

Sicherstellen der Abrufe bei Automotive-Zulieferern mit minimalen Kosten unter besonderer Berücksichtigung von Liquiditäts-, Beschäftigungs-, Knowhow- und IT-Restriktionen

Dissertation
zur Erlangung der Würde eines
DOKTORS DER WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN
(Dr. rer. pol.)
der Universität Paderborn

vorgelegt von

Dipl.-Inform. Robin Delius
33102 Paderborn

Paderborn, Februar 2012

Dekan: Prof. Dr. Martin Schneider

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. Wilhelm Dangelmaier

Korreferentin: Prof. Dr. Leena Suhl

Vorwort

Die vorliegende Arbeit ist das Ergebnis einer Kooperation zwischen dem Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. CIM, am Heinz Nixdorf Institut, der International Graduate School „Dynamic Intelligent Systems“ der Universität Paderborn und der TRW Automotive GmbH, Gelsenkirchen.

Ich möchte mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Wilhelm Dangelmaier für die Möglichkeit zur Promotion bedanken, für die engagierte wissenschaftliche Betreuung und seine Geduld in unseren Diskussionen. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. Leena Suhl für die Übernahme des Zweitgutachtens und den weiteren Mitgliedern meiner Prüfungskommission, Prof. Dr. Hans Kleine Büning und Prof. Dr. Stefan Betz.

Mein Dank gilt der TRW Automotive GmbH, insbesondere dem ehemaligen Werkleiter Heinz Stupp. Auch möchte ich seinem Nachfolger, Jens Öhlenschläger, für seine Unterstützung danken. Für die Betreuung im praktischen Umfeld bedanke ich mich bei Max Harrysson. Neben den zahlreichen Begleitern im Unternehmen, die mich in den 3 Jahren ermutigt und unterstützt haben und welchen ich dafür dankbar bin, möchte ich an dieser Stelle besonders Stefan Hermann und Daniel Matern meinen Dank aussprechen.

Meinen Kollegen am Lehrstuhl möchte ich für Ihren Humor und die vielen fachlichen, aber auch nicht-fachlichen, Diskussionen danken. Viele Durststrecken haben wir gemeinsam gemeistert, wobei gerade meinem Bürokollegen und steten Begleiter in den 3 Jahren, Stefan Klöpfer, zu danken ist.

Mein tiefer Dank gilt meinen Eltern, welche mich immer ermutigt haben, neugierig und wissbegierig zu bleiben. Sie haben mich fortwährend motiviert und mich in meiner akademischen Ausbildung unterstützt. Ich danke meiner Familie, meiner Schwester, meinem Schwager und meiner Schwiegermutter, welche immer für mich da waren, wenn ich Sie brauchte.

Meine letzten und innigsten Dankesworte gelten meiner Frau Sonja und meiner Tochter Viktoria Elisa. Beide haben viel auf sich genommen und auch verzichtet, um mich diese Arbeit verfassen zu lassen. Sie waren stets geduldig und gaben mir auch in schwierigen Zeiten Rückhalt und Sicherheit. Ich danke Euch für Eure Unterstützung und Liebe in den vergangenen Jahren!

Paderborn, Mai 2012

Robin Delius

Für Sonja und Viktoria Elisa

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	iv
1 Einleitung	1
2 Problemstellung	3
2.1 Systemabgrenzung des Planungsgegenstands	3
2.1.1 Unternehmerisches Zielsystem	3
2.1.2 Leistungsprozess der Produktion und Logistik	4
2.1.3 Planung	6
2.1.4 Nebenbedingungen	8
2.2 Anforderungsbeschreibung	11
2.2.1 Gliederung des Problembereichs	15
2.2.2 Anforderungen der Nebenbedingungen	16
2.3 Herleitung der Planungskomponenten	19
3 Stand der Technik	22
3.1 Koordination strategischer Zielformulierungen und operativer Planungsaktivitäten	22
3.2 Zentrale, dezentrale und hierarchische Planung in Produktionssystemen	26
3.2.1 Zentrale und dezentrale Planung	26
3.2.2 Hierarchische Planung	27
3.3 Formale Planung operativer Betriebsaktivitäten	29
3.3.1 Produktionsplanung	32
3.3.2 Materialbedarfs- und Bestellmengenplanung	44
3.3.3 Personalplanung	50
3.4 Bewertung und Einordnung	65
4 Zu leistende Arbeit	68
5 Modell-Komposition	71
5.1 Variablen	71
5.1.1 Liquidität	71
5.1.2 Beschäftigung	78

5.1.3	Knowhow	87
5.1.4	Informationstechnologie	90
5.2	Restriktionen.....	104
5.2.1	Liquidität	105
5.2.2	Beschäftigung.....	118
5.2.3	Knowhow	128
5.2.4	Informationstechnologie	131
5.3	Zielfunktionen	135
5.3.1	Liquidität	135
5.3.2	Beschäftigung.....	139
5.3.3	Knowhow	141
5.3.4	Informationstechnologie	143
6	Implementierung.....	148
6.1	Modellbausteine.....	148
6.1.1	Produktionskapazitätsplanung.....	148
6.1.2	Reihenfolgeplanung.....	173
6.1.3	Materialbedarfsplanung	181
6.1.4	Personalbestandsplanung	192
6.1.5	Personalkapazitätsplanung.....	199
6.1.6	Personaleinsatzplanung	207
6.2	Validierung.....	216
6.2.1	Produktionskapazitätsplanung.....	216
6.2.2	Reihenfolgeplanung.....	220
6.2.3	Materialbedarfsplanung	222
6.2.4	Personalbestandsplanung	227
6.2.5	Personalkapazitätsplanung.....	232
6.2.6	Personaleinsatzplanung	235
7	Ausblick.....	238
7.1	Zusammenfassung der Arbeit.....	238
7.2	Grenzen der Arbeit	239
7.3	Weiterführende Arbeiten.....	240
8	Literaturverzeichnis.....	241

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Produktionssysteme	6
Abbildung 2 Prozesse in der Lieferkette	14
Abbildung 3 Unternehmensgliederung in Zahlungs- und Leistungsbereich	18
Abbildung 4 Strategisches und operatives Management tragen gemeinsam zum Erreichen der Unternehmensziele bei	19
Abbildung 5 Gegenüberstellung der Planungsaufgaben und Nebenbedingungen	21
Abbildung 6 Regulärer und Flexibler Schichtbetrieb	79
Abbildung 7 Unterschiedliche Schichtverteilung und deren Auswirkung auf den Personalbedarf.....	80
Abbildung 8 Kapazitätsausgleichs durch Umverteilung von Schichten	82
Abbildung 9 Anwendung eines regulären Zweischichtbetriebs.....	86
Abbildung 10 Zusätzlicher Kapazitätsbedarf in einem Zweischichtbetrieb	86
Abbildung 11 Abstimmung des Personal- und Qualifikationsbestands	87
Abbildung 12 Veranschaulichung einer präventiven Instandhaltung bei leistungsbezogenem Instandhaltungsintervall	93
Abbildung 13 Darstellung von Ereignissen und Schichtparametern, basierend auf Schichtmodell und operativen Größen	95
Abbildung 14 Beispielhafte Darstellung regulärer und zusätzlicher Arbeitszeitvereinbarungen unterschiedlicher Bezugsrahmen	99
Abbildung 15 Beispielhafte Darstellung von Produktionszahlen, Lagerbeständen und Lieferfähigkeit.....	101
Abbildung 16 Beispielhafte Darstellung einer präventiven Instandhaltungsplanung .	101
Abbildung 17 Beispielhafte Darstellung eines Gantt-Charts als Ergebnis einer Ablaufplanung.....	102
Abbildung 18 Beispielhafte Darstellung der Ergebnisbestandteile der Materialversorgungsplanung	103
Abbildung 19 Zusammenhang wichtiger Planungsgrößen in Bezug auf die Bedarfsdeckung.....	105
Abbildung 20 Mehrdimensionalität der Bedarfsdeckung.....	106
Abbildung 21 Ermittlung der Bestandteile des Verfügbarkeitsfaktors	110
Abbildung 22 Ermittlung der Bestandteile der Leistungs- und Qualitätsfaktoren	111
Abbildung 23 Produktionskapazitätsglättung mit unterschiedlichen Bezugsgrößen .	116
Abbildung 24 Verfeinerung der zeitlichen Bezugsgröße	119
Abbildung 25 Angleichung der Schichtkapazität.....	121
Abbildung 26 Von den Planungsgegenständen abgeleitete Modellbausteine	148
Abbildung 27 Unterteilung des Planungshorizonts in Teilprobleme	149
Abbildung 28 Überlappende Planung der Teilprobleme	150

Abbildung 29 Ermittlung von Produktionsbedarfen bei mehrstufiger Fertigung	159
Abbildung 30 Abbildungsäquivalente Planungsperioden bei Verschieben des Planungsbereichs.....	164
Abbildung 31 Berechnung einer minimalen, zulässigen Reichweite	165
Abbildung 32 Beispiel zur Einhaltung von Reichweiten bei aufeinanderfolgenden Teilproblemen	166
Abbildung 33 Vorgehen zur Ermittlung der minimalen und maximalen Produktionsmengen innerhalb eines fixierten Glättungsintervalls	170
Abbildung 34 Kapazitätsverluste beim Einplanen betrieblicher Aktivitäten.....	179
Abbildung 35: Ermittlung zusätzlicher Zeitfenster zur Kopplung von Kapazitäts- und Reihenfolgeplanung	179
Abbildung 36 Anpassen von Anfangs- und Endzeiten der betrieblichen Aktivitäten..	180
Abbildung 37 Herleitung der Binärmatrix des gültigen Bestellbereichs bei Vorlauf von einem Tag	187
Abbildung 38 Einteilung des gültigen Bestellbereichs in einzelne Bestellphasen	189
Abbildung 39 Produktionsmengen im Planungshorizont.....	217
Abbildung 40 Lagerbestand im Planungshorizont	217
Abbildung 41 Einhalten der Lagerkapazitäten im Planungshorizont	218
Abbildung 42 Am Ladungsträgerbestand ausgerichtetes Produktionsprogramm	219
Abbildung 43 Einplanen einer präventiven Instandhaltung	219
Abbildung 44 Verplanen von Schichten innerhalb zulässiger Grenzen	220
Abbildung 45 Abfolge der betrieblichen Aktivitäten in einem fixierten Planungshorizont von 14 Tagen	221
Abbildung 46 Gantt-Diagramm der betrieblichen Aktivitäten	221
Abbildung 47 Bestellmengenverteilung über mehrere Lieferanten	222
Abbildung 48 Detaillierte Betrachtung der Bestellmengenverteilung am Beispiel einer einzelnen Materialnummer.....	223
Abbildung 49 Einbeziehen von Vorlauf- und Transportzeiten in die Planung	224
Abbildung 50 Sicherstellen des eigenen Materialbedarfs	224
Abbildung 51 Ober- und Untergrenzen im Lager.....	225
Abbildung 52 Vorziehen und Zusammenfassen von Bestellauslösungen	226
Abbildung 53 Zusammenfassen von Bestellpositionen unterschiedlicher Materialnummern.....	227
Abbildung 54 Prognose der Bedarfsentwicklung in einem Planungshorizont von vier Jahren	228
Abbildung 55 Verschiebung der Anteile am Produktportfolio	228
Abbildung 56 Entwicklung des Stammpersonalbestands	229
Abbildung 57 Entscheidungsgrößen der Personalbestandsentwicklung.....	230
Abbildung 58 Einsatz des flexiblen Personalbestands	231
Abbildung 59 Flexibilisierungsmaßnahmen der Arbeitsleistung.....	232
Abbildung 60 Verteilung der Teamkapazitäten	233

Abbildung 61 Flexibilisierung der Leistungserbringung	234
Abbildung 62 Darstellung des vollständigen Flexibilisierungspotentials.....	234
Abbildung 63 Planung des Personaleinsatzes bei fünf Teams innerhalb eines Planungszeitraums von 8 Wochen	235
Abbildung 64 Anwendung des Flexibilisierungspotential	236
Abbildung 65 Verteilung der Leistungsdimensionierung über alle Teams	236

1 Einleitung

Langfristiger Unternehmenserfolg basiert auf dem konsequenten Verfolgen einer unternehmerischen Vision, welche den allgemeinen Aktionsraum beschreibt, in dem sich ein Unternehmen bewegen kann. Sie dient der Zielgestaltung, anhand derer strategische Maßnahmen formuliert und Messgrößen definiert werden können. Für die unternehmerische Führungsebene ist es daher unerlässlich, sich darauf verlassen zu können, dass die Vision, welche den strategischen Zielen zugrunde liegt, von allen Unternehmensbereichen geteilt und das Handeln aller Akteure an den relevanten Zielgrößen ausgerichtet wird. Es bedarf einer in allen Planungsbereichen anwendbaren Systematisierung der strategischen Zielgrößen, so dass eine koordinierte und zielgerichtete Entscheidungsgrundlage erarbeitet werden kann, welche über alle Ebenen hinweg dem einheitlichen Zielsystem entspricht.

Zu diesem Zweck ist eine Verknüpfung von strategischen und operativen Größen notwendig, indem die den Zielen inhärenten Erfolgsfaktoren in Beziehung zu operativen Inhalten gesetzt und deren Interdependenzen als maßgebliches Bindeglied der Ebenen verstanden werden, welche somit in ihren jeweiligen Entscheidungsdimensionen miteinander verbunden sind. Daher begründet sich die Motivation der vorliegenden Arbeit. Ein Verfolgen von strategischen Zielen kann nur durch die erfolgreiche Umsetzung operativer Herausforderungen erreicht werden, wobei die Anforderungen beider Ebenen naturgemäß unterschiedlicher Art sind. Durch die optimale Abwicklung der operativen Geschäfte unter Einbeziehung strategisch wichtiger Größen, die den operativen Handlungsrahmen abgrenzen, erfolgt ein transitiv strategisch zielgerichtetes Handeln der ausführenden Ebenen.

In der Automobilzuliefererindustrie ist die rechtzeitige und mengenmäßige Sicherstellung der Kundenabrufe die wichtigste operative Zielgröße, welche dem ökonomischen Prinzip folgend bei minimalem Kostenaufwand verfolgt werden muss. Beeinflusst werden die dafür zu treffenden Entscheidungen von strategischen finanz- und beschäftigungsrelevanten sowie den Handlungsmöglichkeiten vorgebenden informationstechnologischen Faktoren.

In Kapitel 2 wird der aufgezeigte Ansatz detaillierter beschrieben und eine Abgrenzung der planerischen Bereiche und Inhalte vorgenommen. Den strategischen und operativen Größen werden Planungskomponenten zugeordnet, anhand derer in Kapitel 3 ein Stand der Technik erarbeitet wird. Dieser beschreibt die Anforderungen der Koordination von strategischen Zielen und operativen Größen sowie formalen Verfahren, mit denen ent-

sprechende planerische Maßnahmen umgesetzt werden können. Das Kapitel schließt mit einem detaillierten Überblick zu Arbeiten der einzelnen Planungskomponenten sowie einer Bewertung der bisher geleisteten Arbeiten. Kapitel 4 präzisiert die zu leistende Arbeit. Die Systematisierung einer Verknüpfung von strategischen und operativen Größen erfolgt in Kapitel 5, welche in Kapitel 6 anhand konkreter Planungskomponenten implementiert und validiert wird. Ein Abschluss erfolgt in Kapitel 7, welches die geleistete Arbeit zusammenfasst und einen Ausblick auf weiterführende Arbeiten liefert.

2 Problemstellung

2.1 Systemabgrenzung des Planungsgegenstands

2.1.1 Unternehmerisches Zielsystem

Ein Unternehmen¹ ist eine „selbständige Wirtschaftseinheit“², welche „als wirtschaftlich-rechtlich organisiertes Gebilde [...] [eine] nachhaltig ertragbringende Leistung“³ zu erzielen versucht. Anwendung findet unter anderem das erwerbswirtschaftliche Prinzip der Gewinnmaximierung⁴ bei Einhaltung der für ein Unternehmen relevanten Existenzbedingungen. Zu diesen zählen Liquidität, Rentabilität und Wachstum⁵, wobei insbesondere die Liquidität als conditio sine qua non anzusehen ist. Ein Unternehmen verfolgt i.d.R. konkrete Zielvorstellungen, welche sich durch die inner- und außerbetrieblichen Interessens- und Führungsgruppen entwickeln⁶. Ein Leitbild, einheitlich als Globalziel beschrieben, stellt das allgemeine Unternehmungsziel dar⁷ und dient als Maßgabe, an welcher alle weiteren Ziele der einzelnen Organisationsbereiche⁸ ausgerichtet sind. Diese Ziele können zusätzlich in die Zielkategorien *Leistungsziele*, *monetäre Ziele* und *Sozialziele*⁹ unterteilt und somit zu konkreten Zielvorstellungen ausformuliert werden. Es ist üblich, dass Organisationsbereiche mehrere Zielvorstellungen verfolgen, die als *Zielbündel*¹⁰ zusammengefasst werden. Daraus entsteht ein grundlegendes Problem, da sich einzelne Forderungen der Zielbündel konfliktär zueinander verhalten können.

¹ Neben dem Begriff des Unternehmens wird häufig der Begriff der Organisation synonym verwendet

² Siehe [Resc09], S.39

³ ebenda

⁴ Siehe [Gute87], S.191 oder [Jung06], S.35

⁵ Siehe [Bard11], S.310

⁶ Vgl. [Zaep01] S.37 ff. oder [HaLa93], S.9ff

⁷ Vgl. [Witt07], S.51

⁸ Witte (vgl. [Witt07], S.51) differenziert Ziele auf drei Ebenen (Leitziel, Oberziele, Zwischenziele). Das Leitziel bestimmt die Ausrichtung einer Unternehmung. Oberziele können den einzelnen Funktionsbereichen einer Unternehmung zugeordnet werden. Zwischenziele beschreiben zu erreichende (Zwischen-)Zustände, die für das Erreichen der Oberziele relevant sind.

⁹ Vgl. [HaLa93], S.12 oder [Zaep01] S.38

¹⁰ Vgl. [Adam01], S.33

2.1.2 Leistungsprozess der Produktion und Logistik

Für die weitere Begriffsbildung ist der Fokus auf die auftragsorientierte Produktion zu lenken, wie sie in der Automobilzuliefererindustrie vorherrscht. Es gilt im Folgenden auf wesentliche Eigenschaften weitläufiger Begrifflichkeiten einzugehen und diese für eine weitere Anwendung zu definieren.

Abruf

Ein Abruf stellt eine „*Weisung des Käufers an den Verkäufer [dar], eine Ware zu einem bestimmten Zeitpunkt zu liefern*“¹¹. Heutzutage gebräuchlicher ist die Verwendung der Begriffe Kunden- oder Lieferabrufe, wobei insbesondere letzterer im Umfeld der Automobilindustrie genutzt wird. „*Lieferabrufe werden bevorzugt von Automobilherstellern (Besteller) für die Zulieferindustrie (Lieferant) erstellt, um wiederkehrende, jedoch in Menge und/oder Zeit wechselnde Bedarfssituationen übersichtlich gliedern und in gewissen Zeitabständen fortzschreiben zu können*.“¹²

Logistikleistung

In einem auftragsbezogenen Produktionsumfeld stellt die Logistikleistung einen bedeutenden Wettbewerbsfaktor dar, beschreibt sie doch die „*bedarfsgerechte Bereitstellung von Gütern für Kunden*“¹³. Um eine Bewertung der Logistikleistung vornehmen zu können, welche durch den Kunden wahrnehmbar ist, wird der Lieferservice gemessen, welcher durch die Kriterien Lieferzeit, Lieferzuverlässigkeit, Lieferqualität und Lieferflexibilität definiert wird. Ein hoher Lieferservice zeichnet sich insbesondere durch kurze Lieferzeiten sowie hohe Lieferzuverlässigkeit und Lieferqualität aus.

Produktion

Aus der Notwendigkeit heraus, Güter am Markt anbieten oder direkt Kundenbedarfe erfüllen zu können, ist ein Leistungsprozess notwendig, welcher diese Güter erzeugt. Der Begriff der Produktion im Kontext dieser Arbeit lehnt sich an bestehende Definitionen an¹⁴ und beschreibt einen Umwandlungs- bzw. Transformationsprozess, der durch zielgerichtetes menschliches Handeln aus Einsatzgütern materielle Güter, im folgenden Erzeugnisse oder Ausbringungen genannt, erzeugt.

¹¹ Aus DUDEON Online: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Abruf>, Zuletzt abgerufen am 11.08.2011

¹² Siehe [VDA83]

¹³ Siehe [VDI08], S.8

¹⁴ Vgl. [Schn02], [Zaep01] oder [Dang09]

Produktionsfaktor

Es gibt verschiedene Arten von Einsatzgütern, welche für einen geregelten Produktionsablauf notwendig sind. In der Literatur existieren Aufzählungen von vier¹⁵ bis acht¹⁶ verschiedene Typen der Produktionsfaktoren, abhängig vom Umfeld der jeweiligen Leistungserbringung. Im Folgenden wird der Definition von Gutenberg gefolgt, welche Produktionsfaktoren in die Kategorien Elementarfaktoren und Dispositivfaktor gliedert¹⁷:

Elementar-faktoren	Potentialfaktoren	Gebäude, Maschinen, Werkzeuge etc.
	Humanfaktoren	Arbeitsleistung des Menschen
	Verbrauchsfaktoren	Rohstoffe, Halbfertigerzeugnisse, Hilfs- u. Betriebsstoffe
	Dispositivfaktoren	Dispositive, planerische Tätigkeiten

Letzterer umfasst die Führungsfunktionen der Planung und Organisation in Bezug auf die Kombination der Elementarfaktoren¹⁸ und zeichnet sich für das Zustandekommen eines geordneten betrieblichen Prozesses verantwortlich.

Produkt

Ein Produkt¹⁹ ist „*das Ergebnis betrieblicher Leistungsprozesse*“²⁰ und kann nach verschiedenen Aspekten, bezugnehmend auf die jeweilige Produktart, klassifiziert werden. Sabisch definiert ein Produkt als „[...] eine vom Unternehmen am Markt angebotene Leistung, die durch ihre spezifischen Funktionen und Eigenschaften geeignet ist, konkrete Bedürfnisse von Kunden nutzbringend zu befriedigen.“²¹ Synonym findet auch der Begriff des Erzeugnisses Anwendung²², welches in [DIN6789] folgendermaßen beschrieben wird: „*Im Regelfall werden Erzeugnisse aus einer Vielzahl von Gruppen und Einzelteilen zusammengesetzt. Mitunter besteht ein Erzeugnis aber nur aus einem Einzelteil, oder eine bestimmte Gruppe steht sowohl als selbständiges Erzeugnis als auch zum Einbau in andere Erzeugnisse zur Verfügung.*“

¹⁵ Vgl. [Gute87], S.27

¹⁶ Vgl. [Webe80], S.1059ff

¹⁷ Vgl. [Schn02]

¹⁸ Vgl. [Gute87], S.27

¹⁹ Synonym für den Begriff des Produktes wird auch der Begriff des Gutes genutzt

²⁰ S. [Sabi96], S.1439ff

²¹ ebenda

²² Vgl. dazu [Ling94], S.18, [Scho07], S.5 oder [Dang09], S.1

Produktionssystem

Dyckhoff fasst Betriebe und Unternehmungen unter Produktionssystemen zusammen²³. Zusätzlich ergänzt er: „[...] jeder „produktive“, d.h. wertschaffende Teil eines Betriebes bildet ein Produktionssystem [...]“²⁴. Zäpfel formuliert dieses ähnlich²⁵, indem er ein Produktionssystem als Umgebung der „physischen Prozesse der Kombination und Konversion der Produktionsfaktoren“ ansieht. Dieses beinhaltet jede Form von Produktiveinheit auf allen Leistungsebenen bis zum Transformationsprozess (siehe Abbildung 1).

