 8.1a),
- 2) nachhaltig über der Budgetlinie liegen (Abb. 8.1b),
- 3) nachhaltig unter der Budgetlinie liegen (Abb. 8.1c),
- 4) diese zwischenzeitlich überschreiten (Abb. 8.1d) oder
- 5) zwischenzeitlich unterschreiten (8.1e).

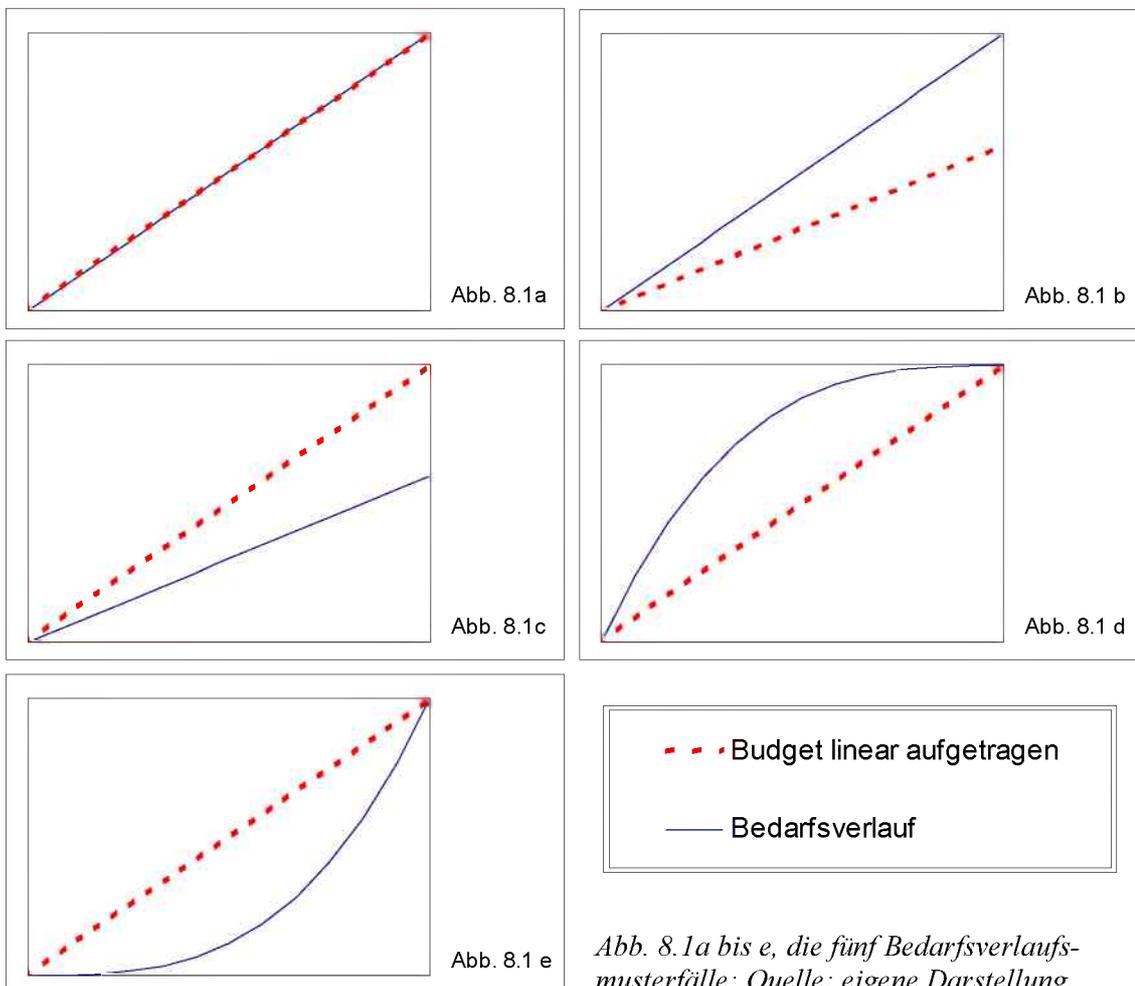
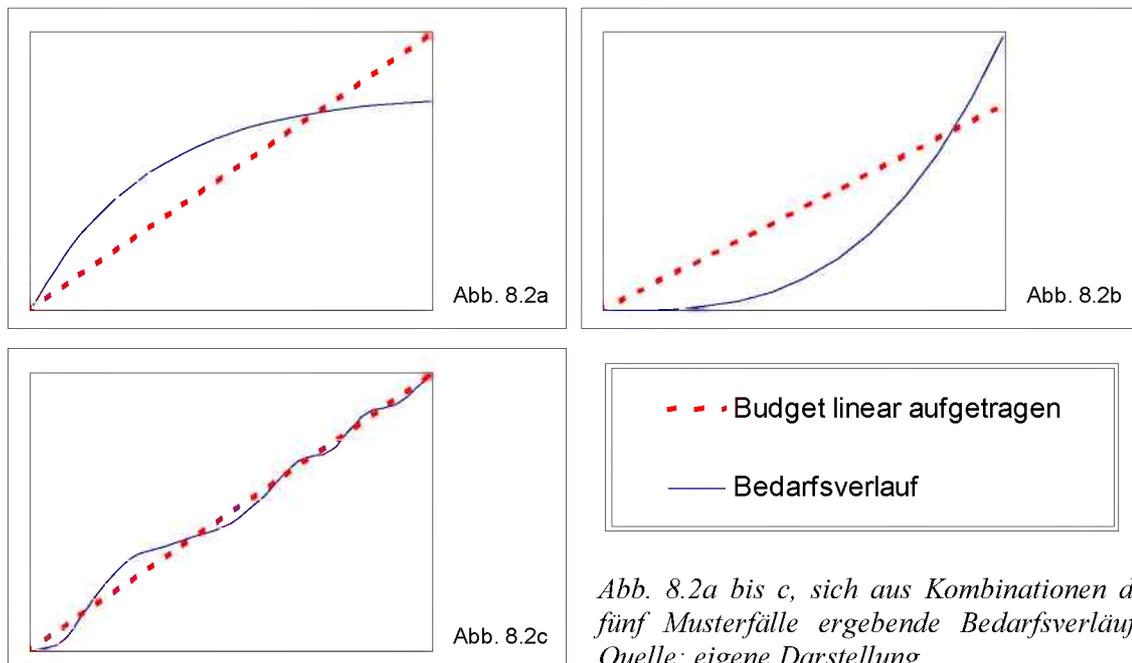


Abb. 8.1a bis e, die fünf Bedarfsverlaufsmusterfälle; Quelle: eigene Darstellung.

Vielfältige *Kombinationen* der fünf Musterfälle sind möglich. So kann der kumulierte Bedarfsverlauf z.B. über einige Zeitintervalle über der Budgetlinie und am Ende der Budgetperiode doch unter dieser (vgl. Abb. 8.2a) oder analog dazu zu Beginn des Budgetjahres unter und am Ende doch über der Budgetlinie liegen (vgl. Abb. 8.2b). Sehr häufig treten auch zwischenzeitliche aufeinander folgende Über- und Unterschreitungen – ein Pendeln des Bedarfsverlaufs um die Budgetlinie – auf (vgl. Abb. 8.2c).

Nicht zuletzt an diesen einfachen Beispielen wird deutlich, dass kein Bedarfsverlauf denkbar ist, der sich nicht aus den fünf Musterfällen zusammensetzen lässt. Auf Basis dessen wird im Weiteren davon ausgegangen, dass Planungs- und Steuerungsmaßnahmen die zur Bewältigung der fünf in Abb. 8.1 gezeigten Musterfälle geeignet sind, *auch* zu Bewältigung von Bedarfsverläufen geeignet sind, die sich aus Kombinationen oder Abfolgen der Musterfälle darstellen lassen. Z.B. kann dem in Abb. 8.2a dargestellten Bedarfsverlauf erfolgreich durch Maßnahmen begegnet werden, die geeignet sind, die Musterfälle in Abb. 8.1c und 8.1d zu bewältigen.



D.h. weiter, dass für die bedarfsverlaufsbasierende Erläuterung, Diskussion und Bewertung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen *nur die fünf Musterfälle* betrachtet werden müssen.

## 8.2 Planungs- und steuerungsrelevante Charakteristika von Lieferketten

Ein Großteil der Charakteristika von Lieferketten, die darüber bestimmen, welche Planungs- und Steuerungsstrategien im Zusammenhang mit marktseitigen Randbedingungen mit Aussicht auf Erfolg eingesetzt werden können, lässt sich

unmittelbar aus Kapitel 4 übernehmen bzw. aus diesem Kapitel – vor allem in Anlehnung an die Palette der möglichen Planungs- und Steuerungsstrategien - ableiten. Davon ausgehend *orientiert sich der folgende Abschnitt an Kapitel 4*. Bzgl. detaillierter Erläuterungen der Planungs- und Steuerungsstrategien sei auf dieses Kapitel verwiesen.

Eine **Produktion auf Lager** von Produkten, für die *keine* Kundenaufträge vorliegen, ist grundsätzlich nur dann sinnvoll,

- wenn das Produktportfolio Produkte enthält, deren Absatzbarkeit innerhalb bestimmter Zeiträume als gesichert angesehen werden kann (passende Kundenaufträge also gesichert eingehen werden),
- diese Produkte eine entsprechende Haltbarkeitsdauer aufweisen,
- überdies Lagerkapazität und
- ausreichend Kapital zur Finanzierung der Lager zur Verfügung steht (Anmerkung: der letzte Punkt kann bei Liquiditätsengpässen - wegen des bei Produktion auf Lager verlängerten Cash-To-Cash-Cycles - limitierend wirken).

Nur wenn diese vier Bedingungen erfüllt sind, ist eine Produktion auf Lager von Produkten ohne bestehende Kundenaufträge sinnvoll.

Eine Produktion auf Lager kann auch durch *vorzeitige Produktion bereits bestehender* Kundenaufträge erfolgen: Man produziert *früher*, als es aufgrund der zugesagten Liefertermine erforderlich wäre. Sieht man von Auftragsänderungen ab, so ist die Absatzbarkeit von Lagerproduktion dieser Art gesichert. Darüber hinaus muss aber erneut Lagerkapazität, ausreichende Haltbarkeitsdauer und das erforderliche liquide Kapital für den verlängerten Cash-To-Cash-Cycle vorhanden sein.

Die **Variation der Produktionsraten** beinhaltet ein weites Feld unterschiedlicher Ausprägungen. *Zusätzliche* Produktions- bzw. Lieferraten können am Standardarbeitsplatz durch Steigerung der Intensität oder der Nutzungszeit, durch den Einsatz zusätzlicher Arbeitsplätze (was im Regelfall mit zusätzlichen variablen Kosten verbunden ist) oder durch Zukauf von Fertigungskapazität oder Halb- bzw. Fertigfabrikaten bei externen Dritten erreicht werden. Neben zusätzlichen variablen Produktions- und Fertigungsmaterialkosten können auch signifikante zusätzliche Transportkosten auftreten, wenn die Orte, an welchen die zusätzlich eingesetzten Kapazitäten zu Verfügung stehen, ungünstig liegen (geringere Transportkosten sind eher als die Ausnahme zu sehen, da Standardproduktionswerke im Regelfall strategisch günstiger liegen als die Ausweichproduktionsstätten).

Aber auch *unterdurchschnittlich kleine* Produktionsraten führen zu erhöhten Stückkosten, wenn Leerkosten auftreten, die in den Fixkosten nicht enthalten sind (wenn z.B. in der Modellierung der Fixkosten bestimmte Mindestbeschäftigungen angenommen wurden, die dann durch die Ist-Beschäftigung unterschritten werden) oder entsprechende Kostenfunktionen gegeben sind.

Von entscheidender Bedeutung für die Planung von Maßnahmen im Zusammenhang mit der Variation von Produktionsraten sind daher die *Kostenverläufe*; ob diese also z.B. linear, progressiv oder s-förmig ausgeprägt sind.

Die Möglichkeit der erfolgreichen Anwendung **aktiver Strategien** – wie beispielsweise die Verkaufsförderung oder die Steuerung des Bedarfsverlaufs – ist von der Ausprägung des Absatzmarktes und der Konkurrenzsituation abhängig. Gemäß Abschnitt 3.1 (Schlagwörter Käufermarkt und Globalisierung) sollte die Anwendung aktiver Strategien aber in vielen Industriezweigen eine erfolgversprechende Option darstellen.

Wesentlich für die Auswahl von erfolgversprechenden Strategien ist überdies das **Verhältnis** zwischen der für eine *bestimmte* Constraint festgelegten **Budgetmenge** und der mit dieser Constraint in Abhängigkeit von den technischen Gegebenheiten **realisierbaren Produktionsmenge**. Liegt die Budgetmenge auf dem Niveau der realisierbaren Produktionsmenge, so muss über den gesamten Budgetzyklus mit der höchsten realisierbaren Produktionsrate produziert werden, sofern man das Budget nicht unterschreiten oder nicht auf weitere Ressourcen – also Kapazitäten anderer Arbeitsplätze oder externer Dritter – zurückgreifen will.

Zusammengefasst lassen sich hinsichtlich der Auswahl und Bewertung erfolgsversprechender Planungs- und Steuerungsstrategien folgende **Lieferkettentypen** unterscheiden:

- A) Lieferketten, die vorrangig dadurch geprägt sind, dass *weder* eine Variation der Produktionsraten *noch* eine Lagerfertigung möglich ist.
- B) Lieferketten, die vorrangig dadurch geprägt sind, dass *eine Produktion auf Lager* aber keine Variation der Produktionsmengen möglich ist.
- C) Lieferketten, die vorrangig dadurch geprägt sind, dass eine *Variation der Produktionsmengen* aber keine Lagerfertigung möglich ist.
- D) Lieferketten, die vorrangig dadurch geprägt sind, dass *sowohl* eine Produktion auf Lager *als auch* eine Variation der Produktionsraten möglich sind.

Bzgl. Ausprägung A) und B) ist festzustellen, dass eine von der festen bzw. fixierten Produktionsrate signifikant abweichende Budgetmenge nicht sinnvoll ist.

Bzgl. Ausprägung B) ist festzustellen, dass entweder Produkte produziert werden können, für die keine Kundenaufträge vorliegen oder eine vorzeitige Produktion bereits bestehender Kundenaufträge erfolgen kann.

Bzgl. Ausprägung C) ist festzustellen, dass der Verlauf der Kostenfunktionen für die ergebnisorientierte Planung und Steuerung eine entscheidende Rolle spielt und eine Variation der Produktionsmengen im Fall, dass die Budgetmenge auf dem Niveau der erreichbaren Produktionsmenge liegt, nur in Ausnahmefällen sinnvoll sein wird.

Bzgl. der aktiven Strategien wird im Weiteren davon ausgegangen, dass diese auf jeden Lieferkettentyp anwendbar seien.

Damit sind die Lieferkettentypen festgelegt, welche in Abschnitt 8.3 mit den fünf Musterbedarfsverläufen kombiniert werden.

### 8.3 Situationsangepasste Festlegung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen

In diesem Abschnitt werden die fünf Musterbedarfsverläufe mit den vier Lieferkettentypen kombiniert. Das Ziel in diesem Abschnitt besteht darin, für jede einzelne der Kombinationen fundiert und nachvollziehbar erfolgsversprechende Planungs- und Steuerungsstrategien anzugeben und darüber hinaus zu zeigen, wie Planungs- und Steuerungsmaßnahmen im Detail gestaltet werden sollten. Bzgl. der Notwendigkeit der Festlegung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen ist festzuhalten, dass diese vielfach im Zuge der Erstellung von consensus Forecasts<sup>372</sup> auftritt.

Bzgl. der Integration von Lagerbeständen (vor allem Pufferbestände) sei festgehalten, dass diese entweder wie Kapazitätsangebote behandelt werden und summiert mit den zur Verfügung stehenden Fertigungskapazitäten den Forecastbedarfsmengen gegenübergestellt werden oder die Forecastmengen um die bereits vorhandenen Lagerbestände reduziert werden können und diese reduzierten Forecastmengen dann den zur Verfügung stehenden Fertigungskapazitäten gegenübergestellt werden müssen.

Auch bzgl. der zur Verfügung stehenden Kapazitäten sind analog dazu grundsätzlich zwei alternative Vorgangsweisen denkbar. Entweder betrachtet man die vollen zur Verfügung stehenden Kapazitäten und stellt sie den vollen Bedarfsmengen bestehend aus den bereits vorliegenden Kundenbedarfsmengen zuzüglich der Forecastbedarfsmengen gegenüber oder man reduziert die vollen Kapazitäten um die bereits vorliegenden Kundenbedarfsmengen und stellt die verbleibenden Kapazitäten den Forecastbedarfen gegenüber.

Darüber hinaus zeigt sich, dass es für die Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen vielfach wesentlich ist, ob Constraints isoliert von anderen Constraints auftreten oder über Arbeitspläne oder auch Stücklisten mit anderen Constraints *verknüpft* sind. Unter miteinander verknüpften Constraints werden daher im Weiteren Constraints verstanden, deren Belegungen aufgrund von - durch Arbeitspläne und Stücklisten bedingte - Abhängigkeiten einander beeinflussen.

Im Einzelnen besteht der Abschnitt aus den vier Unterabschnitten 8.3.1 bis 8.3.4, wobei jeder einzelne Unterabschnitt einem der vier Lieferkettentypen A, B, C und D gewidmet ist. Für jeden Lieferkettentyp werden die fünf Musterbedarfsverläufe individuell betrachtet. In Summe werden also 20 Fälle unterschieden, wobei sich aber viele Parallelen und Analogien ergeben.

Schließlich werden alle Fälle und die zu ihrer Bewältigung geeigneten Strategien zur besseren Übersicht in Form einer Tabelle unter Abschnitt 8.3.5 stichwortartig zusammengefasst.

---

<sup>372</sup> Zum Begriff consensus Forecast vgl. Abschnitt 2.4.2.

### 8.3.1 Lieferketten der Ausprägung A - keine Möglichkeit der Variation von Produktionsraten oder der Lagerproduktion gegeben

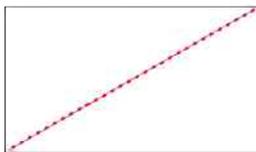
Lieferketten der Ausprägung A) können den oben getroffenen Festlegungen entsprechend *nur* durch aktive Einflussnahme auf die Bedarfsmenge und deren Verteilung geplant und gesteuert werden.

Genau genommen können Lieferketten dieser Art in der Realität nur schwerlich vorkommen. Denn eine vollkommene Gleichschaltung von Lagerabgangs- und Produktionsmenge bei vorgegebener Produktionsleistung über alle Constraints der Lieferkette - also ein permanenter Just-In-Time-Lagerabgang bei fester Produktionsleistung - wird sich im Allgemeinen nicht realisieren lassen. Auch wird sich häufig zeigen, dass die Bedarfsraten nicht fortwährend auf dem Niveau der Produktionsraten gehalten werden können.

Zur Planung und Steuerung von Lieferketten der Ausprägung A) geeignete Strategien sind jedoch auch für alle anderen Typen von Lieferketten von Bedeutung und zwar vor allem in Situationen, in welchen die Anwendung und Ausschöpfung aller passiven Strategien (also Variationen der Lagermengen oder der Produktions- und Lieferraten) keine zufriedenstellenden Lösungen erlauben.

Denkbar erscheint eine Lieferkette der Ausprägung A z.B. im Zusammenhang mit einer Monopolstellung und einer Lieferkette, welche nur sehr wenige Constraints beinhaltet, die überdies nicht miteinander verknüpft sind.

#### 8.3.1.1 Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 1



Zwar liegt der Erwartungswert des Forecasts exakt auf der Linie der kumulierten Produktionsmenge, jedoch können sich je nach Größe der Forecastfehler mehr oder weniger große Differenzen zwischen der Produktionsmenge und der Ist-Bedarfsmenge ergeben. Insbesondere wenn der Forecastfehler und die

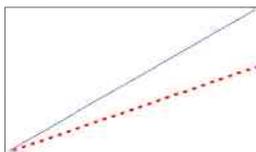
Zeitabstände zwischen regulären Forecastupdates groß sind, empfiehlt sich daher ein *Monitoring der Forecasterfüllung*. Dieses Monitoring kann durch enge Kommunikation mit den Verkaufsverantwortlichen und (bzw. oder) auf mathematisch statistischer Basis – wie in Kapitel 6 gezeigt – erfolgen.

Wichtig ist dabei, den Ausgang von Auftragsverhandlungen *zeitnah* zu verfolgen. Für das mathematisch statistische Verfolgung heißt das, dass die Zeitspanne zwischen dem Erhalt von Aufträgen und deren Erfassung als bestehende Aufträge kurz gehalten werden sollte. Für die Verfolgung der Forecasterfüllung durch Kommunikation muss die Zeitspanne zwischen Zeitintervallen, welchen die Forecasts zugeordnet sind (z.B. Produktionsstart auf einer bestimmten Constraint) und den Auftragsverhandlungsterminen beachtet werden. Zeichnet sich bzgl. einer bestimmten Constraint z.B. eine Unterbelegung für den Monat November ab, so ist zu beachten, wann die Aufträge, welche die Constraint im November belegen könnten, verhandelt werden. Sind diese Verhandlungstermine z.B. durchwegs im September, so gilt es, den Grundstein für eine gleichmäßige Belegung der Constraint im November ab Anfang September zu legen.

Dem entsprechend sollte ein enger Kontakt zwischen der PPS und dem Verkauf gehalten werden. Nur die PPS ist in der Lage zu erkennen, inwieweit die Constraints ausgelastet sind. Liegen diese Auslastungsinformationen dem Verkauf vor, so ist die Basis dafür gegeben, dass dieser durch gezielte Maßnahmen für eine weitgehende Synchronisation von Bedarfs- und Produktionsraten sorgen kann. Je nachdem, ob die Ist-Bedarfsmengen die Forecastmengen übersteigen oder ihnen hinterherhinken, sind dazu die in den beiden folgenden Abschnitten 8.3.1.2 und 8.3.1.3 erläuterten Maßnahmen geeignet.

Besonders schwierig ist die Planung und Steuerung von Lieferketten von Typ A, welche eine Vielfalt von *miteinander verknüpften* Constraints beinhalten, wobei man in solchen Fällen wohl eher von Liefernetzwerken als von Lieferketten sprechen sollte. In solchen Fällen sind Produktmixverschiebungen nur insofern möglich, dass die Belegung der einzelnen Constraints untereinander nicht aus der Balance geraten darf, was erneut engste Kommunikation zwischen Produktionsplanung und -steuerung und dem Verkauf erfordert. Hilfreich können in diesem Zusammenhang Verfahren der linearen Optimierung sein, worauf in Abschnitt 8.4 im Detail eingegangen wird.

### 8.3.1.2 Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 2



Die Forecastbedarfsmenge überschreitet die Produktionsmenge nachhaltig. Naturgemäß bietet sich in dieser Situation an, die Verkaufspreise zumindest vorübergehend anzuheben. Abgesehen davon können aber auch strategische Überlegungen z.B. im Hinblick auf Stammkunden oder den Aufbau neuer Märkte eine Rolle spielen. Davon ausgehend sollte es möglich sein, eine Liste jener Bedarfsfälle zu erstellen, die man unabhängig von deren Ergebnisbeiträgen jedenfalls akquirieren will. Für alle anderen Bedarfsfälle sollten die zu erwartenden Deckungsbeiträge unter Berücksichtigung von durchsetzbaren Preisanhebungen erhoben werden.

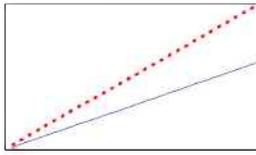
Liegt eine *isolierte* Constraint vor, so können aus den Deckungsbeiträgen für die Einzelbedarfsfälle und ihren Kapazitätsbedarfen auf der Constraint die relativen Deckungsbeiträge errechnet werden. Der gesamte Deckungsbeitrag für den Planungszeitraum kann dann maximiert werden, indem man konsequent die Bedarfsfälle mit den höchsten relativen Deckungsbeiträgen akquiriert bis die gesamte Kapazität vergeben ist.

Liegen miteinander *verknüpfte* Constraints vor, so kann eine Maximierung des gesamten Deckungsbeitrags im Planungszeitraum durch Verfahren der linearen Optimierung erreicht werden. Im Detail wird darauf in Abschnitt 8.4 eingegangen.

Unabhängig davon, ob es sich um isolierte oder verknüpfte Constraints handelt, können *Substitutionsstrategien* dann einen Beitrag zur Entschärfung leisten, wenn es paarweise auftretende Constraints mit zumindest einseitig substituierbaren Produkten gibt; wobei in ein und dem selben Zeitbereich eine der paarweise auftretenden Constraints unter- und die zweite überbelegt sein muss. Auch für diese Vorgangsweise gilt aber die bereits unter 8.3.1.1 erläuterte Einschränkung bzgl. der Produktmixkonstellationen.

Liegen komplex miteinander verknüpfte Constraints vor, so können Verfahren der linearen Optimierung auch für die Ausarbeitung von Substitutionsplänen genutzt werden. Auch darauf wird in Abschnitt 8.4 eingegangen.

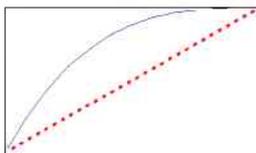
### 8.3.1.3 Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 3



Die Forecastbedarfsmenge unterschreitet die Produktionsmenge nachhaltig. Eine adäquate Maßnahme gegen die drohende Unterbelegung besteht in verkaufsfördernden Aktivitäten in Verbindung mit Preisnachlässen, welche im Extremfall zu unter den vollen Herstellkosten bzw. nur wenig über den variablen Herstellkosten liegenden Preisen führen. Jedenfalls sollte überprüft werden, ob im Forecast bestimmte Bedarfsfälle deshalb nicht angeführt sind, da eventuelle Verkaufspreissenkungen bisher nicht in Erwägung gezogen wurden. Angemessene Verkaufspreissenkungen bzgl. dieser Bedarfsfälle könnten zu einer ausreichenden Bedarfsmengenerhöhung führen.