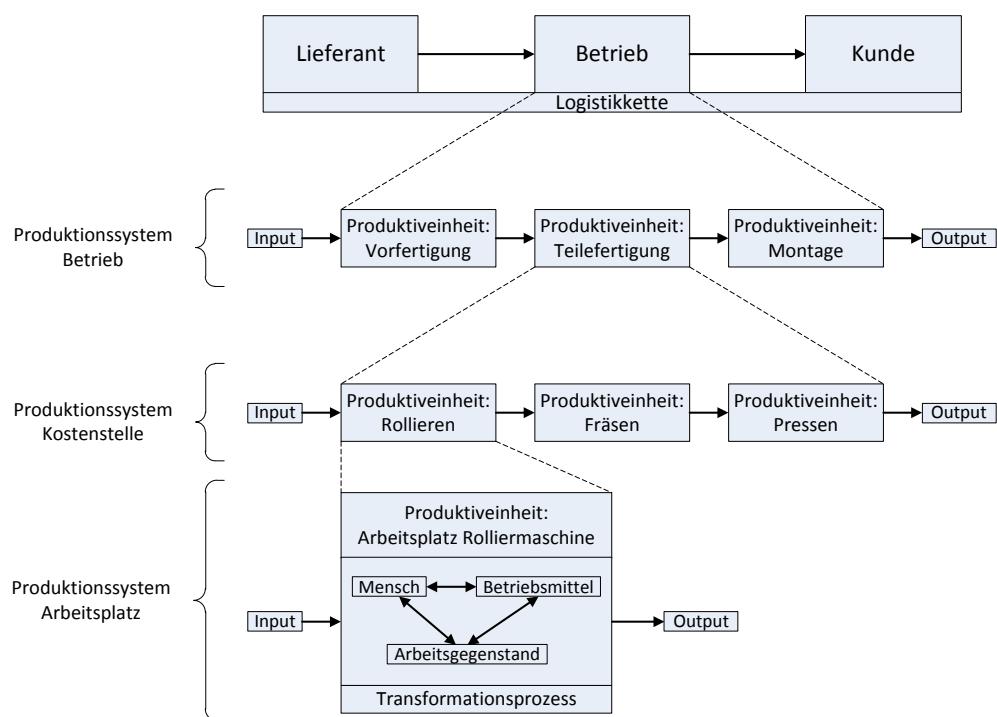


Abbildung 1 Produktionssysteme²⁶

2.1.3 Planung

Im Folgenden wird der Begriff der Planung erläutert. Für die Herleitung des Problemgegenstands ist es ausreichend, diesen auf die Finanz- sowie Produktionsplanung zu beschränken. Somit wird es in Abschnitt 2.2 möglich sein, den Problemgegenstand in einen finanzwirtschaftlichen und produktionswirtschaftlichen Planungsbereich einzugrenzen.

²³ Vgl. [Dyck94], S.11

²⁴ ebenda

²⁵ Siehe [Zaep00a], S.1

²⁶ Eigene Bearbeitung in Anlehnung an [Zaep01]

Allgemein lässt sich Planung als das Treffen von Entscheidungen beschreiben. Sowohl Wall²⁷ wie auch Pfohl/Stölzle²⁸ konkretisieren diesen Begriff indem zusätzlich methodische und systematische Eigenschaften erwähnt werden, welche eine Absicht zur „[...]Formulierung von Zielen und zur Auswahl zielrealisierender Handlungsprogramme [...]“²⁹ beschreiben. Küpper³⁰ beschreibt Planung als „gedankliche Vorwegnahme [und] das Durchdenken künftiger Handlungsmöglichkeiten“ welche als Ergebnis in Plänen resultiert.

Finanzplanung

Unter der Finanzplanung in einem Unternehmen ist die vollständige Erfassung und Gegenüberstellung aller zukünftigen Ausgaben und Einnahmen „mit dem Ziel der Erhaltung des finanziellen Gleichgewichts“³¹ zu verstehen. Infolgedessen ist eine Aufgabe der Finanzplanung, die „Abstimmung von Kapitalbedarf und Kapitaldeckungsmöglichkeiten zur optimalen Erreichung der Unternehmensziele“³² vorzunehmen. Sie bildet die finanzwirtschaftliche Betrachtung der Handlungen im Unternehmen und dient zudem der Aufrechterhaltung der Liquidität. Finanzwirtschaftliche Vorgaben existieren in allen Unternehmensbereichen und wirken auf die jeweiligen Planungsmaßnahmen ein. Finanzplanung i.w.S. wird auf drei Planungsebenen angewendet, die unterschiedlich große Planungshorizonte umfassen. Kurzfristige Planung erfolgt in einem Horizont bis zu 6 Monaten und beschreibt die bereits genannte Liquiditätserhaltung. Konkrete ein- und ausgehende Zahlungsströme sind auf dieser Planungsebene erfass- und abbildbar. Eine mittelfristige Planung von bis zu 4 Jahren beschreibt „Teilziele der langfristigen Unternehmensstrategie und dient Unternehmen als Vorschauplan“³³. Daran knüpft die langfristige Planung mit einem Horizont bis zu 10 Jahren an, welche eine Grobplanung der finanziellen Unternehmensstrategie darstellt.

Produktionsplanung

Produktionsorientierte Unternehmungen, die wirtschaftlich erfolgreich tätig sein wollen, sind auf eine strukturierte und methodische Planung angewiesen, um dieses zu erreichen. Generell sind Unternehmen nicht von einem einzelnen Ziel, sondern von einem Zielsystem geleitet³⁴, das neben wirtschaftlichen auch soziale Vorstellungen beinhaltet.

²⁷ Vgl. [Wall99], S.9ff

²⁸ Vgl. [PfSt96], S.233ff

²⁹ ebenda

³⁰ Siehe [Kuep97], S.81

³¹ Vgl. [Jahr03], S.393

³² ebenda

³³ Vgl. [Jahr03], S.395

³⁴ Vgl. [Zaep01]

Es gilt die gewünschte Menge an Erzeugnissen fristgerecht und in bester Qualität unter ökonomischen Kostenaspekten und bei Einhaltung gesetzlich vorgegebener Arbeitsbedingungen der Mitarbeiter bereitzustellen. Es ist notwendig, die wirtschaftlichste Kombination der Produktionsfaktoren zu erreichen, um langfristig dem Ziel der Wettbewerbsfähigkeit gerecht zu werden. Entsprechende Planungsaufgaben lassen sich in langfristige, mittelfristige und kurzfristige Planungshorizonte gliedern³⁵, die unterschiedliche Zielformulierungen beinhalten. Analog zur Fristigkeit der Planungsaufgaben spricht man auch von strategischer, taktischer und operativer Planung. Strategischer Produktionsplanung obliegt die Aufgabe, Erfolgspotentiale für die Unternehmung zu erschließen, welche „*in Markt- und Produktionspotentiale unterschieden werden*“³⁶ können. Auf der nächsten Planungsebene verfolgt die taktische Produktionsplanung, welche an die strategische Planung anschließt, eine Konkretisierung der erarbeiteten Planungsergebnisse. Auf unterster Ebene findet sich die operative Produktionsplanung, welche „*üblicherweise als Produktionsplanung und -steuerung (PPS) bezeichnet [wird und den, erg. d.d.A.] wirtschaftlichen Vollzug der Aufgabenerfüllung*“³⁷ verfolgt. Auf dieser Planungsebene findet die bestmögliche Kombination der Produktionsfaktoren Anwendung.

2.1.4 Nebenbedingungen

Der Problemgegenstand dieser Arbeit unterliegt einer Vielzahl von Nebenbedingungen, die sich in den Begriffen der Liquidität, Beschäftigung, Knowhow und Informationstechnologie ausdrücken. Konkrete Definitionen dieser, welche für die weitere Betrachtung relevant sind, werden im Folgenden gegeben.

Liquidität

Der Begriff der Liquidität fand bereits in den vorangegangen Abschnitten Erwähnung. So wurde er als eine Existenzbedingung von Unternehmen genannt, ohne welchen ein Fortbestehen nicht möglich ist. Unter Liquidität wird „*die Fähigkeit eines Unternehmens [verstanden], den laufenden Zahlungsverpflichtungen [...] fristgerecht und betragsgenau nachkommen zu können*“³⁸. Aufgrund der hohen Bedeutung, welche der Liquidität zukommt, gilt es im Vorfeld prognostizieren zu können, ob ausreichende finanzielle Mittel gegeben sind, um allen Zahlungsverpflichtungen rechtzeitig nachzu-

³⁵ Vgl. [Schn02]

³⁶ Vgl. [Ders95], S.4

³⁷ Vgl. [Dang09]

³⁸ Siehe [Kuss08], S.242

kommen. Dabei ist es notwendig, die genaue Betrachtung der konkreten Zahlungszeitpunkte mit einzubeziehen. Bezieht man den Begriff der Liquidität auf Wirtschaftsgüter, so wird von deren Liquidierbarkeit gesprochen. Sie beschreibt die Möglichkeit, das Wirtschaftsgut wieder in liquide Mittel umzuwandeln. Eine hohe Liquidierbarkeit drückt aus, dass eine Umwandlung in kurzer Zeit erfolgen kann, wohingegen eine geringe Liquidierbarkeit einen hohen Zeitanspruch bedeutet. Die direkten Auswirkungen der (Il-)Liquidität auf die verschiedenen Organisationsbereiche werden sehr unterschiedlich bemessen, doch gerade kapitalintensive Bereiche wie die Produktion werden maßgeblich durch sie beeinflusst.

Beschäftigung

In §7 des Vierten Buch Sozialgesetzbuch ist der Begriff der Beschäftigung unter Absatz 1 wie folgt definiert: „*Beschäftigung ist die nichtselbständige Arbeit, insbesondere in einem Arbeitsverhältnis. Anhaltspunkte für eine Beschäftigung sind eine Tätigkeit nach Weisungen und eine Eingliederung in die Arbeitsorganisation des Weisungsgebers.*“³⁹ Diese Definition der Beschäftigung bezieht sich, nicht ausschließlich, auf ein Arbeitsverhältnis, was als Grundlage einen Arbeitsvertrag voraussetzt. Ein solcher Vertrag stellt das Rahmenwerk der vereinbarten Beschäftigung und damit verbunden auch die Rechten und Pflichten der Vertragspartner dar. Stark vereinfacht ausgedrückt, manifestieren sich diese in der vertraglich festgelegten zu erbringenden Arbeitsleistung des Arbeitnehmers und der vertraglich festgelegten Vergütung der Arbeitsleistung durch den Arbeitgeber. Im Kontext der weiteren Betrachtung ist hervorzuheben, dass die Arbeitsleistung als Humanfaktor einen der Produktionsfaktoren stellt, welcher für die Leistungserbringung eines Unternehmens unverzichtbar ist. Zusätzlich zum Arbeitsvertrag wirken sich das Arbeitsrecht sowie Vereinbarungen der Interessensgruppen von Gewerkschaften und Arbeitgeberverbänden auf die Form der Beschäftigung aus. Somit ergeben sich bspw. vertragliche Vereinbarungen der zu leistenden Arbeitszeit, zulässiger Überstunden oder Flexibilisierungsmaßnahmen der Arbeitszeit. Zusätzlich gilt es die Beschäftigungsmöglichkeit an soziale Vorgaben anzugliedern und den Mitarbeitern sozial vertretbare Arbeitszeitmodelle anzubieten. Schlussendlich darf die Möglichkeit der Beschäftigung, aber auch die Verfügbarkeit an Mitarbeitern, nicht als ständig gegeben vorausgesetzt werden.

Knowhow

Eine Definition zum Begriff des Knowhow lautet: „*Knowhow entspricht in der Regel unveröffentlichten Informationen von industrieller, gewerblicher oder wissenschaftlicher*

³⁹ Siehe [VBS76]

cher Natur, aus deren praktischer Anwendung in einem Unternehmen ein wirtschaftlicher Nutzen abgeleitet werden kann.“⁴⁰ Synonym findet sich häufig der Begriff des Wissens⁴¹, lässt sich doch Knowhow als „wissen wie“ übersetzen. Aus der gegebenen Definition lässt sich zudem herleiten, dass Knowhow unternehmensspezifisch, wenn nicht sogar einzigartig, sein kann und somit einen wichtigen Wettbewerbs- und Wirtschaftsfaktor darstellt. Aufgrund letztgenannter Eigenschaft ist häufig vom Knowhow-Kapital⁴² die Rede, wenngleich es sich nicht um eine bilanzierbare Größe handelt, die den Unternehmenswert in finanzieller Relation steigert. Die Formen, in welchen Knowhow in einem Unternehmen existieren kann, sind personeller oder sachlich-technischer Natur, welche bezugnehmend auf den Kapitalbegriff in Humankapital und Strukturmkapital eingeteilt werden können⁴³. Für die weitere Betrachtung bezieht sich Knowhow auf den Humanfaktor, welcher sich in Form des gebundenen Wissens, der gemachten Erfahrungen und der individuellen Fähigkeiten in den Mitarbeitern eines Unternehmens festigt. Das Aufbauen von Knowhow ist ein zeit- und kostenintensiver Prozess, weshalb Entscheidungen, diesen Faktor betreffend, weitreichende Konsequenzen für das Fortbestehen eines Unternehmens haben können.

Informationstechnologie

Informationstechnologie⁴⁴ zählt zu den sachlichen Ressourcen in einem Unternehmen und besteht i.e.S. aus Hard- und Software und i.w.S. aus elektronischen Medien, Kommunikationstechnologien⁴⁵ sowie Verfahrensweisen und Methoden⁴⁶. Als „zentrale Aufgabe der Informationstechnologie ist die Verarbeitung und Bereitstellung von Daten“⁴⁷ zu verstehen. Synonym für Informationstechnologien wird, mit der Absicht auf den Systemcharakter hinzuweisen⁴⁸, der Begriff der IT-Systeme verwendet. Entsprechende Systeme werden, abhängig vom jeweiligen Integrationsgrad im Unternehmen, als Anwendungs- oder Informationssysteme bezeichnet. Insbesondere Letztere sind für die weitere Betrachtung relevant, daher wird folgende Definition verwendet:

⁴⁰ Siehe dazu [OECD10], S.193. Der englische Originaltext lautet: “*Know-how generally corresponds to undivulged information of an industrial, commerical or scientific nature arising from previous experience, which has practical application in the operation of an enterprise and from the disclosure of which an economic benefit can be derived.*”

⁴¹ Vgl. dazu [Stad11], S.43 oder [Gril08], S.59

⁴² Vgl. dazu [Knae02], S.59 oder [Stad11], S.43

⁴³ Siehe [Stad11], S.44

⁴⁴ Häufig auch nur IT

⁴⁵ Siehe [Fisc99], S.21

⁴⁶ Siehe [Hors11], S.7

⁴⁷ Siehe [GrFe05]

⁴⁸ Vgl. [Hech06], S.17

„Ein System, das für die Zwecke eines Teils eines bestimmten Unternehmens entwickelt und implementiert bzw. in diesem Betrieb eingesetzt wird. Ein Informationssystem enthält die dafür notwendige Anwendungssoftware und Daten und ist in die Organisations-, Personal- und Technikstrukturen des Unternehmens eingebettet.“⁴⁹ Die gegebene Definition verdeutlicht die informationstechnologische Durchdringung von Unternehmen, welche sich in den letzten 30 Jahren vollzogen hat, werden doch heutzutage sämtliche Geschäftsprozesse in den jeweiligen Informationssystemen abgebildet⁵⁰. Entsprechend aufwendig und kostspielig⁵¹ ist es, ein Informationssystem aufzubauen und zu pflegen, insbesondere in Bezug auf das Zusammenspiel heterogener Subsysteme sowie die Verfügbarkeit und Qualität persistenter Daten, welche fortwährend erzeugt, zusammengetragen und zwischen den Subsystemen ausgetauscht werden.

2.2 Anforderungsbeschreibung

Auf den in Abschnitt 2.1 definierten Begriffen aufbauend, soll im Folgenden eine konkrete Beschreibung der Problemstellung erfolgen, die sich auf ein Produktionsunternehmen aus der Automobilzuliefererindustrie bezieht. Die Umweltbedingungen in diesem Industriezweig stellen für die Unternehmen in der Zuliefererkette eine besondere Herausforderung dar. Ihre Kunden, die Automobilhersteller, befinden sich in einer Position, welche es ihnen ermöglicht strikte Vorgaben hinsichtlich Entwicklung, Qualität und Performance zu machen, an die sich die Zuliefererunternehmen zu halten haben, wenn sie die Kunden nicht an einen Mitbewerber verlieren wollen. Ergänzend sind die Unternehmen dem zunehmenden Kostendruck ausgesetzt, der vom Markt ausgeübt und über die Automobilhersteller an sie weitergereicht wird. Daher sehen sich Zuliefererunternehmen bzw. deren Unternehmensleitungen und Führungskräfte immer mit der Notwendigkeit konfrontiert, die strategische Ausrichtung des Unternehmens zu planen und zu steuern, so dass der Fortbestand des Unternehmens über einen mehrjährigen Horizont gesichert ist.

Das strategische Management bezieht sich in diesem Kontext auf die Erarbeitung und konsequente Verbesserung der unternehmenseigenen, strategischen Erfolgsfaktoren⁵², welche für dessen Erfolgspositionierung verantwortlich sind.

⁴⁹ Siehe [LLS10], S.17

⁵⁰ Vgl. dazu [Moch10], S.1

⁵¹ ebenda

⁵² Eine Definition zu Erfolgsfaktoren liefern Rockart und Hofer/Schendel in [LeBr84], S.23f: „[Strategische/Kritische] Erfolgsfaktoren beschreiben Bereiche, welche durch das Management des Unternehmens beeinflusst werden können und in denen zufriedenstellende Ergebnisse maßgeblichen Einfluss

Nach Corsten⁵³ sind diese:

- Humanressourcen
- Kundenorientierung
- Innovationsfähigkeit
- Produkt- bzw. Angebotsqualität
- Finanzierung und Investition

Sie decken sich weitestgehend mit Arbeiten von Nagel⁵⁴ sowie Steinle, Kirschbaum und Kirschbaum⁵⁵, wobei zusätzlich noch Informationssysteme⁵⁶ als weiterer Erfolgsfaktor aufgeführt werden. Gerade in Hinblick auf multikriterielle Entscheidungen erweisen sich in den letzten Jahren moderne Informationstechnologien als unverzichtbare Ressourcen im unternehmerischen Umfeld, weshalb jüngere Bewertungen wichtiger Erfolgsfaktoren deren Bedeutung vermehrt nennen.

Im Fokus dieser Arbeit steht ein 1st-Tier Automobilzulieferer, der branchenüblich nur auftragsorientiert fertigt (Make-to-Order) um die kundenseitigen Bedarfe zu erfüllen. In direktem Zusammenhang damit steht der Erfolgsfaktor der Kundenorientierung, welche das Unternehmen in Form der Kundenzufriedenheit als eines der wichtigen Unternehmensziele formuliert⁵⁷. Um dieses zu erreichen, hat die Einhaltung der Liefermengen und Liefertermine höchste Priorität, wobei die für das erfolgreiche Weiterbestehen der Unternehmung wichtigen sozio-ökonomischen Faktoren nicht außer Acht gelassen, sondern bei allen Planungsschritten mit einbezogen werden müssen⁵⁸.

Ein weiterer Erfolgsfaktor für das Unternehmen umfasst die Finanzen, bedeuten diese doch bei starker Positionierung in vielfältigen Situationen Flexibilität für das Unternehmen. Ihre wichtigste Eigenschaft besteht darin, dem Unternehmen auch bei ungünstiger Geschäftsentwicklung und einhergehender Verluste die Weiterführung der Geschäftstätigkeit zu ermöglichen. So können schwierige Phasen, bspw. hervorgerufen durch konjunkturelle Rückgänge, für eine gewisse Zeit überbrückt werden, in welcher

auf die erfolgreiche Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens haben. Allgemein gilt, dass sie branchenspezifische wirtschaftliche und technologische Merkmale besitzen, sich aber von Branche zu Branche unterscheiden können.“

⁵³ Siehe dazu [Cors98], S.44

⁵⁴ Vgl. [Nage89]

⁵⁵ Vgl. [SKK96]

⁵⁶ Informationssysteme als Bestandteil des Begriffs der Informationstechnologie. Steinle, Kirschbaum und Kirschbaum verwenden den Begriff der EDV.

⁵⁷ Vgl. [ScSe08], S.68: „Von der Zufriedenheit der Kunden hängt es ab, ob sie die angebotenen Produkte kaufen und damit die Existenz und die Zukunft eines Unternehmens sichern.“

⁵⁸ Vgl. [VDI08], S.410: „Unternehmenserfolg entsteht durch die Realisierung von Kundenwerten, die Erlangung von Wettbewerbsvorteilen sowie die Realisierung von effizienten und effektiven Wertschöpfungsprozessen.“

das Unternehmen sich strukturieren und neu ausrichten kann⁵⁹. Ebenso bieten ausreichende finanzielle Reserven dem Unternehmen die Möglichkeit, Phasen des Wachstums effektiver zu nutzen. Ein wichtiger Bestandteil des finanziellen Erfolgsfaktors stellt die Liquidität dar, welche dem Unternehmen die permanente Zahlungsfähigkeit sichert und ohne die der Fortbestand des unternehmerischen Vorhabens nicht möglich wäre.

Der Erfolgsfaktor der Humanressourcen betrifft direkt die unternehmensinterne Anspruchsgruppe der Mitarbeiter. Diese Ressource, welche in der unternehmerischen Wahrnehmung in den letzten drei Dekaden einen erheblichen Wandel durchlaufen hat, beschreibt einen der entscheidendsten Erfolgsfaktoren für ein Unternehmen. Von einem reinen Kostenpunkt ausgehend, werden die Mitarbeiter heute mit dem Kapitalbegriff assoziiert, welcher für ein Unternehmen durchaus einen Wettbewerbsvorteil darstellen kann, indem hochmotivierte- und qualifizierte Mitarbeiter die Erreichung der unternehmerischen Ziele verfolgen. Zudem verbirgt sich im Erfolgsfaktor der Humanressource die zukünftige Leistungsfähigkeit eines Unternehmens, da die rechtzeitige Weiterentwicklung dieser Ressource ein Unternehmen für den weiteren Wettbewerb rüstet, stellen die Mitarbeiter doch den Ursprung von Innovation und Arbeitsleistung dar.

Als letzter zu betrachtender Erfolgsfaktor verbleiben die Informationstechnologien, welche in heutiger Zeit als Bindeglied der unternehmensinternen (Geschäfts-)Prozesse dienen sowie die Kommunikationsschnittstellen zur Außenwelt darstellen. Sie unterstützen die Mitarbeiter in Ihren Aufgaben und ermöglichen eine Entscheidungsfindung bei umfassender Datenbasis und komplexen Nebenbedingungen. Viele Unternehmen bilden Ihre Geschäftsprozesse sogar vollständig informationstechnologisch ab, was bedeutet, dass Anpassungen und Weiterentwicklungen ohne eine entsprechende Einbindung in die existierenden Technologien gar nicht möglich sind.

Diese Erfolgsfaktoren beschreiben die Kernfaktoren, welche im betrachteten Unternehmen identifiziert wurden und anhand derer die weitere Problemformulierung erarbeitet wird.

Dem strategischen Management untergeordnet hat das operative Management die Aufgabe, im Rahmen von mittel- und kurzfristigen Betrachtungsperioden den Betriebsablauf so zu gestalten, dass die strategischen Vorgaben und Ziele eingehalten werden. Eine Anwendung des operativen Managements erfolgt in den unterschiedlichen betrieblichen Funktionsbereichen. Die Erfolgsfaktoren des strategischen Managements werden, abhängig vom jeweiligen Leistungsbereich, auf äquivalente operative Merkmale abge-

⁵⁹ Vgl. dazu [BKH06], S.43

leitet, welche eine „eingeschränkte Allgemeingültigkeit und begrenzte Gültigkeitsdauer“⁶⁰ aufweisen.

Betriebliche Funktionsbereiche werden als Subsysteme des Systems Unternehmen beschrieben und können allgemein durch die Bereiche Beschaffung, Produktion, Absatz und Finanzwesen zusammengefasst werden⁶¹. Die Literatur ist in diesem Aspekt nicht immer einheitlich, so nennt bspw. Hackstein⁶² das Personalwesen als eigenen Funktionsbereich, welcher bei anderen Autoren direkt der Produktion zugeordnet wird. Den einzelnen Funktionsbereichen sind bereichsspezifische Geschäftsprozesse angegliedert, welche die betrieblichen Funktionen umsetzen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit nach interorganisationaler Koordination entlang der Geschäftsprozesse um effizient⁶³ die geforderte Sicherstellung der Abrufe zu erbringen.

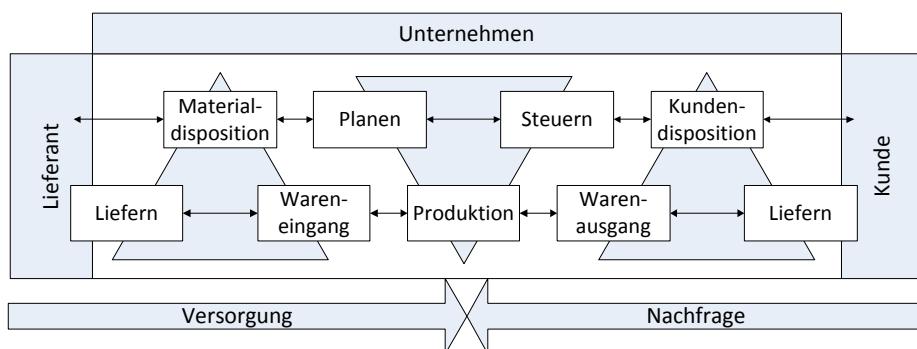


Abbildung 2 Prozesse in der Lieferkette

Eine damit verbundene wirtschaftliche Zielerreichung findet größtenteils in den innerbetrieblichen Prozessen statt und bereitet vielen Unternehmen Schwierigkeiten, da Prozesse nur unzureichend beherrscht werden und der notwendige Aufwand an Koordination und Steuerung immense Kosten verursacht⁶⁴. Die logistische Lieferkette vom Zulieferer bis zum Endkunden weist eine Vielzahl an direkten und indirekten Prozessbeziehungen auf (vgl. Abbildung 2), deren Koordinationsaufwand unterschiedlich hoch ist

⁶⁰ Siehe [Bokr03], S.126

⁶¹ Siehe dazu [FeSi06], S. 61. Die Autoren nennen auch den Bereich Forschung und Entwicklung (FuE), welcher aber bewusst im Kontext dieser Arbeit ausgelassen wird.