Abgesehen davon können Substitutionsstrategien eine Entschärfung bringen, wenn es Constraints mit drohenden Überbelegungen gibt, von welchen Bedarfe durch Substitution von Verkaufsartikeln abgezogen werden können (siehe auch dazu Abschnitt 8.4).

### 8.3.1.4 Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 4

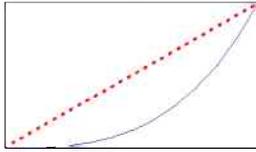


Die gesamte Forecastbedarfsmenge bis zum Ende des Forecasthorizontes ist gleich hoch wie die kumulierte Produktionsmenge. Deshalb könnte diese Situation im Fall von isolierten Constraints durch Verschiebungen von Lieferterminen einzelner Bedarfsfälle völlig entschärft werden. Davon ausgehend ist zu klären, ob ausreichend große Bedarfsmengen verschiebbar sind; ob also bestimmte Kunden diese Verschiebungen akzeptieren können.

Durch Anpassungen von Lieferterminen schwieriger oder gar nicht lösbar können Probleme dieser Art sein, wenn mehrere miteinander verknüpfte Constraints im Zusammenhang mit Produktmixverschiebungen auftreten. Ein Ausweg aus diesem Dilemma könnte sich aus der Anwendung der bereits unter 8.3.1.1 und 8.3.1.2 erläuterten Strategien ergeben. Der Bedarfsverlauf lässt sich nämlich in zwei Teilbereiche gliedern: In einen Teilbereich, in dem die Bedarfsrate *über* und in einen zweiten, in dem die Bedarfsrate *unter* der Produktionsrate liegt. Dem ersten Teilbereich – Bedarfsrate über Produktionsrate – kann man mit den unter 8.3.1.1 beschriebenen Strategien begegnen; dem zweiten – Bedarfsrate unter Produktionsrate – mit den unter 8.3.1.2 beschriebenen.

Abgesehen vom Problem verknüpfter Constraints ist der Einsatz dieser Strategien jedenfalls dann angezeigt, wenn Verschiebungen von Lieferterminen nicht in ausreichendem Maße möglich sind. Eventuell einsetzen wird man sie auch dann, wenn zu erwarten ist, dass die sich ergebende Gesamtsumme der Deckungsbeiträge gegenüber einer Lösung mit Lieferterminverschiebungen höher sein wird. Letzteres tritt dann ein, wenn die additiven, durch Anhebungen der Preise bedingten Deckungsbeiträge höher sind als die Deckungsbeitragverluste durch Preissenkungen oder mit Preisabschlägen verbundenen Verschiebungen von Lieferterminen.

### 8.3.1.5 Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 5



Erneut ist die gesamte Forecastbedarfsmenge gleich hoch wie die kumulierte Produktionsmenge. Jedoch liegt die Forecastbedarfsrate diesmal zu Beginn des Planungsbereiches unter der Produktionsrate während sie im hinteren Zeitbereich über der Produktionsrate liegt. Es ist also eine Situation gegeben, die der unter 8.3.1.4 sehr ähnlich ist. Der Unterschied zu der unter 8.3.1.4 diskutierten Situation besteht lediglich darin, dass Liefertermine nicht nach hinten verschoben sondern *vorgezogen* werden müssten.

Damit sind auch zur Bewältigung dieser Situation alle bereits unter 8.3.1.4 erläuterten Strategien geeignet. Der einzige Unterschied gegenüber der Situation unter 8.3.1.4 liegt darin, dass Kunden nicht um Lieferterminverschiebungen nach hinten sondern um Lieferterminvorverlegungen gebeten werden müssen.

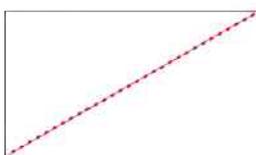
## 8.3.2 Lieferketten der Ausprägung B - Möglichkeit der Lagerproduktion gegeben

Für Lieferketten der Ausprägung B ist die Produktionsrate entsprechend den oben getroffenen Festlegungen konstant. Nur die Lagermengen können variiert werden. Bei konstanten Produktionsraten ergibt sich zwangsläufig, dass die Produktionsbudgetmengen den sich aus den konstanten Produktionsraten ergebenden Produktionsmengen entsprechen müssen. Hingegen kann sich das Verkaufsbudget vom Produktionsbudget unterscheiden, da sich die Lagermengen zu Beginn des Budgetzyklus von jenen am Ende des Budgetzyklus unterscheiden können.

Lieferketten dieser Art liegen vor, wenn die Produktionsraten aus technischen Gründen nicht variierbar sind, Halb- oder Endprodukte aber gelagert werden können. Aber auch wenn die Produktionsraten aus technischer Sicht zwar variierbar sind, die Produktionsbudgetmengen aber so hoch sind, dass die Constraints über den ganzen Budgetzyklus auf voller Belegung bzw. voller Produktionsleistung gehalten werden müssen, liegen Lieferketten der Ausprägung B vor.

Grundsätzlich können Lieferketten der Ausprägung B durch alle jene Strategien geplant und gesteuert werden, wie Lieferketten der Ausprägung A. *Zusätzlich* können aber Pufferlager als Kapazitätsspeicher eingesetzt werden. Wobei als Nachteil dieser Lagerhaltung jedoch vor allem die durch sie verursachten Kosten anfallen<sup>373</sup>.

### 8.3.2.1 Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 1

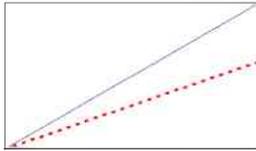


Abgesehen von den unter 8.3.1.1 (Lieferkettentyp A, Bedarfsmuster 1) erläuterten Maßnahmen, ergibt sich als zusätzliche Möglichkeit, dass geringfügige Unterschreitungen der Forecastmenge durch die Istbedarfsmenge auch durch

<sup>373</sup> Zu den negativen Begleiterscheinungen von Lagern vgl. Abschnitt 4.2.2.

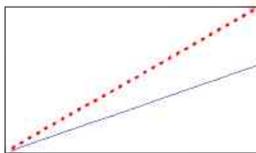
zwischenzeitliche Produktion auf Lager abgefedert werden können. Damit ist der Druck für den Verkauf, für eine fortwährende Vollauslastung sorgen zu müssen, geringer.

### 8.3.2.2 Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 2



Mit der Möglichkeit auf Lager produzieren zu können, ergeben sich für diesen Fall gegenüber dem unter 8.3.1.2 diskutierten (Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 2) keine zusätzlichen Handlungsalternativen. Damit ist dieser Fall ganz gleich zu behandeln wie der unter 8.3.1.2 erläuterte.

### 8.3.2.3 Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 3

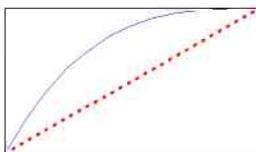


Für diesen Fall ergibt sich gegenüber dem unter 8.3.1.3 erläuterten Fall (Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 3) insofern mehr Spielraum, als man eine begrenzte Zeit auf Lager produzieren kann und damit Zeit für die Umsetzung von Maßnahmen erhält, die zu einer Erhöhung der Bedarfsmenge führen sollten. Jedoch müssen die Bedarfsmengen spätestens dann, wenn möglicherweise begrenzte Lagerkapazitäten oder Haltbarkeitsdauern erreicht sind, angehoben werden.

Abgesehen davon ist darauf zu achten, dass die Verkaufsbudgeterfüllung nicht aus den Augen verloren wird. Denn auch wenn unbegrenzte Lagerkapazitäten und Haltbarkeiten gegeben sind, muss man sich natürlich fragen, wann die Produktionsmengen zum Verkauf gebracht werden können.

Bzgl. der Frage, welche der Handlungsalternativen – zwischenzeitliche Produktion auf Lager, Preissenkungen oder allfällig mögliche Substitutionsstrategien – zum besten Unternehmenserfolg führen, können Verfahren der linearen Optimierung hilfreich sein (siehe Abschnitt 8.4).

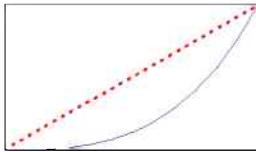
### 8.3.2.4 Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 4



Mit der Möglichkeit auf Lager produzieren zu können, ergeben sich gegenüber dem unter 8.3.1.4 diskutierten Fall (Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 4) nur insofern zusätzlichen Handlungsalternativen, als man in jenem Zeitbereich, in dem die Produktionsrate unter der Forecastbedarfsrate liegt, auf Lager produzieren könnte. Angezeigt ist diese Strategie neben anderen dann, wenn es nicht gelingt, ausreichend große Bedarfsmengen aus dem Zeitfenster, in dem die Bedarfsrate über der Produktionsrate liegt, nach hinten zu verschieben; im hinteren Zeitbereich also auch nach allen machbaren Verschiebungen eine Unterschreitung der Produktionsmenge durch die Bedarfsmenge bestehen bleibt. Für diesen hinteren Zeitbereich würde dann also der unter 8.3.2.3 diskutierte Fall vorliegen.

Zusammengefasst lässt sich dieser Bedarfsfall damit auf die bereits unter 8.3.1.4 (Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 4) und 8.3.2.3 (Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 3) Fälle zurückführen.

### 8.3.2.5 Lieferkettentyp B – Bedarfsmuster 5



An diesem Bedarfsmuster zeigen sich die Vorteile der Möglichkeit, Kapazität durch Pufferlager speichern zu können, am stärksten. Sofern maximale Lagerkapazitäten oder Haltbarkeitsdauern nicht überschritten werden und sofern Spezifikationen bestimmter Bedarfe und der zugehörigen Mengen ausreichend früh vorliegen, kann dieser Bedarfsverlauf durch Produktion auf Lager vollkommen entschärft werden.

Erst wenn diese Bedingungen nur unzureichend erfüllt sind oder die durch die Lagerung bedingten Kosten die durch die Lagerung zusätzlich lukrierbaren Deckungsbeiträge übersteigen, müssen auch die unter 8.3.1.5 (Lieferkettentyp A – Bedarfsmuster 5) erläuterten Möglichkeiten in Erwägung gezogen werden.

Gleiches kann gelten, wenn die oben angeführten Bedingungen zwar in ausreichendem Maße erfüllt sind, sich die unter 8.3.1.5 angeführten Alternativen aber gegenüber einer Produktion auf Lager als insgesamt vorteilhafter erweisen. Letzteres kann z.B. der Fall sein, wenn Lieferterminvorverlegungen kostenneutral möglich sind.

## 8.3.3 Lieferketten der Ausprägung C - Möglichkeit der Variation von Produktionsraten gegeben

Wie schon für Lieferketten der Ausprägung B sind auch für Lieferketten der Ausprägung C alle unter 8.3.1 (Lieferketten der Ausprägung A) erläuterten Planungs- und Steuerungsmaßnahmen geeignet. Zusätzlich können aber die Produktionsraten mit den Bedarfsraten synchronisiert oder zumindest an sie angenähert werden. Wobei Steigerungen der Produktionsraten sowohl durch Anhebungen der firmeneigenen Kapazitäten als auch durch Weitergabe von Aufträgen an externe Dritte möglich sind<sup>374</sup>.

Durch Variationen der Produktionsraten verursachte Zusatzkosten fallen dann an, wenn Kostenfunktionen nicht linear – also z.B. linear progressiv oder s-förmig – sind<sup>375</sup>.

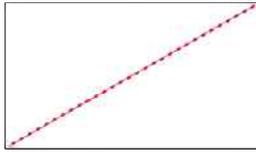
Die Frage danach, welche Strategien eher eingesetzt werden sollten – ob die Variation der Produktionsraten oder die für Lieferketten der Ausprägung A angeführten – muss jeweils individuell beurteilt werden. Eine ausführliche Betrachtung dieser Problematik erfolgt unter Abschnitt 8.4.

Bzgl. der Beziehungen zwischen Verkaufsbudget und den erreichbaren Produktionsraten ist festzustellen, dass das Produktionsbudget dem Verkaufsbudget entsprechen muss (da ja nichts gelagert werden kann) und die Produktionsraten *nur dann* variiert werden können, wenn die technischen und personellen Voraussetzungen dafür gegeben sind *und* das Produktionsbudget signifikant *unter* dem Niveau der erreichbaren Produktionsraten liegt.

<sup>374</sup> Vgl. Abschnitt 4.2.1.

<sup>375</sup> Vgl. Abschnitt 4.2.1.2.

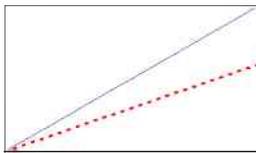
### 8.3.3.1 Lieferkettentyp C – Bedarfsmuster 1



ausgeglichen werden.

Abgesehen von den unter 8.3.1.1 (Lieferkettentyp A, Bedarfsmuster 1) geschilderten Monitoringmaßnahmen besteht bei dieser Konstellation kein weiterer Handlungsbedarf. Kleinere Abweichungen der Istbedarfsmenge von der Forecastbedarfsmenge können im Regelfall durch Variationen der Produktionsraten ausgeglichen werden.

### 8.3.3.2 Lieferkettentyp C – Bedarfsmuster 2



kann z.B. bei s-förmigen und linear progressiven Kostenverläufen gegeben sein<sup>376</sup>.

Liegt die Forecastbedarfsmenge nachhaltig über der Budgetmenge, so lässt sich das durch Anhebung der Produktionsraten zumindest teilweise kompensieren. Begrenzt sind die Möglichkeiten der Kompensation durch die erreichbaren Produktionsraten und möglicherweise durch Verläufe von Kostenfunktionen. Letzteres

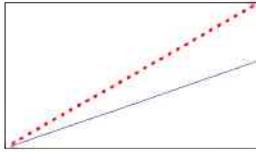
Bei einer isolierten Constraint und Forecastbedarfsfällen, welche zu ihrer Deckung nur dieser einen Constraint bedürfen, lässt sich verhältnismäßig einfach sagen, ob bestimmte Forecastbedarfsfälle bzgl. ihrer Verkaufspreise und unter Nutzung von Zusatzkapazitäten zu erhöhten Kosten akquirierungswürdig sind, indem man die Forecastbedarfsfälle nach ihren relativen Deckungsbeiträgen entsprechend den variablen Standardherstellkosten reiht und dann beginnend bei dem Bedarfsfall mit dem höchsten relativen Deckungsbeitrag für jeden einzelnen Bedarfsfall den sich aus der Kostenfunktion ergebenden tatsächlichen, auslastungsabhängigen Deckungsbeitrag errechnet. Z.B. könnten bei linear progressivem Kostenverlauf im linearen Bereich die sich aus den Standardherstellkosten ergebenden Deckungsbeiträge den tatsächlichen Deckungsbeiträgen entsprechen und bei einer über den linearen Bereich hinausreichenden Belegung sich die Herstellkosten immer weiter erhöhen und die tatsächlichen Deckungsbeiträge damit immer weiter verringern. Die Nutzung von zu erhöhten Kosten zur Verfügung stehenden Kapazitäten ist prinzipiell für all jene Bedarfsfälle überlegenswert, deren tatsächliche Deckungsbeiträge positiv sind<sup>377</sup>. Abgesehen davon kann es im Hinblick auf die langfristigen Marktpreisentwicklung sinnvoll sein, Mindestdeckungsbeiträge festzulegen, die jedenfalls erreicht werden müssen, damit Möglichkeiten der Kapazitätserweiterung überhaupt genutzt werden.

Liegen durch Arbeitspläne oder Stücklisten verknüpfte Constraints vor oder Bedarfsfälle, die mehrere durch Arbeitspläne und Stücklisten nicht verknüpfte Constraints beanspruchen, so zeigt sich die Frage danach, ob Kapazitätserweiterungen zu erhöhten Herstellkosten erfolgen sollen, als sehr komplexes Problem. Hilfreich können in diesem Zusammenhang unter 8.4 erläuterte Anwendungen der linearen Optimierung sein.

<sup>376</sup> Zu Kostenverläufen vgl. Abschnitt 4.2.1.1.

<sup>377</sup> Vgl. dazu auch 4.2.3.2.

### 8.3.3.3 Lieferkettentyp C – Bedarfsmuster 3



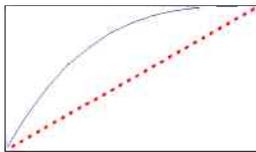
Liegt die Forecastbedarfsmenge nachhaltig unter der Budgetmenge und liegt die Unterschreitung innerhalb bestimmter Grenzen, so ergibt sich für dieses Bedarfsmuster im Vergleich zu Lieferketten von Typ A durch die Möglichkeit der Variation der Produktionsraten ein Zeitgewinn für die Umsetzung der unter

8.3.1.2 (Lieferkettentyp A, Bedarfsmuster 2) geschilderten Maßnahmen.

Um die Budgetmengen im Budgetzyklus erreichen zu können, müssen aber spätestens dann, wenn unter Nutzung der maximalen Produktionsrate die Gesamtbudgetmenge gerade noch erreicht werden kann, Vollausslastung vorliegen. Wird dieser Zeitpunkt überschritten – liegt also auch zu diesem Zeitpunkt noch keine Vollausslastung vor – so ist es nicht mehr möglich, die Budgetmenge zu erreichen.

Sind die Forecastbedarfsmengen so niedrig, dass sie unter durch technische Aspekte bedingte Mindestproduktionsraten fallen oder liegen stark s-förmige oder degressive Kostenfunktionen vor, so muss jedenfalls geprüft werden, ob nicht doch die unter 8.3.1.3 (Lieferkettentyp A, Bedarfsmuster 3) erläuterten Maßnahmen vorrangig bzw. ausschließlich eingesetzt werden sollten.

### 8.3.3.4 Lieferkettentyp C – Bedarfsmuster 4

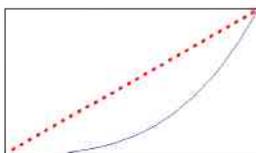


Bei linearen Kostenfunktionen und ausreichender Flexibilität der Produktionsraten lässt sich die Produktion ohne Auftreten von Zusatzkosten genau so steuern, dass sich die Linie der kumulierten Produktionsmenge an die Linie der kumulierten Forecastmenge anpasst. Erst wenn größere bzw. kleinere Produktionsraten als

realisierbar nötig wären, sind auch die unter 8.3.1.4 (Lieferkettentyp A, Bedarfsmuster 4) erläuterten Handlungsalternativen angezeigt.

Gleichfalls kann das gelten, wenn die realisierbaren Produktionsraten zwar ausreichen würden aber nichtlineare Kostenfunktionen solcherart gegeben sind, dass durch eine Variation der Produktionsraten hohe Zusatzkosten auftreten. Auch in diesem Zusammenhang können die unter 8.4 erläuterten Anwendungen der linearen Optimierung hilfreich sein.

### 8.3.3.5 Lieferkettentyp C – Bedarfsmuster 5



Dieser Fall ist analog zu dem unter 8.3.3.4 (Lieferkettentyp C, Bedarfsmuster 4) diskutierten zu sehen. Bei linearen Kostenfunktionen und ausreichendem Spielraum in der Variabilität der Produktionsraten kann die Produktion den Verlauf der Forecastbedarfe folgen, ohne dass Zusatzkosten auftreten. Bei

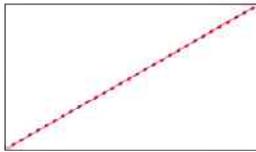
nichtlinearem Kostenverlauf oder unzureichender Variabilität der Produktionsraten muss der Einsatz der unter 8.3.1.5 (Lieferkettentyp A, Bedarfsmuster 5) mit geprüft werden. Erneut können in diesem Zusammenhang die unter 8.4 erläuterten Anwendungen der linearen Optimierung hilfreich sein.

### 8.3.4 Lieferketten der Ausprägung D - Möglichkeit der Variation von Produktionsraten und von Lagerproduktion gegeben

Stehen prinzipiell alle Strategiealternativen zur Verfügung, so stellt sich die Frage, welche Alternativen oder Alternativenkombinationen im Einzelfall umgesetzt werden sollen. Diese Fragestellung kann vor allem bei verknüpften Constraints sehr komplexe Ausprägungen annehmen. Erneut können auch für diese Fälle die unter 8.4 erläuterten Anwendungen der linearen Optimierung hilfreich sein.

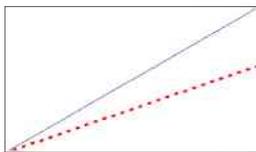
Darüber hinaus können Schätzverfahren eingesetzt werden, welche darauf beruhen, dass fallspezifisch geeignete Alternativen oder Alternativenkombinationen durch schätzen, probieren oder intuitiv festgelegt und die mit den einzelnen Alternativen oder Alternativenkombinationen verknüpften Deckungsbeiträge miteinander verglichen werden. Umgesetzt wird dann jene Alternative oder Alternativenkombination, welche zum besten Unternehmensergebnis führt. Prüfungswürdig sind damit all jene Alternativen oder Alternativenkombinationen, für welche zu erwarten ist, dass sie auf Unternehmensebene zu einem höheren Deckungsbeitrag führen als andere.

#### 8.3.4.1 Lieferkettentyp D – Bedarfsmuster 1



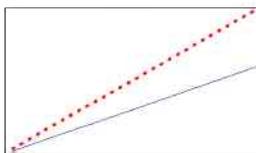
Gegenüber den oben für die Lieferkettentypen A, B, C bzgl. Bedarfsmuster 1 untersuchten Fälle (Abschnitte 8.3.1.1, 8.3.2.1 und 8.3.3.1) ergeben sich abgesehen davon, dass auf Forecastfehler durch Variation der Produktionsraten, durch Produktion auf Lager *und* durch die Bedarfsmengen und den Bedarfsverlauf beeinflussende Maßnahmen vielfältig reagiert werden kann, keine neuen Erkenntnisse.

#### 8.3.4.2 Lieferkettentyp D – Bedarfsmuster 2



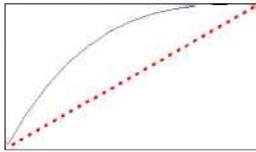
Die Möglichkeit, Kapazität in Form von Pufferlagern speichern zu können, ist in dieser Situation nicht hilfreich, womit dieser Fall genau so zu sehen ist, wie jener unter 8.3.3.2 (Lieferkettentyp C, Bedarfsmuster 2).

#### 8.3.4.3 Lieferkettentyp D – Bedarfsmuster 3



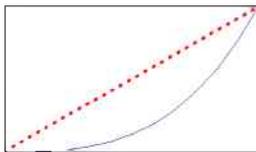
Mit der Möglichkeit der Senkung von Produktionsraten und der Speicherung von Kapazität in Form von Pufferlagern stehen zur Hinauszögerung jenes Zeitpunktes, bis zu welchem die Bedarfsraten im Hinblick auf die Budgeterfüllung durch bedarfsfördernde Maßnahmen spätestens wieder erhöht sein müssen, zwei Strategien zur Verfügung.

#### 8.3.4.4 Lieferkettentyp D – Bedarfsmuster 4



Gegenüber dem unter Abschnitt 8.3.3.4 erläuterten Fall (siehe Bedarfsmuster 4 für Lieferkettentyp C) ergibt sich für das hintere Zeitfenster, in welchem die Bedarfsrate unter der Budgetrate liegt als zusätzliche Möglichkeit, auf Lager zu produzieren. Damit ist dieser Fall als Kombination von 8.3.3.4 (Bedarfsmuster 4 für Lieferkettentyp C) und 8.3.2.3 (Bedarfsmuster 3 für Lieferkettentyp B) zu sehen.

#### 8.3.4.5 Lieferkettentyp D – Bedarfsmuster 5



In diesem Fall können wiederum alle Strategien - Variation der Produktionsraten, Produktion auf Lager und die Bedarfsmengen und den Bedarfsverlauf beeinflussende Maßnahmen – eingesetzt werden. Womit sich in diesem Fall die Frage nach der Auswahl der am ehesten zum Ziel führenden Maßnahmenalternative oder Alternativenkombination besonders stark stellt. Auch in diesem Fall kann die unter 8.4 erläuterte Anwendung der linearen Optimierung hilfreich sein.

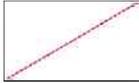
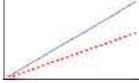
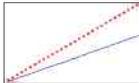
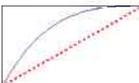
### 8.3.5 Komprimierte Zusammenschau der zwanzig Fälle

Unter 8.3.1 bis 8.3.4 wurden für alle 20 Fälle erfolgsversprechende Strategien angegeben. Die gewonnenen Erkenntnisse sind in Tab. 8.1 zusammengefasst.

Die in der Tabelle angeführten Bezeichnungen A1, A2, A3, A4, A5, ..., B1, ..., C5 beziehen sich auf die Lieferkettentypen und die Musterbedarfskurven. Z.B ist im Feld für Lieferkettentyp B und die Musterbedarfskurve 2 „Wie A2“ angeführt. Das bedeutet, dass jene Maßnahmen, die für Lieferkettentyp A und Musterbedarfskurve 2 (A2) geeignet sind, auch im Fall von Lieferkettentyp B und Musterbedarfskurve 2 (B2) angewandt werden können.

Bzgl. der Verfolgung der Forecasterfüllung ist zu sagen, dass diese vielfach – also nicht nur bzgl. Musterbedarfskurve 1 – von Vorteil sein kann. Letzteres gilt insbesondere im Zusammenhang mit consensus Forecasts.

In diesem Kontext ist anzumerken, dass Musterbedarfskurven 2 bis 5 beinhaltende Bedarfskonstellationen im Zuge der Erarbeitung von consensus Forecasts unter Anwendung der oben geschilderten Strategien im Regelfall in Bedarfskonstellationen überführt werden, welche eine weitgehende Deckung zwischen Produktionsraten und Bedarfsraten beinhalten (bzw. auch den Lageraufbau- oder Lagerabbauraten im Fall von Lagerproduktion).

Musterbedarfskurve		Lieferkettentyp A nur aktive Strategien möglich	Lieferkettentyp B Lagerproduktion möglich	Lieferkettentyp C Variation der Produktionsraten möglich	Lieferkettentyp D grundsätzlich alle Strategien möglich
	1	Verfolgung der FC-Erfüllung Zeitversatz zwischen Auftragsverhandlungsterminen und Leistungsbedarfstermine beachten Bei verknüpften Constraints und Abweichungen zwischen Forecasts und Produktionsmengen: lineare Optimierung	Wie A1 aber bei die Forecastmengen unterschreitenden Istbedarfsmengen weniger Probleme als bei A1	Wie A1 Zusätzlich sind kleine Abweichungen vom Forecast durch Anpassung der Produktionsraten möglich	Kombinationen aus A1, B1 und C1 möglich Zur Ermittlung der deckungsbeitragsmaximierenden Maßnahmen bei Abweichungen, kombinierten Maßnahmen und verknüpften Constraints: lineare Optimierung
	2	Preise anheben Bei isolierten Constraints Auftragsakquisition auf Basis relativer Deckungsbeiträge Strategische Bedarfsfälle beachten Substitutionsstrategien Bei verknüpften Constraints: lineare Optimierung bzgl. selektiver Auftragsakquisition und der Substitutionsstrategien	Wie A2	Anhebung der Produktionsraten unter Beachtung der realisierbaren Deckungsbeiträge Zusätzlich A2 möglich Bei Kombinationen von A2 mit C2 und zur Ermittlung des realisierbaren Deckungsbeitrags bei verknüpften Constraints: lineare Optimierung	Wie C2
	3	Verkaufsförderung inkl. Preissenkungen Substitutionsstrategien Bei verknüpften Constraints lineare Optimierung bzgl. der Substitutionsstrategien	Wie A3; zusätzlich aber zwischenzeitlich Produktion auf Lager möglich Budgeterfüllung beachten Bei Kombination von A3 und zwischenzeitlicher Lagerproduktion: lineare Optimierung	Absenkung der Produktionsraten Budgeterfüllung beachten Zusätzlich A3 möglich Bei verknüpften Constraints und Kombinationen von A3 mit C3: lineare Optimierung	Kombinationen aus A3, B3 und C3 möglich Zur Ermittlung der deckungsbeitragsmaximierenden Maßnahmen: lineare Optimierung
	4	Verschiebung von Lieferterminen Kombinationen der unter A2 und A3 angeführten Maßnahmen Bei Kombination von A2 und A3 und bei verknüpften Constraints: lineare Optimierung	Wie A4; zusätzlich aber Lagerproduktion im hinteren Zeitbereich möglich (wenn Bedarfsraten unter Produktionsraten liegen)	Variation der Produktionsraten Zusätzlich Kombinationen aus C2 und C3 möglich (damit auch Kombinationen von A2 und A3 möglich) Bei Kombinationen von C2 mit C3 und zur Ermittlung des realisierbaren Deckungsbeitrags bei verknüpften Constraints: lineare Optimierung	Kombinationen aus A4, B4 und C4 möglich Zur Ermittlung der deckungsbeitragsmaximierenden Maßnahmen: lineare Optimierung
	5	Vorziehen von Lieferterminen Kombinationen der unter A2 und A3 angeführten Maßnahmen Bei Kombination von A2 und A3 und bei verknüpfen Constraints: lineare Optimierung	Zumindest zum Teil durch Lagerproduktion entschärfbar Zusätzlich A5 möglich	Variation der Produktionsraten Zusätzlich Kombinationen aus C2 und C3 möglich (damit auch Kombinationen von A2 und A3 möglich) Bei Kombinationen von C2 mit C3 und zur Ermittlung des realisierbaren Deckungsbeitrags bei verknüpften Constraints: lineare Optimierung	Kombinationen aus A5, B5 und C5 möglich Zur Ermittlung der deckungsbeitragsmaximierenden Maßnahmen: lineare Optimierung

Tab. 8.1: Stichwortartige Zusammenschau der zur Bewältigung der zwanzig Bedarfskontellationen geeigneten Planungs- und Steuerungsstrategien; Quelle: eigene Darstellung.

Für einen Großteil der Fälle hat sich gezeigt, dass sich vor allem bei verknüpften Constraints komplexe und durch einfache Verfahren nicht lösbare Probleme ergeben können. Verschärft stellt sich dieses Problem dann, wenn Bedarfsfälle nicht nur einzelne Bedarfsfallspositionen enthalten sondern aus vielen, z.B. in verschiedenen Produktionsstandorten zu produzierenden Positionen bestehen und nicht beliebig teilbar sind. Aber auch im Zuge der Planung und Steuerung von isolierten Constraints auf Basis von Forecastdaten dürfte es durch bloßes Schätzen und Ausprobieren nicht immer einfach sein, jene Maßnahmenalternativen zu ermitteln, welche zu einem optimalen Unternehmenserfolg führen. Wobei Letzteres vor allem dann gilt, wenn es sich um Lieferketten der Ausprägung D handelt.

Es besteht also ein Bedarf nach einem Lösungsverfahren, das jedenfalls zu einem – auch im mathematischen Sinn – optimalen Ergebnis führt. Unter Abschnitt 8.4 wird ein solches Lösungsverfahren präsentiert.

## 8.4 Der Einsatz linearer Optimierung

Im Folgenden wird gezeigt, wie Verfahren der linearen Optimierung<sup>378</sup> zur Planung und Steuerung von Liefernetzwerken auf Basis von Forecastdaten eingesetzt werden können.

Dazu werden die in Abschnitt 8.3 aufgeworfenen, vor allem im Zusammenhang mit komplex voneinander abhängigen Constraints mit einfachen Verfahren nicht ohne Weiteres lösbaren Probleme **auf ein System von Ungleichungen und Gleichungen zurück geführt, welches als gemischt ganzzahliges Problem der linearen Optimierung behandelt werden kann.**

Passende Lösungsverfahren für solche Probleme sind beispielsweise durch den Simplexalgorithmus in Kombination mit Branch-and-Bound oder Schnittebenenverfahren gegeben<sup>379</sup>. Zum effizienten Einsatz dieser Verfahren stehen Standardsoftwarepakete zur Verfügung<sup>380</sup>.

Gemischt ganzzahlige lineare Optimierungsprobleme stellen sich wie folgt dar<sup>381</sup>:

Gegeben ist eine lineare Zielfunktion

$$F(x_1, \dots, x_p) = c_1 x_1 + \dots + c_p x_p \quad (8.1)$$

welche unter Beachtung von linearen Nebenbedingungen bzw. Restriktionen der Form

$$a_{i1}x_1 + \dots + a_{ip}x_p \leq b_i \quad \text{für } i = 1, \dots, m_1 \quad (8.2)$$

$$a_{i1}x_1 + \dots + a_{ip}x_p = b_i \quad \text{für } i = m_1 + 1, \dots, m_2 \quad (8.3)$$

<sup>378</sup> Zu Verfahren der linearen Optimierung vgl. Domschke und Drexl, 1990, Ellinger et al., 2003, sowie Kallrath und Maindl, 2006.

<sup>379</sup> Vgl. Domschke und Drexl, 1990, S. 96 ff. sowie Ellinger et al., 2003, S. 149 ff.

<sup>380</sup> Vgl. Ellinger et al., 2003, S. 66 ff.

<sup>381</sup> Vgl. Domschke und Drexl, 1990, S. 9 u. 96 sowie Kallrath und Maindl, 2006, S. 32 f.

und unter Berücksichtigung von Ganzzahligkeitsbedingungen und zumeist von Nichtnegativitätsbeziehungen der Form

$$x_j \in \mathbf{Z} \quad \text{für (einige oder alle) } j = 1, \dots, p \quad (8.4)$$

$$x_j \geq 0 \quad \text{für (einige oder alle) } j = 1, \dots, p \quad (8.5)$$

maximiert werden soll.

In bezug auf die Planung und Steuerung von Lieferketten auf Basis von Forecastdaten sind unter  $b_i$  die Leistungsangebote der Constraints zu verstehen, unter  $x_j$  die Forecastbedarfsfälle, unter  $a_{ij}$  bis  $a_{ip}$  die Constraint-Leistungsbedarfe der Forecastbedarfsfälle und unter  $c_1$  bis  $c_p$  deren Deckungsbeiträge.

Forecastbedarfsfälle können entweder so geartet sein, dass man sie ganz oder gar nicht als Aufträge annehmen kann oder sie können zu einem beliebig großen Anteil als Auftrag angenommen werden, was durch die Gleichungen (8.4) und (8.5) ausgedrückt werden kann.

Da Leistungsangebote und Forecastbedarfe einzelnen Planungsintervallen zugeordnet werden müssen (es ist ja das Ziel der Planung und Steuerung für *einzelne* Planungsintervalle zu planen), Produktion auf Lager bzw. vorzeitige Produktion, die Nutzung von alternativen aber im Regelfall mit erhöhten Kosten verbundenen Leistungsangeboten und Substitutionsstrategien in der Optimierung berücksichtigt werden müssen, ist es erforderlich, die Leistungsangebote wie auch die Forecastbedarfsfälle **auf spezielle Art und Weise zu strukturieren**. Darauf wird im Folgenden eingegangen.

Bzgl. der **Constraints** ist festzuhalten, dass ihre Leistungsangebote für jedes Planungsintervall erhoben werden müssen. Z.B. könnte Constraint  $c_4$  im Januar eine frei verfügbare Kapazität von 500 Stunden, im Februar 550 Stunden, usf. aufweisen. Für ein Leistungsangebot der Constraint  $l$  im Zeitintervall  $t$  wird daher im Folgenden die Notierung  $c_{l,t}$  verwendet.

Wenn die variablen Herstellkosten abhängig von der Auslastung sind, so müssen Leistungsangebote weiter differenziert werden. Gegeben sind solche Fälle beispielsweise dann, wenn linear-progressive oder s-förmige Kostenfunktionen vorliegen<sup>382</sup>. Gemäß der Festlegung der Verkaufsforecastebenen sind mit jeder Verkaufsforecastebene variable Herstellkosten für die Endprodukte verknüpft<sup>383</sup>, die sich auf einen *bestimmten* Auslastungsgrad der zugeordneten Constraints beziehen müssen.

Für den *linear-progressiven* Kostenverlauf sind das im Regelfall jene variablen Herstellkosten, die sich im linearen Bereich der Kostenfunktion ergeben. Steigt die Auslastung einer Constraint so weit, dass der lineare Bereich der Kostenfunktion überschritten wird, so ergeben sich zunehmend höhere mengenbezogene variable Herstellkosten<sup>384</sup>. Dieser Kurvenverlauf lässt sich durch lineare Teilstücke annähern. Davon ausgehend ergeben sich für eine Annäherung des linear-progressiven Kurvenverlaufs beispielsweise durch drei lineare Teilstücke für den Auslastungsbereich von Null bis zum Ende des linearen Kostenfunktionsstücks die variablen Herstellkosten

<sup>382</sup> Zu Verläufen von Kostenfunktionen und Kostenfunktionen im Allgemeinen vgl. Abschnitt 4.2.1.2.

<sup>383</sup> Vgl. dazu Abschnitte 7.1 und 7.2.

<sup>384</sup> Vgl. Abb. 4.3 in Abschnitt 4.2.1.2.

$K_{v,0}$ , ab dem Ende des linearen Kostenverlaufsstücks bis zum Ende der ersten Näherungsgeraden die variablen Herstellkosten  $K_{v,1}$  und ab dem Ende der ersten Näherungsgeraden bis zum Ende der zweiten Näherungsgeraden die variablen Herstellkosten  $K_{v,2}$ . Wobei gilt:  $K_{v,0} < K_{v,1} < K_{v,2}$ . Auf diese Art lassen sich die Leistungsangebote von Constraints mit linear-progressiven Kostenverläufen auch nach den mengenbezogenen variablen Herstellkosten untergliedern.

Davon ausgehend wird das Leistungsangebot der Constraint  $l$  im Zeitintervall  $t$  und der auslastungsabhängigen Kostenalternative  $a$  im Folgenden als  $c_{l,t,a}$  bezeichnet. Mit jedem  $c_{l,t,a}$  sind bestimmte variable Herstellkosten pro Mengeneinheit und ein bestimmtes Leistungsangebot verbunden. Die Logik der linearen Optimierung bringt es mit sich, dass bei - wie oben erläutert - durch lineare Teilstücke angenähertem linear-progressiven Kostenverlauf  $c_{l,t,a}$  erst dann genutzt wird, wenn  $c_{l,t,a-1}$  zur Gänze ausgeschöpft ist (wobei vorausgesetzt wurde, dass  $a$ ,  $l$  und  $t$  von  $c_{l,t,a}$  und  $c_{l,t,a-1}$  identisch sind).

Eine analoge Annäherung von *s-förmigen* Kostenfunktionen durch lineare Teilstücke verhält sich diesbezüglich anders. Die niedrigsten variablen Herstellkosten pro Mengeneinheit sind *nicht* mit den niedrigsten Auslastungsgraden verbunden. Damit ist die Gefahr gegeben, dass ein  $c_{l,t,a}$ , dessen Auslastungsgraduntergrenze von Null verschieden ist, im Ergebnis der Optimierung als Leistungsangebot erscheint, das zu nutzen ist, ohne dass auch Bedarfsfälle für jene  $c_{l,t,a}$  eingeplant werden, welche die selben  $a$ ,  $l$  und  $t$  aufweisen aber mit niedrigeren Auslastungsgraden verknüpft sind. Das hieße, man wollte ein günstiges Leistungsangebot nutzen, das sich *nur dann* ergibt, wenn eine bestimmte Grundaustlastung vorliegt, *ohne* dass diese Grundaustlastung gegeben ist. Noch stärker stellt sich dieses Problem bei *degressivem* Kostenverlauf. Eine zumindest teilweise Entschärfung dieses Problems ist möglich, indem man in den Restriktionen der Optimierung bestimmte Mindestauslastungsgrade in Form der Gleichung (8.3) vorgibt. Für die Festlegung von Mindestauslastungsgraden in dieser Form können sich erste grobe Vergleiche von Leistungsangeboten und Forecastleistungsbedarfen noch vor der eigentlichen Optimierung als hilfreich erweisen. Eine alternative Vorgangsweise besteht darin, ohne die Randbedingung von Mindestauslastungsgraden zu optimieren und das Optimierungsergebnis bei Bedarf zu adaptieren.

Die **Forecastbedarfsfälle** aus den FCES-OC stellen sich wie folgt dar<sup>385</sup>: Jeder einzelne Forecastbedarfsfall enthält Termine und Orte an welchen die Waren an den Kunden übergeben werden sollen und auf Verkaufsforecastebenen bezogene Mengenangaben. Überdies ist bekannt, ob die Forecastbedarfsfälle nur komplett oder auch teilweise als Aufträge akquiriert werden können; wobei im Detail auch bekannt ist, ob beliebig oder nur unter Einhaltung bestimmter Restriktionen geteilt werden kann. Überdies sind die Deckungsbeiträge für jeden Forecastbedarfsfall bzw. jede sich aus den erlaubten Teilungen ergebende Teilmenge bekannt. Wobei für diese Deckungsbeiträge gilt, dass sie sich unter der Nutzung bestimmter Constraints zu Standardkosten (also ohne additive variable Herstellkosten, die z.B. durch Überstunden bedingt sein können) ergeben würden; bzw., dass die ausgewiesenen Deckungsbeiträge auf die Nutzung *bestimmter* Constraints bezogen sein müssen.

Aus den Verkaufsforecastebenen und den Terminen und Orten der Warenübergabe lassen sich die Leistungsbedarfe bzgl. der für die Leistungserstellung erforderlichen Constraints

<sup>385</sup> Vgl. Kapitel 7.

mit den zugehörigen Leistungs-Inanspruchnahme-Terminen errechnen<sup>386</sup>. Damit hat jeder Forecastbedarfsfall bzgl. bestimmter  $c_{l,t,a}$  bestimmte Leistungsbedarfe. Wobei für  $t$  gilt, dass es sich um jene Zeitintervalle handelt, zu welchen die Leistungserstellung *spätestens* erfolgen müsste, um den geforderten Übergabetermin am Übergabeort einhalten zu können.

Erst durch die Optimierung selbst soll festgelegt werden, ob ein Forecastbedarfsfall ganz oder teilweise fest eingeplant oder abgelehnt wird, in welchen Zeitintervallen produziert wird (ob im letztmöglichen oder vorzeitig) und ob mit erhöhten variablen Kosten verbundene Leistungsangebote genutzt werden oder Forecastebenen bestimmter Forecastbedarfsfälle durch andere substituiert werden (ob also alternative Verkaufsartikel angeboten und ursprünglich vorgesehene Verkaufsspezifikationen verändert werden).

Um dieses Problem lösen zu können, bietet sich an, für jeden Forecastbedarfsfall alle erforderlichen oder auch möglichen *Einplanungsalternativen* zu bilden und in weiterer Folge, die Restriktionen des Optimierungsproblems so zu setzen, dass maximal eine Einplanungsalternative gezogen werden kann bzw. zumindest eine gezogen wird, wenn es sich um Forecastbedarfsfälle strategischer Bedeutung handelt, die ungeachtet ihres Ergebnisbeitrages als Aufträge akquiriert werden müssen.

Gemäß den obigen Überlegungen ergeben sich Einplanungsalternativen für einen bestimmten Bedarfsfall aus folgenden Möglichkeiten der Einplanung:

1. Voll- oder Teillieferungsalternativen,
2. Substitutionsalternativen,
3. Constraintalternativen (diese ergeben sich aus alternativen Arbeitsplänen oder Stücklisten<sup>387</sup>),
4. Alternativen bzgl. der mit einer bestimmten Constraint verbundenen variablen Herstellkosten durch Leistungsangebotserweiterungen zu erhöhten variablen Kosten,
5. Alternativen bzgl. der zeitlichen Zuordnung bestimmter Leistungsbedarfe bedingt durch Pufferlager bzw. vorzeitige Produktion.

Davon ausgehend werden Einplanungsalternativen im Folgenden mit  $x_{n,T,S,C,K,P}$  bezeichnet. Im Detail bezeichnet der Index  $n$  den Forecastbedarfsfall,  $T$  die Teillieferungsalternative,  $S$  die Substitutionsalternative,  $C$  die Constraintalternative,  $K$  die Kostenalternative einer bestimmten Constraint und  $P$  die Alternative der zeitlichen Zuordnung (P steht für Periodenzuordnung).

Bzgl. der oben unter 1 bis 5 angeführten Alternativengruppen ist zu bemerken, dass sie *hierarchisch* angeordnet sind. Die Substitutionsalternativen in Stufe 2 können erst dann vollständig festgelegt werden, wenn alle Teillieferungsalternativen aus Stufe 1 bekannt sind; Constraintalternativen in Stufe 3 erst dann vollständig, wenn alle Substitutionsalternativen aus Stufe 2 bekannt sind, usf. Das heißt weiter, dass die Alternativen in Hierarchiestufe 1 sich in Stufe 2 weiter verzweigen können, jene die in Stufe 2 gebildet wurden, sich in Stufe 3 weiter verzweigen usf.

<sup>386</sup> Vgl. Abschnitt 7.1.

<sup>387</sup> Vgl. Abschnitt 7.1.

Hat man also in Stufe 1 neben der Volllieferungsalternative z.B. noch zwei Teillieferungsalternativen gefunden, so muss für jede dieser drei Alternativen in Stufe 2 geprüft werden, ob Substitutionsalternativen existieren. Lässt sich z.B. für die Volllieferungsalternative eine Substitutionsalternative bilden, so ergeben sich auf Stufe 2 neben den beiden Teillieferungsalternativen (für die es keine Substitutionsalternativen gibt) zwei Volllieferungs-Substitutionsalternativen; also insgesamt vier Alternativen auf Stufe 2. Für jede einzelne dieser vier Alternativen muss dann auf Stufe 3 geprüft werden, ob es weitere Alternativen in Form von Constraintalternativen gibt. Nach diesem Schema geht es weiter bis zu Stufe 5.

Es ist naheliegend, zur Bildung dieser Einplanungsalternativen einen *elektronischen Einplanungsalternativen-Generator* (Computerprogramm) einzusetzen. Im Folgenden wird gezeigt, wie dieser Generator arbeiten müsste.

### Stufe 1 - Festlegung der Teillieferungsalternativen:

Im Regelfall sind Teillieferungsalternativen für solche Bedarfsfälle möglich, welche

- a) zu einem *beliebigen Anteil* geliefert werden können, ohne dass die Relationen innerhalb der Bedarfsfallspezifikation geändert werden (wird der Bedarfsfall z.B. zu 70% eingeplant, so wird jede einzelne Position des Bedarfsfalls mit dem Faktor 0,7 multipliziert) oder
- b) in *einzelne Positionen*, die geliefert werden können und andere Positionen, die nicht geliefert werden müssen, unterteilt werden können.

Überdies sind *Kombinationen* der oben unter a) und b) beschriebenen Muster möglich. So kann auftreten, dass

- c) eine um bestimmte Positionen reduzierte Alternative zu einem beliebigen Anteil geliefert werden kann, ohne dass die Relationen innerhalb der um diese Positionen reduzierten Alternative verändert würden oder
- d) dass nur einige aber nicht alle Positionen innerhalb einer reduzierten Alternative zu beliebigen Anteilen geliefert werden können, während alle anderen zu 100% geliefert werden müssten.

Die Teillieferungsalternativen und die mit der jeweiligen Teillieferungsalternative verknüpften Verkaufspreise können in der Regel nur durch den Verkauf angegeben werden.

Bzgl. der Berechnung des Deckungsbeitrages für jede Teilungsvariante bedarf es der variablen Kosten. Existieren mehrere Einplanungsalternativen so ergeben sich im Allgemeinen je nach Einplanungsalternative andere variable Kosten. Variable Kosten müssen also immer im Zusammenhang mit einer bestimmten Einplanungsalternative gesehen werden. Deshalb sollte für jede Verkaufsforecastebene eine Standardeinplanungsalternative mit entsprechenden Standardherstellkosten bekannt sein. Möglicherweise ist es auch von Vorteil als Standardeinplanungsalternative immer jene zu wählen, welche die niedrigsten variablen Kosten beinhaltet, wobei sich die variablen Kosten in der Regel aus den variablen Herstellkosten und den Transportkosten zusammensetzen werden.

Zeigt sich, dass ein Forecastbedarfsfall  $x_n$  gemäß obigen Fall a) zu einem beliebigen Anteil geliefert werden kann, so könnte für diesen Bedarfsfall im Hinblick auf die Optimierung gelten, dass  $x_n$  Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Ist auch der

Deckungsbeitrag linear von  $x_n$  abhängig, so würde es genügen, den Deckungsbeitrag für die 100%-Alternative zu ermitteln. In diesem Fall gäbe es nur ein einziges  $x_{n,T}$  mit  $T = 1$ .

Diese Art der Abbildung im Optimierungsmodell ist aber nur dann ohne Weiteres möglich, wenn sich für den betrachteten Bedarfsfall auch keine Substitutions-, Constraint-, Constraintkosten- oder Periodenalternativen ergeben; wenn Einplanungsalternativen also *ausschließlich* durch den beliebig festlegbaren Lieferanteil gegeben sind. In den Restriktionen des Optimierungsmodells muss nämlich sichergestellt werden, dass maximal eine der Einplanungsalternativen für einen bestimmten Forecastbedarfsfall in das Optimierungsergebnis aufgenommen wird. Das ist zu erreichen, indem man die Summe aller  $x_{n,T,S,C,K,P}$  eines bestimmten Forecastbedarfsfalls  $n$  mit maximal 1 begrenzt und für jedes  $x_{n,T,S,C,K,P}$  nur die Werte 0 oder 1 zulässt. Lässt man hingegen auch Werte *zwischen* 0 und 1 zu, so ist nicht auszuschließen, dass ein und der selbe Bedarfsfall in Form verschiedener Einplanungsalternativen mehrfach in das Optimierungsergebnis aufgenommen wird.

Zur Lösung dieses Problems bietet sich an, Teillieferungsalternativen  $x_{n,I}$  bis  $x_{n,TT}$  in diskreten Schritten zu bilden (z.B. für 25, 50 und 75%) und jeder dieser Teillieferungsalternativen einen Deckungsbeitrag zuzuordnen. Damit können auch Deckungsbeiträge abgebildet werden, die nicht linear vom Lieferanteil abhängig sind.

Durch die für alle  $x_{n,T,S,C,K,P}$  eines bestimmten  $n$  gesetzten Restriktionen – jedes  $x_{n,T,S,C,K,P}$  kann nur die Werte 0 oder 1 annehmen und die Summe aller  $x_{n,T,S,C,K,P}$  ist maximal 1 – ist sichergestellt, dass im Optimierungsergebnis maximal ein  $x_{n,T,S,C,K,P}$  für ein bestimmtes  $n$  auftritt. Die Einplanung von Forecastbedarfsfällen strategischer Bedeutung kann im übrigen auch durch passende Festlegung der Restriktionen sichergestellt werden, indem man für die Summe aller  $x_{m,T,S,C,K,P}$  des strategischen Bedarfsfalls  $m$  vorgibt, dass sie 1 sein muss.