⁶² Siehe dazu [Hack89], S.4

⁶³ Im Kontext der Erfolgsmessung in Unternehmen hat sich die Verwendung der Begriffe Effektivität und Effizienz etabliert, wobei beide Begriffe immer gemeinsam angeführt werden (vgl. [Wern10], S.25 oder [Kien09], S.19ff). Werner schreibt dazu: „Effektivität bedeutet, die richtigen Dinge zu tun“ und „Effizienz meint hingegen, die Dinge richtig zu tun“. Kiener umschreibt die Begriffe so: „Während vermieden werden sollte, die richtigen Dinge schlecht zu machen, kommt es vielmehr darauf an, die richtigen Dinge gut zu machen. Unnütz ist es, die falschen Dinge zu machen. Falsche Dinge auch noch schlecht zu machen, bedarf wohl keiner Erläuterung.“

⁶⁴ Vgl. [ScSe08], S.2f

und Koordinationsprobleme können störende Einflüsse auf die gesamte logistische Auftragsabwicklung haben. Als Schwerpunkt der Leistungserbringung wird im Allgemeinen der Produktionsprozess⁶⁵ innerhalb des Unternehmens angesehen (s. Abbildung 2), weshalb die Koordination der Planungsprozesse aus Sicht der Produktion und mit Ausrichtung auf die Sicherstellung der Abrufe zu erfolgen hat. Es stellt sich nun die Frage, welche konkreten planerischen Maßnahmen zu leisten sind, um auf der einen Seite die Sicherstellung der Kundenabrufe garantieren zu können ohne auf der anderen Seite die existenziellen unternehmerischen Prinzipien zu gefährden. Es bedarf daher einer optimalen Abstimmung der bereichsübergreifenden Planungsprozesse um einen reibungslosen Produktionsablauf zu gewährleisten und die Liefertermine zum Kunden nicht zu gefährden. Davon leitet sich die Anforderung ab, eine rechtzeitige und mengenmäßig korrekte Verfügbarkeit an produktionsrelevanten Ressourcen für den Produktionsprozess garantieren zu können.

2.2.1 Gliederung des Problembereichs

Mit dem Ziel, die Kundenbedarfe fristgerecht zu erfüllen, gilt es zuerst die dafür produktions- und leistungsrelevanten operativen Planungsprozesse der PPS⁶⁶ genauer zu betrachten. Diese weisen, bedingt durch die Planungsinhalte und die notwendige Planungskoordination untereinander, eine hohe Komplexität⁶⁷ auf. Sie gliedern sich in die Planungsbereiche Produktion, Beschaffung und Personal und decken die in Abbildung 2 dargestellten Prozesse in der logistischen Lieferkette ab.

Die Planung der Produktion beinhaltet eine zeitliche und räumliche Zuordnung von Produktionsfaktoren bei limitierter Kapazität des Produktionsbetriebs. Demzufolge ist es notwendig, den Produktionsablauf so zu koordinieren, dass eine optimale Ausnutzung der gegebenen Produktionskapazitäten gewährleistet werden kann. Dieses erfolgt durch die Produktionsprogrammplanung, welche die Produktionsmenge eines Produktes zu einem bestimmten Zeitpunkt, und durch die Reihenfolgeplanung, welche aus den Produktionsmengen eine optimale Abfolge an Produktionsaufträgen bestimmt. Eine Umsetzung dieser planerischen Vorgaben setzt die garantierte Verfügbarkeit an Produktionsfaktoren voraus, die sich, bezugnehmend auf die bereits genannten Planungsbereiche, auf Materialien und Arbeitskräfte beziehen. Entsprechend ergibt sich der Bezug zu den Planungsbereichen Beschaffung und Personal.

⁶⁵ Vgl. [Zaep00b], S.4

⁶⁶ Vgl. dazu [Hack89], S.1: Hackstein nennt Ziele der PPS, die mit den bereits genannten Anforderungen wie Termintreue und Lieferbereitschaft korrelieren.

⁶⁷ Vgl. [KiSt01], S.11

Der operative Beschaffungsprozess zeichnet sich verantwortlich für die mengenmäßige und terminlich korrekte Materialversorgung der Produktion. Ausgehend vom geplanten Produktionsprogramm werden Bestellmengen gebildet und zu Bestellungen gebündelt, die zu gegebener Zeit übermittelt werden. Abhängig vom Lieferantennetzwerk und der Versorgungsstrategie ergänzt sich der Prozess zu Beginn um eine Lieferantenauswahl, welche die Bestellmengen auf eine ausgewählte Anzahl an Lieferanten verteilt.

Der Personalplanung obliegt die Aufgabe, Personal in notwendiger Stärke und Qualifikation zu gegebener Zeit zur Verfügung zu stellen. Dabei steht primär die allgemein verfügbare Personalkapazität der Unternehmung der verplanten Produktionskapazitäten gegenüber. Es gilt, auch bei saisonal schwankenden Kundenbedarfen, dennoch in der Lage zu sein, die maschinell verfügbaren Produktionskapazitäten ausnutzen und durch ausreichende Personalstärke bedienen zu können um allen Lieferansprüchen gerecht zu werden. Zudem bedarf es einer zeitgenauen Einsatzplanung der Personalkraft, welche exakt am Produktionsprogramm bzw. am Produktionsablauf ausgerichtet ist.

Diese drei Planungsbereiche beschreiben die relevanten operativen Planungsaufgaben, welche es zu erfüllen gilt, wenn eine Sicherstellung der Abrufe gewährleistet werden soll. Eine nicht unerhebliche Ergänzung erfolgt, wenn die planerischen Maßnahmen und deren Umsetzung in kostenoptimaler Art erfolgen sollen. Dazu bedarf es einer genauen Betrachtung der geplanten Maßnahmen sowie deren Auswirkungen im Sinne eines Kostenbegriffes. Dieser setzt sich aus der kostenoptimalen Auswahl, Kombination und Verbringung der Produktionsfaktoren bzw. der aus ihnen geschaffenen Erzeugnisse zusammen. Entsprechend kann die Erfüllung der planerischen Aufgaben erheblich schwieriger sein, da nun nicht mehr jedes beliebige Planungsergebnis wünschenswert sondern lediglich das kostenoptimale von Interesse ist.

2.2.2 Anforderungen der Nebenbedingungen

Die genannten Planungsaufgaben der PPS und angrenzender Planungsbereiche stehen mit den unternehmerischen Zielvorgaben und Erfolgsfaktoren in Wechselwirkung, weshalb deren Einfluss sowie die planerischen Auswirkungen auf sie genauer untersucht werden müssen. Betrachtet man die zeitliche Anordnung der eingehenden und ausgehenden Zahlungsströme, so kann im Allgemeinen davon ausgegangen werden, dass ein Unternehmen in Folge der durch unternehmerische Leistung entstehenden Kosten zuerst in Vorleistung zu gehen hat, bevor mit zeitlicher Verzögerung Erlöse für die Leistungen erzielt werden. Um diesen Vorleistungen begegnen zu können benötigt ein Unterneh-

men daher ausreichendes Kapital⁶⁸ in Form von schnell verfügbaren Geldmitteln. Die Planung dieser finanziellen Versorgung des Unternehmens obliegt der Finanzplanung, welche sowohl die Beschaffung von Kapital, aber auch die finanzielle Steuerung der unternehmensinternen Leistungsbereiche durchführt. Es besteht eine Untergliederung des Unternehmens in einen Zahlungs- und einen Leistungsbereich (vgl. Abbildung 3), welche durch wechselseitige Abhängigkeiten in Beziehung stehen. Der Zahlungsbereich folgt dem Prinzip des finanzwirtschaftlichen Gleichgewichts, welches eine notwendige Voraussetzung für die Existenz des Unternehmens bedeutet und sich in Form der Liquidität darlegt. Der Leistungsbereich folgt dem Wirtschaftlichkeitsprinzip, nämlich einem kostenminimalen Faktoreinsatz bei Erfüllung aller Leistungsziele, welche primär in der Sicherstellung der Abrufe liegen. Die wechselseitigen Beziehungen drücken sich dadurch aus, dass der Zahlungsbereich die Geldmittel zur Verfügung stellt, welche im Leistungsbereich zur Leistungserstellung verbraucht bzw. gebunden werden. Auf der einen Seite bedeutet dieses, dass die notwendigen Mittel widerspruchslös bereitgestellt werden können, was einer Befugnis des Leistungsbereichs gegenüber dem Zahlungsbereich entspräche. Auf der anderen Seite kann das bedeuten, dass der Zahlungsbereich die Höhe der verfügbaren Mittel vorgibt, welche somit die planerischen Maßnahmen im Leistungsbereich beschränken können. Die Realität liegt häufig in der Mitte, verbraucht der Leistungsbereich zumindest nicht die gesamte verfügbare Menge an Geldmitteln sondern ist bestrebt Finanzvorgaben hinsichtlich Kapitalbindung und Kosten einzuhalten, welche vom Zahlungsbereich ausgehen und sich direkt aus den Vorgaben der Unternehmensleitung ableiten. Ein wesentlicher Planungsbereich, welcher zur Erfüllung der PPS wichtig ist, stellt die bereits erwähnte Personalplanung dar, betrifft diese doch direkt den Erfolgsfaktor der Humanressourcen. Der Wahrnehmungswandel des Personals vom reinen Kostenfaktor zu einem Vermögenswert⁶⁹ unterstreicht deren Bedeutung nochmal. Die Personalplanung betrachtet einen Planungsgegenstand, dessen Variablen einer Vielzahl von Vorgaben unterliegen, welche in Form von Gesetzen und Verträgen Ausprägung finden. Hier entspringt ein Interessenkonflikt, wünschen sich Unternehmen doch einen flexiblen und selbstbestimmten Umgang mit seinen Ressourcen, zu welchen auch das Personal zählt. Hier zeigt sich die Dualität des Planungsgegenstands, erfährt das Personal sowohl einen Objekt- wie auch einen Subjektcharakter⁷⁰, wobei letzterer der vollkommenen unternehmerischen Selbstbestimmung entgegensteht.

⁶⁸ Es wird zwischen einem klassischen und einem modernen Kapitalverständnis unterschieden. Der klassische Kapitalbegriff ist mit dem Vermögen eines Unternehmens gleichzusetzen und beschreibt die Gesamtheit aller Vermögenswerte. Der moderne Kapitalbegriff bezieht sich nur noch auf die Geldmittel eines Unternehmens.

⁶⁹ Siehe [Bode05], S. 323

⁷⁰ Vgl. dazu [Fueh06], S.82

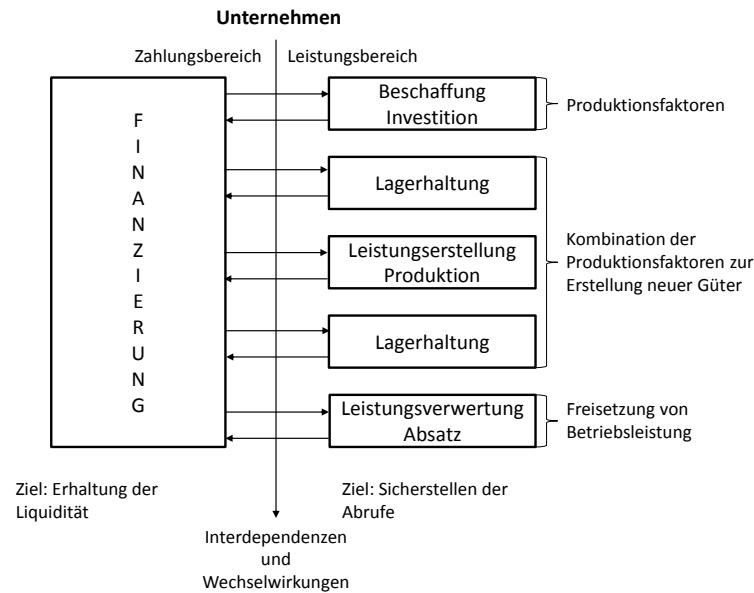


Abbildung 3 Unternehmensgliederung in Zahlungs- und Leistungsbereich⁷¹

Unternehmen müssen daher der Humanressource besondere Aufmerksamkeit widmen, wenn es gilt planerische Maßnahmen im Leistungsbereich der Unternehmung vorzunehmen. Im Operativen bedeutet dieses, den gesetzlichen und vertraglichen Vorgaben hinsichtlich der Beschäftigung gerecht zu werden und Personal im Rahmen der zulässigen zeitlichen Einsatzmöglichkeiten einzuplanen. Dabei sehen die Vorgaben durchaus ein Flexibilisierungspotential vor, das ausgeschöpft werden kann, wobei dessen Verwendung durch zusätzliche finanzielle Belastungen geprägt ist. Ein weiterer Aspekt der Personalplanung betrifft strategische Belange der Unternehmung und steht in direktem Zusammenhang mit der langfristigen Unternehmensentwicklung. Wenngleich die Humanressource in ihrer Wahrnehmung aufgewertet wurde darf dennoch nicht ihre Kostengröße außer Acht gelassen werden. Daher spiegeln Entscheidungen hinsichtlich der zukünftigen Leistungsbereitschaft einer Unternehmung im nicht unerheblichen Umfang auch Personalentscheidungen wider, welche heute getroffen werden und bereits kostenmäßig auf die Zukunft Einfluss nehmen können. In diesem Zusammenhang stellen interne Prognosen oder vertraglich abgesicherte Entscheidungen hinsichtlich des zukünftigen Produktionsprogramms die Parametrisierung der Personalentscheidungen dar, anhand derer der Personalbestand entwickelt werden kann um mittels bewerteter Entscheidungsgrößen die zukünftige Leistungsbereitschaft der Unternehmung herzustellen. Da es sich bei dieser Leistungsbereitschaft um das mengenmäßig ausreichende Qualifikationsportfolio der Stammbelegschaft der Produktion handelt, welche aufgrund seiner

⁷¹ In Anlehnung an [GBS01], S.7

Ausbildung und Erfahrung den zukünftigen Anforderungen gewachsen ist, handelt es sich dabei um das Knowhow der Unternehmung. Dieses muss gewahrt und weiterentwickelt werden, wobei Entscheidungen hinsichtlich der Einstellung, Freistellung und Weiterqualifikation vom Personal getroffen werden müssen.

Sämtliche Planungsmaßnahmen sind in den unternehmenseigenen Geschäftsprozessen und somit im unternehmensweiten IT-System eingebunden. Aufgrund der bisher unkoordinierten Planungsschritte sind relevante Daten verteilt und werden von den Planungsverantwortlichen nur unvollständig genutzt. Es bedarf daher eine Vereinheitlichung der bestehenden Datenbasis, welche die Planungseingabe und Planungsparametrisierung darstellt. Entsprechend muss ein Ziel dieser Arbeit sein, die erarbeiteten Planungskonzepte in die bestehende Informationstechnologie einzubinden und diese zu nutzen. Das neue Planungskonzept muss die Charakteristika der Geschäftsprozesse abbilden und sich in das operative Planungsgeschehen integrieren lassen. Daher müssen Schnittstellen modifiziert oder geschaffen werden um die informationstechnische Kommunikation zu ermöglichen. Ebenso muss ein Datenmodell geschaffen werden, welches auf den vorhandenen Daten aufsetzt und diese gemäß der Planungsanforderungen vorverarbeitet kapselt.

2.3 Herleitung der Planungskomponenten

Die Ausführungen im Abschnitt 2.2 haben gezeigt, dass das Setzen und (Nach-)Steuern strategischer Unternehmensziele primär eine Aufgabe der Führungs- und Leitungsebene ist. Die konkrete Umsetzung bzw. das Erreichen dieser strategischen Ziele erfolgt auf operativer Ebene, welche die strategischen Vorgaben in Form eines zulässigen Handlungsspielraums zur Erbringung der betrieblichen Leistung nutzt (vgl. Abbildung 4).

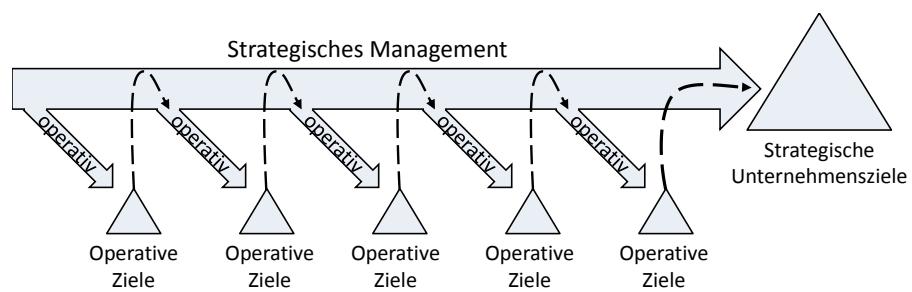


Abbildung 4 Strategisches und operatives Management tragen gemeinsam zum Erreichen der Unternehmensziele bei.

Die durch den Handlungsspielraum beschriebenen Nebenbedingungen wurden anhand der unternehmerischen Erfolgsfaktoren hergeleitet und drücken sich durch Liquidität,

Beschäftigung, Knowhow und Informationstechnologien aus. Für die konkrete Herleitung der Planungskomponenten stellt sich somit die Frage, wie die operativen Planungsmaßnahmen der PPS und angrenzender Planungsbereiche zueinander komponiert werden müssen, um die kostenoptimale Sicherstellung der Abrufe bei Einhaltung aller Nebenbedingungen gewährleisten zu können. In der Literatur finden sich einheitlich die Bestandteile der PPS anhand funktionaler Aufgaben strukturiert. Lediglich die Ein- oder Abgrenzung benachbarter Planungsbereiche wird nicht immer gleich gewählt. Abhängig vom Betrachtungsschwerpunkt einiger Autoren werden einzelne Planungsbereiche als unterstützende Planungsmaßnahmen dargestellt, wohingegen andere die Gesamtheit der zu erbringenden Planungsmaßnahmen unter dem Begriff der PPS vereinen. Im Folgenden wird der Einfachheit halber die Gesamtheit der betrachteten operativen Planungsbereiche von Produktion, Beschaffung und Personal unter dem Begriff der PPS-Maßnahmen vereinheitlicht. Aus den vorherigen Abschnitten lassen sich sowohl operative wie auch strategische Planungsabsichten ableiten, welche einer unterschiedlichen Fristigkeit unterliegen. Entsprechend der Fristigkeit werden im Folgenden die einzelnen Planungsaufgaben hergeleitet.

Das Kundenumfeld des betrachteten Unternehmens arbeitet mit etablierten Standards und erwartet auch von seinen Zulieferern diese anzuwenden. Einer dieser Standards basiert auf den Empfehlungen des VDA⁷² und beschreibt die Bedarfskommunikation zwischen Automobilherstellern und seinen Zulieferern sowie die vereinbarten Bedarfsschwankungen im Bedarfsvorschauintervall⁷³. Gemäß dieser VDA-Empfehlung lassen sich die Planungsaufgaben in einen Feinplanungsbereich und einen Grobplanungsbereich unterteilen:

Grobplanungsbereich	Feinplanungsbereich
<ul style="list-style-type: none"> • Produktionskapazitätsplanung • Materialbeschaffungsplanung • Personalkapazitätsplanung 	<ul style="list-style-type: none"> • Produktionsablaufplanung • Personaleinsatzplanung

⁷² Vgl. dazu [Thal97], [VDA91a], [VDA96], [VDA91b]

⁷³ Es existieren drei aufeinanderfolgende Vorschauintervalle mit unterschiedlichen Eigenschaften hinsichtlich Aktualität der Bedarfsdaten und Intervallraster. Das größte Intervall umfasst einen Zeitraum von bis zu sechs Monaten und liefert Bedarfsdaten in einem wöchentlichen Rhythmus. Die ersten acht Wochen dieses Intervalls haben eine Betrachtungsgrundlage auf Tagesbasis, die verbleibenden Wochen auf Wochenbasis. Zulässige Bedarfsschwankungen liegen innerhalb eines Toleranzbereichs von +/-20%. Das nächste Intervall mit detaillierteren Eigenschaften umfasst den Horizont der ersten 14 Tage vom Fixierungshorizont auf Tagesbasis mit täglicher Aktualisierung der Bedarfsdaten. Bedarfsschwankungen in diesem Planungsintervall betragen +/-5%. Das letzte Intervall betrachtet einen Fixierungshorizont von wenigen Tagen (variabel zu gestalten) und beschreibt den tatsächlichen IST-Bedarf des Kunden ohne Toleranz der Bedarfsschwankungen.

Diese beiden Bereiche decken die operativen Planungsmaßnahmen ab, allerdings verbleiben noch strategische Planungsmaßnahmen, die sich auf die Wahrung und Entwicklung des Knowhows beziehen. Außerdem gilt es die gesamtfinanzielle Bewertung des zu erarbeiteten Konzeptes ebenfalls dem strategischen Planungsbereich zuzuordnen. Da diese Bewertung und eine davon ableitbare Entscheidung nur einmal getroffen werden muss, bedarf es keiner eigenständigen Planungsmaßnahme. Daher findet diese Bewertung Anwendung in der Entwicklung des Planungskonzeptes, wird allerdings durch keine Planungskomponente repräsentiert.

Abbildung 5 stellt die vorgestellten Planungsaufgaben den Nebenbedingungen gegenüber und veranschaulicht, welche zusätzlichen Restriktionsfelder bei der Gestaltung der Planungsmaßnahmen zu beachten sind. Unter den Charakteristika der aufgezeigten Nebenbedingungen wird das Planungskonzept eine systematische Herleitung der relevanten Planungsbestandteile beinhalten. Diese Systematisierung wird den Beitrag dieser Arbeit darstellen, der im Gesamtkontext der PPS zu leisten ist. Aufbauend auf den in diesem Kapitel gegebenen Definitionen sowie der Problembeschreibung wird in Kapitel 5 die Systematisierung erarbeitet.

		Liquidität	Beschäftigung	Knowhow	Informations-technologie
Produktionsplanung	Produktions-kapazitätsplanung	Ja	Ja	Nein	Ja
	Produktions-ablaufplanung	Nein	Ja	Nein	Ja
Beschaffungsplanung	Material-beschaffungs-planung	Ja	Ja	Nein	Ja
Personalplanung	Personalbedarfsplanung	Ja	Nein	Ja	Ja
	Personal-kapazitätsplanung	Ja	Ja	Nein	Ja
	Personal-einsatzplanung	Nein	Ja	Nein	Ja

Abbildung 5 Gegenüberstellung der Planungsaufgaben und Nebenbedingungen

Der dafür relevante Stand der Technik wird im folgenden Kapitel 3 vorgestellt und konzentriert sich auf die Koordination strategischer Zielvorgaben und betrieblicher Planungsaktivitäten, welche detailliert in Form von formalen, operativen Planungsaktivitäten genauer betrachtet werden.

3 Stand der Technik

Ziel dieses Kapitels ist das Vermitteln eines Überblicks zum Stand der Technik hinsichtlich des in Kapitel 2 beschriebenen Problemgegenstands. Es sollen bereits bekannte Arbeiten und Lösungen betrachtet und ihr möglicher Beitrag für die Erarbeitung der eigenen Lösung im Rahmen dieser Arbeit näher beleuchtet werden.

Beginnend mit der Koordination strategischer und operativer Größen werden in Abschnitt 3.1 Methoden und Verfahren vorgestellt, welche die Verknüpfung beider Entscheidungsebenen unterstützen. In Abschnitt 3.2 wird die Bedeutung von Zentralisierung und Dezentralisierung der Planung aufgegriffen und die sich daraus ergebende Notwendigkeit einer hierarchischen Planung hergeleitet, zu welcher ein Überblick bereits geleisteter Arbeiten vorgestellt wird. Abschnitt 3.3 stellt formale Verfahren zur Planung der relevanten Betriebsaktivitäten vor und schließt ebenfalls mit einem umfassenden Überblick bereits geleisteter Arbeiten ab. Das Kapitel 3 endet mit einer Bewertung der vorgestellten Arbeiten in Abschnitt 3.4.