Hat man es mit einem Bedarfsfall gemäß obigem Fall b) zu tun, so bietet sich an, jede im Forecastbedarfsfall enthaltene Verkaufsforecastebene und auch die nicht mit Constraints verknüpften Produkte als eigene Position des Forecastbedarfsfalls zu führen. Die Teillieferungsalternativen können dann als Kombinationen der Positionsnummern angegeben werden. Zeigt sich, dass bestimmte Teillieferungsalternativen nur Bruchstücke der einen oder der anderen ursprünglich erfassten Position enthalten, können diese Positionen entsprechend geteilt werden. Die Abbildung der Teilungsalternativen in Form von Positionskombinationen ist also jedenfalls möglich. Jeder der in dieser Form gebildeten Teillieferungsalternativen muss ein Deckungsbeitrag zugeordnet werden. Im Optimierungsmodell muss auch in diesem Fall festgelegt werden, dass  $x_{n,T,S,C,K,P}$  nur die Werte 0 oder 1 annehmen darf und die Summe aller im Optimierungsergebnis berücksichtigten  $x_{n,T,S,C,K,P}$  eines bestimmten Forecastbedarfsfalls  $n$  mit maximal 1 begrenzt ist.

Auch für die Fälle c) und d) können beliebige diskrete Teillieferungsalternativen festgelegt werden. Erneut muss jeder dieser Teillieferungsalternativen ein Deckungsbeitrag zugeordnet werden und die Restriktionen im Optimierungsmodell müssen genau gleich gesetzt werden, wie für Fall b).

Bzgl. der für die  $x_{n,T,S,C,K,P}$  gesetzten Restriktionen sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sie auch im Hinblick auf alle im Folgenden unter den Stufen 2 bis 5 diskutierten Einplanungsalternativen sicherstellen, dass für einen bestimmten Forecastbedarfsfall  $n$  maximal eine Einplanungsalternative in das Optimierungsergebnis aufgenommen wird.

### Stufe 2 - Festlegung der Substitutionsalternativen:

Für jede Teillieferungsalternative – wobei im Folgenden auch die Volllieferungsalternative als Teillieferungsalternative betrachtet wird – muss auf dieser Stufe geprüft werden, ob Substitutionsalternativen möglich sind. Bzgl. der Planung und Steuerung hat eine Substitutionsalternative nur dann Sinn, wenn dadurch entweder andere Constraints oder zwar die selben Constraints aber in anderen Planungsintervallen oder die selben Constraints in den selben Planungsintervallen aber mit anderen Leistungsbedarfen belegt werden. Gemäß der Festlegung der Verkaufsforecastebenen<sup>388</sup> ist eine Substitutionsalternative damit nur dann sinnvoll, wenn sich der Verkaufsforecastebeneninhalt der Substitutionsvariante von jener der Standardvariante unterscheidet. Das bedeutet weiter, dass für jede Teillieferungsalternative geprüft werden muss, welche Verkaufsforecastebenen durch andere ersetzt werden könnten.

Ergeben sich innerhalb eines Forecastbedarfsfalls zumindest zwei Verkaufsforecastebenen, die substituiert werden könnten, so ergibt sich die Gesamtzahl der Substitutionsalternativen für diesen Bedarfsfall aus den Kombinationen der Austauschmöglichkeiten jeder einzelnen Verkaufsforecastebene.

Der Deckungsbeitrag einer Substitutionsalternative ergibt sich aus dem Deckungsbeitrag der übergeordneten Teillieferungsalternative abzüglich der additiven variablen Kosten. Diese ergeben sich im Regelfall aus additiven variablen Herstellkosten und bei veränderten Transportrelationen aus Transportkostendifferenzen. Zusätzlich können aber z.B. auch Import- oder Exportzölle oder zusätzliche Steuern eine Rolle spielen.

### Stufe 3 – Festlegung der Constraintalternativen:

Für jede Substitutionsalternative wird geprüft, ob neben der sich aus der Standardeinplanung ergebenden Constraintzuordnung Constraintalternativen existieren.

Entsprechend der Festlegung der Verkaufsforecastebenen liegen für eine bestimmte Verkaufsforecastebene Alternativarbeitspläne bzw. Alternativstücklisten vor, sofern alternative Arbeitsplätze bzw. Stücklisten eingesetzt werden können<sup>389</sup>. Analog zu den Substitutionsalternativen müssen auch bei der Bildung der Constraintalternativen alle möglichen Kombinationen aus alternativen Stücklisten und Arbeitsplänen für jede einzelne Verkaufsforecastebene beachtet werden.

Die mit der jeweiligen Constraintalternative verknüpften Deckungsbeiträge lassen sich dann ähnlich berechnen wie jene, die mit den Substitutionsalternativen verknüpft sind. Der Deckungsbeitrag der jeweils übergeordneten Substitutionsalternative wird um die mit jeder Constraintalternative verknüpften zusätzlichen variablen Kosten verringert.

### Stufe 4 – Festlegung der Constraintkostenalternativen:

Oben wurde festgelegt, dass unter  $c_{l,t,a}$  für  $a \neq 0$  ein Leistungsangebot von Constraint  $l$  im Planungsintervall  $t$  zu erhöhten variablen Kosten zu verstehen ist. Ausgehend davon kann für jede Constraintalternative geprüft werden, ob mit den enthaltenen Verkaufsforecastebenen Leistungsangebote von Constraints in bestimmten Zeitintervallen verknüpft sind, die zu erhöhten variablen Kosten erweitert werden könnten. Sind solche Fälle vorhanden, so sind dafür Constraintkostenalternativen zu

<sup>388</sup> Zur Festlegung der Verkaufsforecastebenen vgl. Abschnitt 7.1.

<sup>389</sup> Vgl. dazu Abschnitt 7.1.

bilden. Erneut müssen alle möglichen Kombinationen beachtet werden, wenn innerhalb einer bestimmten Constraintalternative mehr als ein  $c_{l,t,a}$  auftritt, dessen Leistungsangebot zu erhöhten variablen Kosten genutzt werden kann.

Die mit den Constraintkostenalternativen verknüpften Deckungsbeiträge können analog zu jenen in Stufe 2 und 3 aus den Deckungsbeiträgen der übergeordneten Constraintalternativen berechnet werden.

#### Stufe 5 – Festlegung der Periodenalternativen:

Einplanungsalternativen mit vorzeitigen Produktionsstartterminen sind grundsätzlich nur für Produkte möglich, die gelagert werden können. Überdies muss gesichert sein, dass vorzeitig produzierte Artikel auch verkauft werden können<sup>390</sup>. Davon ausgehend ist eine vorzeitige Produktion für Forecastbedarfsfälle bzw. Teile von Forecastbedarfsfällen folgender Ausprägung möglich:

- a) Lagerfähige Positionen, deren Auftragseingangstermine vor jenem Zeitpunkt liegen, zu dem sie spätestens eingehen müssten, damit die angestrebten Warenübergabetermine gehalten werden können.
- b) Lagerfähige Positionen, die Auffüllungen von Halb- und Fertigfabrikatslagern darstellen, die für Verkäufe an Lager vorgesehen sind (deren Decouplingpunkte also nach den Produktionsstartterminen liegen<sup>391</sup>).
- c) Lagerfähige Halb- oder Fertigfabrikate, von welchen man annehmen kann, dass sie in bestimmten Mengen in bestimmten Planungsintervallen zugeordneten Forecastbedarfsfällen enthalten sind.

Abgesehen von Forecastbedarfsfällen kann man bei Bedarf auch bereits bestehende *Auftragspositionen* in Form von entsprechenden Einplanungsalternativen mit vorzeitigen Produktionsterminen in die Optimierung mit einbeziehen. Diese Auftragspositionen sind dann genau so zu behandeln, wie die oben unter a) angeführten Forecastbedarfspositionen.

Zur Bildung der Einplanungsalternativen ist zu sagen, dass für jede einzelne Constraintkostenalternative geprüft werden kann, ob zumindest für eine der jeweils enthaltenen Positionen eine vorzeitige Produktion entsprechend den oben angeführten Kriterien a) bis c) möglich ist. Ist das der Fall, ist zu prüfen, um wie viele Planungsintervalle die Produktion maximal vorgezogen werden könnte. Grenzen sind hierbei dadurch gegeben, dass

- I. Produktionsstarttermine nicht in der Vergangenheit liegen können (bzw. auch bestimmte Vorlaufzeiten berücksichtigt werden müssen),
- II. bestimmte Produkte nur begrenzt haltbar sind,
- III. im Hinblick auf die oben unter a) beschriebenen Fälle Kundenaufträge nicht beliebig früh vorliegen.
- IV. Lagerkapazitäten (Lagerflächen, Lagerräume) begrenzt sind.

---

<sup>390</sup> Vgl. dazu auch Abschnitt 4.2.2.

<sup>391</sup> Vgl. dazu auch Abschnitt 3.3.

Ist der frühest mögliche Starttermin für die Einzelposition unter Berücksichtigung der obigen Restriktionen I bis III ermittelt und liegt er vor dem spätest möglichen, so ergibt sich daraus eine erste Periodenalternative. Weitere ergeben sich, wenn zwischen den Planungsintervallen des frühest und spätest möglichen Starttermins weitere Planungsintervalle liegen. Enthält der einzelne Bedarfsfall mehr als eine Position, die vorzeitig produziert werden könnte, so sind erneut alle möglichen Kombinationen von Produktionsterminen der verschiedenen Positionen zu bilden. Jede einzelne Kombination stellt dann für sich eine Einplanungsalternative dar.

Die obige Restriktion IV wird man auch im Optimierungsmodell als Restriktion abbilden, indem man jede Einzelposition, für die eine Periodenalternative existiert, im Zusammenhang mit der von ihr genutzten Constraint einem Lagerort zuordnet, was in den unter Kapitel 7 diskutierten FCES-OCs bereits in dieser Form berücksichtigt ist. Die an bestimmten Lagerorten zur Verfügung stehenden Lagerkapazitäten können dann im Optimierungsmodell formal wie Constraints behandelt werden. Bzgl. der Lagerkapazität, welche in das Optimierungsmodell übernommen wird, ist anzumerken, dass sie gegenüber der tatsächlich zur Verfügung stehenden um Forecastfehler, welche auf Ebene des Lagerortes auftreten und mit einer bestimmten, im Regelfall eher kleinen Wahrscheinlichkeit verknüpft sind, reduziert werden wird<sup>392</sup>.

Der Deckungsbeitrag einer Periodenalternative errechnet sich aus dem Deckungsbeitrag der übergeordneten Constraintkostenalternative abzüglich der durch vorzeitige Produktion verursachten Kosten, wobei zur Berechnung dieser Kosten vielfach ausreichen wird, für jede einzelne vorgezogene Position die Herstellkosten mit der Lagerzeit und einem Kostenschlüssel zu multiplizieren<sup>393</sup>.

Mit der Bildung der Periodenalternativen sind alle möglichen Einplanungsalternativen festgelegt. Bzgl. der Nummerierung der Einplanungsalternativen kann es im Übrigen von Vorteil sein, wenn man für die kostengünstigste Einplanungsalternative  $x_{n,0,0,0,0,0}$  setzt.

Die **Deckungsbeiträge** für jede einzelne Einplanungsalternative sind wie oben erläutert zu berechnen und werden im Weiteren mit  $D_{n,T,S,C,K,P}$  ebenso indiziert, wie die Einplanungsalternativen. Damit sind sie den einzelnen Einplanungsalternativen auch eindeutig zugeordnet.

Die **Leistungsbedarfe** jeder Einplanungsalternative inklusive ihrer Periodenzuordnung lassen sich aus den FC-Stücklisten und den FC-Arbeitsplänen ableiten<sup>394</sup>. Der Leistungsbedarf der Einplanungsalternative  $x_{n,T,S,C,K,P}$  hinsichtlich des Leistungsangebotes  $c_{l,t,a}$  wird im Weiteren mit  $a_{l,t,a;n,T,S,C,K,P}$  bezeichnet.

Mit den oben festgelegten Abkürzungen für die Leistungsangebote der Constraints, die Einplanungsalternativen sowie deren Leistungsbedarfen und Deckungsbeiträgen **lassen sich die in allgemeiner Form gehaltenen Gleichungen (8.1) bis (8.5) wie folgt formulieren:**

Die *Zielfunktion* ergibt sich mit

$$F(x_{1,0,0,0,0,0}, \dots, x_{n,T,S,C,K,P}) = D_{1,0,0,0,0,0} x_{1,0,0,0,0,0} + \dots + D_{n,T,S,C,K,P} x_{n,T,S,C,K,P} \quad (8.6)$$

<sup>392</sup> Vgl. dazu Abschnitt 8.5.2.

<sup>393</sup> Vgl. dazu Abschnitt 4.2.3.2.

<sup>394</sup> Zu FC-Stücklisten und FC-Arbeitsplänen vgl. Abschnitt 7.1.

wobei  $n$  die Gesamtzahl der betrachteten Bedarfsfälle angibt und  $T, S, C, K$  sowie  $P$  Werte zwischen Null und der Anzahl von Einplanungsalternativen für jenen Bedarfsfall mit den meisten Einplanungsalternativen in der jeweiligen Hierarchiestufe minus 1 annehmen (dabei wurde vorausgesetzt, dass die kostengünstigste Einplanungsalternative mit  $x_{n,0,0,0,0,0}$  indiziert ist).

Die durch die Constraints bestimmten *Restriktionen* ergeben sich mit

$$a_{l,t,a;1,0,0,0,0,0}x_{1,0,0,0,0,0} + \dots + a_{l,t,a;n,T,S,C,K,P}x_{n,T,S,C,K,P} \leq c_{l,t,a} \quad (8.7)$$

wobei  $l$  von 1 bis  $n$  - der Anzahl der Constraints - reicht,  $t$  sich aus den Planungsintervallen ableitet (z.B. Kalenderwochen oder Kalendermonate angibt) und  $a$  Werte zwischen 0 und der Anzahl von alternativen Leistungsangeboten zu unterschiedlichen erhöhten variablen Kosten jener Constraint mit den meisten alternativen Leistungsangeboten dieser Art angibt.

Um bestimmte *Mindestauslastungen* sicher zu stellen, muss für jene Leistungsangebote, die jedenfalls genutzt werden sollen, folgende Restriktion gesetzt werden:

$$a_{l,t,a;1,0,0,0,0,0}x_{1,0,0,0,0,0} + \dots + a_{l,t,a;n,T,S,C,K,P}x_{n,T,S,C,K,P} = c_{l,t,a} \quad (8.8)$$

Wobei  $c_{l,t,a}$ , jenes Leistungsangebot darstellt, das man jedenfalls auslasten will.

Gibt es  $c_{l,t,a}$ , welche entsprechend Beziehung (8.8) in die Optimierung aufgenommen werden und liegen für jene  $c_{l,t,a}$  keine oder nur wenige Bedarfsfälle vor, die entsprechend der Beziehung (8.11) – siehe unten – zu einem beliebigen Anteil geliefert werden können, so wird sich Beziehung (8.8) nicht erfüllen lassen; das hieße, die Lösungsmenge des Optimierungsproblems ist leer. Diesem Problem kann man ausweichen, indem man (8.8) durch

$$a_{l,t,a;1,0,0,0,0,0}x_{1,0,0,0,0,0} + \dots + a_{l,t,a;n,T,S,C,K,P}x_{n,T,S,C,K,P} \geq c_{l,t,a} \quad (8.9)$$

ersetzt.

(8.9) kann dann durch Multiplikation mit  $-1$  zu Restriktionen der Form (8.7) transformiert werden. Für die Belegung der jeweils auf diese Art in das Optimierungsmodell aufgenommenen  $c_{l,t,a}$  gibt es dann eine Ober- und eine Untergrenze (Obergrenzen sind ja schon durch die Beziehungen (8.7) gegeben) und zwischen Ober- und Untergrenze gibt es ein Fenster, in das das Optimierungsergebnis fallen muss. Die zur gesicherten Vermeidung einer leeren Lösungsmenge erforderliche Größe des Fensters lässt sich abschätzen, indem man die entsprechenden Bedarfsfälle nach deren Ausprägungen ihrer Teilbarkeit analysiert.

Um im Zusammenhang mit *Periodenalternativen stehende begrenzte Lagerkapazitäten* zu berücksichtigen, müssen überdies durch diese begrenzten Lagerkapazitäten bedingte Restriktionen gesetzt werden:

$$s_{l,t;n,T,S,C,K,P}x_{n,T,S,C,K,P} + \dots + s_{l,t;n,T,S,C,K,P}x_{n,T,S,C,K,P} \leq L_{l,t} \quad (8.10)$$

Wobei  $L_{l,t}$  für die Lagerkapazität steht, welche für vorzeitig produzierte Produkte der Constraint  $l$  im Planungsintervall  $t$  zur Verfügung steht und  $s_{l,t;n,T,S,C,K,P}$  für den Lagerkapazitätsbedarf der Einplanungsalternative  $x_{n,T,S,C,K,P}$  im Planungsintervall  $t$ . Dazu ist zu bemerken, dass Periodenalternativen, welche vorzeitige Produktionen beinhalten, welche mehr als ein Planungsintervall vor dem eigentlichen

Bedarfstermin erfolgen, auch in mehr als einem Planungsintervall Lagerkapazitätsbedarfe haben. Für alle in (8.10) berücksichtigten Periodenalternativen gilt im übrigen, dass  $P$  größer als Null ist (dabei wurde vorausgesetzt, dass die kostengünstigste Einplanungsalternative mit  $x_{n,0,0,0,0}$  indiziert ist).

*Nichtnegativitätsbeziehungen* und *Ganzzahligkeitsbedingungen* müssen wie folgt gesetzt werden:

$$x_{n,T,S,C,K,P} \geq 0 \quad (8.11)$$

$$x_{n,T,S,C,K,P} \in \mathbf{Z} \quad (8.12)$$

(8.11) gilt für alle  $x_{n,T,S,C,K,P}$ , die zu einem beliebigen Anteil geliefert werden können, ohne dass die Relationen innerhalb der Bedarfsfallspezifikation geändert werden und für die überdies gilt, dass es keine Substitutions-, Constraint-, Constraintkosten- oder Periodenalternative gibt ( $T$ ,  $S$ ,  $C$ ,  $K$  und  $P$  für ein bestimmtes  $n$  also nur den Wert Null annehmen).

(8.12) gilt für alle anderen  $x_{n,T,S,C,K,P}$ ; also für alle  $x_{n,T,S,C,K,P}$ , welche die mit (8.11) verknüpften Bedingungen nicht erfüllen.

Um sicher zu stellen, dass *Forecastbedarfsfälle nicht mehrfach im Optimierungsergebnis berücksichtigt werden können*, muss folgende Restriktion gesetzt werden:

$$\sum_{T=0}^{TT} \sum_{S=0}^{SS} \sum_{C=0}^{CC} \sum_{K=0}^{KK} \sum_{P=0}^{PP} x_{n,T,S,C,K,P} \leq 1 \quad (8.13)$$

(8.13) gilt für jeden einzelnen Forecastbedarfsfall, der nicht unbedingt eingeplant werden muss. Muss ein Bedarfsfall jedenfalls eingeplant werden – handelt es sich also um strategische Bedarfsfälle oder um bereits bestehende Kundenaufträge, die man noch einmal mit in einen neuen Optimierungslauf aufnimmt - muss folgende Restriktion gesetzt werden:

$$\sum_{T=0}^{TT} \sum_{S=0}^{SS} \sum_{C=0}^{CC} \sum_{K=0}^{KK} \sum_{P=0}^{PP} x_{n,T,S,C,K,P} = 1 \quad (8.14)$$

Für Bedarfsfälle, für die in der Optimierung (8.14) gesetzt wird, ist sicher gestellt, dass sie im Optimierungsergebnis jedenfalls zur Gänze berücksichtigt sind.

Bzgl.  $TT$ ,  $SS$ ,  $CC$ ,  $KK$  und  $PP$  ist festzuhalten, dass sie zwischen Null und der maximalen Anzahl der neben der kostengünstigsten Einplanung existierenden Einplanungsalternativen in der jeweiligen Hierarchiestufe liegen und für jeden Bedarfsfall individuell ausgeprägt sind. Für den Bedarfsfall 14 könnte es z.B. gar keine Einplanungsalternativen geben, womit  $TT$ ,  $SS$ ,  $CC$ ,  $KK$  und  $PP$  jeweils Null wären. Für den Bedarfsfall 15 könnten sich neben der kostengünstigsten Einplanung beispielsweise eine Teilungsalternative ( $TT = 1$ ), zwei Substitutionsalternativen ( $SS = 2$ ), eine Constraintalternative ( $CC = 1$ ), drei Kostenalternativen ( $KK = 3$ ) und 12 Periodenalternativen ( $PP = 12$ ) ergeben.

Im Folgenden ist ein **fiktives Beispiel** zur besseren Anschaulichkeit der Beziehungen (8.6) bis (8.14) angeführt. Dieses Beispiel ist ausschließlich dazu gedacht, Sinn und Inhalt der Beziehungen (8.6) bis (8.14) zu verdeutlichen und ist daher bewusst unrealistisch simpel gehalten.

Gegeben sind **2 Constraints**:

$c_1$  und  $c_2$

Dazu **2 Planungsintervalle**; Planungsintervalle 7 und 8. Damit ergeben sich die Leistungsangebote in den beiden Planungsintervallen mit:

$c_{1,7}$  und  $c_{1,8}$  sowie  $c_{2,7}$  und  $c_{2,8}$

Die **Kostenfunktion** für  $c_1$  ist über den ganzen Nutzungsbereich linear. Für  $c_2$  gibt es auch die Möglichkeit, ein zusätzliches Leistungsangebot zu erhöhten Kosten zu nutzen, wobei die Kostenfunktion sowohl für das Basisleistungsangebot als auch für das zusätzliche und zu erhöhten Kosten nutzbare Leistungsangebot linear ist. Damit ergeben sich unter Berücksichtigung der Kostenfunktionen folgende Leistungsangebote:

$c_{1,7}$  und  $c_{1,8}$

$c_{2,7,0}$  und  $c_{2,8,0}$

$c_{2,7,1}$  und  $c_{2,8,1}$

Es gibt **3 Forecastbedarfsfälle**:

$x_1$ ,  $x_2$  und  $x_3$ .

Für **Bedarfsfall  $x_1$**  gibt es keine Substitutions-, Constraint-, Constraintkosten- oder Periodenalternative und  $x_1$  kann zu einem beliebigen Anteil als Auftrag angenommen werden. Der Leistungsbedarf von  $x_1$  ist 100 Leistungseinheiten (LH) von  $c_{1,8}$ . In Tabelle 8.2 ist das entsprechend dargestellt.

Bedarfsfall	Bedarfsfallsart	Art der Einplanungsalternative	Bezeichnung der Einplanungsalternative	Leistungsbedarfe der Einplanungsalternativen in Leistungseinheiten						Deckungsbeitrag
				$c_{1,7}$	$c_{1,8}$	$c_{2,7,0}$	$c_{2,8,0}$	$c_{2,7,1}$	$c_{2,8,1}$	
$x_1$	Kann zu beliebigem Anteil geliefert werden.	Einzig und allein dadurch gegeben, dass zu einem beliebigen Anteil geliefert werden kann.	$x_{1,0,0,0,0,0}$	0	100	0	0	0	0	DB $_{1,0,0,0,0,0}$
$x_2$	Kann entweder zur Gänze oder gar nicht geliefert werden.	Es gibt 2 Perioden und 2 Constraintkostenalternativen.	$x_{2,0,0,0,0,0}$	0	0	0	200	0	0	DB $_{2,0,0,0,0,0}$
			$x_{2,0,0,0,0,1}$	0	0	200	0	0	0	DB $_{2,0,0,0,0,1}$
			$x_{2,0,0,0,1,0}$	0	0	0	0	0	200	DB $_{2,0,0,0,1,0}$
			$x_{2,0,0,0,1,1}$	0	0	0	0	200	0	DB $_{2,0,0,0,1,1}$
$x_3$	Ist ein strategischer Bedarfsfall, der jedenfalls geliefert werden muss.	Es gibt 2 Periodenalternativen.	$x_{3,0,0,0,0,0}$	0	300	0	0	0	0	DB $_{3,0,0,0,0,0}$
			$x_{3,0,0,0,0,1}$	300	0	0	0	0	0	DB $_{3,0,0,0,0,1}$

Tab. 8.2, Zusammenstellung der Einplanungsalternativen aus dem fiktiven Beispiel, welches zur Verdeutlichung der Beziehungen (8.6) bis (8.14) dient; Quelle: eigene Darstellung.

Für **Bedarfsfall  $x_2$**  gibt es eine Periodenalternative und aufgrund dessen, dass für die Produktion von  $x_2$  200 LH von  $c_2$  erforderlich sind, auch Constraintkostenalternativen. Wieder wurden die entsprechenden Daten in die Tabelle 8.2 eingetragen.

**Bedarfsfall  $x_3$**  ist ein strategischer Bedarfsfall, der jedenfalls geliefert werden muss und 300 LH von  $c_7$  beansprucht. Für  $x_3$  gibt es auch eine Periodenalternative. Erneut sind die entsprechenden Daten in Tabelle 8.2 eingetragen.