3.1 Koordination strategischer Zielformulierungen und operativer Planungsaktivitäten

In Kapitel 2 wurde auf die Bedeutung der kritischen Erfolgsfaktoren für die Unternehmensplanung, insbesondere die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit sowie des Fortbestands von Unternehmen, hingewiesen. Die Identifikation der unternehmensspezifischen Erfolgsfaktoren obliegt der Führungsebene, welche zudem das unternehmerische Ziel- system formuliert sowie die strategische Ausrichtung des Unternehmens festlegt. Von besonderer Bedeutung ist dabei, wie die Koordination von strategischen Zielen und operativen Aktivitäten umzusetzen ist, da dieses maßgeblichen Einfluss auf das erfolgreiche Erreichen der Zielformulierungen ausübt⁷⁴. Allgemein gestaltet sich diese Herausforderung in der Praxis aus mehreren Gründen als schwierig, da die Inhalte der notwendigen planerischen Maßnahmen sich in zeitlicher Dimension, Zielvorstellung und den verschiedenen Abstraktionsniveaus der betrachteten Planungsgegenstände voneinander unterscheiden⁷⁵.

Es bestehen einige Ansätze der Koordination, welche im Folgenden vorgestellt werden sollen, wobei entsprechende Koordinationsschnittstellen nicht ausschließlich planeri-

⁷⁴ Vgl. [HuWu03], S.249ff oder [ScKo07a], S.116

⁷⁵ Siehe dazu [Muna06], S.437

schen Charakter haben sondern auch als unterstützendes bzw. vermittelndes Werkzeug der strategischen und operativen Planungsebenen verstanden werden können. Dazu zählt die Balanced Scorecard (BSC), ein Planungs- und Kontrollinstrument, welches in den letzten 20 Jahren an praktischer Bedeutung gewonnen hat. Sie wird genutzt, um von Strategien konkrete Ziele und Kennzahlen abzuleiten, die anhand von vier unterschiedlichen Perspektiven eine Herleitung operativer Maßnahmen erlauben. Dabei werden sämtliche, für das Unternehmen relevanten Bereiche, durch diese Perspektiven abgedeckt:

- Finanzielle Perspektive
- Kundenperspektive
- Interne Prozessperspektive
- Lern- und Entwicklungsperspektive

Eine Balanced Scorecard ist immer unternehmensspezifisch zu gestalten und sollte nur durch die Führungsebene eines Unternehmens erstellt werden, da die „*strategische Vision der Unternehmensleitung*“⁷⁶ abgebildet werden soll. Die abzuleitenden Maßnahmen werden durch eine BSC nicht definiert. Es existieren zwar allgemeine Empfehlungen, welche Maßnahmen bei Best-Practice-Unternehmen angewandt werden, allerdings lassen sich diese nicht ohne weiteres adaptieren, da Unternehmen nie deckungsgleich sind und daher immer spezifische Maßnahmen erfordern.

Ein gestaltender Ansatz zur Beschreibung von Schnittstellenfunktionen zwischen strategischer und operativer Ebene wird in [HuWu03] hergeleitet. Auch dieser beinhaltet keine konkreten Aussagen über anzuwendende Maßnahmen, die sich im Operativen aus den strategischen Vorgaben ergeben. In einem ersten Schritt ist festzulegen, in welchem Maße die strategischen Vorgaben bereits detailliert ausformuliert werden und somit operative Bereiche beeinflussen sowie welcher Handlungsspielraum dadurch in der operativen Planung verbleibt. Ein zweiter Schritt beschreibt die Rückkopplung von operativen Ergebnissen zur strategischen Ebene, um Revisionen bzw. Anpassungen der strategischen Zielformulierungen vorzunehmen. Die Autoren heben die Bedeutung der strukturellen und inhaltlichen Verknüpfung der Planungsebenen hervor, sowie die Notwendigkeit einer entsprechenden Abstimmung von strategischen und operativen Größen um den Abstraktionsgrad beider Ebenen anzugleichen und somit Zielvorstellungen zu erhalten, welche auf beiden Planungsebenen verfolgt werden können. Um strategische Vorgaben zu operationalisieren, empfehlen die Autoren eine BSC (s.o.), die genutzt werden kann um über alle Unternehmensbereiche hinweg Maßnahmen abzuleiten und eine not-

⁷⁶ Vgl. [KaNo07], S.148

wendige Akzeptanz zu erreichen.⁷⁷ Neben einer BSC stellen die Autoren auch die Anwendung von „operativen Werttreiberhierarchien“ vor. Ausgehend von finanziellen Oberzielen werden entlang der Unternehmensebenen die relevanten Einflussfaktoren und Werttreiber identifiziert, so dass am Ende auf operativer Ebene entsprechende Größen herausgearbeitet wurden, für welche Maßnahmen formuliert werden können. Dabei ist es möglich, finanzielle Größen auch durch nicht-finanzielle zu ersetzen, so dass die Dualität vieler Größen⁷⁸ einbezogen wird.

In [HHP05] wird eine weitere Planungsebene als verknüpfendes Element zwischen strategischer und operativer Planung vorgeschlagen. Eine solche taktische Ebene soll sich, gemäß den zeitlichen Dimensionen der beiden anderen Ebenen, im mittelfristigen Planungsbereich einordnen und somit als Bindeglied dienen. Den Autoren zufolge wird im praktischen Umfeld die mittelfristige Planung häufig angewandt, was durch Beispiele aus der Praxis unterstrichen werden soll. Im wissenschaftlichen Umfeld hat, mit einigen Ausnahmen, eine taktische Einbeziehung sich bisher nicht durchsetzen können⁷⁹. Durch eine Untersuchung der praktischen Anwendung wird in der Arbeit eine taktische Planungsebene als „*zentrales Instrument zur Verknüpfung des kurzfristigen Budgets mit der Unternehmensstrategie*“⁸⁰ verstanden. Hansmann lehnt, aufgrund der uneinheitlichen und wenig verbreiteten Auffassung im wissenschaftlichen Kontext, das Einführen einer taktischen Planung ab.⁸¹ Stattdessen wird in [Hans06] an der zweigeteilten Darstellung der Planungsinhalte festgehalten. Auch in [ScKo07b] wird dieser Zweiteilung gefolgt, werden doch strategische und operative Planung als „*partiell gegeneinander verschobene Handlungsentwürfe*“⁸² betrachtet. Dabei stehen zwei Prinzipien im Vordergrund, welche für die Kopplung der beiden Ebenen von großer Bedeutung sind. Die Konkretisierung der strategischen Zielformulierungen ist derart vorzunehmen, dass diese ohne Schwierigkeiten auf operativer Ebene integriert werden können (Prinzip strate-

⁷⁷ Ein Fallbeispiel unterstreicht das Vorgehen der Autoren. Ein Projekt der Deutschen Bahn AG nutzt eine BSC, um operative Maßnahmen von strategischen Zielformulierungen abzuleiten. Auch hierbei gilt wieder, dass es keine universellen Empfehlungen hinsichtlich des Vorgehens existieren und stattdessen jedes Mal unternehmensspezifische Maßnahmen hergeleitet werden müssen.

⁷⁸ Dualität bedeutet, die unterschiedlichen Charakteristika vieler betrieblicher Größen zu erkennen. Bspw. sind Produktions- und Lagermengen Betrachtungsgegenstand der Losgrößenplanung, besitzen aber bei einem perspektivischen Wechsel natürlich einen finanziellen Charakter, welcher häufig bei operativen Planungen für die Planer zweitrangig ist.

⁷⁹ Vgl. [HHP05], S.249f

⁸⁰ Vgl. [HHP05], S.264

⁸¹ Vgl. [Hans06], S.25f

⁸² Siehe [ScKo07b], S.130

gischer Vorsteuerung), ohne allerdings den Entscheidungs- und Handlungsspielraum der operativen Ebene einzuschränken (Prinzip operativer Flexibilität).⁸³

Bereits in [Hahn06] wurde auf die Möglichkeit der Einbindung von Planungsmodellen auf Basis mathematischer Programme hingewiesen, die ein Bindeglied zwischen strategischer und operativer Ebene darstellen können.⁸⁴ Diese Modelle des Operations Research ermöglichen eine Bewertung alternativer unternehmerischer Strategien bei gleichzeitiger Planbarkeit operativer Größen zur Erreichung strategischer Zielvorgaben. Abhängig vom abzubildenden Planungsgegenstand können entsprechende Planungsmodelle unterschiedliche Planungskomplexität aufweisen, wobei der Begriff von zentraler, dezentraler und hierarchischer Planung noch von Bedeutung sein wird (siehe Abschnitte 3.2.1 und 3.2.2).

In [Kall02] wird ein Planungsmodell der chemischen Industrie vorgestellt, das sowohl strategische wie auch operative Planungsinhalte besitzt. Strategische Größen betreffen ein komplexes und weltumspannendes Produktionsnetzwerk, bestehend aus mehreren Produktionsstätten, und beziehen sich primär auf Produktionskapazitäten, welche zu erweitern oder zu verringern sind. Auf operativer Ebene sind Entscheidungen der konkreten technologischen Ausgestaltung der bestehenden Produktionsanlagen zu treffen, um Produktionskosten zu minimieren. Durch die praktische Anwendung des Modells und der damit verbundenen Verringerung der Transportkosten, waren Einsparungen mehrerer Millionen US\$ möglich.

In [SaBe00] wird ebenfalls ein simultanes Vorgehen zur strategischen und operativen Planung, angewandt auf eine Supply Chain, vorgestellt. Strategische Entscheidung betreffen die Dimensionierung und das Design der Supply Chain und somit den dadurch bedingten Warenfluss. Die operativen Modellbestandteile beziehen sich auf die Lieferfähigkeit der resultierenden Supply Chain und orientieren sich an operativen Größen wie bspw. den konkreten Kundenaufträgen. Die operative Planung stellt somit eine kostenmäßige Bewertung der strategischen Entscheidungen dar.

Weitere Arbeiten, welche strategische sowie operative Entscheidungen miteinander verknüpfen, finden sich in [MaBi09] und [Tata95]. In [MaBi09] wird die Dimensionierung einer Supply Chain betrachtet, wohingegen in [Tata95] die strategische und operative Planung eines der größten Stahlwerke Indiens vorgestellt wird.

⁸³ Siehe [ScKo07b], S.130

⁸⁴ Auch wenn der Beitrag von Hahn 2006 erschienen ist, handelt es sich um eine Neuveröffentlichung eines Artikels von 1981 und stellt somit den Sachverhalt dar, dass die Anwendung von mathematischen Programmen als Schnittstellen zwischen strategischem Management und operativer Planung bereits vor vielen Jahren diskutiert wurde und inzwischen als standardisiertes Vorgehen angesehen wird.

Weitere Arbeiten, welche insbesondere die operative Planung betreffen und mathematische Programme nutzen, werden in Abschnitt 3.3 vorgestellt, weshalb an dieser Stelle mit den Arbeiten simultaner Planung strategischer und operativer Ebenen abgeschlossen wird.

3.2 Zentrale, dezentrale und hierarchische Planung in Produktionssystemen

Der folgende Abschnitt beschreibt die Organisation der Planung in Produktionssystemen. Dazu wird einführend auf die Bedeutung von zentraler und dezentraler Planung eingegangen, um daran anknüpfend die hierarchische Planung vorzustellen.

3.2.1 Zentrale und dezentrale Planung

Im Kontext allgemeiner Planung von Systemen wird zwischen zwei Grundformen der Planungsorganisation⁸⁵ unterschieden. Bei der zentralen Planung wird die Entscheidungsfindung durch eine zentralisierte Instanz umgesetzt, was nach einheitlicher Meinung die einfachste Methode darstellt, verschiedene Planungsprobleme miteinander abzugleichen, da alle Entscheidungsgrößen lokal bekannt sind. Das dieser Organisation der Planung zugrunde liegende Modell wird auch Simultanmodell genannt. Dem ist die dezentrale Planung gegenübergestellt, welche sich durch verteilte Entscheidungsfindung auszeichnet. Jede dieser Teilplanungen hat lediglich seinen lokalen Vorgaben gerecht zu werden, wobei Planungsziele anderer Planungsbereiche außer Acht gelassen werden. Dadurch kann es zu nicht abgestimmten Planungsergebnissen hinsichtlich des Gesamtziels kommen, was eine Koordination der verteilten Entscheidungsträger notwendig macht. Die vorgefundenen Modelle dieser Planungsform werden aufgrund der Teilplanungen Partialmodelle genannt.

Auch wenn der Koordinationsaufwand bei verteilten Planungsmodellen hoch ist, gibt es nachvollziehbare Gründe, die die Vorteile dezentraler Planung hervorheben. Aufgrund der monolithischen Eigenschaften zentraler Planung, werden alle relevanten Entscheidungen in einem Planungsmodell getroffen. Die Konsequenz daraus ist, dass entsprechende Planungsmodelle äußerst komplex und nur mit hohem Rechenaufwand zu lösen sind. Im Gegensatz dazu kann der Planungsaufwand kleinerer Modelle bei Anwendung dezentraler Planung erheblich geringer sein. Die notwendige Koordination der Planungsergebnisse vermag, gerade wenn nicht eine vollständige Koordination sondern

⁸⁵ Vgl. [Adam96], S.355ff

lediglich eine Abstimmung der Ergebnisse ausreichend ist, den Gesamtaufwand zur Lösungsfindung nicht derart vergrößern, so dass ein klarer zeitlicher Vorteil besteht. Dieses ist ein entscheidender Punkt, welcher eine praktische Anwendbarkeit klar herausstellt, da bei realen Entscheidungsgrößen der Zeitfaktor für eine Planung entscheidend sein kann. Zudem entspricht eine dezentrale Planung viel eher den gegebenen Organisationsstrukturen im unternehmerischen Umfeld, was eine Übertragung des Planungskonzeptes in reale Umgebungen fördert.

Vorteile zentraler Planung/ (Nachteile dezentraler Planung)	Vorteile dezentraler Planung/ (Nachteile zentraler Planung)
<ul style="list-style-type: none"> • keine Koordination notwendig • Berücksichtigung aller Abhängigkeiten 	<ul style="list-style-type: none"> • geringerer Planungsaufwand • schnellere Entscheidungsfindung

Tabelle 1 Vorteile zentraler bzw. dezentraler Planung⁸⁶

3.2.2 Hierarchische Planung

Zentrale und dezentrale Planung, wie sie in Abschnitt 3.2.1 vorgestellt wurden, finden aufgrund der stark einseitigen Gegensätze nur selten in reiner Form Anwendung. Um den Konflikt beider Planungsformen aufzulösen, wurde das Konzept der hierarchischen Planung entworfen, welches die Vorteile beider Verfahren vereint. Hierarchische Planung beschreibt nicht nur einen Planungsansatz sondern ein Vorgehen zur Bildung eines hierarchischen Planungssystems, welches aus mehreren Partialmodellen zusammengesetzt ist. Ziel ist, die Partialmodelle so zu gestalten, dass einfach zu lösende Planungsaufgaben entstehen, welche gekoppelt eine Lösung des gesamten Planungsproblems formen.⁸⁷ Hierarchische Planung eignet sich insbesondere für den Einsatz innerhalb von Unternehmen, da der Planungsansatz des Verfahrens der hierarchischen Organisationsstruktur innerhalb von Unternehmen ähnelt.⁸⁸

Auch wenn hierarchische Planung bereits seit Jahrzehnten bekannt ist und diskutiert wird⁸⁹, finden sich die meisten praktischen Anwendungen in der Produktionsplanung⁹⁰ wieder. Im Kern werden die bekannten Zeit-Dimensionen der Planungsebenen aus der

⁸⁶ Vgl. [Adam96], S.374

⁸⁷ Vgl. dazu [Stad88], S.2

⁸⁸ Vgl. [JaBi99], S.52

⁸⁹ Vgl. [BiTi93]

⁹⁰ Hierbei insb. als hierarchische Produktionsplanung (HPP)

hierarchischen Planung übernommen⁹¹. Das allgemeine Vorgehen bei der Bildung der verteilten Planungsaufgaben wird durch die folgenden Verfahren beschrieben. Beginnend mit der Dekomposition wird die gesamte Planungsaufgabe unter Beachtung der hierarchischen Strukturen in Teilmodelle zerlegt und durch einzelne Kopplungspunkte koordiniert⁹². Die jeweiligen Teilmodelle weisen unterschiedliche Ausprägungen hinsichtlich der Daten- und Zeitaggregation auf, welche entlang der Hierarchie top down abnimmt⁹³.

Dekomposition kann sowohl horizontal als auch vertikal erfolgen, setzt aber voraus dass innerhalb der gesamten Planungsaufgabe Teilbereiche vorzufinden sind, welche keine oder geringfügige Abhängigkeiten zueinander aufweisen. In einem Produktionsumfeld kann die Dekomposition auf zwei Arten erfolgen, zum einen nach *ablauforganisatorischen Prinzipien* und zum anderen durch eine *marktbezogene Aufteilung*⁹⁴. Erstes gliedert den Fertigungsbereich anhand der Maschinen und Fertigungssysteme, was sowohl horizontal wie auch vertikal erfolgen kann. Zweites bezieht sich auf die unterschiedlichen Produkte bzw. Produktgruppen, wobei die Ähnlichkeit zwischen den Erzeugnissen gewichtig ist. Sind die Unterschiede bspw. hinsichtlich Produktionseigenschaften gering, so werden diese Erzeugnisse bei der Planung gemeinsam betrachtet, sind sie wiederum größer so werden sie in disjunkten Planungsproblemen einbezogen. Aus den dekomponierten Teilaufgaben resultiert das Verfahren der Hierarchisierung. Es gilt die hierarchische Struktur zwischen den einzelnen Teilaufgaben zu identifizieren. In dieser Phase der hierarchischen Modellbildung weisen die einzelnen Teilprobleme durchaus noch eine hohe Modellkomplexität auf, was durch eine Aggregation verringert werden kann. Gerade auf den oberen Entscheidungsebenen, welche einen umfassenden Gesamtüberblick bezüglich des Planungsproblems aufweisen, kann eine verstärkte Aggregation das Planungsmodell erheblich vereinfachen. Beim Absteigen innerhalb der Hierarchie sollte der Aggregationsgrad abnehmen, so dass eine fein detaillierte Planung auf den untersten Planungsebenen, welche operativ ausgerichtet sind, erfolgen kann.

⁹¹ Grundlegende Arbeit wurde von Anthony in [Anth65] geleistet, aus welcher sich drei Ebenen der Entscheidungsfindung entwickelt haben. Die Ebenen unterscheiden sich hauptsächlich bezüglich der Zeitkomponente innerhalb welcher Entscheidungen Einfluss auf zukünftige Entwicklung der Unternehmung haben. Man spricht in diesem Kontext vom Planungshorizont welcher die drei Ebenen in langfristige (nach Anthony: Strategic planning), mittelfristige (nach Anthony: management control) und kurzfristige Planung (nach Anthony: operational control) einteilt.

⁹² Vgl. [Betg06], S.82

⁹³ Vgl. dazu [Betg06], S.84. In [Gebh09], S.7 schreibt Gebhard dazu: „Zwar ist aufgrund der Vereinfachung ein gewisser Grad an Suboptimalität zu erwarten, dennoch führt die HPP nicht zu deutlichen Verschlechterungen gegenüber der Simultanplanung, sondern ermöglicht bei praxisrelevanten Problemen oftmals überhaupt erst eine Lösung“

⁹⁴ Über die Bedeutung des Operations Research für die hierarchische Produktionsplanung, vgl. [KiSt01], S.124

Die gebildeten Teilprobleme müssen miteinander koordiniert werden, wobei mehrere Koordinationsmöglichkeiten bestehen. Wie von Schneeweiß⁹⁵ beschrieben, kann bei einer allgemeinen Top-Down-Kopplung auf jegliche Koordination verzichtet werden. Eine Rückkopplung von unteren Planungsebenen, gerichtet an die vorgeschalteten, beschreibt eine weitere Möglichkeit der Koordination⁹⁶. Hierbei muss unterschieden werden, ob eine Rückkopplung während des Planungsvorgangs oder nach einer abgeschlossenen Gesamtplanung erfolgt. Durch Anwendung dieses Vorgehens ergibt sich ein hierarchisches Planungssystem für Produktionssysteme, wobei keine Standardlösung vorgeschlagen werden kann sondern abhängig vom Umfeld immer neu entschieden werden muss, wie die konkrete Ausgestaltung der Planungsbestandteile vorgenommen werden muss.

3.3 Formale Planung operativer Betriebsaktivitäten

Der folgende Abschnitt wird einen Überblick zur formalen Umsetzung der relevanten Planungsaktivitäten innerhalb eines Produktionssystems geben. Dieser beschränkt sich auf den Bereich der linearen sowie gemischt ganzzahligen Programmierung⁹⁷ und in einigen Fällen auch auf die Anwendung von Heuristiken. Diese Methoden aus dem Operations Research haben sich als Standard bei der Modellierung von Planungsaktivitäten neben Anwendungen wie der Simulation etabliert. Grund dafür sind zum einen die klare Strukturierung und nachvollziehbare Formulierung des Problems als ein lineares Gleichungssystem, wobei relevante Entscheidungsgrößen in der Formulierung präzise eingebunden werden können. Zum anderen erweist sich die Lösungsfindung entlang einer Zielfunktion, die relevante Bewertungsgrößen beinhaltet, als methodisch nachvollziehbares und in Unternehmensleitungen akzeptiertes Vorgehen. Die resultierenden Ergebnisse sind daher klar nachvollziehbar und bieten gerade im Umfeld der mehrzielorientierten Entscheidungsfindung in Unternehmen eine durchaus sinnvolle Alternative bzw. Ergänzung zu klassischen und etablierten Planungsmethoden.

Abhängig vom jeweiligen Planungszusammenhang existieren bereits Standardmodelle, welche hinsichtlich praktischer Anwendung bedeutende Planungsbestandteile nicht abdecken, allerdings durch entsprechende Erweiterungen durchaus in praxisnahe Modelle überführt werden können.

⁹⁵ Vgl. [Schn94]

⁹⁶ Vgl. dazu auch [Stad88], S.127

⁹⁷ Tempelmeier ([Temp08], S.107) weist auf den engen Zusammenhang zwischen der Erzeugnisstruktur von Produkten und der Darstellung dieser durch lineare Gleichungssysteme hin.

Im Kontext der operativen Planung in Produktionssystemen ist die Bestimmung der Produktionstermine sowie Losgrößen⁹⁸ unter Einhaltung vorhandener Kapazitäten ein bestimmender und umfangreicher Planungsgegenstand. Nach Tempelmeier bestehen zwei Alternativen:

- **Materialbereitstellung im Bedarfsfall:** Produktion bzw. Beschaffung erfolgt in der Bedarfsperiode mit der jeweiligen Nettobedarfsmenge des erforderlichen Produktes.
- **Vorratshaltung der Materialien:** Es werden mehrere Nettobedarfsmengen zusammengefasst und bis zum tatsächlichen Bedarfszeitpunkt zwischengelagert.

In beiden Fällen stehen sich unterschiedliche Kostengrößen gegenüber, welche es in Balance zu halten gilt. Im Falle der bedarfsorientierten Materialbereitstellung sind geringe Lagerkosten zu erwarten, allerdings stehen diesen hohe Beschaffungs- bzw. Rüstkosten gegenüber. Wenn das Prinzip der Vorratshaltung verfolgt wird sind insbesondere Lagerkosten und geringe Rüstkosten zu erwarten.

Erweitert man dieses um den Anspruch einer kostenoptimalen Planung, so sind weitere Kostenfaktoren einzubeziehen. Insbesondere in Produktionsumgebungen, in denen mehrere unterschiedliche Produkte hergestellt werden, ist bei einem Produktwechsel auf einer Anlage von einem Umrüsten der Anlage auszugehen, was abhängig vom Rüstumfang sowohl zeit- wie kostenintensiv sein kann.

In komplexen Fertigungsumgebungen mit mehrstufigen Erzeugnisstrukturen ergeben sich weitere Anforderungen, die in die Planungsaktivitäten eingebunden werden müssen. Zum einen ist die Tatsache, dass Produkte aus Baugruppen oder Einzelteilen zusammengesetzt sind von Bedeutung, da diese eine Abhängigkeit voneinander beschreiben, welche das Planungsvorgehen um eine weitere zeitliche Komponente erweitert. So ist eine Verfügbarkeit der Zwischenprodukte zu garantieren, um die von den Kunden angeforderten Bedarfsmengen auf Endproduktebene rechtzeitig erfüllen zu können. Die Knappheit von Produktionsfaktoren beschreibt kapazitative Einschränkungen des Produktionsumfelds, welche eine reine kostenminimierende Betrachtung der Losgrößen- und Reihenfolgeentscheidungen beeinflussen bzw. verhindern kann.

Sind die Produktionsmengen sowie Produktionstermine bekannt, gilt es die Planung der Materialversorgung aufzusetzen und Bestellungen an die Lieferanten zu übermitteln⁹⁹, so dass eine rechtzeitige Verfügbarkeit der Materialien garantiert werden kann. Hierbei ist zu beachten, dass eine zeitliche Vorlaufverschiebung existiert, welche sich durch

⁹⁸ Eine Losgröße beschreibt eine Menge eines Produktes, welche durch Produktion hergestellt oder Beschaffung eingekauft werden kann.

⁹⁹ Vgl. Stadtler in [Stad08], S.216: Dort wird auf die unterschiedlichen Kopplungspunkte bei der Bestellauslösung zwischen Produktionsplanung und Bestellmengenplanung hingewiesen.

Produktion beim Zulieferer bzw. Transport zum eigenen Unternehmen ergibt. Als wichtiger Bestandteil des Beschaffungsprozesses ist die Auswahl der Zulieferer sowie die Festlegung der Bestellmengen und Bestellzeitpunkte zu sehen. Nach Reith-Ahlemeier stellen „*Lieferantenauswahl und Bestellmengenplanung [...] wesentliche Planungsprobleme im Rahmen der Materialbeschaffung [...]*“¹⁰⁰ dar.

Der allgemeine Beschaffungsprozess umfasst mehrere Entscheidungsgrößen, welche sowohl horizontal wie auch vertikal verteilt sind. Wie in allen entscheidungsrelevanten Planungsumfeldern spielen auch hier strategische, taktische und operative Maßnahmen eine Rolle, wobei im Folgenden die operativen Maßnahmen im Fokus stehen. Entscheidungen wie ‚Make or Buy‘ oder Ausgestaltungen von Zuliefererverträgen werden ausgelassen und Entscheidungen der Lieferantenauswahl im strategischen bzw. taktischen Planungsfokus nicht betrachtet. Die verbleibenden operativen Entscheidungsgrößen befassen sich mit den Bestellmengen, der Verteilung der Bestellmengen auf die Lieferanten und der Bestimmung der Bestellzeitpunkte. Zusätzlich dazu ist es wichtig, bekannte Kapazitäten¹⁰¹ in die Planung mit einzubeziehen. Eine Bewertung der Planungsergebnisse erfolgt auf Basis der entstehenden Kosten, welche primär aus Bestell-, Material- und Lagerkosten bestehen. Abhängig von weiteren an das Planungsproblem gestellten Anforderungen, können diese selbstverständlich erweitert werden um bspw. Rabattierungen, Produktionsausfallkosten bei unzureichender Materialversorgung oder transportabhängigen Kosten.

Ebenfalls an die Planung der Produktion anknüpfend gilt es im Verlauf der Personalkapazitäts- und Personaleinsatzplanung den notwendigen und über die Zeit schwankenden Personalbedarf zu ermitteln sowie die Mitarbeiter den jeweiligen Produktionsaufgaben zuzuordnen. Die sich daraus ableitenden Schichteinsatzpläne unterliegen einer Vielzahl an Vorgaben und Restriktionen, die sowohl aus dem betrieblichen Umfeld kommen sowie vom Gesetzgeber vorgegeben werden und die planerische Aufgabe erheblich verkomplizieren.

Allgemein ist zu erwähnen, dass zwischen der Planung von Produktions- und Personalkapazitäten erhebliche Wechselwirkungen bestehen und die Verfügbarkeit des Potenzialfaktors Personal für die Produktion unabdingbar ist.¹⁰² Wie alle anderen vorgestellten

¹⁰⁰ Vgl. [Reit02], S.4

¹⁰¹ Kapazitäten in diesem Kontext umfassen Produktionskapazitäten der Lieferanten sowie eigene Lager- und Handlingkapazitäten

¹⁰² Schneeweiß ([Schn92], S.1) führt aus, dass nicht mehr die Maschinen für die Bestimmung der Produktionskapazitäten den Engpass darstellen, sondern das diese durch das Personal entstehen, weshalb die Planung der Personalkapazitäten gleichbedeutend mit der Planung der Produktionskapazitäten zu setzen sind.

Planungsaktivitäten auch, erfolgt die Personalplanung auf langfristiger, mittelfristiger und kurzfristiger Ebene entlang eines hierarchischen Planungsvorgehens, wobei sowohl strategische, taktische und operative Planungsabsichten im Vordergrund stehen.¹⁰³

Gerade bei der Personalplanung existieren unterschiedliche Vorstellungen von einem Zielerreichungsgrad. Aus Sicht des Unternehmens besteht das Ziel darin, einen ökonomischen Einsatz der wertvollen Personalressourcen zu erreichen. Die zu veranschlagenden Kosten beziehen sich auf die unterschiedlichen Schichten sowie auf den Einsatz von Überstunden, um die vorgegebene Produktionskapazität zu erfüllen. Werden weitere individuelle Entscheidungsgrößen des Personals, wie beispielsweise die unterschiedliche Qualifikation der Mitarbeiter und damit verbundene unterschiedliche Gehaltsstufen mit einbezogen, so gestaltet sich das Planungsproblem als erheblich komplexer.

In den folgenden drei Abschnitten wird auf die einzelnen Planungsaktivitäten eingegangen sowie ein Überblick hinsichtlich allgemeiner und spezieller industrieller Anwendung und Lösungsfindung gegeben. Wo möglich, wird eine Auswahl an Lösungsmethoden als Grundlage für das zu erarbeitende Konzept vorgenommen bzw. auf mögliche Anpassbarkeit der Lösungsmethoden hingewiesen.

3.3.1 Produktionsplanung

Die Darstellung und Planung eines Produktionssystems kann mit unterschiedlicher Detailtiefe erfolgen, wobei der kleinsten betrachteten Zeiteinheit eine große Bedeutung zukommt. Diese Detailtiefe teilt entsprechende Planungsmodelle in Makroperioden- sowie Mikroperiodenmodelle¹⁰⁴ ein. Im Folgenden werden zwei Makroperiodenmodelle sowie ein Mikroperiodenmodell vorgestellt, welche de facto als Standardformulierungen für die Probleminstanzen der Produktionskapazitäts- und Reihenfolgeplanung verstanden werden¹⁰⁵. Im Anschluss daran werden Arbeiten, die auf diesen Modellen aufbauen bzw. ähnliche Formulierungen verwenden, vorgestellt und ein Überblick zu praktischen Anwendungen in industriellen Umgebungen gegeben.

¹⁰³ Vgl. [Schn92], S.1f

¹⁰⁴ Makroperiodenmodelle charakterisieren sich durch die Eigenschaft, dass innerhalb einer Planungsperiode mehr als zwei Produkte hergestellt werden können. Zudem lässt die Formulierung der Modelle keine Bestimmung der Produktionsreihenfolge zu. Im Gegensatz dazu ermöglichen Mikroperiodenmodelle innerhalb einer Planungsperiode Produktion von höchstens zwei unterschiedlichen Produkten, verbunden mit einem dazwischen liegenden Rüstvorgang. Modelle dieser Kategorie sind zudem in der Lage die Produktionsreihenfolge zu bestimmen.

¹⁰⁵ Es existieren auch hybride Modelle wie bspw. das GLSP, welches sowohl Big Bucket- wie auch Small Bucket-Eigenschaften aufweist. Vgl. dazu [FlMe97]

3.3.1.1 Produktionskapazitätsplanung

Allgemeine Grundlage eines Makroperiodenmodells stellt das Capacitated Lotsizing Problem (CLSP) dar. Es handelt sich um ein dynamisches, einstufiges Mehrprodukt-Losgrößenmodell, welches kapazitativ begrenzt ist. Eine Erweiterung dieses Modells wird durch das Multi-Level Capacitated Lotsizing Problem (MLCLSP) beschrieben, welches Mehrstufigkeit abbilden kann.

3.3.1.1.1 Einstufiges Mehrprodukt-Losgrößenmodell

Im folgenden Abschnitt wird das CLSP¹⁰⁶ vorgestellt, welches in vielen Situationen Anwendung findet, die sich durch ein einstufiges, kapazitativ begrenztes Planungsumfeld auszeichnen.

Modellformulierung

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T (s_k * \gamma_{kt} + h_k * y_{kt} + p_{kt} * q_{kt}) \quad \text{Zielfunktion (F1)}$$

$$y_{k,t-1} + q_{kt} - y_{kt} = d_{kt} \quad , \forall k, t \quad (\text{F2})$$

$$q_{kt} - M * \gamma_{kt} \leq 0 \quad , \forall k, t \quad (\text{F3})$$

$$\sum_{k=1}^K (tb_{jk} * q_{kt} + tr_{jk} * \gamma_{kt}) \leq b_{jt} \quad , \forall j, t \quad (\text{F4})$$

$$q_{kt} \geq 0 \quad , \forall k, t \quad (\text{F5})$$

$$y_{k0} = 0; y_{kT} = 0 \quad , \forall k \quad (\text{F6})$$

$$y_{kt} \geq 0 \quad , \forall k, t \quad (\text{F7})$$

$$\gamma_{kt} \in \{0,1\} \quad , \forall k, t \quad (\text{F8})$$

Entscheidungsvariablen

q_{kt} Losgröße für Produkt k in Periode t

y_{kt} Lagerbestand für Produkt k am Ende der Periode t

γ_{kt} Binäre Rüstvariable für Produkt k in Periode t

Parameter

b_{jt} Kapazität der Ressource j in Periode t

¹⁰⁶ Die Formulierung ist aus [Temp08] entnommen

d_{kt}	Bedarf an Produkt k in Periode t
h_k	Lagerkosten für ein Produkt k
J	Anzahl der verfügbaren Ressource
K	Anzahl der herstellbaren Produkte
M	Big M
p_{kt}	Produktionskosten für Produkt k in Periode t
s_k	Rüstkosten für Produkt k
T	Länge des Planungszeitraums
tb_{jk}	Stückbearbeitungszeit für Produkt k an Ressource j
tr_{jk}	Rüstzeit für Produkt k an Ressource j

Die Zielfunktion (F1) beschreibt die Summe der Produkte K innerhalb des Planungshorizonts T und minimiert die Kosten, welche aus Rüstkosten, Lagerkosten und variablen Produktionskosten bestehen. Die Gleichung F2 beschreibt die Lagerbilanzgleichung des Modells und drückt die Erfüllung der Bedarfe durch vorhandenen Lagerbestand bzw. Produktion aus. Der Lagerbestand der letzten Periode $y_{k,t-1}$ sowie die Produktionsausbringung der aktuellen Periode q_{kt} werden genutzt um den Kundenbedarf d_{kt} zu erfüllen, wobei der Restlagerbestand y_{kt} am Ende der aktuellen Periode ermittelt wird. Die Notwendigkeit eines Rüstvorgangs bei Auflegen eines Produktes wird durch die Restriktion F3 ausgedrückt. Die für das Modell charakteristische Kapazitätsrestriktion (F4) beinhaltet als einschränkende Größe die verfügbare Nutzungsdauer einer Maschine innerhalb einer Planungsperiode.

3.3.1.1.2 Mehrstufiges Mehrprodukt-Losgrößenmodell

Das bereits vorgestellte einstufige Losgrößenmodell (CLSP) wird im Folgenden bezüglich eines mehrstufigen Produktionsumfeldes erweitert. Die bereits bekannte Zielfunktion sowie Restriktionen werden, mit Ausnahme der Lagerbilanzgleichung, nicht verändert.

Modellformulierung

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T (s_k * \gamma_{kt} + h_k * y_{kt} + p_{kt} * q_{kt}) \quad \text{Zielfunktion (F1)}$$

$$y_{k,t-1} + q_{kt-z_k} - \sum_{i \in N_k} a_{ki} * q_{it} - y_{kt} = d_{kt} \quad , \forall k, t \quad (\text{F2})$$

$$q_{kt} - M * \gamma_{kt} \leq 0 \quad , \forall k, t \quad (\text{F3})$$

$$\sum_{k=1}^K (tb_{jk} * q_{kt} + tr_{jk} * \gamma_{kt}) \leq b_{jt} \quad , \forall k, t \quad (\text{F4})$$

$$q_{kt} \geq 0 \quad , \forall k, t \quad (\text{F5})$$

$$y_{k0} = 0; y_{kT} = 0 \quad , \forall k \quad (\text{F6})$$

$$y_{kt} \geq 0 \quad , \forall k, t \quad (\text{F7})$$

$$\gamma_{kt} \in \{0,1\} \quad , \forall k, t \quad (\text{F8})$$

Entscheidungsvariablen

q_{kt}	Losgröße für Produkt k in Periode t
y_{kt}	Lagerbestand für Produkt k am Ende der Periode t
γ_{kt}	binäre Rüstvariable für Produkt k in Periode t

Parameter

a_{ki}	Direktbedarfskoeffizient bzgl. Produkt k und i
b_{jt}	Kapazität der Ressource j in Periode t
d_{kt}	Bedarf an Produkt k in Periode t
h_k	Lagerkosten für ein Produkt k
J	Anzahl der verfügbaren Ressourcen
K	Anzahl der herstellbaren Produkte
M	Big M
N_k	Indexmenge der Nachfolger des Produkts k
p_{kt}	Produktionskosten für Produkt k in Periode t
s_k	Rüstkosten für Produkt k
T	Länge des Planungszeitraums
tb_{jk}	Stückbearbeitungszeit für Produkt k an Ressource j
tr_{jk}	Rüstzeit für Produkt k an Ressource j
z_k	Mindestvorlaufzeit eines Auftrags für Produkt k

Die Gleichung F10 beschreibt die Erfüllung der Bedarfe für die Produkte k in der Periode t . Dazu wird der Lagerbestand der Vorperiode $y_{k,t-1}$ sowie die Produktionsausbringung q_{kt} der aktuellen Periode zusammengefasst, um den Sekundärbedarf der eigenen Fertigung sowie den Primärbedarf d_{kt} zu decken. Die verbleibende Produktmenge beschreibt den Endlagerbestand y_{kt} der aktuellen Periode. Der Sekundärbedarf ermittelt sich durch $\sum_{i \in N_k} a_{ki} * q_{it}$ und besteht aus der Summe der Produktmengen q aller Produkte i , in welche das Produkt k mit Faktormenge a einfließt.

Aufgrund der Ähnlichkeit der Modelle CLSP und MLCLSP existiert eine große Fülle an Erweiterungen, welche auf beide Modelle gleichermaßen angewendet werden können. Diese umfassen unter anderem periodenübergreifende Lose, die Möglichkeit von Produktionsrückstand bzw. Produktionsverlusten oder die Verwendung paralleler Maschinen. Ein Überblick zu einigen dieser Erweiterungen wird in Abschnitt 3.3.1.3 gegeben.

3.3.1.2 Reihenfolgeplanung

Nachdem in den vorherigen beiden Abschnitten Standardmodelle für die einstufige bzw. mehrstufige Losgrößenplanung auf Makroplanungsebene vorgestellt wurden, wird in diesem Abschnitt ein Modell für die Losgrößen- und Reihenfolgeplanung auf Mikroebene beschrieben¹⁰⁷. Es handelt sich um das Discrete Lot Sizing and Scheduling Problem¹⁰⁸ (DLSP):

Modellformulierung

$$\text{Min } Z = \sum_{jt} S_j * \max(0, y_{jt} - y_{j,t-1}) + h_j * I_{jt} \quad \text{Zielfunktion (F1)}$$

$$I_{jt} = I_{j,t-1} + p_j * y_{jt} - d_{jt} \quad , \forall j, t \quad (\text{F2})$$

$$\sum_j y_{jt} \leq 1 \quad , \forall t \quad (\text{F3})$$

$$I_{jt} \geq s_{jt} \quad , \forall j, t \quad (\text{F4})$$

$$y_{jt} \in \{0,1\} \quad , \forall j, t \quad (\text{F5})$$

¹⁰⁷ Es existiert eine Fülle weiterer Small Bucket Modelle, wie beispielsweise das PLSP oder CSLP, welche in dieser Arbeit nicht näher vorgestellt werden. Arbeiten dazu finden sich bspw. in [Haas94] oder [Haas96]

¹⁰⁸ Vgl. dazu [Flei90]

Entscheidungsvariablen

x_{jt}	Produktionsmenge von Produkt j in Periode t
y_{jt}	Rüttzustand der Maschine für das Produkt j in Periode t
I_{jt}	Lagerbestand von Produkt j am Ende von Periode t

Parameter

J	Anzahl der herstellbaren Produkte
T	Länge des Planungszeitraums
d_{jt}	Bedarf an Produkt j in Periode t
p_j	Produktionsgeschwindigkeit für Produkt j
k_t	Verfügbare (Zeit-)Kapazität in Periode t
h_j	Lagerkosten für Produkt j (pro Teil und Zeiteinheit)
S_j	Rüttkosten für Produkt j
I_{j0}	Initialer Lagerbestand von Produkt j
s_{jt}	Sicherheitsbestand von Produkt j am Ende von Periode t

Die Zielfunktion beschreibt über den gesamten Planungshorizont eine Minimierung der Kosten, die sich aus Rüst- und Lagerkosten zusammensetzen. Die Formulierung $\max(0, y_{jt} - y_{j,t-1})$ beschreibt das Rüsten bzw. den Rüttzustand der Maschine für das jeweilige Produkt j durch die Binärvariable y . Die Gleichung F2 repräsentiert die Lagerbilanz und dient der Erfüllung der Bedarfe. Der Endlagerbestand der Vorperiode $I_{j,t-1}$ sowie die Produktionsausbringung der aktuellen Periode werden kumuliert und dienen der Erfüllung des Bedarfs d_{jt} . Die verbleibende Menge stellt den Lagerbestand I_{jt} der aktuellen Periode dar. Die Produktionsausbringung wird durch den Term $p_j * y_{jt}$ beschrieben und repräsentiert die „all or nothing“-Annahme, welche für das DLSP charakteristisch ist. Sie drückt aus dass, falls in einer Planungsperiode ein Produkt j produziert wird, die vollständige Periode dafür genutzt wird und kein anderes Produkt in dieser Periode aufgelegt werden kann. Der Parameter p_j steht für die Anzahl an Teilen, welche von Produkt j innerhalb einer Periode hergestellt werden können.

$$p_j = \frac{\text{Zeitkapazität einer Planungsperiode } t}{\text{Taktzeit für Produkt } j}$$

Die Gleichung F3 regelt, dass die Maschine sich immer nur in einem Rüttzustand befinden kann.

3.3.1.3 Literaturüberblick

Dieser Abschnitt wird einen Überblick zu existierenden Arbeiten im Umfeld der Produktionskapazitäts- und Reihenfolgeplanung geben. Neben allgemeinen Arbeiten, welche sich auf die generelle Problembeschreibung konzentrieren, werden spezielle Arbeiten vorgestellt, die sich mit der praktischen Anwendung der Planungsmodelle befassen. Im Fokus stehen Arbeiten, welche die Planungsprobleme als lineare oder gemischt ganzzahlige Programme formulieren und diese exakt bzw. durch Anwendung von Heuristiken lösen.

Erste Ansätze, Kapazitätsrestriktionen des Produktionsumfeldes in die Planung von Losgrößen bei dynamischen Kundenbedarfen mit einzubeziehen und diese durch mathematische Programme zu beschreiben, wurden in den Arbeiten von Gorenstein¹⁰⁹, Newson¹¹⁰, Eisenhut¹¹¹ sowie Baker et al.¹¹² vorgestellt, wobei die Lösungsfindung noch durch allgemeine Algorithmen bzw. dynamische Programmierung erfolgte. In der Arbeit von Gorenstein wird auf ein Praxisbeispiel eingegangen, für welches ein Planungsverfahren entwickelt wird, das sowohl lang- wie auch kurzfristige Planungsaufgaben bewältigt. Die Arbeit von Newson erwähnt erstmals das Synonym CLSP (Capacitated Lotsizing Problem). Van Wassenhove und De Bodt¹¹³ verwenden eine Formulierung des CLSP um einen ausgewählten Produktionsbereich in einem Spritzgussunternehmen abzubilden, wobei ein mehrstufiger Produktionsprozess in mehrere einstufige CLSP-Modelle dekomponiert wird. Als Lösungsmethode verwenden sie modifizierte Heuristiken, welche für alle Perioden auf Basis von Prioritätsregeln Lose erzeugen, bis die Maschinenkapazitäten voll ausgenutzt sind.

In [EpMa87] werden Ansätze zur Umformulierung verschiedener Planungsmodelle vorgestellt, unter denen sich auch das CLSP befindet. Die gegebenen linearen bzw. gemischt ganzzahligen Modelle werden durch ein standardisiertes Vorgehen in neue Problemstrukturen überführt, welche mit geringerem Aufwand gelöst werden können. In [MaWa88] wird von Maes und Van Wassenhove ein Überblick zu Heuristiken gegeben, die genutzt werden können um der komplexen Problemstellung des CLSP zu begegnen und bei praktischen Problemgrößen in akzeptabler Zeit Ergebnisse zu erhalten. Die Heuristiken haben den Autoren zufolge Anwendung in Industrieprojekten der Chemie-, Pharmazie- und Kunststoffbranchen gefunden. Millar und Yang formulieren in [Mi-

¹⁰⁹ Siehe [Gore70]

¹¹⁰ Siehe [News75]

¹¹¹ Siehe [Eise75]

¹¹² Siehe [BDMS78]

¹¹³ Siehe [WaBo83]

Ya94] das CLSP mit *backorder* (*Verzug*), wodurch das Modell für praxisnahe Situationen angepasst wird. Diese Formulierung ermöglicht es, Kundenbedarfe nicht zum gewünschten Kundentermin sondern zu einem späteren Zeitpunkt zu erfüllen, wobei der entstehende Lieferverzug in der Zielfunktion der Problemformulierung mit hohen Strafkosten bewertet wird. In der Arbeit von Sox und Gao¹¹⁴ wird eine Formulierung des CLSP mit Rüstübertrag beschrieben, wodurch der Rüstzustand einer Maschine in die Folgeperiode mitgenommen werden kann, so dass bei Auflegen des gleichen Loses keine erneuten Rüstkosten anfallen. Das CLSP erhält dadurch eine besondere Eigenschaft, die dem Big Bucket-Modell die Fähigkeit einer partiellen Reihenfolgeplanung ermöglicht. Wenn der Rüstzustand von einer Periode in die Nachfolgende übernommen wird, so wird bestimmt mit welchem Produkt der eine Tag endet und der andere Tag beginnt. Demzufolge sind die Anfangs- und Endlose eines Tages bekannt und es müssen lediglich die verbleibenden Lose dazwischen ermittelt werden. In [OeBo00] wird das CLSP mit *overtime* (*Überstunden*) formuliert. Durch diese Formulierung ist es möglich, Engpässe mittels Überstunden abzufangen, solange die tatsächlich verfügbaren Kapazitäten dadurch nicht überschritten werden. Aufgrund der Schwierigkeiten, Lösungen in akzeptabler Zeit zu erhalten, verwenden die Autoren eine hierarchische Planung sowie Heuristiken wie genetische Algorithmen und simulierte Abkühlung.

Kolisch beschreibt in [Koli00] ein Produktionsumfeld, das sich als auftragsbezogene Kleinserienfertigung oder projektorientierte Einzelfertigung charakterisieren lässt. Es werden zwei Modelle vorgestellt, die miteinander kombiniert das Planungsszenario gestalten und eine Projektplanung aufzusetzen, an welche eine maschinenbezogene Produktionsplanung anschließt. Für Letztere verwendet der Autor eine Modifikation des CLSP. Ebenfalls eine Modifikation des CLSP wird von Haase und Kimms¹¹⁵ vorgestellt. Die Eigenschaften des Big Bucket-Modells werden dahingehend verändert, dass reihenfolgeabhängiges Rüsten betrachtet werden kann, was bedeutet, dass die Abfolge des Produktionsprogramms für die betrachteten Maschinen ermittelt wird. Dabei werden bereits bekannte Rüstsequenzen verwendet, wobei im Modell entschieden werden muss, welche Rüstsequenz und demzufolge welche Produktionsabfolge gewählt wird. Das beschriebene Modell wurde im Praxiseinsatz in der Printmedienindustrie verwendet.

Quadt und Kuhn¹¹⁶ nutzen CLSP-Modelle für die Halbleitermontage, wobei ein hierarchischer Lösungsansatz gewählt wurde. Die Eigenschaften der Modelle umfassen La-

¹¹⁴ Siehe [SoGa99]

¹¹⁵ Siehe [HaKi00]

¹¹⁶ Siehe [QuKu09] oder [QuKu03]

gerverzug, Übernahme des Rüstzustands in die Folgeperiode sowie parallele Montageanlagen. Die Autoren stellen zudem Heuristiken zur Lösungsfindung vor. Eine Modellformulierung, welche minimale Losgrößen voraussetzt, findet sich in der Arbeit von Mercé und Fontan¹¹⁷. Das beschriebene Modell setzt voraus, dass im Falle einer Produktion im Vorfeld festgelegte Mindestgrößen hergestellt werden und beinhaltet außerdem die Möglichkeit des Lagerverzugs. Auch in dieser Arbeit werden Heuristiken vorgestellt, um der Problemgröße zu begegnen und gültige Lösungen zu erhalten.