Die **Zielfunktion** entsprechend Beziehung (8.6) würde für die drei Bedarfsfälle wie folgt aussehen:

$$F = D_{1,0,0,0,0,0} x_{1,0,0,0,0,0} + D_{2,0,0,0,0,0} x_{2,0,0,0,0,0} + D_{2,0,0,0,0,1} x_{2,0,0,0,0,1} + D_{2,0,0,0,1,0} x_{2,0,0,0,1,0} + D_{2,0,0,0,1,1} x_{2,0,0,0,1,1} + D_{3,0,0,0,0,0} x_{3,0,0,0,0,0} + D_{3,0,0,0,0,1} x_{3,0,0,0,0,1} \quad (\text{B1})$$

Die durch die **Leistungsangebote gegebenen Restriktionen** entsprechend der Beziehung (8.7) stellen sich wie folgt dar:

$$300x_{3,0,0,0,0,1} \leq c_{1,7} \quad (\text{B2})$$

$$100x_{1,0,0,0,0,0} + 300x_{3,0,0,0,0,0} \leq c_{1,8} \quad (\text{B3})$$

$$200x_{2,0,0,0,0,1} \leq c_{2,7,0} \quad (\text{B4})$$

$$200x_{2,0,0,0,0,0} \leq c_{2,8,0} \quad (\text{B5})$$

$$200x_{2,0,0,0,1,1} \leq c_{2,7,1} \quad (\text{B6})$$

$$200x_{2,0,0,0,1,0} \leq c_{2,8,1} \quad (\text{B7})$$

**Nichtnegativitätsbeziehungen** und **Ganzzahligkeitsbedingungen** müssen wie folgt gesetzt werden:

Der **Bedarfsfall  $x_1$**  kann zu einem beliebigen Anteil geliefert werden; also z.B. gar nicht, zu 40% oder zur Gänze. Abgesehen davon gibt es keine weiteren Einplanungsalternativen. Damit erfüllt dieser Bedarfsfall die Voraussetzungen dafür, dass er mit Beziehung (8.11) in der Optimierung geführt werden kann. Damit gilt:

$$x_{1,T,S,C,K,P} \geq 0 \quad (\text{B8})$$

Wobei es nur ein  $x_{1,T,S,C,K,P}$  gibt; nämlich  $x_{1,0,0,0,0,0}$ . Dass  $x_{1,0,0,0,0,0}$  nicht über 1 liegen darf, wird im übrigen weiter unten durch eine weitere Restriktion, nämlich Beziehung (B11) festgelegt.

Der **Bedarfsfall  $x_2$**  kann entweder in Form einer der vier Einplanungsalternativen geliefert werden oder er wird gar nicht geliefert. Damit fällt er in die Kategorie jener Bedarfsfälle, für die Beziehung (8.12) gilt.

$$x_{2,T,S,C,K,P} \in \mathbf{Z} \quad (\text{B9})$$

(B9) gilt für jede der vier Einplanungsalternativen von  $x_2$ .

Der **Bedarfsfall  $x_3$**  muss jedenfalls geliefert werden. Das heißt, dass eine der beiden Einplanungsalternativen den Wert Null und eine den Wert 1 zugeordnet bekommen wird. Damit gilt wieder Beziehung (8.12).

$$x_{3,T,S,C,K,P} \in \mathbf{Z} \quad (\text{B10})$$

**Weitere Restriktionen** müssen gesetzt werden, damit Einplanungsalternativen nicht zu mehr als 100%, nicht mehrfach in Form von zwei oder mehr Einplanungsalternativen (z.B. gibt es für

Bedarfsfall  $x_2$  vier Einplanungsalternativen, es darf aber höchstens eine der vier Einplanungsalternativen eingeplant werden) und jedenfalls (gilt für den strategische Bedarfsfall  $x_3$ ) eingeplant werden.

Damit **Bedarfsfall**  $x_1$  maximal zu 100% berücksichtigt wird, muss  $x_1$  nach oben mit 1 begrenzt werden. Damit gilt für  $x_1$  Beziehung (8.13).

$$\sum_{T=0}^{TT} \sum_{S=0}^{SS} \sum_{C=0}^{CC} \sum_{K=0}^{KK} \sum_{P=0}^{PP} x_{1,T,S,C,K,P} \leq 1 \quad (\text{B11})$$

Da es nur ein einziges  $x_1$  gibt ( $TT$ ,  $SS$ ,  $CC$ ,  $KK$  und  $PP$  sind ja alle Null) vereinfacht sich (B11) zu

$$x_{1,0,0,0,0,0} \leq 1 \quad (\text{B12})$$

Damit von den vier Einplanungsvarianten für **Bedarfsfall**  $x_2$  maximal eine Einplanungsalternative eingeplant wird (also höchstens eine der vier Einplanungsalternativen im Ergebnis der Optimierung berücksichtigt wird), muss erneut (8.13) gelten.

$$\sum_{T=0}^{TT} \sum_{S=0}^{SS} \sum_{C=0}^{CC} \sum_{K=0}^{KK} \sum_{P=0}^{PP} x_{2,T,S,C,K,P} \leq 1 \quad (\text{B13})$$

Wenn man die vier Einplanungsalternativen einsetzt, ergibt sich:

$$x_{2,0,0,0,0,0} + x_{2,0,0,0,0,1} + x_{2,0,0,0,1,0} + x_{2,0,0,0,1,1} \leq 1 \quad (\text{B14})$$

Um sicher zu stellen, dass **Bedarfsfall**  $x_3$  jedenfalls eingeplant wird (also eine der beiden Einplanungsalternativen im Ergebnis der Optimierung jedenfalls berücksichtigt wird) muss für die beiden Einplanungsalternativen von  $x_3$  Beziehung (8.14) gelten.

$$\sum_{T=0}^{TT} \sum_{S=0}^{SS} \sum_{C=0}^{CC} \sum_{K=0}^{KK} \sum_{P=0}^{PP} x_{3,T,S,C,K,P} = 1 \quad (\text{B15})$$

Oder eingesetzt ( $TT$ ,  $SS$ ,  $CC$  und  $KK$  sind alle Null und  $PP$  ist 1):

$$x_{3,0,0,0,0,0} + x_{3,0,0,0,0,1} = 1 \quad (\text{B16})$$

Damit sind alle für die Optimierung des fiktiven Problems erforderlichen Restriktionen und Bedingungen gesetzt. Das fiktive Beispiel endet an dieser Stelle. Die unten folgenden Ausführungen bzgl. des Optimierungsergebnisses beziehen sich wieder auf die allgemeine Problemstellung.

Als **Optimierungsergebnis** erhält man für jedes  $x_{n,T,S,C,K,P}$  einen Wert der zwischen 0 und 1 liegt und den maximal erreichbaren, gesamten Deckungsbeitrag (Deckungsbeitrag auf Unternehmensebene) für das untersuchte Problem. Aus Werten für die  $x_{n,T,S,C,K,P}$  lässt sich dann ableiten,

- welche Forecastbedarfsfälle in welchen Teilungs- und Substitutionsalternativen akquiriert werden sollten,
- welche Forecastbedarfsfälle gar nicht als Aufträge akquiriert werden sollten,
- welche Leistungseinheiten für jeden einzelnen Bedarfsfall genutzt werden sollten und
- wann die Produktion jedes einzelnen Bedarfsfalls erfolgen soll.

- Damit lässt sich auch bestimmen, wie groß der Leistungsbedarf jeder einzelnen Constraint in jedem einzelnen Planungsintervall ist.

Bzgl. der *Deckungsbeiträge* ist zu bemerken, dass diese sowohl durch die Verkaufspreise als auch durch die verfügbaren Einplanungsalternativen und den verfügbaren Leistungsangeboten bestimmt sind. Abgesehen davon wird man jedenfalls darüber nachdenken müssen, ob man Deckungsbeiträge, *die nur ganz wenig über Null liegen*, zulässt. Setzt man für  $D_{n,T,S,C,K,P}$  nämlich wie oben diskutiert, die Deckungsbeiträge ein, so können im Optimierungsergebnis Forecastbedarfsfälle als zu akquirierend aufscheinen, deren Deckungsbeiträge zwar positiv aber nur unwesentlich von Null verschieden sind. Für die kurzfristige Ergebnisoptimierung sind auch Bedarfsfälle mit sehr kleinen prozentuellen Deckungsbeiträgen interessant. Für die mittel- und langfristige Ergebnissicherung werden aber bestimmte prozentuelle Mindestdeckungsbeiträge angestrebt werden müssen<sup>395</sup>.

Abschließend sei bemerkt, dass die oben erläuterte Anwendung der linearen Optimierung zur Planung und Steuerung von Liefernetzwerken auf Basis von Forecastdaten zwar einerseits als aufwändig erscheinen mag andererseits komplexe Liefernetzwerke vor allem dann, wenn alle zur Verfügung stehenden Planungs- und Steuerungsstrategien eingesetzt werden sollen oder können, aber auch nicht durch simple bzw. eindimensionale Verfahren geplant und gesteuert werden können. Die oben erläuterte Vorgangsweise umfasst jedenfalls eine Berücksichtigung aller nach aktuellem Kenntnisstand in der Praxis angewandten Planungs- und Steuerungsstrategien und damit nahezu ideale Funktionalitäten im Hinblick auf die Ergebnisoptimierung. Überdies können sich die verwirklichtbaren Einplanungsalternativen im Einzelfall auf wenige Bereiche oder Möglichkeiten beschränken, womit die Komplexität der Probleme weniger stark ausgeprägt ist als sich in der obigen, alle allgemein denkbaren Alternativen umfassenden Darstellung zeigt. Auch wird man im Sinne eines möglichst einfachen Optimierungsmodells als nicht aussichtsreich bekannte Alternativen von vorne herein ausschließen oder solche, für die sich zeigt, dass die mit ihnen verknüpften Deckungsbeiträge negativ oder zu niedrig sind, verwerfen.

## 8.5 Beurteilung der Risiken bestimmter Planungs- und Steuerungsmaßnahmen

Im wesentlichen besteht die Beurteilung von mit bestimmten Planungs- und Steuerungsmaßnahmen verknüpften Risiken in der Beantwortung der Frage, welche monetären Konsequenzen durch Forecastfehler entstehen können<sup>396</sup>. Vorrangig werden im folgenden Abschnitt daher einerseits durch Forecastfehler verursachte erhöhte Kosten, die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit eintreten können, und andererseits gleichfalls mit einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit verknüpfte und durch zu niedrige Lieferbereitschaftsgrade bedingte Verluste potentieller und im Hinblick auf ihre

<sup>395</sup> Vgl. dazu Abschnitt 4.2.3.2.

<sup>396</sup> Vgl. dazu auch Abschnitte 4.2.1.3, 4.2.2.3 und 4.2.3.3.

Deckungsbeiträge lukrative Aufträge an die Konkurrenz diskutiert. Von zentraler Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Ausprägung und Abschätzung der zu erwartenden Forecastfehler in Verbindung mit ihren Eintrittswahrscheinlichkeiten.

Auch für die Beurteilung von mit bestimmten Planungs- und Steuerungsmaßnahmen verknüpften Risiken ist es sinnvoll, nach den unter Abschnitt 8.2 festgelegten Lieferkettentypen A bis D zu unterscheiden. Wie unten gezeigt wird, liegt Letzteres daran, dass die Ausprägungen der mit bestimmten Planungs- und Steuerungsmaßnahmen verbundenen Risiken durch den Lieferkettentyp bestimmt sind.

Im Einzelnen ist der folgende Abschnitt in fünf Teilbereiche gegliedert: Unter 8.5.1 bis 8.5.4 wird auf die mit den einzelnen Lieferkettentypen A, B, C und D verbundenen Risiken eingegangen und unter 8.5.6 folgt eine Betrachtung der Abschätzung von Forecastfehlern und ihrer Eintrittswahrscheinlichkeiten, die sich in der Praxis als schwierig erweisen kann.

### 8.5.1 Risikobewertung von Maßnahmen im Zusammenhang mit Lieferketten der Ausprägung A

Sind für Lieferkettentyp A bestimmte Planungs- und Steuerungsmaßnahmen festgelegt, so werden diese in der Regel auf eine Vollauslastung ausgerichtet sein. Damit ergeben sich in dem Fall, dass die Forecastmengen *genau so hoch* sind wie die Produktionsmengen bei Vollauslastung und dass Forecastfehler auftreten, die aus die Forecastmengen *unterschreitenden* Istbedarfsmengen resultieren, Unterbelegungen. Diese Unterbelegungen führen ihrerseits zu Umsatz- bzw. Deckungsbeitragsverlusten, die im Hinblick auf die Budgeterfüllung nur noch dann ausgeglichen werden können, wenn der durchschnittliche prozentuelle Deckungsbeitrag über den gesamten Budgetzyklus über dem budgetierten prozentuellen Deckungsbeitrag liegt (denn die budgetierte Absatz- bzw. Produktionsmenge kann nach auch nur zwischenzeitlichen Unterbelegungen nicht mehr erreicht werden).

Mit Forecastfehlern, die aus die Forecastmengen *überschreitenden* Istbedarfsmengen resultieren, ergeben sich zwar schlechte Lieferbereitschaftsgrade aber nicht unbedingt Deckungsbeitragsverluste, da die Produktionsraten ja konstant auf dem Budgetniveau bleiben. Deckungsbeitrageinbusen bzgl. der *potentiell* erreichbaren Gesamtdeckungsbeitragssumme ergeben sich erst dann, wenn zum Zeitpunkt der Vergabe von Aufträgen mit sehr hohen relativen Deckungsbeiträgen die erforderliche Lieferbereitschaft aufgrund dessen, dass bereits Aufträge mit niedrigen relativen Deckungsbeiträgen angenommen wurden, nicht gegeben ist und die lukrativeren Aufträge an die Konkurrenz verloren gehen.

Damit hat man es bei Lieferketten der Ausprägung A mit **zwei Risikoaspekten** zu tun:

- a) Unterschreiten die Istbedarfsmengen die Planproduktionsmengen, kommt es im Regelfall zu Deckungsbeitragsverlusten.
- b) Überschreiten die Istbedarfsmengen die Planproduktionsmengen, so ist die Gefahr gegeben, dass profitträchtige potentielle Aufträge an die Konkurrenz verloren gehen bzw. das volle Deckungsbeitragspotential nicht ausgeschöpft werden kann.

*Risikoaspekt a)* kann begegnet werden, indem man durch die unter 8.3.1 beschriebenen Maßnahmen versucht zu erreichen, dass die Forecastmenge im Hinblick auf die Forecastfehler ausreichend über der Planbedarfsmenge zu liegen kommt. Dies kann erfolgen, indem man die mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu erwartenden Forecastfehler schätzt und daraus jene Bedarfsmenge ableitet, um welche die Forecastbedarfsmenge über der Planproduktionsmenge zumindest liegen sollte, damit Unterauslastungen mit dieser bestimmten Wahrscheinlichkeit vermieden werden. Umgekehrt kann aus der Differenz zwischen Forecastbedarfsmenge und Planproduktionsmenge errechnet werden, mit welcher Wahrscheinlichkeit Unterbelegungen bestimmten Ausmaßes zu befürchten sind.

*Risikoaspekt b)* ist umso stärker gegeben, je größer Unterschiede zwischen relativen Deckungsbeiträgen von bereits angenommenen Aufträgen und unvorhergesehen auftauchenden potentiellen Aufträgen sind. Jedenfalls lassen sich aus den mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten verknüpften zu erwartenden Forecastfehlern gleichfalls mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten verknüpfte *Servicegrade* berechnen. Aus dem durchschnittlichen Anteil lukrativer Aufträge an der Gesamtmenge lässt sich damit grob abschätzen, wie groß die Erwartungswerte der Bedarfsmengen mit lukrativen Deckungsbeiträgen in den einzelnen Planungsintervallen sind. Jedoch kann diese Abschätzung aufgrund dessen, dass lukrative Aufträge tendenziell auch mit unter dem Durchschnitt liegenden Lieferzeiten verknüpft sind und der Anteil lukrativer Bedarfsfälle innerhalb der unerwarteten Bedarfsfälle größer oder kleiner sein kann als der Anteil lukrativer Aufträge innerhalb aller angenommenen Aufträge, verfälscht sein.

Eine das volle Deckungsbeitragspotential möglichst ausschöpfende Vorgangsweise in der Planung und Steuerung könnte darin bestehen, dass man lukrative Bedarfsfälle möglichst frühzeitig als solche zu erkennen versucht und sie dann vorrangig und mit besonderer Sorgfalt in die Planung und Steuerung einbezieht. Parallel dazu könnte man versuchen, Auftragserteilungstermine weniger lukrativer Aufträge hinauszuzögern und in der Terminierung der bereits angenommenen Aufträge etwas Flexibilität hinsichtlich für lukrative Aufträge erforderlicher Terminverschiebungen, Verlagerungen auf andere Arbeitsplätze oder Substitutionen zu bewahren. Eventuell kann auch überlegt werden, die Liefertermintreue zugunsten von kurzen Lieferzeiten für lukrative Bedarfsfälle bewusst abfallen zu lassen. Zur Klärung darüber, ob diese oder andere Strategien ergebnissteigernd wirken, könnten fallspezifische Simulationsmodelle von Nutzen sein.

## **8.5.2 Risikobewertung von Maßnahmen im Zusammenhang mit Lieferketten der Ausprägung B**

Verglichen mit den Risiken, die für Planungs- und Steuerungsmaßnahmen im Zusammenhang mit Lieferkettentyp A bestehen, ergeben sich für Maßnahmen im Zusammenhang mit Lieferkettentyp B zusätzliche durch die Lagerhaltung bedingte Risikoaspekte.

Mittel- und langfristig muss auch bei Lieferkettentyp B wie bei Lieferkettentyp A eine volle Nutzung der Planproduktionsmengen gewährleistet sein. Forecastfehler, die aus die Forecastmengen *unterschreitenden* Istbedarfsmengen resultieren, können aber innerhalb bestimmter Grenzen zwischenzeitlich durch Produktion auf Lager ausgeglichen werden.

Hingegen sind Forecastfehler, die aus die Forecastmengen *überschreitenden* Istbedarfsmengen resultieren, bzgl. der durch sie bedingten Risiken genau so zu sehen wie jene für Lieferketten von Typ A.

Mit Lägern sind folgende Risikoaspekte verbunden:

- a) Veralterung und damit verbundener Wertverfall von Lagermaterialien.
- b) Unzureichende Lagerkapazitäten bei zu großen Forecastfehlern.
- c) Den Erwartungswert aufgrund von großen Forecastfehlern erheblich überschreitende Lagerkosten.

Jeder einzelne dieser drei Risikoaspekte kann nur dann zum Tragen kommen, wenn die Istbedarfsmengen die Forecastmengen *unterschreiten*.

Bzgl. Risikoaspekt a) ist festzustellen, dass die erlaubte Lagerverweildauer für jedes einzelne Lagermaterial erhoben und für jedes einzelne Lagermaterial ein Forecast inkl. der mit einer bestimmten festzulegenden Wahrscheinlichkeit zu erwartenden Forecastfehler erstellt werden müssen. Z.B. könnte das Ergebnis einer solchen Betrachtung darin bestehen, dass das Material xy drei Monate ohne Probleme auf Lager liegen kann und die Bedarfsmenge für die drei Folgemonate mit einer Wahrscheinlichkeit von 98% bei zumindest 1.000 Mengeneinheiten liegen wird. Diese 1.000 Mengeneinheiten könnten dann sofort auf Lager gelegt werden, ohne dass große Kosten aus der Veralterung zu befürchten wären. Die Festlegung des Wahrscheinlichkeitswertes, mit dem geplant wird, muss die Kosten durch Veralterung gegen die durch Pufferlager zusätzlich realisierten Deckungsbeiträge abwägen. Letzteres wird jedoch erst dann zu einem heiklen Problem, wenn die Möglichkeiten zur Bildung ausreichend großer Pufferlager aufgrund begrenzter Materialverwendbarkeiten nur unzureichend gegeben sind.

Bzgl. Risikoaspekt b) ist zu bemerken, dass die Forecastbedarfsmengen unterschreitende Istbedarfsmengen dann zu einem Problem werden, wenn die Forecastfehler so groß sind, dass die verfügbare Lagerkapazität nicht ausreicht, um diese Forecastfehler durch entsprechende Pufferlager ausgleichen zu können. Um von vorne herein sicher zu stellen, dass die Lagerkapazität mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ausreicht, müsste die Forecastmenge daher zumindest so hoch liegen, dass die Lagerkapazität auch bei Eintreten der mit dieser bestimmten Wahrscheinlichkeit verknüpften Forecastfehler ausreicht. Ist das nicht gegeben, so müsste man versuchen, die Forecastmenge durch die unter 8.3.1 beschriebenen Maßnahmen anzuheben.

Bzgl. Risikoaspekt c) können zu erwartende Lagerkosten aus den Eintrittswahrscheinlichkeiten der Forecastfehler in Abhängigkeit von diesen Eintrittswahrscheinlichkeiten angegeben werden. Erscheinen mit kleinen Eintrittswahrscheinlichkeiten verknüpfte Lagerkosten zu hoch, so wird man erneut versuchen, die Forecastmengen durch die unter 8.3.1 beschriebenen Maßnahmen anzuheben.

### 8.5.3 Risikobewertung von Maßnahmen im Zusammenhang mit Lieferketten der Ausprägung C

Sind die Kostenfunktionen linear und die Forecastfehler nie so groß, dass Mindestproduktionsraten unter- oder maximal erreichbare Produktionsraten auch bei vollem Ausgleich der Forecastfehler durch Anpassungen der Produktionsraten überschritten werden oder sind die Kostenfunktionen innerhalb bestimmter Grenzen als linear ansehbar und bleiben die sich auch bei unwahrscheinlich großen Forecastfehlern ergebenden Produktionsraten innerhalb dieses Bereiches, so ergeben sich für Lieferketten von Typ C auch im Fall von unwahrscheinlich großen Forecastfehlern weder zusätzliche mengenspezifische Produktionskosten, noch gehen lukrative Aufträge aufgrund unzureichender Lieferbereitschaft verloren. In diesen Fällen gibt es also keine oder kaum Risiken.

Bei nichtlinearen Kostenfunktionen oder bei, die oben angeführten Grenzen überschreitenden, Forecastfehlern sind je nach Kostenfunktion – z.B. linear progressiv, s-förmig oder degressiv – vielfältige Risikoausprägungen möglich. Überdies kann die Risikobewertung dadurch erschwert werden, dass Anpassungen der Produktionsraten an, durch größere Forecastfehler beeinflusste, Istbedarfsraten erst nach bestimmten Vorlaufzeiten erfolgen können.

Ganz abgesehen von der individuellen Ausprägung des Einzelfalls sollte es aber immer möglich sein,

- 1) die sich ergebenden Deckungsbeiträge für einen aus die Forecastmengen *unterschreitenden* Istbedarfsmengen resultierenden Forecastfehler, der mit einer eher geringen Wahrscheinlichkeit von etwa 2 bis 5% eintritt, und
- 2) den sich ergebenden Servicegrad für einen aus die Forecastmengen *überschreitenden* Istbedarfsmengen resultierenden, gleichfalls mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit von 2 bis 5% verknüpften Forecastfehler, zu berechnen.

Zu 1) ist anzumerken, dass man die *kostengünstigste* Planungs- und Steuerungsalternative zur Bewältigung des extremen Forecastfehlers ansetzen bzw. diese Planungs- und Steuerungsalternative möglicherweise auch erst einmal suchen und festlegen wird (als Worst-Case-Szenario). Aus dem Vergleich der sich aus dieser Betrachtung ergebenden Deckungsbeiträge mit jenen, die eintreten, wenn der Forecast exakt erfüllt wird, lässt sich dann entnehmen, wie groß die Deckungsbeitragseinbußen sind, die sich mit einer Wahrscheinlichkeit des zugrunde gelegten Wertes von 2 bis 5% ergeben können. Zeigt sich aus dieser Betrachtung, dass die Risiken zu hoch sind, wird man versuchen, die vorgesehenen Planungs- und Steuerungsmaßnahmen mit dem Ziel einer Risikoverringerung zu überarbeiten oder den Erwartungswert der Forecasts anzuheben. Bzgl. Letzterem kommt erneut den unter 8.3.1 erläuterten Maßnahmen eine Schlüsselrolle zu.

Zu 2) ist festzuhalten, dass das Problem schlechter Servicegrade und durch von Bedarfsfall zu Bedarfsfall variierende relative Deckungsbeiträge bedingte und mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu erwartende Deckungsbeitragsverluste erneut so behandelt werden kann, wie bereits für Lieferkettentyp A unter 8.5.1 ausgeführt.

### 8.5.4 Risikobewertung von Maßnahmen im Zusammenhang mit Lieferketten der Ausprägung D

Mit Lieferkettentyp D verbundene Risiken sind genau so zu sehen wie jene für Lieferkettentyp C wobei aber zusätzlich jene Risikoaspekte dazu kommen, die durch die Lagerhaltung bedingt sind.

Die mit Lägern verknüpften Risikoaspekte lassen sich daher genau so behandeln wie oben bereits für Lieferkettentyp B unter 8.5.2 ausgeführt. Für die Bewertung aller anderen Risikoaspekte ist die unter 8.5.3 für Lieferkettentyp C erläuterte Vorgangsweise geeignet.

### 8.5.5 Die Abschätzung von Forecastfehlern

Neben den Forecastfehlern für die *einzelnen* Planungsintervalle sind für die Bewertung von Risiken bestimmter Planungs- und Steuerungsmaßnahmen vor allem *kumulierte* Forecastfehler von Bedeutung. Unter kumulierten Forecastfehlern werden hier und im Weiteren Forecastfehler verstanden, die sich aus der Summe der Forecastfehler von aufeinander folgenden Einzelintervallen ergeben<sup>397</sup>. Liegen die Forecastfehler für drei aufeinander folgende Forecastintervalle z.B. bei 300, -200 und 150 so liegt der kumulierte Forecastfehler über diese drei Monate bei 250.

Die Bedeutung von kumulierten Forecastfehlern ergibt sich daraus, dass die Risiken bestimmter Planungs- und Steuerungsmaßnahmen für Planungshorizonte, die über das erste Folgeintervall hinaus reichen, nicht von den Forecastfehlern der einzelnen Planungsintervalle sondern vom kumulierten Forecastfehler bis zum Ende des jeweils betrachteten Planungshorizontes bestimmt werden. Will man z.B. beurteilen, ob bestimmte Lagerbestände am Ende des dritten Folgeintervalls abverbraucht sein werden, so ist der kumulierte Forecastfehler bis zum Ende des dritten Folgeintervalls von Interesse.

Für Forecasts, die auf *quantitativer* Basis aus Zeitreihen erstellt sind, lassen sich Standardabweichungen und Verteilungen zu erwartender Einzelintervall-Forecasts und auch kumulierter Forecastfehler vielfach durch mathematische Beziehungen abschätzen<sup>398</sup>. Bzgl. der kumulierten Forecastfehler ist festzuhalten, dass deren Abschätzung dann vergleichsweise einfach ist, wenn die *zu einem bestimmten Zeitpunkt* berechneten Einzelintervall-Forecasts für die nacheinander folgenden zukünftigen Planungsintervalle nicht miteinander korrelieren, normalverteilt und von einheitlicher Standardabweichung sind. Aufwändiger wird die Berechnung kumulierter Forecastfehler vor allem dann, wenn die *zu einem bestimmten Zeitpunkt* berechneten Einzelintervall-Forecasts für die nacheinander folgenden zukünftigen Planungsintervalle

<sup>397</sup> Vgl. auch Abraham und Ledolter, 1983, S. 375 ff.

<sup>398</sup> Vgl. auch Abraham und Ledolter, 1983, S. 127 ff.

Korrelationen<sup>399</sup> aufweisen. In diesem Fall müssen die entsprechenden Kovarianzen bei der Berechnung der kumulierten Forecastfehler berücksichtigt werden.

Häufig wird man jedoch vor dem Problem stehen, dass Zeitreihen historischer Bedarfe gar *nicht zur Verfügung* stehen oder *keine zuverlässige Quelle* für die Schätzung von zu erwartenden Forecastfehlern und deren Eintrittswahrscheinlichkeiten darstellen. Beispielsweise können folgende Umstände zu solchen Situationen führen:

- a) Einführung neuer Produkte.
- b) Erschließung neuer Märkte.
- c) Dynamische Absatzmarktentwicklungen oder komplexe Absatzmarktbedingungen, welche sich nicht oder zumindest nicht mit vertretbarem Aufwand in mathematischen Modelle abbilden lassen (z.B. durch neue Konkurrenten, technische Umwälzungen oder veränderten Rahmenbedingungen für die Preisbildung).
- d) Aufnahme der Integration von subjektiven Einschätzungen in die Forecasterstellung (Integration von subjektiven Einschätzungen mit quantitativen Forecasts<sup>400</sup>).
- e) Zeitreihen historischer Lagerabgänge können durch maximal realisierbare Lieferraten verfälscht sein, wenn eigentlich mehr verkauft hätte werden können als aufgrund der limitierten Produktions- und Lieferraten darstellbar war<sup>401</sup>.
- f) Die Anzahl der einzelnen Forecastbedarfsfälle kann so klein sein, dass statistische Aussagen ohne praktischen Nutzen sind<sup>402</sup>.
- g) Die sich aus quantitativen Forecast ergebenden Forecastfehler können so groß sein, dass sie ohne praktischen Nutzen sind.

Bzgl. a) und b) können Analogien aus der Vergangenheit hilfreich sein. Jedoch befindet sich die Forschung bzgl. der Erstellung und Anwendung solcher Analogien noch in einem frühen Stadium<sup>403</sup>.

Bzgl. a), b) und d) können Forecasts für eine bestimmte Forecastebene – also z.B. für eine bestimmte Constraint – so geteilt werden, dass sich *eine Teilmenge* ergibt, für die der Forecast auf quantitativer Basis aus historischen Zeitreihen erstellt werden kann und eine *zweite Teilmenge*, für die der Forecast durch eine andere Methode – also z.B. durch Analogien oder durch qualitative Schätzungen – erstellt wird. Z.B. kann man den zukünftigen Bedarf für eine bestimmte Constraint, die neben einem bereits länger bestehenden Marktgebiet ein neues Marktgebiet bedienen soll, schätzen, indem man für die Märkte, die bisher und auch weiterhin beliefert werden, einen quantitativen Forecast mit entsprechender Schätzung der Forecastfehler erstellt (erste Teilmenge) und den Bedarf und den Forecastfehler für den neuen Markt aufgrund einer Expertenmeinung

<sup>399</sup> Zur Korrelation solcher Forecastfehler vergleiche Abraham und Ledolter, 1983, S. 371 f.

<sup>400</sup> Zur Integration von quantitativen mit qualitativen Forecasts vgl. Goodwin, 2005, S. 8 ff.

<sup>401</sup> Vgl. dazu auch Abschnitt 2.2.1.

<sup>402</sup> Vgl. dazu auch van Donselaar et al., 2001, S. 520 ff.

<sup>403</sup> Vgl. Goodwin, 2005, S. 10.

schätzt (zweite Teilmenge). Auf diese Weise minimiert man die Unsicherheit bzgl. der Schätzung der Forecastfehler indem man die vorhandenen quantitativen Daten verwertet. Ähnliches kann bei der Einführung neuer Produkte oder bei der Kombination quantitativer und qualitativer Forecasts im Allgemeinen hilfreich sein.

Bzgl. e) ist festzustellen, dass in der Literatur häufig Aufzeichnungen von Auftragsverlusten aufgrund zu niedriger Lieferbereitschaftsgrade gefordert werden<sup>404</sup>. Diese Aufzeichnungen müssten naturgemäß durch den Verkauf erfolgen. Damit stellt sich die Frage, ob es angesichts der Motive, die der Verkauf verfolgt, aussichtsreich ist, anzunehmen, dass diese Aufzeichnungen Realitätscharakter haben<sup>405</sup>. In vielen Fällen wird sich die Messung der Lieferbereitschaft in der Form, dass man zu bestimmten Stichtagen festhält, welche Lieferzeit sich für einen neu eingehenden Auftrag bestimmter Menge ergeben würde, eher bewähren.

Bzgl. c), f) und g) ist festzustellen, dass hierzu nur qualitative Forecasts bzw. frühzeitige und verbindliche Bedarfsangaben von Kunden oder Verkäufern noch lange, bevor konkrete Kundenaufträge vorliegen, weiterhelfen können.

Allgemein gilt überdies, dass die Forecastfehler ganz unabhängig davon, wie die Forecasts erstellt werden, *aufgezeichnet* werden sollten<sup>406</sup>. Aus den Aufzeichnungen der Forecast- und Istbedarfsmengen der einzelnen aufeinanderfolgenden Planungsintervalle lassen sich die Forecastfehler für die einzelnen vergangenen Planungsintervalle und auch die kumulierten Forecastfehler berechnen. Die so berechneten Forecastfehler sind einer der zentralen Parameter der Güte des Forecastprozesses und können zur Risikobewertung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen herangezogen werden.

Für die Forecastfehler der *Einzelintervalle* werden die Forecastbedarfsmengen der Einzelintervalle den Istbedarfsmengen der Einzelintervalle gegenübergestellt. Dazu ist zu bemerken, dass es bei einem rollierenden Forecast im Allgemeinen für ein bestimmtes Planungsintervall nicht nur eine Forecastbedarfsmenge sondern mehrere gibt. Umfasst der Forecasthorizont z.B. 12 Monate und wird der Forecast einmal pro Monat erneuert, so ergeben sich für ein bestimmtes Planungsintervall 12 verschiedene Forecastmengen, die mit jeweils unterschiedlichen Vorlaufzeiten zwischen 12 und einem Monat abgeschätzt wurden.

*Kumulierte* Forecastfehler lassen sich aus den Istbedarfsmengen nach folgender Beziehung berechnen:

$$\text{kumulierter FC Fehler}_{x,n} = \sum_{i=1}^n FC_{i, \text{zumZeitpunkt } x} - IST_i \quad (8.15)$$

*kumulierter FC Fehler*<sub>x,n</sub>

Kumulierter Forecastfehler bis zum Ende des Folgeintervalls n für einen Forecast, der zum Zeitpunkt x erstellt wurde.

*FC*<sub>i, zumZeitpunkt x</sub>

Zum Zeitpunkt x erstellter Forecast für das i-te Folgeintervall.

<sup>404</sup> Vgl. Abschnitt 2.2.1.

<sup>405</sup> Vgl. Abschnitt 2.4.5.2.

<sup>406</sup> Vgl. vor allem Abschnitte 2.4.4 und 4.1.4.

$IST_i$

Istbedarfsmenge für das  $i$ -te Folgeintervall.

Davon ausgehend lassen sich für Forecasts *verschiedener* Prognosezeitpunkte mittlere kumulierte Forecastfehler und deren Standardabweichungen jeweils für alle relevanten Prognosehorizonte berechnen; auch die Art der Verteilung der kumulierten Forecastfehler lässt sich abschätzen<sup>407</sup>.

Z.B. erhielte man für einen auf Basisintervalllänge Monat geführten Forecast mit  $n$  ist 1 für das erste Folgemonat den mittleren Forecastfehler  $m_1$  und die zugehörige Standardabweichung  $\sigma_1$ ; für den ersten kumulierten Forecast der Folgemonate eins und zwei mit  $n$  ist 2 den mittleren Forecastfehler  $m_{1-2}$  und die zugehörige Standardabweichung  $\sigma_{1-2}$  und für den kumulierten Forecast der Folgemonate eins bis  $n$  den mittleren Forecastfehler  $m_{1-n}$  und die zugehörige Standardabweichung  $\sigma_{1-n}$ .

Abschließend sei bzgl. der so berechneten kumulierten Forecastfehler festgehalten, dass diese in vielen Fällen eher ein Indikator für die Güte des Forecastprozesses, einfacher interpretierbar und in der Bewertung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auch nützlicher sein dürften als die Forecastfehler der Einzelintervalle, die ja immer im Zusammenhang mit den verschiedenen Vorlaufzeiten zu sehen und zu bewerten sind.

## 8.6 Diskussion und Bewertung der Ergebnisse

Zur Bearbeitung der dritten und letzten Hauptfragestellung der Dissertation wurden für lieferkettenspezifische Bedarfskonstellationen, welche sich aus einer Gegenüberstellung von Musterbedarfsverläufen und Lieferkettentypen ergaben, aus den in den vorangegangenen Kapiteln gewonnenen Erkenntnissen erfolgsversprechende und fallspezifisch zugeschnittene Planungs- und Steuerungsmaßnahmen abgeleitet. Dabei zeigte sich, dass die detaillierte Ausarbeitung von das Unternehmensergebnis maximierenden Planungs- und Steuerungsmaßnahmen vor allem im Zusammenhang mit verknüpften Constraints häufig sehr komplexe Probleme beinhaltet und entsprechende Lösungsverfahren erforderlich sind.

Angesichts dessen wurden die im Zusammenhang mit Forecastdaten bestehenden vielschichtigen Planungs- und Steuerungsprobleme durch Bildung von Einplanungsalternativen und Berechnung der mit diesen verknüpften Deckungsbeiträge sowie durch problemspezifisches Setzen von Restriktionen im Optimierungsmodell auf ein System von Gleichungen und Ungleichungen zurückgeführt, welches als gemischt ganzzahliges Problem der linearen Optimierung behandelt werden kann.

Abgeschlossen wurde Kapitel 8 durch eine Erläuterung der Abschätzung von mit Planungs- und Steuerungsmaßnahmen verknüpften Risiken im Zusammenhang mit Forecastfehlern, welche mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten eintreten. Dazu ist zu bemerken, dass die Festlegung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen und die

<sup>407</sup> Zur Analyse von Forecastfehlern im Allgemeinen vgl. Abraham und Ledolter, 1983, S. 372 ff.

Bewertung der Risiken dieser Maßnahmen in einigen Bereichen als zweistufiger Prozess aufgefasst wurden. Eine nahtlose Integration in der Form, dass alle Risikoaspekte von vorne herein in der Erstellung und Ableitung der Planungs- und Steuerungsmaßnahmen berücksichtigt werden, ließ sich aufgrund der großen Komplexität der Probleme nicht durchgehend bewerkstelligen.

Für alle Bedarfskonstellationen wurden unter Berücksichtigung der in der Hauptfragestellung angeführten Parameter erfolgsversprechende Planungs- und Steuerungsmaßnahmen sowie Möglichkeiten zur Bewertung und Quantifizierung der mit ihnen verknüpften Risiken angegeben. Mit der Anwendung der linearen Optimierung ist überdies sogar die Möglichkeit gegeben, mathematisch optimale Planungs- und Steuerungsmaßnahmen für die Erwartungswerte der Forecasts abzuleiten. Lediglich bei nichtlinearen Kostenfunktionen sind hierbei bestimmte Einschränkungen zu beachten, die jedoch in den meisten Fällen durch gezielt gesetzte Restriktionen im Optimierungsmodell umgehbar sein dürften.

Die *Anforderungen der dritten Hauptfragestellung* konnten damit erfüllt werden.

Abgesehen von der dritten Hauptfragestellung erscheint interessant, dass sich *Musterbedarfsverläufe* und *Lieferkettentypen* bilden ließen. Die Musterbedarfsverläufe könnten für jede weitere bzw. auch jede andere im Zusammenhang mit Bedarfsverläufen stehende Untersuchung von Nutzen sein. Bzgl. der Lieferkettentypen hat sich gezeigt, dass bestimmte Lieferkettentypen auch bestimmte Planungs- und Steuerungsmaßnahmen erfordern, was auch Auswirkungen auf das Auftreten des Verkaufs gegenüber dem Kunden hat und dass die Zuordnung einer Lieferkette zu einem bestimmten Lieferkettentyp auch von den Budgetdaten bestimmt ist. Darüber hinaus lassen sich aus den in Kapitel 8 gewonnenen Erkenntnissen, Kriterien dafür ableiten, welche Eigenschaften Lieferketten haben sollten, um unvorhergesehene Bedarfsschwankungen bestimmten Ausmaßes ohne gravierende Auswirkungen auf die Ertragssituation bewältigen zu können.

Bzgl. der *Anwendung der linearen Optimierung* ist zu bemerken, dass diese aufwändig erscheinen mag. Dem ist entgegen zu halten, dass es abgesehen von auf Schätzungen, Probieren und Intuition beruhenden Verfahren kaum Alternativen zur oben erläuterten Anwendung der linearen Optimierung geben dürfte. Auch bringt die Abbildung der Festlegung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auf Basis von Forecastdaten in der Form eines Problems der linearen Optimierung wertvolle Aufschlüsse über die Struktur des jeweiligen Planungsproblems.

Ganz abgesehen davon muss beachtet werden, dass erst *eine Erhebung und Transformation von Forecastdaten in Planungs- und Steuerungsmaßnahmen* die Voraussetzung dafür schafft, die *vollen Deckungsbeitragspotentiale* durch vorausschauende Planung ausschöpfen zu können. Je unzureichender die Erhebung und der Umgang mit Forecastdaten ist, umso mehr wird das Unternehmensergebnis vom Zufall bestimmt und daher im Regelfall suboptimal sein.

*Weitere Forschungsschritte* könnten darin bestehen, die oben erläuterte Anwendung der linearen Optimierung an realen Lieferketten zu erproben und im Sinne der Praxistauglichkeit eventuell zu vereinfachen, die möglicherweise gegebene Gültig- und Nützlichkeit der festgelegten Lieferkettentypen auch für andere SCM-Problembereiche zu untersuchen und die Festlegung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen unter der Berücksichtigung der mit ihnen verknüpften Risiken noch besser zu integrieren.

## 9 Zusammenfassung

In den letzten fünfzehn Jahren hat angewandtes Forecasting im Zuge der rasanten Entwicklung der Informationstechnologie, der fortschreitenden Vernetzung von Lieferketten und nicht zuletzt vor dem Hintergrund der Globalisierung stark an Bedeutung gewonnen und ist zum unverzichtbaren Bestandteil in der Planung und Steuerung von Lieferketten geworden. Letzteres gilt vor allem für kurz- und mittelfristiges Forecasting, dessen Planungshorizonte eine Maximallänge von einem Jahr erreichen.

Die *Kernaufgabe* von kurz- und mittelfristigem Forecasting besteht in der Prognose von *potentiellen* zukünftigen Absatzmengen und Absatzqualitäten und dem *Abgleich* dieser Prognosen mit den begrenzten Leistungsangeboten der Lieferketten, wie z.B. begrenzten Produktionskapazitäten oder begrenzten Fertigungsmaterialverfügbarkeiten. Dieser Abgleich hat ein möglichst gutes Unternehmensergebnis zum Ziel und beinhaltet die Lösung vielfältiger zum Teil hochkomplexer Planungsaufgaben.

Als typische mit kurz- und mittelfristigem Forecasting verzahnte Planungsaufgaben sind die Planung der Beschaffung, die Produktionsplanung und -steuerung, die Planung der Verkaufsaktivitäten und die Gestaltung der Absatzpolitik zu nennen. Damit steht kurz- und mittelfristiges Forecasting in einem engen Kontext mit der Beschaffungslogistik, der Produktionslogistik, operativem Supply Chain Management, der kurz- und mittelfristigen Absatzplanung, der Budgetierung und der Kostenrechnung. Darüber hinaus umfasst kurz- und mittelfristiges Forecasting aber auch Aktivitäten, die als *forecastspezifisch* bezeichnet werden können. In diesem Kontext sind vor allem die auf mathematischen Beziehungen, Statistik und Zeitreihen basierende Anwendung quantitativer Methoden zur Forecasterstellung, die Erstellung von Forecasts auf Basis subjektiver Einschätzungen von Know-How-Trägern und die Etablierung und die Weiterentwicklung von organisationsübergreifenden Forecastprozessen zu nennen.

Gerade dieser letzte Bereich der *Entwicklung von effizienten organisationsübergreifenden Forecastprozessen*, welcher unmittelbar mit der Unternehmensorganisation, den forecastspezifischen Kommunikationsabläufen im Unternehmen und den Leistungsparametern des Unternehmens verbunden ist, wird von führenden Forschern als jenes Forschungsfeld gesehen, das im Gegensatz zur Entwicklung neuer und besserer Forecastmethoden bisher *nur unzureichend erforscht* ist und darüber hinaus am ehesten Potential zur Weiterentwicklung angewandten Forecastings im Allgemeinen beinhaltet.

In diese Lücke stößt die vorliegende Dissertation. Ihr Ziel besteht darin, drei Forschungsfragen zu lösen, welche vor allem Probleme der forecastspezifischen organisationsübergreifenden Kommunikation, der Gestaltung von Forecastprozessen in Unternehmen und der Ableitung von gleichfalls organisationsübergreifenden operativen Planungs- und Steuerungsmaßnahmen aus den Forecastdaten beinhalten.

Diese drei Forschungsfragen wurden aus einer umfassenden Literaturrecherche, welche ein Kapitel der Dissertation bildet, abgeleitet. Zu ihrer Lösung wurden eine Reihe von

etablierten Werkzeugen um Hilfsmitteln aus den Fachbereichen Logistik, Produktionsplanung und -steuerung, Supply Chain Management und angewandte Mathematik eingesetzt. Darüber hinaus wurden aber auch zahlreiche neue Lösungsansätze erarbeitet und angewandt sowie Erfahrungen, Fallbeispiele und Daten aus der langjährigen Tätigkeit des Autors als Vertreter der Produktionsplanung und -steuerung der zentralen Supply Chain Management Abteilung von RHI-Refractories in regelmäßig stattfindenden Forecastmeetings eingebunden.

Die **erste Hauptfragestellung** richtet sich gegen ein Problem, das in der einschlägigen Forecastliteratur als „Gaming“ oder „Game Playing“ bekannt ist. Darunter wird die zumeist mit Prämiensystemen, der Ressourcensicherung oder mit ehrgeizigen Verkaufszielen in Verbindung stehende, *bewusste und vorsätzliche* Abgabe von signifikant *zu großen* oder *zu kleinen* Forecastmengen durch Verkaufsmitarbeiter verstanden. Werden Lieferketten auf Basis solcher Forecasts geplant, so resultieren daraus Unternehmensergebnisse, die hinter den potentiell erreichbaren zurück bleiben. Als Gegenmaßnahmen werden in der Literatur kritische Bewertungen abgegebener Forecasts im Bewusstsein der Möglichkeit von Falschinformationen und unter Berücksichtigung der zugrunde liegenden Motive empfohlen.

Der in dieser Dissertation vorgeschlagene Ansatz geht einen Schritt weiter: Davon ausgehend, dass Forecastbedarfe durch eingehende Kundenaufträge sukzessive substituiert werden und dieser Substitutionsvorgang aufgrund der Verteilung der Längen von Lieferzeiten, mit welchen die Kundenaufträge eingehen, bestimmte Gesetzmäßigkeiten aufweist, konnte ein *mathematisches Kriterium* gebildet werden, das eine Aussage darüber erlaubt, ob *gegebene* Forecasts auf Basis des Auftragsstandes als realistisch angesehen werden können oder als unrealistisch zu sehen sind und hinterfragt werden müssen. Die Datenbasis zur Anwendung des Kriteriums sind historische Bedarfsverläufe, die nach ihren historischen Lieferzeiten differenziert werden, und die zu einem Stichtag vorliegenden Istauftragstände aus bereits bestehenden Kundenaufträgen.

Das vorgestellte Kriterium konnte theoretisch begründet und anhand zweier umfangreicher Fallbeispiele aus Istdaten von RHI-Refractories verifiziert werden. Die Forecastfehler der Fallbeispiele wurden frühzeitig als solche erkannt.

Darüber hinaus zeigte sich im Kontext mit den Fallbeispielen, dass quantitative Forecasts, welche auf Basis von dem Kriterium zugrunde liegenden Beziehungen erstellt werden, durch die zusätzliche Differenzierung der historischen Bedarfe *entsprechend ihrer Lieferzeiten* in bestimmten Planungshorizonten wesentlich *kleinere* Forecastfehler aufweisen als Forecasts, die nach etablierten quantitativen Methoden in Form von ARIMA-Modellen auf Basis der undifferenzierten Zeitreihen erstellt wurden.

Damit hat der neue Ansatz einer *systematischen Nutzung der Verteilungen von Lieferzeiten* nicht nur zu einem Kriterium geführt, das es erlaubt, gegebene Forecasts zu überprüfen sondern auch zur Möglichkeit, die Genauigkeit quantitativer Forecasts in bestimmten Planungshorizonten signifikant zu steigern. Daraus eröffnet sich ein weites Feld von weiteren Forschungsfragen und potentiellen Anwendungsmöglichkeiten. Eine wesentliche offene Forschungsfrage besteht darin, welche Voraussetzungen gegeben sein müssen, damit quantitative Forecasts, welche auf Basis einer Differenzierung der historischen Bedarfsmengen nach Lieferzeitklassen erstellt werden, kleinere Forecastfehler aufweisen als nach etablierten quantitativen Methoden erstellte Forecasts. Als potentielle Anwendungsmöglichkeiten und weitere Forschungsbereiche seien die

Festlegung von Sicherheitsbeständen in der Lagerdisposition und die Erstellung von kumulierten Forecasts für die Belegung von Engpässen genannt.

In Form der **zweiten Hauptfragestellung** wurde ein Problemfeld bearbeitet, das unmittelbar mit der Organisation von Forecastprozessen und der organisationsübergreifenden forecastspezifischen Kommunikation zu tun hat.

Das mit der zweiten Hauptfragestellung korrespondierende Ziel besteht darin, eine *Anleitung für die Ausarbeitung von Forecastebensystemen mit organisationsübergreifendem Charakter* (FCES-OCs) zu erstellen. Wobei sich FCES-OCs dadurch auszeichnen, dass sie als *Plattform* für eine *effiziente* forecastspezifische *organisationsübergreifende* Kommunikation dienen und überdies all jene Informationen enthalten, die zur *Ausarbeitung von unternehmenszielorientierten Planungs- und Steuerungsmaßnahmen* auf Basis von Forecastdaten erforderlich sind.

Die Hauptschwierigkeiten, die sich in diesem Zusammenhang stellten, waren die der Dissertation zugrunde gelegten Rahmenbedingungen von einigen zehntausend Endartikeln, einigen tausend Lagerpositionen sowie komplexen und weltumspannenden Liefernetzwerkstrukturen mit einer Vielzahl von Produktionsstätten und Vertriebseinheiten und darüber hinaus die unterschiedlichen Anforderungen der verschiedenen am Forecastprozess beteiligten Organisationseinheiten.

Zur Bewältigung dieser Probleme wurde ein Ansatz gewählt, der in der Literatur bisher nicht präsent ist: Endartikel wurden auf Basis der *Lieferkettenstrukturen* geclustert, zu Forecastebenen zusammengefasst und über die MRP-Logik miteinander verknüpft.

Die Clusterung auf Basis der Lieferkettenstrukturen erfolgt so, dass sich in einem bestimmten Cluster zusammengefasste Endartikel in der forecastspezifischen Planung und Steuerung *gleichartig* verhalten. Daraus und aus einer vielschichtigen und an den Unternehmenszielen orientierten *Analyse und Selektion* jener Liefernetzwerkelemente, die in FCES-OCs geführt werden sollten, ergibt sich eine *Komplexitätsreduktion*, deren Ausmaß überdies je nachdem, wie groß die Ressourcen für die Betreibung des Forecastprozesses sind, nach Effizienzkriterien steuern lässt. Damit ist es möglich, die Komplexität von weltumspannenden Liefernetzwerken im Kontext mit der forecastbasierenden Planung und Steuerung dieser Netzwerke *auf ein nach Gesichtspunkten der Effizienz bestimmtes Maß zu reduzieren*.