In [MNS07] wird ein hybrider Ansatz vorgestellt, welcher ein Big Bucket- und ein Small Bucket-Modell nutzt um die Planung eines Abfüllunternehmens für Joghurt zu unterstützen. Das Big Bucket-Modell ist ein CLSP, das neben den geläufigen Restriktionen parallele Maschinen verwendet. Eine weitere Praxisanwendung, in welcher ein CLSP-Modell genutzt wird, modelliert die mittelfristige Produktions- und Ablaufplanung einer Brauerei.¹¹⁸ Das Modell umfasst einen mittelfristigen Planungshorizont von einem Jahr, wobei die kleinste Planungszeiteinheit eine Kalenderwoche darstellt. Aufgrund des Umstandes, dass verderbliche Genussmittel geplant werden, unterliegt das Lager einer maximal erlaubten Lagerdauer der einzelnen Produkte. Ebenso existieren Mindestlosgrößen und der Rüstzustand der Abfüllanlagen kann in die Folgeperiode übernommen werden. Die Autoren stellen zudem ein zeitbasiertes Dekompositionsverfahren vor, da dieses Praxisproblem sonst nicht mit vertretbarem Zeitaufwand gelöst werden kann. Almada-Lobo et al. formulieren in [AOC08] ein Planungsverfahren, welches durch ein CLSP-Modell beschrieben und durch eine Nachbarschaftssuche gelöst wird. Das Modell beinhaltet reihenfolgeabhängige Rüstzeiten und die Übernahme des Rüstzustands in eine Folgeperiode.

Die bisher vorgestellten Arbeiten zeigen, dass es eine Vielzahl an praxisrelevanten Formulierungen des CLSP gibt und dass bereits einige Arbeiten in der Praxis umgesetzt wurden. Im nun folgenden Abschnitt werden Arbeiten, die sich mit dem MLCLSP befassen, vorgestellt.

Erste Ansätze, mehrstufige Produktionssysteme anhand von mathematischen Programmen zu beschreiben, finden sich in der Arbeit von Billington, McClain und Thomas¹¹⁹. In [MMW91] werden Heuristiken für eine Problemformulierung vorgestellt, welche auf einem linearen Programm basiert. Die Autoren zeigen, dass insbesondere die Hinzunahme von Rüstzeiten das Problem erheblich komplexer gestaltet. Maes und Van Was-

¹¹⁷ Siehe [MeFo03]

¹¹⁸ Siehe [FHT06]

¹¹⁹ Siehe [BMT83]

senhove¹²⁰ beschreiben Heuristiken, welche genutzt werden um den komplexen Anforderungen der mehrstufigen Planung gerecht zu werden. Sie beziehen sich auf generelle serielle Produktionsstrukturen und verwenden einen „*level-by-level*“-Ansatz, welcher jede Fertigungsstufe isoliert betrachtet. Dazu wird jede Stufe mithilfe eines CLSP gelöst und resultierende Planungsergebnisse an die folgenden Planungsstufen weitergereicht. Ein ähnliches Vorgehen verwenden Tempelmeier und Derstroff¹²¹, wobei der Unterschied darin besteht, dass das Problem in mehrere unkapazitierte Einprodukt-Losgrößenprobleme zerlegt wird. Die Lösungen dieser Probleme können genutzt werden um sowohl untere wie obere Schranken für das Ursprungsproblem zu ermitteln.

Stadtler beschreibt in [Stad96] mehrere alternative Formulierungen des MLCLSP mittels gemischt-ganzzahliger Programmierung. Unter anderem werden Netzwerkstrukturen formuliert, welche es ermöglichen, das ursprüngliche Problem als Standort- und kürzeste Wege-Problem zu beschreiben. Es wird gezeigt, dass bei großen Probleminstanzen die klassischen Formulierungen des MLCLSP im Vergleich zu den vorgestellten netzwerkbasierten Formulierungen bessere Ergebnisse erzielen. Helber bindet ein MLCLSP in ein bestehendes hierarchisches Planungssystem ein und konzentriert sich in [Helb96] auf die Beschreibung und Lösung des MLCLSP mittels bereits existierender Heuristiken. In [HaLe96] wird ein MLCLSP für allgemeine Montagesysteme vorgestellt. Eine Heuristik löst dazu mehrere lineare Teilprobleme des ursprünglichen MLCLSP und identifiziert binäre Rüstvariablen, die in der ursprünglichen Problemformulierung fixiert werden. Eine zeitbasierte Dekomposition wird von Stadtler in [Stad03] vorgestellt. Dazu wird im gegebenen Planungshorizont ein Losgrößenfenster verwendet, das ein Intervall beschreibt, in dem Rüstentscheidungen getroffen werden. Die Bereiche im Planungshorizont, welche außerhalb des Losgrößenfensters liegen werden durch relaxierte Entscheidungsvariablen beschrieben. Durch Vorwärtsrollieren des Losgrößenfensters entlang des Planungshorizonts wird eine vollständige Planung ermöglicht. Bereits geplante Intervalle werden in den nachfolgenden Rollierungsschritten fixiert, so dass diese getroffenen Entscheidungen nicht revidiert werden. Allerdings besteht auch die Möglichkeit, überlappende Losgrößenfenster zu verwenden, welche eine Anpassung bereits getroffener Entscheidungen in späteren Rollierungsschritten zulassen. Diese zeitbasierte Dekomposition wird auch in [SuSt03] verwendet, wobei das betrachtete Grundmodell ein MLCLSP mit Rüstübertrag darstellt.

¹²⁰ Siehe [MaWa91]

¹²¹ Siehe [TeDe93] oder [TeDe96]

Ebenfalls ein MLCLSP mit Rüstübertrag wird in der Arbeit von Sahling et al.¹²² betrachtet, wobei der Algorithmus zur Lösungsfindung ähnlich dem von Suerie und Stadler ist. Eine Praxisanwendung des MLCLSP findet sich in [LiTa06]. Die Autoren beschreiben ein Produktionsumfeld aus der Stahlindustrie und entwickeln eine darauf angepasste Formulierung des MLCLSP. Eine besondere Eigenschaft des Modells ist die Einbeziehung von „*Reverse Logistics*“ (Rücknahmelogistik). Gelöst wird das Problem durch Anwendung einer speziellen Lagrange-Relaxation.

Nachdem Arbeiten sowohl zur einstufigen wie auch mehrstufigen Losgrößenplanung bei Anwendung von Big Bucket-Modellen vorgestellt wurden, wird im folgenden Abschnitt der Fokus auf die Losgrößen- und Reihenfolgeplanung bei Anwendung von Small Bucket-Modellen (insb. dem DLSP) gelegt.

Einer der ersten Forschungsbeiträge zur diskreten Losgrößen- und Reihenfolgeplanung wird von Lasdon und Terjung¹²³ geliefert. Fleischmann hat in [Flei90]¹²⁴ eine erste verallgemeinerte Standardformulierung vorgeschlagen. Salomon et al.¹²⁵ stellen auf Basis dieser Formulierung mehrere praktische Erweiterungen vor wie bspw. die Anwendung von Maschinenanlaufzeiten sowie die Einbeziehung mehrerer paralleler Maschinen. In [HKS94] stellen dieselben Autoren eine reine LP-Formulierung eines Spezialfalls des DLSP vor, dessen Ergebnisse die gewünschte Eigenschaft der Ganzzahligkeit aufweisen. Von Fleischmann kam der erste Beitrag, der sich mit reihenfolgeabhängigen Rüsten beschäftigt.¹²⁶ Das resultierende Modell des DLSP wird in ein Handlungsreisenden-Problem umformuliert und anschließend gelöst. Auf dem Modell von Fleischmann aufbauend, stellen Salomon et al.¹²⁷ eine Erweiterung zum reihenfolgeabhängigen Rüsten vor und formulieren für diese auch ein Handlungsreisenden-Problem, um es zu lösen.

Eine praxisbezogene Erweiterung des DLSP erfolgt durch Brüggemann und Jahnke¹²⁸, welche Formulierungen für die Chargenfertigung (*Batch Production*) ergänzen. In der ursprünglichen Formulierung des Modells stehen die produzierten Mengen am Ende einer Planungsperiode entweder zur Erfüllung der Bedarfe zur Verfügung oder gehen in den gebuchten Lagerbestand über. Dabei wird außer Acht gelassen, ob die Produktion der spezifischen Teile vollkommen abgeschlossen ist oder ob diese in der Folgeperiode fortgesetzt wird. Man beachte die Eigenschaft des DLSP, dass eine Periode unter Um-

¹²² Siehe [SBTH09]

¹²³ Siehe [LaTe71]

¹²⁴ Vergleiche hierzu die Modellformulierung auf Seite 48

¹²⁵ Siehe [SKKW91]

¹²⁶ Siehe [Flei94]

¹²⁷ Siehe [SSWDD97]

¹²⁸ Siehe [BrJa00] und [BrJa93]

ständen nicht voll ausgenutzt werden kann wenn die verbleibende Restkapazität nicht ausreicht um ein weiteres Teil herzustellen. Eine realistische Annahme wäre, dass eine Verbringung der produzierten Teile ins Lager oder in den Versand erst nach Erbringung der vollständigen Produktionsmenge erfolgt. In [JoDr98] werden die Ansätze von Fleischmann sowie Brüggemann und Jahnke kombiniert, so dass ein Modell formuliert werden kann, welches die Eigenschaften des reihenfolgeabhängigen Rüstens mit Chargenfertigung aufweist.

In [GMDB09] stellen Gicquel et al. ein DLSP-Modell vor, das sowohl parallele Maschinen wie auch reihenfolgeabhängiges Rüsten ermöglicht. Zudem stellen die Autoren eine striktere Formulierung des Modells vor, welche eine schnellere Lösungsfindung ermöglicht. Anwendung findet das Modell bei einem französischen Automobilzulieferer. Ebenfalls eine Erweiterung mit praktischer Relevanz wird von Drexl und Haase¹²⁹ vorgestellt, welche die Komponente der vorbeugenden Instandhaltung mit einbezieht.

Jans und Degraeve¹³⁰ formulieren ein Planungsvorgehen, basierend auf dem DLSP, für einen internationalen Reifenhersteller. Eigenschaften des Modells sind unter anderem Maschinenanlaufzeiten, mehrere parallele Maschinen mit unterschiedlichen Produktionseigenschaften sowie die Möglichkeit der Lagerverzugsformulierung. Eine Anwendung des DLSP in mehrstufigen Produktionsumgebungen wird von Jordan und Koppenmann genauer betrachtet und in [JoKo98] vorgestellt. Das Praxisbeispiel in [HoPo97] beschreibt die Anwendung des DLSP in der Nahrungsmittelindustrie. Ein Planungsansatz für einen Hersteller von Sitzkomponenten wird durch Brodkorb in [BrDa10] und [Brod-ol] formuliert.

Dieser Abschnitt hat einen Überblick zu Beiträgen gegeben, die sich mit den Problemen der Losgrößen- und Reihenfolgeplanung befassen, wobei die vorgestellten Ansätze auf mathematischen Programmen beruhen und exakt oder heuristisch gelöst werden. Es existiert eine Vielzahl an unterschiedlichen Modellen zur Problemlösung, wobei eine Auswahl der vorgestellten Arbeiten stattgefunden hat, welche sich auf die Modelle CLSP, MLCLSP und DLSP konzentriert. Eine Bewertung und Einordnung der Arbeiten mit Hinsicht auf das dieser Arbeit zu Grunde liegende Problem findet im Anschluss an die zwei folgenden Abschnitte statt.

¹²⁹ Siehe [DrHa98]

¹³⁰ Siehe [JaDe04]

3.3.2 Materialbedarfs- und Bestellmengenplanung

In vielen Industriebereichen ist das Kapital, welches wertmäßig in Materialien und Zwischenprodukten im Lager gebunden ist, von großer Bedeutung für ein Unternehmen, da es nicht wertschöpfend zum Erfolg des Unternehmens beiträgt.¹³¹ In diesem Kontext wurden bereits im vorigen Abschnitt Planungsansätze zur Losgrößenplanung vorgestellt, welche unter Einbeziehung der relevanten Kostenparameter zu kostenoptimalen Produktionsplänen führen können. Bei korrekter Parametrisierung kann als Konsequenz die durch Zwischenprodukte hervorgerufene Kapitalbindung im Lager erheblich verringert werden. Das gleiche Problem besteht in Hinsicht auf die Materialversorgung durch Lieferanten, welche gewährleistet sein muss um den Produktionsprozess stetig fortlaufen lassen zu können. Eine zu laxe Bestellpolitik führt zu hohen Lagerbeständen und demzufolge zu hohen Kapitalbindungskosten und einer Verringerung der Flexibilität des Unternehmens. Im Gegensatz dazu führt eine zu strikte Bestellpolitik in kritischen Situationen zu Lieferengpässen welche die Produktion gefährden.

Glaser et al. weisen in [GGR92]¹³² auf die gemeinsamen Strukturen von Verfahren der Bestellmengen- und Losgrößenplanung hin. Ebenfalls weisen Sie darauf hin, dass abhängig von den jeweils gegebenen Praxissituationen eine individuelle Anpassung von bestehenden Planungsmodellen erfolgen muss.

Aufgrund der Ähnlichkeit dieser Verfahren werden die bestehenden Standardmodelle den problemspezifischen Gegebenheiten angepasst, weshalb im Folgenden auf eine erneute Vorstellung des CLSP¹³³ verzichtet wird. Dieses Modell findet häufig Anwendung, wenn es um die Formulierung eines Bestellmengenplanungsproblems geht¹³⁴. Die dem Modell zugrunde liegenden dynamischen Kundenbedarfe ergeben sich in dem Fall aus der Stücklistenauflösung der geplanten Produktionsmenge, welche eine zeitlich terminierte Übersicht zur notwendigen Materialverfügbarkeit geben. Die planungsrelevanten Kostenparameter der Zielfunktion bestehen in dem Fall aus den Stückpreisen der Produkte, den bestellfixen Kosten sowie den Lagerkosten. Die im Losgrößenmodell existierenden Maschinenkapazitäten übertragen sich in diesem Anwendungsfall auf den Lieferanten und können beispielsweise die in einem Rahmenvertrag zugesicherten Produktionsmengen repräsentieren. Daher eignet sich das CLSP sowohl für die Losgrößen- wie auch Bestellmengenplanung.

¹³¹ Siehe [Bent86]

¹³² [GGR92], S.126

¹³³ Vgl. dazu eine Formulierung des CLSP auf S.40

¹³⁴ Vgl. dazu die Arbeit von Reith-Ahlemeier in [Reit02]

3.3.2.1 Bestellmengenplanung

Neben dem bereits vorgestellten CLSP existieren noch weitere Standardmodelle auf Basis linearer oder gemischt-ganzzahliger Programme, die zur Beschaffungsplanung genutzt werden. Ein für praktische Anwendung geeignetes Modell soll im Folgenden vorgestellt werden. Es handelt sich um das Coordinated Capacitated Lot-Size Problem (CCLSP¹³⁵), welches unter Beachtung der Wiederbeschaffungszeit, die Planung der Materialversorgung aufsetzt und die Wiederbeschaffungs- und Lagerkosten minimiert.

Modellformulierung

$$\text{Min } Z = \sum_i^T S_i Z_i + \sum_i^T \sum_k^K s_{ik} Y_{ik} + \sum_i^T \sum_k^K \sum_t^T C_{ikt} D_{kt} X_{ikt} \quad \text{Zielfunktion (F1)}$$

$$\sum_i^T X_{ikt} = 1 \quad , \forall k, t \quad (\text{F2})$$

$$\sum_k^K \sum_t^T b_{ik} D_{kt} X_{ikt} \leq P_i - f_i \quad , \forall i \quad (\text{F3})$$

$$Y_{ik} \leq Z_i \quad , \forall i, k \quad (\text{F4})$$

$$X_{ikt} \leq Y_{ik} \quad , \forall i, k, t \quad (\text{F5})$$

$$Y_{ik} \in \{0,1\}, \quad \forall i, k \quad (\text{F6})$$

$$Z_i \in \{0,1\} \quad \forall i \quad (\text{F7})$$

$$X_{ikt} \geq 0, Y_{ik} \geq 0, Z_i \geq 0 \quad , \forall i, k, t \quad (\text{F8}), (\text{F9}), (\text{F10})$$

Entscheidungsvariablen

X_{ikt} Anteil am Bedarf zum Zeitpunkt t , welcher durch eine Wiederbeschaffung zum Zeitpunkt i gedeckt wird

Y_{ik} Produktbezogener Beschaffungsindikator

Z_i Bestellfixer Beschaffungsindikator

Parameter

K Menge aller Produkte k

T Vollständiger Planungshorizont aller Planungsperioden t

¹³⁵ Siehe [RoLa04]

b_{ik}	Kapazitätsverbrauchender Parameter der Produktes k bei Wiederbeschaffung in Periode i
D_{kt}	Kundenbedarf an Produkt k in Planungsperiode t
S_i	Bestellfixe Kosten für Wiederbeschaffung in Periode i
s_{ik}	Produktabhängige Bestellkosten für Wiederbeschaffung von Produkt k in Periode i
C_{ikt}	Lager- und Produktkosten für Produkt k in Periode i , zur Deckung des Bedarfs in Periode t
P_i	Verfügbare Kapazität der Wiederbeschaffung in Periode i
f_i	Kapazitätsverbrauch des Rüstens in Periode i

Mithilfe des CCLSP ist es möglich, für mehrere Produkte K eine Wiederbeschaffungsplanung über einen Planungshorizont T aufzusetzen. Die planungsrelevanten und in der Zielfunktion vorzufindenden Kostenparameter setzen sich zusammen aus bestellfixen Kosten S_i , die bei jeder Bestellung anfallen, aus produktabhängigen Bestellkosten s_{ik} , den einschlägigen Produktpreisen c_{ik} welche bei unterschiedlichen Lieferanten voneinander variieren können sowie den Lagerhaltungskosten h_{ikt} . In der Zielfunktion sind die Lagerkosten und Produktpreise zusammengefasst: $C_{ikt} = c_{ik} + h_{ikt}$. Kapazitäten, welche die Wiederbeschaffung einschränken, werden durch P_i beschrieben. Diese können bspw. Maschinen- oder Transportkapazitäten darstellen.

Restriktion (F2) sorgt für eine Erfüllung der Kundenbedarfe D_{kt} . Die kontinuierliche Entscheidungsvariable X_{ikt} beschreibt den Anteil am Bedarf zum Zeitpunkt t , welcher durch eine Wiederbeschaffung zum Zeitpunkt i gedeckt wird. Die Summe über alle Anteile muss demnach zum Decken des Bedarfs gleich 1 sein. Die Restriktion (F3) beschreibt gegebene Kapazitäten. Der Parameter b_{ik} repräsentiert den Kapazitätsverbrauch für die Wiederbeschaffung eines Teiles von Produkt k . Der Term $b_{ik}D_{kt}X_{ikt}$ drückt demnach den Kapazitätsverbrauch in Periode i aus, der durch Beschaffung des Produktes k für den Bedarf D_{kt} des Zeitpunktes t entsteht. Da dieses Modell genutzt werden kann, um eine Wiederbeschaffung durch eigene Produktion auszudrücken, werden zudem Rüstoptionen einbezogen. Diese finden dadurch Anwendung, dass wenn das Produkt k in Periode i wieder beschafft wird, auch ein kapazitätskonsumierender Rüstvorgang mit Kapazitätsverbrauch f stattfindet. Restriktion (F4) drückt aus, dass die Wiederbeschaffung eines Teiles immer auch fixe Bestellkosten verursacht. Restriktion (F5) drückt in ähnlicher Weise aus, dass die Beschaffung eines Teiles teilspezifische Bestellkosten verursacht.

3.3.2.2 Literaturüberblick

Nachdem Modelle zur Bestellmengenplanung beschrieben wurden (CLSP, CCLSP), werden im Folgenden Arbeiten vorgestellt, welche einen Beitrag zu Verfahren der Bestellmengenplanung geleistet haben. Erneut sind Verfahren, die lineare oder gemischt-ganzzahlige Programmierung verwenden, von besonderem Interesse.

Frühere Beiträge betrachteten primär eine Angebotsvergabe bzw. die Angebotsauswertung von Zulieferern, wobei häufig eine modifizierte Formulierung eines Transportproblems zur Problemrepräsentation genutzt wurde. Stanley et al.¹³⁶ stellen ein Modell auf, welches Preisschwankungen sowie Mengenrabatte beinhaltet und verwenden dazu lineare Programmierung. Zusätzlich beinhaltet das Modell unter anderem bereits die Einbeziehung von Zuliefererkapazitäten, welche durch minimale bzw. maximale Liefermengen ausgedrückt werden können. Waggner und Suzuki¹³⁷ verwenden ein ähnliches Modell, welches in seiner Struktur komplexer ist. Dieses wird in der Arbeit von Austin und Hogan¹³⁸ zu einem gemischt-ganzzahligen Programm weiterentwickelt.

Gaballa¹³⁹ beschreibt eine Fallstudie beim Australian Post Office. Ziel des genutzten Verfahrens ist es, eine optimale Bestell- und Lagerstrategie zu bestimmen wobei gleichzeitig eine Auswahl der besten Lieferantenkombination stattfindet. Anwendung findet bei dem Verfahren ein gemischt-ganzzahliges Programm, welches die Kosten der Bestellungen unter Beachtung von Lieferantenkapazitäten minimiert.

Bender et al.¹⁴⁰ stellen ein Entscheidungsunterstützungssystem vor, welches für die Einkaufsabwicklung eines IBM-Werkes entwickelt wurde. Es wird eine gemischt-ganzzahlige Modellformulierung verwendet, die Rahmenvertragsvorgaben sowie Lieferanten- und Lagerkapazitäten des Werkes einbezieht. Das Verfahren verteilt die Beschaffungsvorgänge auf verschiedene Zulieferer und gibt zusätzliche Informationen aus, welche den verantwortlichen Anwender in seiner operativen Tätigkeit unterstützen. In [PrKh89] wird ein Verfahren zur Beschaffungsplanung in einem mehrstufigen Produktionsumfeld beschrieben, welches sich in bestehende MRP-Systeme einbinden lässt. Die Anwendung von Mengenrabatten und Kapazitätsgrenzen im Produktions- bzw. Beschaffungsprozess werden von den Autoren einbezogen. Das Planungsproblem wird als ein ganzzahliges Programm beschrieben und ein Branch&Bound-Verfahren zur Lösungsfindung vorgeschlagen.

¹³⁶ Siehe [SHG54]

¹³⁷ Siehe [WaSu67]

¹³⁸ Siehe [AuHo76]

¹³⁹ Siehe [Gaba74]

¹⁴⁰ Siehe [BBISD85]

In [Akin93] wird ein System zur Entscheidungsunterstützung vorgestellt, das bei konfliktionären Kriterien die jährlichen Materialkosten minimieren und die Lieferperformance der Lieferanten verbessern soll. Mathematische Programme werden verwendet um verschiedene Modelle aufzustellen und unterschiedliche Szenarien zu bewerten. Der hierarchische Ansatz, welcher die unterschiedlichen Modelle verbindet, unterteilt sich in drei Stufen. Ein erstes Modell ermittelt die Lieferantenkombination, durch die alle Bedarfe gedeckt sowie die Gesamtkosten minimiert werden. Ein weiteres Modell bestimmt die kleinste Menge an Lieferanten, welche noch in der Lage ist den Materialbedarf zu decken. Das dritte Modell nutzt die jeweiligen Lösungen der beiden vorherigen Stufen und bewertet diese um quantitativ eine gültige Lösungskombination zu erhalten.

Chaudhry et al.¹⁴¹ stellen eine gemischt-ganzzahlige Modellformulierung vor, welche die Bestellkosten minimiert. Das Modell beinhaltet Kapazitätsengpässe bei den Lieferanten, die Einbeziehung der Lieferperformance von Lieferanten sowie Rabatte auf die Bestellmengen. In [RZC95] wird ein gemischt-ganzzahliges Programm formuliert, welches die Minimierung der Bestellkosten bei Einhaltung der Lieferantenkapazitäten, der Bedarfsdeckung sowie Einbeziehung von Qualitäts- und Lieferanforderungen verfolgt. Rabatte werden in dem formulierten Modell ebenso ermöglicht, wobei eine Bündelung von Produkten die entsprechenden Preisvorteile liefert.

In der Arbeit von Chung, Hum und Kirca¹⁴² wird ein Beschaffungsproblem durch Formulierung von linearen und gemischt-ganzzahligen Programmen beschrieben. Das Problem bezieht die Anwendung von Mengenrabatten mit ein und eine Heuristik wird vorgestellt, mit der das Problem gelöst werden kann. Ebenfalls eine Heuristik wird in [CKL96] vorgestellt, wobei das Problem als ganzzahliges Programm modelliert wird. Es handelt sich um ein Einprodukt-Beschaffungsproblem, welches Lieferverzug zulässt.