Abgesehen davon wurde der erforderliche Dateninhalt und die Struktur von FCES-OCs im Wechselspiel mit der dritten Hauptfragestellung erarbeitet. Ein zentrales Problem, das in diesem Kontext gelöst wurde, besteht in der Frage, *wie FCES-OCs ausgebildet sein müssen*, damit Liefernetzwerke auf Basis von *durch den Verkauf erstellten Forecasts* gezielt und kontrolliert geplant und gesteuert werden können. Darüber hinaus kann die vorgestellte Anleitung auch dazu genutzt werden, die Grundlage für die Anwendung *hochkomplexer* Planungstechniken wie z.B. die lineare Optimierung im Kontext mit *allen* nach aktuellem Stand der Literatur zur Verfügung stehenden Planungs- und Steuerungsstrategien zu schaffen.

Weitere Forschungsschritte könnten darin bestehen, die erarbeitete Anleitung auf eine Vielzahl realer Liefernetzwerke anzuwenden, um die Anleitung anhand dessen weiter zu entwickeln und Aufschlüsse über die Komplexität bzw. die Teilbarkeit von Liefernetzwerken zu gewinnen.

Die **dritte Hauptfragestellung** wendet sich einem Problem zu, dessen Lösung für den Erfolg von angewandtem Forecasting in der Praxis zwar von entscheidender Bedeutung ist, das in der Literatur aber bisher nur ansatzweise und bruchstückhaft diskutiert wird:

Es geht um die *Ausarbeitung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen auf Basis von Forecastdaten mit dem Ziel einer Unternehmensergebnisoptimierung*.

Zur Lösung dieses Problems wurden *Musterfälle von Bedarfsverläufen* gebildet, die alle erdenklichen Bedarfsverläufe repräsentieren. In einem weiteren Schritt wurden *Lieferkettentypen* identifiziert, die sich aus den jeweils lieferkettenspezifisch umsetzbaren Planungs- und Steuerungsstrategien im Zusammenhang mit den budgetierten Produktionsmengen ableiten.

Die Lieferkettentypen und die Musterbedarfsverläufe wurden zu *zwanzig unterschiedlichen Bedarfsmuster-Lieferkettentypen-Konstellationen* kombiniert. Für jeden einzelnen dieser Fälle werden aus der Palette der zur Verfügung stehenden Planungs- und Steuerungsstrategien erfolgsversprechende Strategien selektiert.

Aus dieser Betrachtung ergeben sich zum Teil hochkomplexe Planungsaufgaben, zu deren Lösung die mit den Planungs- und Steuerungsstrategien sowie den Liefernetzwerk- und Absatzmarktstrukturen im Kontext stehenden Planungsprobleme durch eine strikte Strukturierung aller Elemente auf ein *gemischt ganzzahliges lineares Optimierungsproblem* zurück geführt wurden. Als der in der Zielfunktion zu maximierende Parameter wurde dabei der gesamte Deckungsbeitrag im Unternehmen gesetzt. Dadurch wird es möglich, aus der linearen Optimierung auch für hochkomplexe Planungsprobleme *mathematisch optimale Planungs- und Steuerungsmaßnahmen* abzuleiten.

Darüber hinaus wird erläutert, wie *durch Forecastfehler bedingte Risiken* bestimmter Planungs- und Steuerungsmaßnahmen monetär bewertet werden können. Dazu ist zu bemerken, dass die Festlegung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen und die Bewertung der Risiken dieser Maßnahmen in einigen Bereichen aufgrund der Problemkomplexität als iterativer Prozess angesetzt werden musste.

Weitere im Zusammenhang mit der dritten Hauptfragestellung stehende Forschungsschritte könnten darin bestehen, die gewonnenen Erkenntnisse an realen Lieferketten in Form von Feldversuchen zu erproben und im Sinne der Praxistauglichkeit eventuell zu vereinfachen, den möglicherweise gegebenen Nutzen der festgelegten Lieferkettentypen auch für andere SCM-Problembereiche zu untersuchen und die Festlegung von Planungs- und Steuerungsmaßnahmen unter der Berücksichtigung der mit ihnen verknüpften Risiken noch besser zu integrieren.

## Literaturverzeichnis

Abraham, B., Ledolter, J., 1983: Statistical methods for forecasting. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, John Wiley & sons, ISBN 0-471-86764-0.

Bonney, M., Ratchev, S., Moualek, I., 2003. The changing relationship between production and inventory examined in a concurrent engineering context. *International Journal Production Economics* 81-82, 243-254.

Brock, D., M., Barry, D., 2003. What if planning were really strategic? Exploring the strategy-planning relationship in multinationals. *International Business Review*, 12, 543-561.

Bunn, D., W., Vassilopoulos, A., I., 1999. Comparison of seasonal estimation methods in multi-item short-term forecasting. *International Journal of Forecasting* 15, 431-443.

de Haan, J., Yamamoto, M., Lovink, G., 2001. Production planning in Japan: Rediscovering lost experiences or new insights?. *Int. J. Production Economics* 71, 1001-109.

Domschke, W., Drexl, A., 1990. Einführung in Operations Research. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, ISBN 3-540-53105-X.

Donselaar van, K., Kopcak, L., R., Wouters, M., 2001. The use of advance demand information in a project-based supply chain. *European Journal Of Operational Research*, 1320 (2001) 519-538.

Duke.edu, 2007. Decision 411 Forecasting. Online im Internet URL: <<http://www.duke.edu/~mau/411home.htm>> (Abruf am 05.08.2007).

Egger, A., Winterheller, M., 1996: Kurzfristige Unternehmensplanung, Wien, Linde, ISBN 3-85122-554-6.

ElHafsi, M., 2000. An operational decision model for lead-time and price quotation in congested manufacturing systems. *European Journal of Operational Research*, 126, 355-370.

Ellinger, T., Beuermann, G., Leisten, R., 2003. Operations Research. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, ISBN 3-540-00477-7.

Erengüc, S., S., Simpson, N., C., Vakharia, A., J., 1999. Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review. *European Journal of Operational Research*, 115, 219-236.

Fahrmeir, L., Künstler, R., Pigeot, I., Tutz, G., 1997. Statistik. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, ISBN 3-540-62956-4.

Fildes, R., Bretschneider, S., Collopy, F., Lawrence, M. Stewart, D., Winklhofer, H., Mentzer, J. T., Moon, M. A. 2002. Researching sales Forecasting Practice; Commentaries and authors' response on "Conducting a Sales Forecasting Audit" by M.A. Moon, J.T. Mentzer & C.D. Smith. International Journal of Forecasting, PII: S0169-2070(02)00033-X.

Fliedner, G., 1999. An investigation of aggregate variable time series forecast strategies with specific subaggregate time series statistical correlation. Computers & Operational Research, 26, 1133-1149.

Fliedner, G., Lawrence, B., 1995. Forecasting system parent group formation: An empirical application of cluster analysis. Journal of Operations Management, 12, 119-130.

Forecastingprinciples.com, 2007. Software Programs for Forecasting. URL: <<http://www.forecastingprinciples.com/software.html>> (Abruf am 11.08.2007).

Forecasting Software Survey, 2007. URL: <<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/FSS/FSS.html>> (Abruf am 11.08.2007).

Forecast Pro XE, 2007. URL: < [http://www.softguide.de/prog\\_f/pf\\_0051.htm](http://www.softguide.de/prog_f/pf_0051.htm) > (Abruf am 11.08.2007).

Ganeshan, R., Boone, T., Stenger, A., J., 2001. The impact of inventory and flow planning parameters on supply chain performance: An exploratory study. Int. J. Production Economics 71, 111-118.

Giannoccaro, I., Pontrandolfo, P., 2002. Inventory management in supply chains: a reinforcement learning approach. International Journal of Production Economics, 78 (2), 153-161.

Goldratt, E., 2007. A Brief Introduction to TOC and its Thinking Processes, Online im Internet, URL: <<http://www.goldratt.com/whatistoc.htm>> (Abruf 25.02.2007).

Goodwin, P., 2005. How to integrate management judgement with statistical forecasts. Foresight: The International Journal of Applied Forecasting, Issue 1, June 2005, S. 8-12.

Gray Research: MRP II Standard System: Functional Summary, Online im Internet: URL: <<http://www.grayresearch.com/EVALPNTS.htm>> (Abruf am 20.01.2003).

Gudehus, T., 1999. Logistik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-65206-x.

Hegedus, M., G., Hopp, W., H., 2001. Due date setting with supply constraints in systems using MRP. Computers & Industrial Engineering, Volume 39, Issues 3-4, 293-305.

- Heikkilä, J., 2002. From supply to demand chain management: efficiency and customer satisfaction. *Journal of Operations Management*, 20, 747-767.
- Heinen, E., 1991. *Industriebetriebslehre, Entscheidungen im Industriebetrieb*. Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden.
- Hoekstra, S., Romme, J. (Eds.), 1992. *Integral Logistic Structures: Developing Customer-oriented Goods Flow*, McGraw-Hill, London.
- Ireland, R. und Bruce, R., 2000. CPFR: Only the beginning of collaboration. *Supply Chain Management Review*, 4 (4), 80-88.
- Kallrath, J., Maindl, T., I., 2006: *Real Optimization with SAP APO*, Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag, ISBN 10 3-540-22561-7.
- Keil, T., Eloranta, E., Holmström, J., Järvenpää, E., Takala, M., Autio, E., Hawk, D., 2001. Information and communication technology driven business transformation - a call for research. *Computer in Industry*, 44, 263-282.
- Korpela, J., Tuominen, M., 1996. Inventory forecasting with multiple criteria decision toll. *Int. J. Production Economics*, 45, 159-168.
- Kurbel, K., 1995. *Produktionsplanung und -steuerung*. München, Wien, Oldenbourg Verlag, ISBN 3-486-23178-2.
- Lambert, D., M., Cooper, M., C., 2000. Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, 29, 65-83.
- Lamouri, S., Thomas, A., 2000. The two level master production schedule and planning bills in a just in time MRP context. *Int. J. Production Economics*, 64, 409-415.
- Lancioni, R., A. 2000. New Developments in Supply Chain Management for the Millenium. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 1-6.
- Lawrence, M., O'Connor, M., Edmundson, B., 2000. A field study of sales forecasting accuracy and processes. *European Journal of Operational Research*, 122, 151-160.
- Lawrence, M., O'Connor, M., 2000. Sales forecasting updates: how good are they in practice? *International Journal of Forecasting* 16, 396-382.
- Lechner, K., Egger, A., Schauer, R., 1996. *Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*, Wien, Linde, ISBN 3-85122-555-4.
- Luczak, H., Eversheim, W., Schotten, M., 1998. *Produktionsplanung und -steuerung*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 3-540-63009-0.
- Luxhoj, J., T., Riis, J., O., Stensballe, B., 1996. A hybrid econometric-neural network modelling approach for sales forecasting. *International Journal Production Economics*, 43, 175-192.
- Magee, J., F., Copacino, W., C., Rosenfield, D., B., 1985. *Modern Logistics Management*. Wiley, New York.

- Manugistics: Fulfillment Management, Online im Internet: URL: <[http://www.manugistics.com/solutions/fulfillment\\_management.asp](http://www.manugistics.com/solutions/fulfillment_management.asp)> (Abruf am 31.03.2003).
- McIvor, R., Humphreys, L., McCurry, L., 2003. Electronic commerce: supporting collaboration in the supply chain? *Journal of Materials Processing Technology*, 139, 147-152.
- Min, H., Zhou, G., 2002. Supply chain modeling: past, present and future. *Computer & Industrial Engineering* 43, 231-249.
- Moon, M. A., Mentzer, J. T., Smith, C. D., & Garver, M. S., 1998. Seven keys to better forecasting. *Business Horizons*, September-October, 44-52.
- Moon, M., Mentzer, J., Smith, C., 2002: Conducting a sales forecasting audit. In: *Int. J. of Forecasting* 1, S. 5-25.
- Moon, M., Mentzer, T., J., A., Thomas, D., E., 2000. Customer Demand Planning at Lucent Technologies; A Case Study in Continuous Improvement through Sales Forecast Auditing. *Industrial Marketing Management*, 29 (1), 19-26.
- Neumann, K., 1996. *Produktions- und Operationsmanagement*, Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, ISBN 3-540-60929-6.
- Oke, A., 2003. You may not use inventory levels to fill order if....: Evidence form a survey of UK manufacturing plants. *Int. J. Production Economics* 81-82, 85-94.
- Optas: Glossary, Online im Internet: URL: <<http://www.optas.net/Glossary.htm>> (Abruf am 20.01.2003).
- Oracle: Overview of Forecast Consumption, Online im Internet: URL: <<http://sandbox.ait.s.uillinois.edu/oracle/nca/mrp/consume.htm>> (Abruf 20.01.2003).
- Petrovic, D., 2001. Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment. *Int. J. Production Economics*, 71, 429-438.
- Petrovic, D., Rajat, R., Petrovic, R., 1998. Modelling and simulation of a supply chain in an uncertain environment. *European Journal of Operational Research* 109, 299-309.
- Radovilsky, Z., D., 1998. A quantitative approach to estimate the size of the time buffer in the theory of constraints. In: *International of Journal Production Economics* 55, 113-119.
- Ray, S., Jewkes, E., M., 2003. Customer lead time management when both demand and price are lead time sensitive, *European Journal Of Operational Research*, PII S0377-2217(02)00655-0.
- S & V Management Consultants: Supply Chain optimization, Online im Internet: URL: <[http://www.sv-mc.com/services\\_info.htm](http://www.sv-mc.com/services_info.htm)> Abruf am 20.01.03.

- SAP: my SAP - SCM Supply Chain Planning, Online im Internet URL:  
<[http://www.sap.com/solutions/scm/pdf/Supply\\_Chain\\_Plan\\_SolinDetail.pdf](http://www.sap.com/solutions/scm/pdf/Supply_Chain_Plan_SolinDetail.pdf)> (Abruf am 31.03.2003).
- Simons, J., V., Simpson, W., P., 1997. An exposition of multiple constraint scheduling as implemented in the Goal System (formerly DisasterTM). *Production and Operations Management*, Vol. 6, No. 1, Spring.
- Sohal, A. S., Wadell, D., 1994. Forecasting: The Key to Managerial Decision Making. *Management Decision*, 32(1), 41-49.
- Soman, C., A., van Donk, D., P., Gaalman, G., 2002. Combined make-to-order and make-to-stock in food production system. *International Journal Of Production Economics*, PII. S0925-5273(02)00376-6.
- Statgraphics: statgraphics centurion, Online im Internet URL:  
<<http://www.statgraphics.com/>> (Abruf am 05.08.2007).
- Szwejczewski, M., Mapes, J., New, C., 1997. Delivery and trade-offs. *Int. J. Production Economics*, 53, 323-330.
- Tang, O., Grubbström, R., W., 2002. Planning and replanning the master production schedule under demand uncertainty. *Int. J. Production Economics* 78, 323-334.
- Tempelmeier, H., 1992. *Material-Logistik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 3-540-55847-0.
- Thomakos, D., D., Guerard, J., B., Jr., 2003. Naive, ARIMA, nonparametric, transfer function and VAR models: A comparison of forecasting performance. *International Journal of Forecasting*, 1, doi: 10.1016/S0169-2070(03)00010-4.
- Thomas, D., J., Griffin, P., M., 1996. Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research* 94, 1-15.
- van der Vorst, J., G., A., J., Beulens, A., J., M., de Wit, W., van Beck, P., 1998. Supply chain management in food chains: improving performance by reducing uncertainty. *International Transactions in Operational Research*, 5, 487-499.
- van Donk, D., P., 2000. Make to stock or make to order: The decoupling point in the food processing industries. *Int. J. Production Economics*, 69, 297-306
- Verma, R., 1997: *Management Science, Theory of Constraints/Optimized Production Technology and Local Optimization*. In: *Omega, International Journal of Management Science*, Vol. 25, No. 2, S. 189-200.
- von Auer, L., 2003. *Ökonometrie*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, ISBN 3-540-65937-5.
- Weng, K., Z., 1996. Manufacturing lead times, system utilization rates and lead-time-related demand. *European Journal of Operational Research* 89, 259-268.

Westkämper, E., Kirchner, S., Wiendahl, H., H., 2002. Dynamische Lagerstrategien. *ZWF* 97, 1-2, 57-61.

Winklhofer, H., Diamantopoulos, A., & Witt, S. F., 1996. Forecasting practice: a review of the empirical literature and an agenda for future research. *International Journal of Forecasting*, 12, 193-221.

Wöhe, G., Döring, U., 1996: Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, München, Verlag Franz Vahle, ISBN 3 8006 2092 8.

Wotruba, T., R., Thurlow, M., L., 1976. Sales force participation in quota setting and sales forecasting. *Journal of Marketing*, 40, 11-16.

## Anhang

Im folgenden sind die den in den Abschnitten 6.3.1 und 6.3.2 bearbeiteten Fallbeispielen zugrunde liegenden Rohdaten angeführt.

### Rohdaten des Fallbeispiels in Abschnitt 6.3.1 bzw. für das Produktsegment PS<sub>1</sub>

Auftragsnummer	Bedarfsmenge	Datum des Auftragseingangs	Liefertermin
PS1-1	335.714 KG	25.08.2000	05.03.2001
PS1-2	140.891 KG	01.09.2000	27.02.2001
PS1-3	367.242 KG	15.09.2000	02.01.2001
PS1-4	386.805 KG	06.10.2000	12.01.2001
PS1-5	14.679 KG	12.10.2000	05.02.2001
PS1-6	54.346 KG	12.10.2000	27.04.2001
PS1-7	1.045.979 KG	13.10.2000	15.01.2001
PS1-8	271.394 KG	09.11.2000	15.02.2001
PS1-9	59.052 KG	15.11.2000	15.01.2001
PS1-10	173.212 KG	17.11.2000	01.02.2001
PS1-11	119.263 KG	20.11.2000	30.01.2001
PS1-12	413.088 KG	22.11.2000	15.02.2001
PS1-13	8.000 KG	22.11.2000	23.02.2001
PS1-14	410.933 KG	27.11.2000	01.03.2001
PS1-15	29.410 KG	28.11.2000	05.01.2001
PS1-16	261.460 KG	01.12.2000	15.02.2001
PS1-17	176.103 KG	01.12.2000	13.03.2001
PS1-18	126.002 KG	04.12.2000	29.01.2001
PS1-19	38.770 KG	05.12.2000	26.02.2001
PS1-20	541 KG	11.12.2000	31.01.2001
PS1-21	442.289 KG	14.12.2000	28.02.2001
PS1-22	280.059 KG	14.12.2000	12.03.2001
PS1-23	52.888 KG	19.12.2000	28.02.2001
PS1-24	636.822 KG	21.12.2000	26.02.2001
PS1-25	243.915 KG	21.12.2000	28.02.2001
PS1-26	353.670 KG	21.12.2000	28.02.2001
PS1-27	1.219 KG	27.12.2000	07.02.2001
PS1-28	85.695 KG	28.12.2000	06.04.2001
PS1-29	79.080 KG	04.01.2001	20.02.2001
PS1-30	9.874 KG	04.01.2001	06.03.2001
PS1-31	4.353 KG	04.01.2001	08.03.2001

PS1-32	20.439 KG	05.01.2001	12.03.2001
PS1-33	19.931 KG	05.01.2001	12.03.2001
PS1-34	311.541 KG	05.01.2001	16.03.2001
PS1-35	651.941 KG	05.01.2001	10.04.2001
PS1-36	310.045 KG	09.01.2001	19.03.2001
PS1-37	307.595 KG	09.01.2001	03.04.2001
PS1-38	17.806 KG	11.01.2001	09.02.2001
PS1-39	119.727 KG	11.01.2001	09.04.2001
PS1-40	258.505 KG	11.01.2001	09.04.2001
PS1-41	114.060 KG	11.01.2001	09.04.2001
PS1-42	77.892 KG	12.01.2001	13.03.2001
PS1-43	61.940 KG	16.01.2001	03.09.2001
PS1-44	157.575 KG	17.01.2001	07.05.2001
PS1-45	265.435 KG	22.01.2001	28.03.2001
PS1-46	11.879 KG	22.01.2001	02.04.2001
PS1-47	3.079 KG	22.01.2001	07.05.2001
PS1-48	5.282 KG	24.01.2001	25.01.2001
PS1-49	444.927 KG	24.01.2001	04.05.2001
PS1-50	119.212 KG	24.01.2001	07.05.2001
PS1-51	13.458 KG	25.01.2001	31.01.2001
PS1-52	30.616 KG	26.01.2001	07.05.2001
PS1-53	141.698 KG	30.01.2001	02.05.2001
PS1-54	618.802 KG	31.01.2001	03.09.2001
PS1-55	65 KG	06.02.2001	23.02.2001
PS1-56	6 KG	08.02.2001	12.02.2001
PS1-57	6.511 KG	09.02.2001	12.02.2001
PS1-58	26.721 KG	12.02.2001	20.04.2001
PS1-59	140.064 KG	23.02.2001	27.04.2001
PS1-60	4.740 KG	27.02.2001	27.02.2001
PS1-61	3.675 KG	28.02.2001	23.05.2001
PS1-62	188.362 KG	05.03.2001	30.05.2001
PS1-63	42 KG	06.03.2001	08.03.2001
PS1-64	68.110 KG	08.03.2001	03.05.2001
PS1-65	93.550 KG	08.03.2001	09.07.2001
PS1-66	414 KG	13.03.2001	19.04.2001
PS1-67	70.240 KG	13.03.2001	01.06.2001
PS1-68	273.240 KG	13.03.2001	09.07.2001
PS1-69	34.059 KG	15.03.2001	05.06.2001
PS1-70	3.191 KG	19.03.2001	18.06.2001
PS1-71	822.330 KG	21.03.2001	15.06.2001
PS1-72	3.420 KG	23.03.2001	09.04.2001
PS1-73	744.343 KG	23.03.2001	27.06.2001
PS1-74	12.000 KG	26.03.2001	16.05.2001
PS1-75	380 KG	27.03.2001	28.03.2001
PS1-76	78.554 KG	28.03.2001	10.08.2001
PS1-77	1.780 KG	29.03.2001	19.04.2001
PS1-78	278.319 KG	04.04.2001	16.07.2001
PS1-79	310.641 KG	06.04.2001	14.05.2001
PS1-80	106.685 KG	18.04.2001	25.07.2001
PS1-81	10.890 KG	23.04.2001	24.04.2001
PS1-82	70.626 KG	26.04.2001	13.06.2001
PS1-83	25 KG	30.04.2001	08.05.2001

PS1-84	196.439 KG	30.04.2001	15.05.2001
PS1-85	252.400 KG	02.05.2001	15.10.2001
PS1-86	7.224 KG	04.05.2001	07.05.2001
PS1-87	272.047 KG	15.05.2001	13.08.2001
PS1-88	31.270 KG	15.05.2001	13.08.2001
PS1-89	11.833 KG	15.05.2001	13.08.2001
PS1-90	12 KG	23.05.2001	31.05.2001
PS1-91	197.130 KG	28.05.2001	31.05.2001
PS1-92	489.858 KG	01.06.2001	24.08.2001
PS1-93	466.017 KG	07.06.2001	14.12.2001
PS1-94	794 KG	13.06.2001	26.06.2001
PS1-95	15.227 KG	13.06.2001	17.09.2001
PS1-96	449.796 KG	15.06.2001	14.09.2001
PS1-97	8.980 KG	20.06.2001	07.09.2001
PS1-98	153.657 KG	21.06.2001	22.06.2001
PS1-99	22.852 KG	27.06.2001	17.08.2001
PS1-100	1.875 KG	04.07.2001	03.09.2001
PS1-101	232.139 KG	05.07.2001	03.09.2001
PS1-102	288.805 KG	09.07.2001	02.10.2001
PS1-103	18.867 KG	17.07.2001	18.07.2001
PS1-104	18.827 KG	18.07.2001	19.07.2001
PS1-105	162.331 KG	18.07.2001	09.11.2001
PS1-106	228.313 KG	20.07.2001	20.11.2001
PS1-107	134.388 KG	20.07.2001	20.11.2001
PS1-108	2.937 KG	20.07.2001	23.11.2001
PS1-109	277.039 KG	24.07.2001	22.10.2001
PS1-110	9.076 KG	24.07.2001	22.10.2001
PS1-111	122.207 KG	25.07.2001	17.09.2001
PS1-112	40.983 KG	25.07.2001	22.10.2001
PS1-113	19.234 KG	26.07.2001	26.09.2001
PS1-114	189.356 KG	26.07.2001	22.10.2001
PS1-115	22.501 KG	03.08.2001	02.11.2001
PS1-116	30 KG	07.08.2001	09.08.2001
PS1-117	83.371 KG	07.08.2001	13.08.2001
PS1-118	31 KG	08.08.2001	15.08.2001
PS1-119	864 KG	10.08.2001	06.11.2001
PS1-120	1.056.061 KG	15.08.2001	07.11.2001
PS1-121	465.465 KG	15.08.2001	07.12.2001
PS1-122	974.410 KG	21.08.2001	27.11.2001
PS1-123	339.169 KG	29.08.2001	07.12.2001
PS1-124	336.847 KG	29.08.2001	10.12.2001
PS1-125	188.877 KG	30.08.2001	10.12.2001
PS1-126	63.787 KG	30.08.2001	05.02.2002
PS1-127	22.875 KG	04.09.2001	03.12.2001
PS1-128	15.472 KG	05.09.2001	06.09.2001
PS1-129	164.639 KG	05.09.2001	22.01.2002
PS1-130	152.915 KG	06.09.2001	22.01.2002
PS1-131	999.844 KG	10.09.2001	10.05.2002
PS1-132	68 KG	14.09.2001	20.09.2001
PS1-133	608.235 KG	14.09.2001	10.12.2001
PS1-134	413.205 KG	14.09.2001	14.12.2001
PS1-135	10.590 KG	24.09.2001	25.09.2001

PS1-136	67.060 KG	25.09.2001	11.12.2001
PS1-137	66.097 KG	25.09.2001	17.12.2001
PS1-138	187.640 KG	09.10.2001	01.03.2002
PS1-139	197.081 KG	09.10.2001	01.03.2002
PS1-140	42.517 KG	09.10.2001	01.03.2002
PS1-141	375.705 KG	10.10.2001	07.01.2002
PS1-142	48.430 KG	11.10.2001	24.05.2002
PS1-143	281.081 KG	11.10.2001	24.05.2002
PS1-144	168.543 KG	15.10.2001	17.05.2002
PS1-145	409 KG	16.10.2001	26.11.2001
PS1-146	41.477 KG	17.10.2001	10.12.2001
PS1-147	89.996 KG	17.10.2001	17.12.2001
PS1-148	499.398 KG	17.10.2001	11.02.2002
PS1-149	31.563 KG	17.10.2001	11.02.2002
PS1-150	941.826 KG	23.10.2001	21.12.2001
PS1-151	45.260 KG	30.10.2001	19.03.2002
PS1-152	5.222 KG	07.11.2001	08.11.2001
PS1-153	89.434 KG	08.11.2001	14.12.2001
PS1-154	70.898 KG	19.11.2001	29.11.2001
PS1-155	24 KG	23.11.2001	27.11.2001
PS1-156	50.066 KG	29.11.2001	04.02.2002
PS1-157	110.440 KG	29.11.2001	25.03.2002
PS1-158	90.306 KG	10.12.2001	15.05.2002
PS1-159	1.685 KG	11.12.2001	12.12.2001
PS1-160	25 KG	11.12.2001	14.12.2001
PS1-161	62.719 KG	11.12.2001	14.02.2002
PS1-162	232.067 KG	18.12.2001	18.03.2002
PS1-163	128.123 KG	18.12.2001	15.07.2002
PS1-164	199.738 KG	19.12.2001	18.03.2002
PS1-165	206.153 KG	20.12.2001	29.01.2002
PS1-166	35.796 KG	08.01.2002	04.03.2002
PS1-167	12.375 KG	14.01.2002	16.01.2002
PS1-168	190.309 KG	16.01.2002	02.05.2002
PS1-169	8.930 KG	16.01.2002	01.07.2002
PS1-170	24.786 KG	18.01.2002	08.03.2002
PS1-171	38.182 KG	18.01.2002	08.03.2002
PS1-172	1.632 KG	18.01.2002	08.03.2002
PS1-173	9.063 KG	21.01.2002	24.01.2002
PS1-174	65.985 KG	22.01.2002	02.05.2002
PS1-175	222.589 KG	23.01.2002	18.02.2002
PS1-176	284.044 KG	24.01.2002	03.06.2002
PS1-177	52.101 KG	24.01.2002	10.06.2002
PS1-178	18.095 KG	24.01.2002	10.06.2002
PS1-179	285.435 KG	25.01.2002	10.04.2002
PS1-180	605.718 KG	25.01.2002	29.04.2002
PS1-181	79.443 KG	25.01.2002	29.04.2002
PS1-182	260.415 KG	25.01.2002	03.06.2002
PS1-183	2.489 KG	28.01.2002	28.02.2002
PS1-184	361.017 KG	31.01.2002	29.04.2002
PS1-185	25.902 KG	01.02.2002	25.03.2002
PS1-186	3.783 KG	04.02.2002	09.04.2002
PS1-187	224 KG	06.02.2002	15.03.2002

PS1-188	11.753 KG	07.02.2002	11.02.2002
PS1-189	1.295.708 KG	08.02.2002	22.04.2002
PS1-190	398.406 KG	15.02.2002	29.04.2002
PS1-191	12.205 KG	18.02.2002	29.04.2002
PS1-192	226.345 KG	21.02.2002	03.06.2002
PS1-193	185.050 KG	21.02.2002	03.06.2002
PS1-194	30.704 KG	21.02.2002	07.06.2002
PS1-195	651.408 KG	22.02.2002	24.06.2002
PS1-196	339.393 KG	27.02.2002	01.07.2002
PS1-197	10.426 KG	28.02.2002	01.03.2002
PS1-198	69.300 KG	01.03.2002	01.07.2002
PS1-199	49.346 KG	08.03.2002	08.05.2002
PS1-200	7.197 KG	11.03.2002	13.03.2002
PS1-201	296.214 KG	11.03.2002	22.04.2002
PS1-202	382.179 KG	11.03.2002	22.04.2002
PS1-203	15.043 KG	12.03.2002	05.04.2002
PS1-204	432.090 KG	18.03.2002	15.07.2002
PS1-205	519.403 KG	21.03.2002	15.07.2002
PS1-206	196.071 KG	22.03.2002	03.06.2002
PS1-207	414 KG	25.03.2002	12.04.2002
PS1-208	31.530 KG	25.03.2002	04.07.2002
PS1-209	17.130 KG	03.04.2002	13.06.2002
PS1-210	17.815 KG	03.04.2002	13.06.2002
PS1-211	168.721 KG	03.04.2002	19.06.2002
PS1-212	4.121 KG	03.04.2002	26.06.2002
PS1-213	3.654 KG	03.04.2002	26.06.2002
PS1-214	369.573 KG	04.04.2002	28.05.2002
PS1-215	177.745 KG	04.04.2002	28.05.2002
PS1-216	60.929 KG	08.04.2002	10.04.2002
PS1-217	880 KG	08.04.2002	01.07.2002
PS1-218	167 KG	11.04.2002	29.04.2002
PS1-219	286.369 KG	17.04.2002	02.08.2002
PS1-220	623.516 KG	17.04.2002	12.09.2002
PS1-221	7.160 KG	23.04.2002	24.04.2002
PS1-222	22 KG	23.04.2002	29.04.2002
PS1-223	209.842 KG	23.04.2002	01.10.2002
PS1-224	345.362 KG	23.04.2002	01.10.2002
PS1-225	459.993 KG	24.04.2002	02.09.2002
PS1-226	80.042 KG	24.04.2002	01.10.2002
PS1-227	521 KG	25.04.2002	22.07.2002
PS1-228	14.879 KG	29.04.2002	15.07.2002
PS1-229	18.940 KG	29.04.2002	15.07.2002
PS1-230	9.136 KG	02.05.2002	29.07.2002
PS1-231	45.200 KG	06.05.2002	18.06.2002
PS1-232	1.519 KG	06.05.2002	22.07.2002
PS1-233	371.561 KG	13.05.2002	14.08.2002
PS1-234	72.920 KG	13.05.2002	14.08.2002
PS1-235	71.343 KG	14.05.2002	17.07.2002
PS1-236	109.466 KG	17.05.2002	05.08.2002
PS1-237	209.712 KG	03.06.2002	26.08.2002
PS1-238	217.825 KG	03.06.2002	11.09.2002
PS1-239	24.334 KG	04.06.2002	02.09.2002

PS1-240	56.376 KG	04.06.2002	09.09.2002
PS1-241	69.612 KG	12.06.2002	18.06.2002
PS1-242	31.296 KG	12.06.2002	21.06.2002
PS1-243	72.656 KG	12.06.2002	16.09.2002
PS1-244	21.993 KG	13.06.2002	13.06.2002
PS1-245	1.143 KG	18.06.2002	21.06.2002
PS1-246	4.723 KG	18.06.2002	05.08.2002
PS1-247	36 KG	19.06.2002	28.06.2002
PS1-248	1.672.241 KG	26.06.2002	15.10.2002
PS1-249	891 KG	01.07.2002	29.07.2002
PS1-250	5.545 KG	02.07.2002	19.11.2002
PS1-251	99.650 KG	03.07.2002	24.09.2002
PS1-252	725.572 KG	10.07.2002	07.10.2002
PS1-253	148.734 KG	11.07.2002	23.07.2002
PS1-254	675.087 KG	11.07.2002	18.09.2002
PS1-255	1.201.429 KG	15.07.2002	14.11.2002
PS1-256	636.133 KG	25.07.2002	11.11.2002
PS1-257	37.024 KG	31.07.2002	02.08.2002
PS1-258	272.012 KG	02.08.2002	01.10.2002
PS1-259	21.225 KG	05.08.2002	12.09.2002
PS1-260	23.551 KG	07.08.2002	09.08.2002
PS1-261	2.600 KG	09.08.2002	16.09.2002
PS1-262	61.094 KG	12.08.2002	06.12.2002
PS1-263	35.856 KG	15.08.2002	02.12.2002
PS1-264	99.912 KG	15.08.2002	03.12.2002
PS1-265	3.998 KG	22.08.2002	23.08.2002
PS1-266	114.766 KG	30.08.2002	14.02.2003
PS1-267	411 KG	02.09.2002	30.09.2002
PS1-268	275.146 KG	02.09.2002	18.10.2002
PS1-269	594 KG	02.09.2002	26.11.2002
PS1-270	428.263 KG	02.09.2002	06.03.2003
PS1-271	3.000 KG	03.09.2002	06.09.2002
PS1-272	275.433 KG	03.09.2002	06.12.2002
PS1-273	256.661 KG	06.09.2002	05.11.2002
PS1-274	1.513 KG	10.09.2002	23.09.2002
PS1-275	994.784 KG	24.09.2002	20.01.2003
PS1-276	39.933 KG	25.09.2002	17.12.2002
PS1-277	8.975 KG	25.09.2002	17.12.2002
PS1-278	226.031 KG	01.10.2002	02.01.2003
PS1-279	652.581 KG	11.10.2002	13.01.2003
PS1-280	327.377 KG	25.10.2002	03.01.2003
PS1-281	297.417 KG	25.10.2002	23.01.2003
PS1-282	317.193 KG	28.10.2002	18.12.2002
PS1-283	82.906 KG	29.10.2002	07.01.2003
PS1-284	50.534 KG	12.11.2002	18.11.2002
PS1-285	47.240 KG	12.11.2002	18.12.2002
PS1-286	1.475 KG	19.11.2002	03.02.2003
PS1-287	213.122 KG	20.11.2002	22.11.2002
PS1-288	3.143 KG	21.11.2002	23.12.2002
PS1-289	15.079 KG	22.11.2002	17.02.2003
PS1-290	11.810 KG	27.11.2002	28.11.2002
PS1-291	30.318 KG	03.12.2002	05.12.2002

PS1-292	61.424 KG	09.12.2002	30.01.2003
PS1-293	972 KG	10.12.2002	21.02.2003
PS1-294	21.665 KG	12.12.2002	27.01.2003
PS1-295	24.228 KG	17.12.2002	19.12.2002
PS1-296	5.741 KG	17.12.2002	14.01.2003
PS1-297	9.384 KG	20.12.2002	10.01.2003
PS1-298	17.633 KG	02.01.2003	07.01.2003
PS1-299	665 KG	03.01.2003	29.01.2003
PS1-300	39.767 KG	06.01.2003	05.03.2003
PS1-301	20 KG	08.01.2003	05.03.2003
PS1-302	429 KG	15.01.2003	31.01.2003
PS1-303	405.998 KG	15.01.2003	14.04.2003
PS1-304	462.481 KG	16.01.2003	14.04.2003
PS1-305	51.949 KG	16.01.2003	14.04.2003
PS1-306	12.935 KG	17.01.2003	07.04.2003
PS1-307	82.493 KG	17.01.2003	14.04.2003
PS1-308	703 KG	29.01.2003	24.03.2003
PS1-309	419 KG	31.01.2003	24.02.2003
PS1-310	106.713 KG	03.02.2003	13.03.2003
PS1-311	22.681 KG	04.02.2003	15.05.2003
PS1-312	305.326 KG	06.02.2003	17.04.2003
PS1-313	578.136 KG	06.02.2003	20.05.2003
PS1-314	339.471 KG	06.02.2003	20.05.2003
PS1-315	80.042 KG	06.02.2003	20.05.2003
PS1-316	142.816 KG	10.02.2003	24.03.2003
PS1-317	235.989 KG	13.02.2003	15.05.2003
PS1-318	1.856 KG	13.02.2003	02.06.2003
PS1-319	255.876 KG	18.02.2003	02.06.2003
PS1-320	587 KG	25.02.2003	18.03.2003
PS1-321	12.788 KG	10.03.2003	17.04.2003
PS1-322	7.497 KG	10.03.2003	25.06.2003
PS1-323	385.038 KG	12.03.2003	23.06.2003
PS1-324	65.380 KG	17.03.2003	16.06.2003
PS1-325	1.338 KG	19.03.2003	05.05.2003
PS1-326	45.161 KG	20.03.2003	05.06.2003
PS1-327	183.155 KG	20.03.2003	05.06.2003
PS1-328	229.895 KG	20.03.2003	05.06.2003
PS1-329	137.909 KG	20.03.2003	06.06.2003
PS1-330	50.904 KG	20.03.2003	20.06.2003
PS1-331	358 KG	24.03.2003	12.05.2003
PS1-332	70.916 KG	24.03.2003	12.05.2003
PS1-333	75.016 KG	25.03.2003	14.05.2003
PS1-334	914.456 KG	26.03.2003	10.06.2003
PS1-335	45 KG	31.03.2003	07.04.2003
PS1-336	66.006 KG	09.04.2003	23.06.2003
PS1-337	2.169 KG	23.04.2003	24.04.2003
PS1-338	88.704 KG	15.05.2003	16.06.2003
PS1-339	13.610 KG	20.05.2003	11.06.2003
PS1-340	672 KG	26.05.2003	26.06.2003
PS1-341	91 KG	17.06.2003	23.06.2003

## Rohdaten des Fallbeispiels in Abschnitt 6.3.2 bzw. für das Produktsegment PS<sub>2</sub>

Auftragsnummer	Bedarfsmenge	Datum des Auftragseingangs	Liefertermin
PS2-1	88.156 KG	18.12.2001	15.07.2002
PS2-2	8.000 KG	07.08.2001	18.02.2002
PS2-3	95.000 KG	07.08.2001	18.02.2002
PS2-4	60.859 KG	16.08.2001	14.02.2002
PS2-5	215 KG	06.09.2001	22.01.2002
PS2-6	8.830 KG	06.09.2001	22.01.2002
PS2-7	168.992 KG	14.09.2001	31.01.2002
PS2-8	701 KG	24.09.2001	20.03.2002
PS2-9	2.775 KG	25.09.2001	24.01.2002
PS2-10	66.963 KG	09.10.2001	04.03.2002
PS2-11	69.550 KG	15.10.2001	22.05.2002
PS2-12	70.058 KG	29.10.2001	15.04.2002
PS2-13	8.150 KG	29.10.2001	23.04.2002
PS2-14	52.130 KG	28.11.2001	15.03.2002
PS2-15	22.680 KG	29.11.2001	25.03.2002
PS2-16	147.179 KG	10.12.2001	15.05.2002
PS2-17	7.882 KG	27.12.2001	02.05.2002
PS2-18	62.850 KG	19.12.2001	16.04.2002
PS2-19	2.377 KG	19.12.2001	15.04.2002
PS2-20	5.340 KG	15.01.2002	01.07.2002
PS2-21	4.895 KG	16.01.2002	01.07.2002
PS2-22	31.227 KG	16.01.2002	29.05.2002
PS2-23	125 KG	23.01.2002	29.01.2002
PS2-24	74.874 KG	24.01.2002	03.06.2002
PS2-25	15.144 KG	28.01.2002	03.06.2002
PS2-26	44.160 KG	25.01.2002	22.04.2002
PS2-27	42.530 KG	29.01.2002	27.03.2002
PS2-28	10.860 KG	30.01.2002	15.05.2002
PS2-29	124.175 KG	31.01.2002	15.05.2002
PS2-30	60.026 KG	04.02.2002	22.05.2002
PS2-31	215.414 KG	28.02.2002	24.06.2002
PS2-32	285.501 KG	28.02.2002	22.07.2002
PS2-33	103.013 KG	28.02.2002	30.07.2002
PS2-34	69.400 KG	28.02.2002	05.08.2002
PS2-35	22.375 KG	28.02.2002	16.08.2002
PS2-36	2.113 KG	21.02.2002	10.06.2002
PS2-37	88.230 KG	26.02.2002	01.07.2002
PS2-38	8.945 KG	28.02.2002	28.02.2002
PS2-39	3.180 KG	04.03.2002	15.04.2002
PS2-40	118 KG	15.03.2002	22.07.2002
PS2-41	56.939 KG	22.03.2002	01.07.2002
PS2-42	24.525 KG	25.03.2002	02.07.2002
PS2-43	134.583 KG	28.03.2002	06.08.2002
PS2-44	5.740 KG	05.04.2002	14.06.2002
PS2-45	3.020 KG	15.04.2002	18.07.2002
PS2-46	7.552 KG	16.04.2002	19.08.2002

PS2-47	7.552 KG	16.04.2002	19.08.2002
PS2-48	35 KG	18.04.2002	25.04.2002
PS2-49	140.980 KG	23.04.2002	01.10.2002
PS2-50	3.750 KG	25.04.2002	22.07.2002
PS2-51	102.650 KG	13.05.2002	15.08.2002
PS2-52	33.133 KG	16.05.2002	23.07.2002
PS2-53	2.040 KG	17.05.2002	17.05.2002
PS2-54	24.338 KG	21.05.2002	20.08.2002
PS2-55	62.428 KG	03.06.2002	11.09.2002
PS2-56	105.810 KG	03.06.2002	16.09.2002
PS2-57	5.734 KG	03.06.2002	17.09.2002
PS2-58	3.804 KG	03.06.2002	17.09.2002
PS2-59	9.655 KG	23.05.2002	20.09.2002
PS2-60	50.232 KG	30.08.2002	14.02.2003
PS2-61	4.919 KG	05.06.2002	22.08.2002
PS2-62	179.230 KG	06.06.2002	06.08.2002
PS2-63	44.120 KG	07.06.2002	20.08.2002
PS2-64	30.457 KG	11.06.2002	08.11.2002
PS2-65	3.482 KG	11.06.2002	01.08.2002
PS2-66	52.721 KG	12.06.2002	16.09.2002
PS2-67	106.349 KG	15.07.2002	10.10.2002
PS2-68	86.061 KG	02.07.2002	19.11.2002
PS2-69	2.780 KG	02.07.2002	19.11.2002
PS2-70	115.126 KG	15.07.2002	04.11.2002
PS2-71	136.631 KG	22.07.2002	04.03.2003
PS2-72	9.288 KG	25.07.2002	04.03.2003
PS2-73	3.311 KG	08.08.2002	23.09.2002
PS2-74	50 KG	13.08.2002	19.08.2002
PS2-75	114.719 KG	16.08.2002	10.12.2002
PS2-76	169.425 KG	14.08.2002	10.12.2002
PS2-77	157.880 KG	14.08.2002	10.12.2002
PS2-78	43.985 KG	16.08.2002	10.12.2002
PS2-79	2.545 KG	05.09.2002	27.11.2002
PS2-80	7.450 KG	06.09.2002	11.10.2002
PS2-81	80.822 KG	11.09.2002	28.11.2002
PS2-82	311.813 KG	13.09.2002	17.01.2003
PS2-83	4.555 KG	13.09.2002	29.10.2002
PS2-84	4.155 KG	01.10.2002	02.10.2002
PS2-85	20.150 KG	02.10.2002	04.10.2002
PS2-86	41.635 KG	17.10.2002	03.12.2002
PS2-87	11.103 KG	21.10.2002	06.01.2003
PS2-88	109.495 KG	25.10.2002	20.01.2003
PS2-89	101.225 KG	25.10.2002	07.01.2003
PS2-90	3.115 KG	30.10.2002	04.11.2002
PS2-91	65.169 KG	04.11.2002	31.01.2003
PS2-92	49 KG	04.12.2002	09.12.2002
PS2-93	7.291 KG	19.11.2002	03.02.2003
PS2-94	8 KG	26.11.2002	05.03.2003
PS2-95	230.456 KG	02.12.2002	10.03.2003
PS2-96	95.573 KG	09.12.2002	10.03.2003
PS2-97	55 KG	13.12.2002	17.12.2002
PS2-98	243 KG	20.12.2002	24.03.2003

PS2-99	49.140 KG	03.01.2003	17.02.2003
PS2-100	108.882 KG	03.01.2003	17.03.2003
PS2-101	16 KG	08.01.2003	05.03.2003
PS2-102	177.384 KG	09.01.2003	12.05.2003
PS2-103	146.853 KG	17.01.2003	14.04.2003
PS2-104	615 KG	29.01.2003	03.02.2003
PS2-105	97.742 KG	06.02.2003	23.04.2003
PS2-106	173 KG	18.02.2003	20.02.2003
PS2-107	34.524 KG	09.04.2003	15.08.2003
PS2-108	17.465 KG	05.03.2003	28.04.2003
PS2-109	2.120 KG	14.03.2003	07.04.2003
PS2-110	2.923 KG	21.03.2003	05.06.2003
PS2-111	42.927 KG	21.03.2003	05.06.2003
PS2-112	249.951 KG	10.04.2003	10.09.2003
PS2-113	25.606 KG	30.04.2003	18.08.2003
PS2-114	23.769 KG	30.04.2003	08.09.2003
PS2-115	21.980 KG	30.04.2003	05.02.2004
PS2-116	46.940 KG	28.04.2003	23.06.2003
PS2-117	27.640 KG	30.04.2003	12.09.2003
PS2-118	785 KG	29.04.2003	02.05.2003
PS2-119	69 KG	02.05.2003	16.05.2003
PS2-120	378.917 KG	08.05.2003	03.09.2003
PS2-121	254.785 KG	09.05.2003	15.09.2003
PS2-122	1.128 KG	14.05.2003	11.08.2003
PS2-123	55.632 KG	03.06.2003	15.09.2003
PS2-124	58.192 KG	03.06.2003	17.09.2003
PS2-125	66.467 KG	13.06.2003	22.09.2003
PS2-126	71.721 KG	27.06.2003	15.10.2003
PS2-127	135.652 KG	25.06.2003	06.10.2003
PS2-128	39.160 KG	18.07.2003	30.10.2003
PS2-129	132.907 KG	18.07.2003	15.10.2003
PS2-130	45.768 KG	31.07.2003	27.11.2003
PS2-131	10.785 KG	31.07.2003	13.11.2003
PS2-132	65.992 KG	28.07.2003	12.11.2003
PS2-133	26.925 KG	04.09.2003	04.11.2003
PS2-134	65.662 KG	17.10.2003	20.01.2004
PS2-135	14.505 KG	26.09.2003	03.11.2003
PS2-136	45 KG	09.10.2003	07.11.2003
PS2-137	4.865 KG	16.10.2003	08.12.2003
PS2-138	84.725 KG	16.10.2003	08.12.2003
PS2-139	7.435 KG	15.10.2003	08.12.2003
PS2-140	150.120 KG	15.10.2003	08.12.2003
PS2-141	3.500 KG	21.10.2003	17.12.2003
PS2-142	68.582 KG	21.10.2003	17.12.2003
PS2-143	9.000 KG	21.10.2003	17.12.2003
PS2-144	102.720 KG	04.11.2003	13.02.2004
PS2-145	66.815 KG	11.11.2003	18.02.2004
PS2-146	6.285 KG	17.11.2003	18.12.2003
PS2-147	20.929 KG	28.11.2003	05.04.2004
PS2-148	710 KG	28.11.2003	05.04.2004
PS2-149	1.058 KG	28.11.2003	05.04.2004
PS2-150	5.654 KG	28.11.2003	05.04.2004

PS2-151	3.029 KG	28.11.2003	05.04.2004
PS2-152	57.725 KG	03.12.2003	28.01.2004
PS2-153	92.705 KG	19.12.2003	12.03.2004
PS2-154	77.077 KG	19.12.2003	12.03.2004
PS2-155	76.727 KG	19.12.2003	12.03.2004
PS2-156	35.365 KG	05.01.2004	05.03.2004
PS2-157	920 KG	12.01.2004	02.02.2004
PS2-158	386.234 KG	30.01.2004	14.06.2004
PS2-159	83.047 KG	30.01.2004	21.05.2004
PS2-160	119.301 KG	23.01.2004	07.04.2004
PS2-161	4.125 KG	21.01.2004	24.03.2004
PS2-162	26.162 KG	30.01.2004	03.05.2004
PS2-163	125.941 KG	24.02.2004	07.06.2004
PS2-164	107.437 KG	24.02.2004	21.06.2004
PS2-165	174 KG	23.02.2004	22.03.2004
PS2-166	11.125 KG	23.02.2004	25.02.2004
PS2-167	5.952 KG	27.02.2004	07.04.2004
PS2-168	2.784 KG	09.03.2004	14.06.2004
PS2-169	2.870 KG	08.03.2004	07.04.2004
PS2-170	120.390 KG	11.03.2004	26.05.2004
PS2-171	49.822 KG	26.03.2004	01.07.2004
PS2-172	5.820 KG	26.03.2004	01.07.2004
PS2-173	112.947 KG	23.03.2004	02.06.2004
PS2-174	73.785 KG	26.03.2004	14.06.2004
PS2-175	52.410 KG	30.03.2004	17.05.2004
PS2-176	33.729 KG	02.04.2004	25.06.2004
PS2-177	11.542 KG	02.04.2004	21.06.2004
PS2-178	6.365 KG	21.04.2004	14.06.2004
PS2-179	555 KG	22.06.2004	28.06.2004