Ghodsypour und O'Brien¹⁴³ verwenden ein hybrides Verfahren, welches unter anderem lineare Programmierung verwendet, um Bestellungen auf Lieferanten aufzuteilen. Lieferanten können sowohl mit wie auch ohne Kapazitätseinschränkungen modelliert werden. Ebenfalls ein hybrides Verfahren wird von Sanayei et al.¹⁴⁴ vorgestellt, welches ähnlich wie bei Ghodsypour und O'Brien einen LP-Ansatz verwenden um die Bestellmengen auf verschiedene Zulieferer zu verteilen.

Ein gemischt-ganzzahliges Modell, das sowohl Qualitäts- wie auch Lieferperformance betrachtet, wird in [JSB99] vorgestellt. Das Modell beinhaltet zudem die Liefer- bzw.

¹⁴¹ Siehe [CFZ93]

¹⁴² Siehe [CHK96]

¹⁴³ Siehe [GhOB98]

¹⁴⁴ Siehe [SMAM08]

Vorlaufzeit durch die Lieferanten und die Einhaltung von Lieferanten- und Lagerkapazitäten. In [DeRo00] wird ein Mehrprodukt-Beschaffungsproblem modelliert, in welchem ein Rabatt auf die gesamte Bestellmenge gegeben wird. Der Planungsansatz berücksichtigt gleichzeitig den Lagerbestand sowie die zu treffende Lieferantenauswahl. Es wird ein gemischt-ganzzahliges Programm vorgestellt, welches die Gesamtkosten der Bestellmengenplanung minimiert. Die Autoren haben für das entwickelte Entscheidungsunterstützungssystem drei Hierarchieebenen herausgearbeitet, welche auf verschiedenen aktivitätsbasierten Kosten beruhen. Auf oberster Ebene werden Lieferantenaktivitäten (Kommunikation, Pflege etc.) betrachtet, die mittlere Ebene befasst sich mit den Aktivitäten, welche direkt mit einer Bestellung (Bestellauslösung, Stornierung, Anpassung etc.) verbunden sind und die unterste Ebene fokussiert auf die mit den spezifischen Produkten assoziierten Aktivitäten (Handling, Verpackung, Lagern etc.).

In [Temp01] wird ein unkapazitiertes Bestellmengenproblem mit mehreren Zulieferern und zeitabhängigen Rabatten vorgestellt, welches unter anderem als gemischt-ganzzahliges Programm formuliert wird. Es findet eine Abwägung zwischen der Bestellung größerer Mengen und einer damit einhergehenden Verringerung der Bestellkosten und der Einhaltung niedriger Lagerbestände und damit verbundener geringerer Lagerkosten statt. Ebenfalls ein unkapazitiertes Planungsproblem wird von Basnet und Leung¹⁴⁵ vorgestellt. Das vorgestellte Verfahren bezieht Bestell- und Lagerkosten in die Planung ein und versucht die damit verbundenen Kostenpositionen bei vollständiger Bedarfsdeckung zu minimieren. Es wird auch eine Heuristik zur Lösungsfindung vorgestellt. In [Reit02] wird ein Bestellmengenplanungsproblem mit Rabatten und erweiterten Kapazitätsrestriktionen als gemischt-ganzzahliges Programm auf Basis eines CLSP modelliert und auf ein erweitertes Standortproblem abgebildet und gelöst.

Eine auf operativer und mittelfristiger Planungsebene angesiedelte Problemformulierung, welche sich ebenfalls mit Lieferantenauswahl und Bestellmengenplanung befasst, wird in [Dahe03] vorgestellt. Das Problem wird vom Autor als ein gemischt-ganzzahliges Programm modelliert. Ebenfalls ein Modell mit langem operativem Planungshorizont wird in [Stad07] vorgestellt. Bei Anwendung eines Horizonts von bis zu 52 Planungsperioden wird eine Bestellmengenplanung und Verteilung der Bestellmengen auf verschiedene Lieferanten umgesetzt.

Ein unkapazitiertes Bestellmengenplanungsproblem wird von Ertogral¹⁴⁶ beschrieben. Das Model bezieht Transportkosten in die Planung mit ein und es wird eine Lagrange-Dekomposition vorgeschlagen um das komplexe Problem zu lösen. Die Transporteigen-

¹⁴⁵ Siehe [BaLe05]

¹⁴⁶ Siehe [Erto08]

schaften werden über eine diskrete Abbildung von Ladungsalternativen beschrieben, welche im Modell ausgewählt werden können, wobei jede Alternative unterschiedliche Kosten verursacht. Ebenfalls ein Ansatz, der Transportalternativen mit modelliert, wird in [JCL07] vorgestellt.

Ein Modell zur Bestellmengenplanung unter Einbeziehung der zuliefererabhängigen Vorlaufzeiten beschreibt [Hass08]. Diese Vorlaufzeiten stehen in enger Beziehung zu den von Zulieferern garantierten Lieferkapazitäten sowie möglichen Bestellrabatten, welche ebenfalls in die Planung mit einbezogen werden.

Die vorgestellten Arbeiten geben einen Überblick zu Verfahren und Lösungsansätzen der Bestellmengenplanung. Viele Arbeiten befassen sich zusätzlich mit der Gestaltung von Rabattmöglichkeiten, die sich durch Bestellmengenbündelung ergaben. Einige Arbeiten betrachten transportbezogene Kosten in Bezug auf eine kostenminimale Planung. Ebenso versuchen einige Autoren die Produktions- und Bestellmengenplanung zusammen in einem gemeinsamen Planungsansatz zu lösen. Die ausgewählten Arbeiten beziehen sich alle auf operative Aktivitäten und decken kurz- und mittelfristige Planungsbereiche ab.

3.3.3 Personalplanung

Personalwirtschaftliche Aspekte stellen einen wichtigen Anteil am Versorgungs- und Erhaltungssystem einer Unternehmung dar, da Arbeitskräfte sowohl als „*Produktionsfaktoren (Potentialfaktoren) [angesehen werden, sie aber auch] Mitglieder des sozialen Systems Organisation[sind.]*“¹⁴⁷. Kossbiel identifiziert fünf personalwirtschaftliche Aufgabenbereiche¹⁴⁸, von denen im Folgenden die Personalbereitstellung genauer betrachtet werden soll. Ihr zuzuordnen sind „*die Planung, Durchführung und Kontrolle all jener Maßnahmen [...], die der Deckung des Personalbedarfs dienen.*“¹⁴⁹ Die Aufgabe der Personalplanung ist demnach dem Aufgabenbereich der Personalbereitstellung zuzuordnen und gliedert sich wiederum in drei Teilbereiche auf. Diese sind die Personalbedarfsplanung, die Personalausstattungsplanung und die Personaleinsatzplanung. Nach Kossbiel besteht die Aufgabe der Personalplanung darin, „*unter Beachtung der für den Personalsektor geltenden Restriktionen [...] [die] zwischen dem Personalsektor und den übrigen betrieblichen Teilbereichen bestehenden Interdependenzen so aufeinander*

¹⁴⁷ Siehe [Koss76], S.1011.

¹⁴⁸ Die fünf personalwirtschaftlichen Aufgabenbereiche nach Kosbiel sind die Personalbereitstellung, die Personalentwicklung, die Personalführung, die Personalbetreuung und die Personalverwaltung

¹⁴⁹ Siehe [Koss74], S.7

abzustimmen, dass die für den Gesamtbetrieb formulierten Ziele so vollkommen wie möglich erreicht werden.“¹⁵⁰

Die drei Planungsteilbereiche zeichnen sich durch unterschiedliche Planungsanforderungen aus und erfordern nach Kossbiel die Anwendung verschiedener Maßnahmen.¹⁵¹ Der Personalbedarf einer Unternehmung beschreibt die Anzahl der Arbeitskräfte, welche zur Erfüllung des geplanten Produktionsprogramms erforderlich sind. Es ist zu klären, welche Faktoren die Nachfrage an Arbeitskräften beeinflussen und welche Methoden zur Verfügung stehen um den Personalbedarfs zu ermitteln. Der Teilbereich der Personalausstattungsplanung befasst sich mit der zur Verfügung stehenden Anzahl an Arbeitskräften und muss sich mit der Entwicklung des Personalbestandes auseinandersetzen. Dazu ist es notwendig, die Einflussfaktoren auf den Personalbestand zu kennen und Maßnahmen zur Korrektur der Personalausstattung zu ergreifen. Der Personaleinsatzplanung obliegt die Aufgabe, die zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte den organisatorischen Einheiten oder Leistungsprozessen zuzuordnen. Diese können wertschöpfende oder potentialsteigernde¹⁵² Prozesse sein.

Die folgenden Arbeiten und Methoden befassen sich mit den Aufgaben der Personalbestands- und Personalbedarfsplanung sowie den damit aufkommenden Fragen bezüglich der Personalkapazität und dem Einsatz der zur Verfügung stehenden Arbeitskräfte zur Erfüllung des geplanten Produktionsprogramms. Wie in den vorherigen Abschnitten auch, verwenden die vorgestellten Arbeiten zur Problemlösung Planungsmodelle der linearen und gemischt-ganzzahligen Programmierung.

3.3.3.1 Personalbestandsplanung

Neben den ausschließlich operational ausgerichteten Planungsbegriffen der Personalkapazitäts- und Personaleinsatzplanung orientiert sich die Personalbestandsplanung an einem langfristigen Planungshorizont. Die Absicht der Personalbestandsplanung ist, von einem zukünftigen Personalbedarf ausgehend, die dafür notwendige Dimensionierung der relevanten Personalgrößen dahingehend zu beeinflussen, dass eine Sicherstellung der Leistungsfähigkeit garantiert werden kann. Entscheidungsgrößen dieser Ebene umfassen die Einstellung, Freisetzung sowie Umschulung von Personal, mit dem Ziel, für einen fixierten Planungsbereich einen gleichbleibenden Personalbestand aufzuweisen.

¹⁵⁰ Siehe [Koss74], S.8

¹⁵¹ Vgl. dazu [Koss76], S.1014 - S.1032

¹⁵² Unter potentialsteigernden Prozessen sind Leistungen zur individuellen Weiterentwicklung der Fähigkeiten der Arbeitskräfte zu verstehen.

Maßnahmen der Flexibilisierung, bspw. durch den Einsatz von temporärem Personal, fließen zusätzlich in den Entscheidungsprozess mit ein.

Im Folgenden wird ein mathematisches Modell von Drexel und Mundschenk¹⁵³ vorgestellt, welches als Modellierungsbasis für den Planungsgegenstand genutzt werden kann.

Modellformulierung

$$\min \sum_{h=1}^q c_h * x_h \quad \text{Zielfunktion (F1)}$$

$$\sum_{h=1}^q v_{ih} * \frac{b}{\sum_{j=1}^m v_{jh}} * x_h \geq \sum_{j=1}^n p_{ij} \quad , \forall i \quad (\text{F2})$$

$$\sum_{h=1}^q v_{ih} * x_h \geq S_i \quad , \forall i \quad (\text{F3})$$

Entscheidungsvariablen

x_h Anzahl der Mitarbeiter mit Qualifikationsprofil h

Parameter

h Qualifikationsprofil

j Job/Auftrag

i Prozess

p_{ij} Zeitbedarf von Auftrag j bei Durchlaufen von Prozess i

v_{ih} Binärparameter. Drückt aus, ob ein Mitarbeiter mit Qualifikationsprofil h in der Lage ist Prozess i zu bedienen (1) oder nicht (0)

c_h Lohnkosten für einen Mitarbeiter mit Qualifikationsprofil h

Die Zielfunktion des Modells minimiert, abhängig vom Qualifikationsprofil h , die Personalkosten im Planungshorizont. Restriktion (F2) sorgt für die Sicherstellung des Personalbedarfs, indem die verfügbare Leistungskapazität dem Kapazitätsbedarf gegenübergestellt wird. Restriktion (F3) definiert für ein Qualifikationsprofil h eine Untergrenze an Mitarbeitern.

¹⁵³ Vgl. [DrMu08]

Ein weiteres Modell, welches sich mit der langfristigen Personalbestandsplanung befasst und das bereits vorgestellte Basismodell ergänzen kann, findet sich in [BaEl98].

Modellformulierung

$$\begin{aligned} \min & \sum_{ijk} s_k * X_{ijk} + \sum_{ijk} o_k * Y_{ijk} + \sum_{k=1}^2 \sum_{ij} U_{ijk} + h_3 * \sum_i V_i \\ & + \sum_{k=1}^2 \sum_{ij} f_k * W_{ijk} + f_3 * \sum_i Z_i \end{aligned} \quad \text{Zielfunktion (F1)}$$

$$X_{ijk} = X_{(i-1)jk} + U_{ijk} - W_{ijk} , \forall i, j, k = 1..2 \quad (\text{F2})$$

$$\sum_j X_{ij3} = \sum_j X_{(i-1)j3} + V_i - Z_i , \forall i \quad (\text{F3})$$

$$X_{ij2} \geq U_{(i-1)j2} + U_{(i-2)j2} + U_{(i-3)j2} \quad (\text{F4})$$

$$Y_{ij2} \leq ot * X_{ijk} , \forall i, j, k = 1..3 \quad (\text{F5})$$

$$h * \sum_k X_{ijk} + \sum_k Y_{ijk} \geq \sum_k l_i * X_{ijk} + I_{ij} , \forall i, j \quad (\text{F6})$$

Entscheidungsvariablen

X_{ijk} Anzahl einzustellender Mitarbeiter mit Profil k , in Planungszeitraum i , für Standort j

Y_{ijk} Überstunden der Mitarbeiter mit Profil k , in Planungszeitraum i , für Standort j

U_{ijk} Anzahl einzustellender Mitarbeiter mit Profil k , in Planungszeitraum i , für Standort j

V_i Anzahl einzustellender flexibler Mitarbeiter in Planungszeitraum i

W_{ijk} Anzahl freizusetzender Mitarbeiter mit Profil k , in Planungszeitraum i , für Standort j

Z_i Anzahl freizustellender flexibler Mitarbeiter in Planungszeitraum i

Parameter

k Profile (1=permanent, 2=saisonale, 3=flexibel)

s_k Lohnkosten eines Mitarbeiters mit Profil k

o_k Zuschlag für geleistete Mehrarbeit, pro Stunde, bei Profil k

h_k	Einstellungskosten eines Mitarbeiters mit Profil k
f_k	Freisetzungskosten eines Mitarbeiters mit Profil k
l_i	Dauer der Abwesenheit eines Mitarbeiters im Planungshorizont i
I_{ij}	Prognostizierter Kapazitätsbedarf, in Stunden
h	Reguläre Leistungskapazität eines Mitarbeiters, in Stunden
ot	Zulässige Kapazität durch Mehrarbeit, in Stunden

Die Zielfunktion des Modells minimiert die gesamten Kosten aller Entscheidungsgrößen, welche aus den regulären Lohnkosten, den Kosten der Mehrarbeit sowie den Einstellungs- und Freisetzungskosten bestehen. Die Restriktionen (F2) und (F3) garantieren für die unterschiedlichen Mitarbeiterprofile den Abgleich der Personalbestandsentwicklung zwischen den unterschiedlichen Planungsperioden. Restriktion (F4) beschreibt eine Mindesteinstellungsdauer von drei Monaten. Restriktion (F5) regelt den maximal zulässigen Einsatz von Mehrarbeit. Die Restriktion (F6) repräsentiert eine Bedarfsgleichung und garantiert die Erfüllung der zu leistenden Arbeit.

3.3.3.2 Personalkapazitätsplanung

Dieser Abschnitt befasst sich mit einem Standardmodell zur Bestimmung der bedarfsorientierten Personalkapazitätsplanung. Es beruht auf der Arbeit von Faißt, Schneeweiß und Wolf¹⁵⁴ und ist Bestandteil eines hierarchischen Planungsvorgehens für die bedarfsorientierte Schichtplanung. Das Modell beinhaltet auch Entscheidungsvariablen, die den Leistungsprozessen der Produktion zuzuordnen sind, was das vorgestellte Optimierungsmodell nicht ausschließlich auf die Personalkapazitätsplanung beschränkt.

¹⁵⁴ Siehe [Schn92], S.201-203.

Modellformulierung

$$\text{Min } Z = \sum_t^T \sum_{\tau: \tau \geq t}^T x_{t\tau}(\tau - t)c^h + \sum_t^T (c^o PC_t^o + c^p PC_t^p) \quad \text{Zielfunktion (F1)}$$

$$\sum_{t \leq \tau} x_{t\tau} \geq r_\tau \quad , \forall \tau \quad (\text{F2})$$

$$\sum_{\tau \geq t} x_{t\tau} \leq PC_t + PC_t^+ - PC_t^- + PC_t^o + PC_t^p \quad , \forall t \quad (\text{F3})$$

$$\sum_t^T PC_t^+ = \sum_t^T PC_t^- \quad , \forall t \quad (\text{F4})$$

$$PC_t^+ \leq UP(PC_t^+) \quad , \forall t \quad (\text{F5})$$

$$PC_t^- \leq UP(PC_t^-) \quad , \forall t \quad (\text{F6})$$

$$PC_t^o \leq UP(PC_t^o) \quad , \forall t \quad (\text{F7})$$

$$PC_t^p \leq UP(PC_t^p) \quad , \forall t \quad (\text{F8})$$

$$PC_t^p \geq LO(PC_t^p) \quad , \forall t \quad (\text{F9})$$

$$x_{t\tau}, PC_t^+, PC_t^-, PC_t^o, PC_t^p \geq 0 \quad , \forall t, \tau \quad (\text{F10}), (\text{F11}), (\text{F12}), (\text{F13})$$

Entscheidungsvariablen

$x_{t\tau}$	Produktionsleistung in Woche t für Woche τ
PC_t^o	In Woche t geleistete Überstunden
PC_t^p	In Woche t geleistete Teilzeitarbeitsstunden
PC_t^+, PC_t^-	Erhöhung/Verminderung der Normalkapazität in Woche t

Parameter

PC_t	Normalkapazität in Woche t
$UP(PC_t^+)$	Obergrenze für PC_t^+
$UP(PC_t^-)$	Obergrenze für PC_t^-
$UP(PC_t^o)$	Obergrenze für PC_t^o
$UP(PC_t^p)$	Obergrenze für PC_t^p
$LO(PC_t^p)$	Untergrenze für PC_t^p

r_t	Kapazitätsbedarf in Woche t
c^h	Lagerkostensatz pro Woche und Mannstunde
c^o	Kosten einer Überstunde
c^p	Kosten einer Teilzeitstunde

Die Zielfunktion minimiert die Lagerkosten sowie die Kosten der Zusatzkapazitäten bei unterschiedlicher Nutzung des verfügbaren Personals. Restriktion (F2) beschreibt die Bedarfsdeckung der Planungsperiode. Das zur Verfügung stehende Kapazitätsangebot $x_{t\tau}$ muss dem Kapazitätsbedarf r_t entsprechen oder überlagern. Die Restriktion (F3) stellt die grundlegende Personalkapazitätseinschränkung dar und drückt aus, dass das Kapazitätsangebot $x_{t\tau}$ aus den verschiedenen Kapazitäten (Normalkapazität, Überstunden, Teilzeitarbeitsstunden, Erhöhung/Verminderung der Normalkapazität) besteht. Die Restriktionen (F4) bis (F9) ergänzen Restriktion (F3), indem die einzelnen Kapazitäten durch Ober- und/oder Untergrenzen eingeschränkt werden.

Dieses Modell stellt ein Vorgehen dar, welches Produktions- und Personalplanung miteinander verbindet. Vergleicht man allerdings die Leistungsfähigkeit dieses Modells in Bezug auf die Produktionsplanung mit den unter Abschnitt 3.3.1 vorgestellten Planungsmodellen, so erkennt man eine unzureichende Planungsgenauigkeit für einen praktikablen Einsatz. Der Fokus dieses Modells liegt in der Betrachtung unterschiedlicher Personalkapazitäten, die zur Deckung des Kapazitätsbedarfes aus Sicht der Produktion genutzt werden können.

3.3.3.3 Personaleinsatzplanung

Im vorherigen Abschnitt wurde ein lineares Standardmodell vorgestellt, welches zur Ermittlung der Personalkapazität genutzt werden kann. An diesen Planungsschritt schließt die Planung des Personaleinsatzes an, welche die Aufgabe hat, die zur Deckung des Personalbedarfs verfügbare Personalkapazität auf die zu erbringenden Leistungsprozesse aufzuteilen und bei Bedarf auf die einschränkenden Vorgaben eines genutzten Schichtsystems zu achten.

Einer der ersten Beiträge, welcher sich mit der Personaleinsatzplanung befasst hat, wurde von Dantzig¹⁵⁵ veröffentlicht. Er gilt heute als Grundlage für die Modellierung von Schichtplanungsproblemen und beruht auf einer Formulierung als Mengenüberdeckungsproblem (*Set-Cover-Problem*). Im Folgenden wird diese Standardformulierung

¹⁵⁵ Siehe [Dant54]

von Dantzig vorgestellt und durch zwei an das Planungsumfeld angepasste Modellformulierungen erweitert.

Modellformulierung

$$\text{Min } Z = \sum_j^n x_j \quad \text{Zielfunktion (F1)}$$

$$\sum_j^n a_{tj} x_j \geq b_t \quad , \forall t \quad (\text{F2})$$

Entscheidungsvariablen

x_j Anzahl der Mitarbeiter, die in Periode j ihre Arbeit beginnen

Parameter

a_{tj} Binärer Indikator, der eine Arbeitsschicht (Wert=1) oder keine Arbeitsschicht (Wert=0) beschreibt

b_t Kapazitätsbedarf in Periode t

Das Modell minimiert in der Zielfunktion die Anzahl der notwendigen Mitarbeiter, welche zur Deckung des Kapazitätsbedarfs herangezogen werden. Restriktion (F2) drückt die Kapazitätsdeckung aus.

Eine Anpassung dieses Modells erfolgt durch Spengler¹⁵⁶ und kann seinerseits als Grundmodell verstanden werden. Es dient der Ermittlung der reinen Personalverwendung.

Modellformulierung

$$\text{Min}\backslash\text{Max } Z = \sum_{r^*=1}^{R^*} \sum_{q^*=1}^{Q^*} e_{r^*q^*} x_{r^*q^*} \quad \text{Zielfunktion (F1)}$$

$$\sum_{q^*=1}^{Q^*} x_{r^*q^*} = 1 \quad , \forall r^* \in R^* \quad (\text{F2})$$

$$\sum_{r^*=1}^{R^*} x_{r^*q^*} = 1 \quad , \forall q^* \in Q^* \quad (\text{F3})$$

$$x_{r^*q^*} \in \{0,1\} \quad , \forall r^* \in R^*, q^* \in Q^* \quad (\text{F4})$$

¹⁵⁶ Siehe [Spen06], S.28f

Entscheidungsvariablen

$x_{r^*q^*}$ Binärvariable zum Ausdrücken der Zuordnung einer Arbeitskraft r^* auf einen Arbeitsplatz q^* . Bei Zuordnung (Wert=1), sonst (Wert=0)

Parameter

R^* Menge der Arbeitskräfte

Q^* Menge der Arbeitsplätze

$e_{r^*q^*}$ Zielfunktionskoeffizient (Kosten- oder Deckungskostenbeitragssatz)

Die Formulierung des Modells erfolgt nicht explizit in Bezug auf ein ausdrückliches Planungsproblem sondern erfolgt als Grundmodell, dass durch fallabhängige Erweiterungen zur Personaleinsatzplanung genutzt werden kann. Daher kann die Zielfunktion sowohl als Minimierungs- wie auch Maximierungsfunktion ausgedrückt werden. Restriktion (F2) drückt die Zuordnung einer Arbeitskraft zu exakt einem Arbeitsplatz aus, wohingegen Restriktion (F3) die Zuordnung genau einer Arbeitskraft zu einem Arbeitsplatz zusichert. Es handelt sich bei diesem Grundmodell um ein binäres Programm, welches auf Individualebene anzuwenden ist und jeden Mitarbeiter durch eine eigene Entscheidungsvariable beschreibt. Es wird darauf hingewiesen, dass ein zu erfüllender Personalbedarf implizit durch die gegebenen Arbeitsplätze ausgedrückt wird und dass diese im Horizont des Planungsproblems immer durch genau eine Arbeitskraft besetzt werden müssen. Diese Annahme wird erweitert um die Anforderung, dass jede Arbeitskraft in jeder Planungsperiode zugeordnet und demzufolge auch beschäftigt werden muss.

Ein weiteres durch Spengler formuliertes Grundmodell betrachtet die Fragestellung der Personalverwendung bei bekannter und unveränderbarer Personalausstattung.

Modellformulierung

$$\text{Max } Z = \sum_t^T \sum_k^{\bar{K}} D_k x_{kt} \quad \text{Zielfunktion (F1)}$$

$$\sum_q^{\hat{Q}} \sum_k^{K_q} a_{qk} x_{kt} \leq \sum_r^{\cup_q^{\hat{Q}} R_q} PA_{rt} \quad , \forall \hat{Q} \in \mathbb{P}(\bar{Q}) \setminus \{\emptyset\}, t \in \bar{T} \quad (\text{F2})$$

$$\sum_{t'=1}^t x_{kt'} \leq x_{kt}^{\max} \quad , \forall k \in \bar{K}, t \in \bar{T} \quad (\text{F3})$$

$$x_{kt} \geq 0 \quad , \forall k \in \bar{K}, t \in \bar{T} \quad (\text{F4})$$

Entscheidungsvariablen

x_{kt} Anzahl der Durchführungen des Prozesses k in Periode t

Parameter

D_k Deckungsbeitrag, der mit Durchführung des Prozesses k verbunden ist

a_{qk} Personalbedarf für Tätigkeit q bei Durchführung des Prozesses k

PA_{rt} Personalausstattung mit Arbeitskräften der Art r in Planungsperiode t

\overline{Q} Menge der Tätigkeiten, $q \in \overline{Q}$

\overline{K} Menge der Prozesse, $k \in \overline{K}$

K_q Menge der Prozesse $k \in \overline{K}$, welche eine Durchführung der Tätigkeit q erfordern

R_q Menge der Qualifikationen $r \in \overline{R}$, die für Tätigkeiten $q \in \overline{Q}$ bereitgestellt werden können

x_{kt}^{\max} Bis zur Periode t maximal zulässige Anzahl an Durchführungen des Prozesses k

Die Zielfunktion des Modells maximiert den mit der Durchführung von Tätigkeiten verbundenen Deckungsbeitrag und verfolgt eine optimale Ausgestaltung der Tätigkeitsdurchführung bei gegebener Personalausstattung. Restriktion (2) beschreibt die Entscheidung der Tätigkeitsdurchführung bei bekanntem Personalbedarf und bei Einhaltung der gegebenen Personalausstattung. Restriktion (3) beschränkt die Anzahl der durchführbaren Tätigkeiten. Im Vergleich zum vorherigen Modell von Spengler handelt es sich hierbei um ein ganzzahliges Planungsproblem, welches nicht auf einer Binärformulierung beruht. Die Betrachtungstiefe reicht nicht auf die Individualebene sondern beschreibt durch die Betrachtung von Prozessen, Tätigkeiten und Qualifikationen eine Kategorialebene.

3.3.3.4 Literaturüberblick

Wie in den anderen planungsrelevanten Bereichen auch, gliedert sich die Personalplanung in ein hierarchisches Planungsvorgehen, welches sowohl strategische, taktische und operative Planungsaufgaben abdeckt. Kossbiel hat fünf personalwirtschaftliche

Aufgabenbereiche identifiziert¹⁵⁷ von denen die Personalbereitstellung zwecks „*Versorgung der Organisationen mit Arbeitskräften als auch die Allokation der Arbeitskräfte innerhalb der Organisation*“¹⁵⁸ für den Betrachtungsverlauf dieser Arbeit von besonderer Relevanz ist. Die Betrachtung der operativen Planungsaufgaben umfasst sowohl kurz-, mittel- und langfristige Planungshorizonte um den planerischen Herausforderungen bezüglich der Personalplanung und Personalverwendung gerecht zu werden. Die vorgestellten Arbeiten nutzen Verfahren der linearen, gemischt-ganzzahligen und dynamischen Programmierung sowie effiziente Heuristiken zur Lösungsfindung.

Aufgrund der hierarchischen Struktur, innerhalb welcher sämtliche Planungsbestandteile der Personalplanung eingegliedert sind, werden im Folgenden zuerst Arbeiten zur Personalbestandsplanung vorgestellt, da diese im Planungsvorgehen allen anderen Planungsaufgaben vorgelagert ist.

Ein früher Ansatz der Personalbestandsplanung bei Anwendung von OR findet sich [ABHW73]. Es handelt sich um ein 3-stufiges Entscheidungsvorgehen, wobei die personalrelevanten Planungsentscheidungen insbesondere auf der zweiten und dritten Ebene getroffen werden. Das Verfahren koppelt strategische Entscheidungen der Bestandsentwicklung (Einstellung, Freisetzung, Umschulung und Umbesetzung) mit operativen Größen der Personaleinsatzplanung.

In [WiSc93] wird ein hierarchisches Verfahren vorgestellt, was ebenfalls unterschiedliche Planungsebenen mit verschiedenen Fristigkeiten verbindet. Auf langfristiger Planungsebene erfolgt die Bestimmung des optimalen Personalbestands, wobei bereits Maßnahmen der Leistungsflexibilisierung einbezogen werden. Entlang der Hierarchien werden Planungsergebnisse weitergereicht und für die mittel- und kurzfristigen Planungsbelange genutzt. Die Ergebnisse der unteren Ebenen werden dann antizipativ in der Hierarchie nach oben gereicht, so dass sämtliche Planungsbelange auf allen Ebenen einbezogen wurden.

Niehaus stellt in [Niehaus95] ein System zur Entscheidungsunterstützung vor, welches für die Personalplanung in Schiffswerften der amerikanischen Marine entwickelt wurde. Die implementierten Planungsmodelle sind unter anderem als lineare Programme formuliert worden und ermöglichen das Testen verschiedener Planungsstrategien. Dadurch ist es möglich, alternative Entscheidungsdimensionen und deren Auswirkungen gegeneinander abzuwägen.

¹⁵⁷ Siehe dazu S.63

¹⁵⁸ Siehe [Koss76], S.1014.

Knapp und Mahajan erarbeiten in [KnMa98] ein Optimierungsmodell zur bedarfsgerechten Planung des Personalbestands im Instandhaltungsmanagement ganzer Standorte der Prozessindustrie. Die genutzten Entscheidungsgrößen beziehen sich auf die Verteilung des fixen Personalbestands sowie Aufstockung des Bestands durch die Einstellung weiteren Personals. Zusätzlich dazu wird der Anteil an Mitarbeitern bestimmt, welcher als flexible Personalkapazität zwischen verschiedenen Bereichen eingesetzt werden kann.

Die Arbeit von Li et al.¹⁵⁹ beschreibt die Planung des Personalbestands unter Einbeziehung flexibler Personalkapazitäten, basierend auf Kontraktvorgaben. Entscheidungsgrößen sind auch hier feste und temporäre Personalbestände, auf welche durch Einstellung bzw. Freisetzung eingewirkt werden kann. Ergänzend zu anderen Arbeiten kann eine Parametrisierung der Beschäftigungsduer in Form von Arbeitsvertragsdauern vorgenommen werden. Zur Lösung der mathematischen Modellformulierung verwenden die Autoren einen Algorithmus der dynamischen Programmierung.

In [FWG08] stellen die Autoren ein gemischt-ganzzahliges Programm vor, welches neben der Einstellung und Freisetzung von Personalkapazitäten zusätzlich die Weiterbildung von Personal einbezieht und die Mehrfachqualifikation des Personals zulässt. Das Modell ermöglicht die Einstellung von unqualifizierten Mitarbeitern, welche zuerst geschult werden müssen, bevor diese eingesetzt werden können. Gelöst wird das Modell durch die Anwendung von LP-basierten Heuristiken.

Damit schließt der Überblick zu Arbeiten der Personalbestandsplanung ab, um im Folgenden auf Arbeiten der Personalkapazitäts- und Personaleinsatzplanung einzugehen. Sehr frühe Beiträge in diesen Bereichen bei Anwendung von Methoden des Operations Research finden sich in den Arbeiten von Edie¹⁶⁰ und Dantzig¹⁶¹. Edie beschreibt in seinem Beitrag das Aufkommen von Verkehrsbehinderungen an Mautstellen in der Region um New York. Diese sind auf die Personalbesetzung der Mautstellen und das im Zeitverlauf schwankende Verkehrsaufkommen auf den entsprechenden Zufahrtsstraßen zurückzuführen. Der Beitrag propagiert keine ausdrückliche Lösung für das Problem des Personaleinsatzes, schlägt aber Methoden des Operations Research vor. Dantzig greift Edie's Beitrag auf und formuliert das in Abschnitt 3.3.3.2 vorgestellte Problem der Mengenüberdeckung, mit welchem die optimale Personalkapazität bestimmt werden kann. Da die grundsätzliche Problemformulierung von den schwankenden Personalbe-

¹⁵⁹ Siehe [LCCT05]

¹⁶⁰ Siehe [Edie54]

¹⁶¹ Siehe [Dant54]

darfen abhängt und diese nur bedingt für die Zukunft prognostiziert werden können, ist davon auszugehen dass der Planungshorizont Tage bis wenige Wochen umfasst.

Jüngere Beiträge zum Problemfeld modellieren spezielle Abstraktionen des Probleminhalts unter Beachtung praktischer Rahmenbedingungen und versuchen diese zu lösen. Bechtold betrachtet zyklische Anforderungen des Problemfelds, welche auftreten wenn bspw. ein sich wiederholendes Schichtsystem angewendet wird. Innerhalb eines festen Planungsintervalls müssen die Arbeitskräfte eine vorher bestimmte Anzahl an Tagen arbeiten um im Anschluss an den Arbeitszyklus eine ebenfalls im Vorfeld bestimmte Anzahl an Tagen frei zu haben. In [Bech81] wird ein Szenario betrachtet, welches häufig in serviceorientierten Branchen vorzufinden ist, wobei eine 7-Tage Woche vorausgesetzt wird. Durch Formulierung eines ganzzahligen Programms wird das Problem modelliert und zwei Algorithmen zur Lösungsfindung für konkrete Probleminstanzen vorgestellt. In [Bech88] erweitert Bechtold das Szenario und modelliert die Planung des Personaleinsatzes von Voll- und Teilzeitarbeitskräften sowie deren Verteilung auf mehrere Arbeitsbereiche. Eine weitere Erweiterung integriert eine flexible Pausengestaltung der Arbeitskräfte¹⁶².

Bailey und Field betrachten in [BaFi85] die Anwendung flexibler Schichtmodelle zur Lösung des Problems der Personaleinsatzplanung. Es werden flexible Schichtlängen (6, 8 und 10 Stunden) verwendet um einen (Halb-)Tagesbedarf (12 und 24 Stunden) an Arbeitskraft abzudecken. Das Planungsproblem wird in kleinere Unterprobleme zerlegt, um eine Lösung zu erhalten. Die Unterprobleme sind als lineare Programme formuliert, welche an das Grundmodell von Dantzig angelehnt sind. Einen ähnlichen Ansatz verfolgt Bailey in [Bail85], erweitert die Modellannahmen allerdings um die Möglichkeit der Über- bzw. Unterdeckung des Personalbedarfs. Abgerundet wird das Planungsverfahren durch Heuristiken, um ganzzahlige Lösungen zu erhalten sowie eine Schichtzuweisung der Arbeitskräfte umzusetzen.

Alfares stellt in [Alfa98] ein zweistufiges Verfahren vor, welches das Problem der sich wiederholenden Ruhetageplanung löst. Ein lineares Programm ermittelt die optimale Verteilung der Mitarbeiter, wobei das Ergebnis durch geschickte Formulierung ganzzahlig ist. Eine Erweiterung zu dem Modell findet sich in [Alfa03]. Das formulierte Problem wird ebenfalls durch ein zweistufiges Lösungsverfahren gelöst. Die Modellannahmen gehen von einer viertägigen Arbeitswoche aus, an welche sich zwei bis drei aufeinanderfolgende Ruhetage anschließen. Außerdem wird die Wochenendarbeit einbezogen und eine wöchentliche Rotation der Schichten betrachtet. Ein ähnliches Planungsproblem beschreibt Alfares in [Alfa99]. Inhalt des Beitrags ist die Planung des

¹⁶² Siehe [BeJa90]

Mitarbeitereinsatzes für die Wartung und Instandhaltung von Flugzeugen. Es besteht ein wöchentlicher Bedarf an Arbeitskräften, welcher durch Arbeitspläne von 5 bzw. 7 Tagen gedeckt werden kann. Das vorgestellte Verfahren modelliert das Problemfeld als ganzzahliges Programm und ermöglicht eine geschätzte Einsparung im sechsstelligen Bereich ohne die Anzahl der Mitarbeiter erhöhen zu müssen, welche ganzjährig zur Verfügung stehen. Billionnet¹⁶³ betrachtet ebenfalls ein Problem, welches sich mit der Gestaltung der Ruhetage auseinandersetzt. Der Fokus seines Beitrags liegt allerdings auf den Qualifikationsanforderungen der zu erfüllenden Tätigkeiten, wobei die Arbeitskräfte über unterschiedliche Qualifikationen verfügen. Es wird ein ganzzahliges Modell vorgestellt, welches die Substitution geringer qualifizierter Mitarbeiter durch höher qualifizierte Mitarbeiter ermöglicht.

Ein Planungsverfahren mit einem verhältnismäßig großen Planungshorizont von einem Jahr wird in [Beau97] beschrieben. Wie in den Arbeiten von Bechtold und Alfares, befasst sich der Beitrag ebenfalls mit einem zyklischen Problem der Personaleinsatzplanung und verwendet ein gemischt-ganzzahliges Programm zur Modellierung des Problemumfelds. Schneeweiß, Loinjak und Müller¹⁶⁴ betrachten ebenfalls einen ganzjährigen Planungshorizont und ermitteln für diesen einen optimalen Personaleinsatz. Die Autoren verwenden dazu eine gegebene Menge von Schichtmustern, welche beliebig im Jahr verteilt werden können. Ziel des Vorgehens ist es, Überstunden und Schichtkosten innerhalb des Jahres zu minimieren. Das Problem wird als gemischt-ganzzahliges Programm modelliert.

Azmat, Hürlimann und Widmer¹⁶⁵ stellen mehrere gemischt-ganzzahlige Programme vor, welche das Problem der Personalplanung bei Anwendung eines 1-Schichtsystems modellieren. Die Autoren diskutieren ein Jahresarbeitszeitenszenario, in welchem von einer unregelmäßigen Verteilung der Wochenarbeitszeiten ausgegangen wird, aber die zu erbringende Arbeitsleistung für das vollständige Jahr bekannt ist. Außerdem werden zwei unterschiedliche Gestaltungsmöglichkeiten der Urlaubsplanung einbezogen. Das Modell zielt auf eine Minimierung der Überstunden ab und versucht eine Balance der zu erbringenden Arbeitsleistung der Mitarbeiter über das gesamte Jahr aufrechtzuerhalten. Eine ähnliche Problemformulierung betrachten Hertz, Lahrichi und Widmer¹⁶⁶. Für einen realen Anwendungsfall wird in diesem Beitrag ein Verfahren zur Personaleinsatzplanung unter Annahme eines Jahresarbeitszeitenszenarios vorgestellt. Die Autoren formulieren dazu ein gemischt-ganzzahliges Modell, welches Überstunden und

¹⁶³ Siehe [Bill99]

¹⁶⁴ Siehe [SLM96]

¹⁶⁵ Siehe [AHW04]

¹⁶⁶ Siehe [HLW10]

Urlaubsgestaltung für Vollzeit- und Teilzeitarbeitskräfte betrachtet. Unter anderem gilt es, das zu bewältigende Arbeitsvolumen der Mitarbeiter gleichmäßig zu verteilen sowie eine minimale Personalgröße zu ermitteln.

Bard, Binici und deSilva¹⁶⁷ sowie Bard, Morton und Wang¹⁶⁸ stellen aufeinander aufbauende Planungsverfahren vor, welche sich mit der Personalkapazitäts- und Personaleinsatzplanung in Distributionszentren des Postwesens befassen und einen 24/7-Personalbedarf erfüllen müssen. Die Autoren formulieren ganzzahlige (stochastische¹⁶⁹) Modelle, welche unter anderem unterschiedliche Schichtlängen, zusammenhängende arbeitsfreie Tage und variable Arbeitszeiten für Vollzeit- und (flexible) Teilzeitarbeitskräfte einbeziehen.

Norbert und Roy¹⁷⁰ beschäftigen sich mit der Personaleinsatzplanung für ein Luftfrachterminal und entwickeln dafür ein zweistufiges Lösungsverfahren. Auf der ersten Ebene wird ein ganzzahliges Modell aufgestellt, welches eine Abschätzung des Personalbedarfs ermittelt. Um eine Lösung in akzeptabler Zeit zu erhalten, wird das ganzzahlige Modell relaxiert, so dass ein lineares Modell entsteht, welches schnell gelöst werden kann. Auf zweiter Ebene wird das Problem der Schichtplanung gelöst, indem ein typisches Mengenüberdeckungsproblem formuliert wird.

Iskander und Chou¹⁷¹ betrachten ein Fertigungsumfeld von unsymmetrischen Fertigungsstraßen in einem Montagebereich. Unsymmetrisch bedeutet in diesem Kontext, dass die Bearbeitungszeiten der aufeinanderfolgenden Montageschritte nicht aufeinander abgestimmt sind. Aufgrund dieser Eigenschaft kann es zu einem hohen Umlaufbestand kommen, welcher unerwünscht ist. Durch eine optimale Ausgestaltung des Mitarbeitereinsatzes entlang der Fertigungsstraßen minimiert das Modell die Kosten des Umlaufbestands. Der Beitrag betrachtet sowohl einperiodige wie auch mehrperiodige Anwendungsfälle. Berman, Larson und Pinker¹⁷² stellen ein Verfahren zur Ermittlung der optimalen Mitarbeiterkapazität und des Mitarbeitereinsatzes in einem hochvolumigen Produktionsumfeld vor. Sie formulieren ein lineares Modell welches die Kosten des Mitarbeitereinsatzes minimiert.

¹⁶⁷ Siehe [BBD03]

¹⁶⁸ Siehe [BMW07]

¹⁶⁹ Stochastische Entscheidungsgrößen werden in [BMW07] betrachtet

¹⁷⁰ Siehe [NoRo98]

¹⁷¹ Siehe [Isch90]

¹⁷² Siehe [BLP97]

Ein vierstufiges Verfahren zur Bestimmung der optimalen Mitarbeiterkapazität im Umfeld der Halbleiterindustrie wird von Cochran, Chu und Chu¹⁷³ präsentiert. Es handelt sich um ein hybrides Verfahren, welches unter anderem diskrete, ereignisorientierte Simulation und ganzzahlige Optimierung verwendet. Das Optimierungsmodell ermittelt den Mitarbeitereinsatz für eine vorher durch das Simulationsmodell bestimmte Anzahl an Mitarbeitern.

Ein Verfahren, welches sowohl Produktions- wie auch Personalentscheidungen gemeinsam integriert, wird von Faißt, Schneeweiß und Wolf¹⁷⁴ vorgestellt. Das formulierte lineare Optimierungsmodell entscheidet über die zu erbringende Produktionsleistung bei Beachtung von Überstunden und Teilzeitarbeitsstunden. Die Zielfunktion minimiert die Lagerhaltungs- und Zusatzkapazitätskosten. Ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell für die elektromechanische Industrie wird in [SISu05] vorgestellt. In einem zweistufigen Ansatz wird zuerst ein mittelfristiger Produktionsplanung, welcher bereits auf Personalentscheidungen basiert, aufgestellt. Auf zweiter Ebene erfolgt dann die Personalzuordnung. Ein dreistufiges Verfahren beschreiben Ünal, Teksan und Taşkın¹⁷⁵ zur integrierten Produktions-, Schicht- und Reihenfolgeplanung eines Papierherstellers. Die Kapazitätsplanung der Produktion wird durch ein lineares Modell umgesetzt. Daran knüpft die Schichtplanung an, welche durch ein gemischt-ganzzahliges Modell formuliert ist. Die Ergebnisse dieser beiden Modelle werden genutzt, um die Reihenfolgeplanung vorzunehmen, welche ebenfalls in Form eines gemischt-ganzzahligen Modells erfolgt.

Die vorgestellten Arbeiten umfassen einen großen Teil der planerischen Herausforderungen im Kontext der Personalplanung und bilden operative Planungstätigkeiten sowohl im kurz- wie auch mittel- und langfristigen Planungsbereich ab. Die Anwendungsbereiche der Arbeiten reichen von serviceorientierten Dienstleistungsunternehmen (Postzentren) über Flughäfen bis zu produzierenden Unternehmen. Alle Beiträge nutzen lineare oder gemischt-ganzzahlige Modelle um die jeweiligen Anwendungsfelder abzubilden.

3.4 Bewertung und Einordnung

Eine Bewertung der vorgestellten Arbeiten soll dazu dienen, deren Nutzen für die Erarbeitung der eigenen Systematisierung herauszustellen sowie die Bereiche zu identifi-

¹⁷³ Siehe [CCC97]

¹⁷⁴ Siehe [Schn92]

¹⁷⁵ Siehe [UTT-ol]

zieren, welche bisher, zumindest mit dem Wissen des Autors, nur unzureichend betrachtet und abgehandelt wurden.

Eine Zergliederung sämtlicher Planungsgegenstände in einzelne Komponenten, wird durch den Stand der Technik abgedeckt. Somit existiert eine Grundlage, welche als Ausgangsbasis zur Komposition einer planerischen Systematik unter den genannten Ziel- und Nebenbedingungen herangezogen werden kann. Die aufkommende Frage, in wie weit diese Arbeiten bereits die Gesamtheit der Anforderungen des Forschungsgegenstandes abdecken und diese zueinander koordinieren, kann dahingehend beantwortet werden, dass partielle Vorarbeit bereits geleistet wurde, da die unterschiedlichen Planungsbereiche in verschieden detaillierter Tiefe und vielfältiger Kombination betrachtet und bereits teilweise zueinander in Beziehung gesetzt wurden.

Durch eine Fokussierung auf Arbeiten mit formal mathematischem Vorgehen bei optimaler Entscheidungsrelevanz ergibt sich die Anforderung, dass die der Problemformulierung intrinsische Extremierungsabsicht einer Maximierung oder Minimierung auf monetäre Größen angewandt wird. Dieses entspricht bereits einer Beachtung der Liquiditätsnebenbedingung, reicht aber bei weitem nicht aus, liquiditätsbezogene Größen abzubilden. Entsprechende Entscheidungsdimensionen sind viel umfangreicher und bedürfen daher einer expliziten Einbeziehung in den Planungsgegenstand.

Der Beschäftigungsnebenbedingung wird in vielen der vorgestellten Arbeiten Beachtung geschenkt. Hier fehlt allerdings der ausdrückliche Bezug zu den anderen Planungsbereichen, weshalb ein Bedarf nach einer stärkeren Koordination der Planungsinhalte zu sehen ist. Arbeiten mit hybriden Ansätzen, welche zwei bis drei Planungsbereiche zueinander in Relation setzen, existieren bereits, vernachlässigen jedoch relevante Planungsinhalte, welche sich durch die anderen Nebenbedingungen ergeben.

Angesichts der strategischen Relevanz der Knowhow-Sicherung und -Entwicklung, sollte die Bezugsbildung zu den anderen Planungsbereichen stärker ausgeprägt sein. Zwar besteht aufgrund des hierarchischen Vorgehens des Planungsgegenstands eine Verbindung zu den rein operativen Größen der Personalplanung, allerdings werden die Interdependenzen mit den restlichen Entscheidungsebenen wie Produktions- und Materialbedarfsplanung nur bedingt beachtet.

Aufgrund der zumeist isolierten Betrachtung der Planungsinhalte, wird die Bedeutung der informationstechnologischen Nebenbedingungen nur bedingt hervorgehoben. Auch hier bestehen Interdependenzen zu den anderen Planungsbereichen, welche hinsichtlich fokusbedingt fehlender Relevanz nicht weiter beachtet werden.

Bezug nehmend auf die vier Nebenbedingungen der Liquidität, der Beschäftigung, des Knowhows sowie der Informationstechnologien ist im Kontext der operativen Leis-

tungserbringung im Umfeld eines Automotive-Zulieferers weitere Arbeit zu leisten. Insbesondere die Verknüpfung der durch die Führungsebene angestrebten Ziele mit der operativen Ebene erscheint bisher unzureichend betrachtet worden zu sein, da die klare Kommunikation von strategisch-operativen Zielgrößen, wie durch die genannten vier Nebenbedingungen geschehen, bisher nur bedingt umgesetzt wurde. Gerade hier besteht eine praktische Relevanz für Unternehmen, da die Koordination der verschiedenen Führungs- und Handlungsebenen als Voraussetzung für die Erreichung der strategischen und somit unternehmenserhaltenden Zielformulierungen anzusehen ist.

4 Zu leistende Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist der Entwurf einer systematischen Sicherstellung der Kundenabrufe in einem Automobilzuliefererunternehmen. Diese Aufgabe wird, begleitet von unternehmensspezifischen Charakteristika, umrahmt durch die zusätzliche Anforderung, dass Maßnahmen zur Sicherstellung bei minimalen Kosten erfolgen müssen. Die gesamte Systematisierung erfolgt unter Beachtung der unternehmens- und führungsrelevanten Größen der Liquidität, der Beschäftigung, des Knowhows und der Informationstechnologien.

Die Leistungsbeschreibung der Kerninhalte orientiert sich an den Funktionsbausteinen der PPS, welche die Planung und Steuerung der betrieblichen Wertschöpfungsprozesse vornehmen. Entsprechende Entscheidungen hinsichtlich relevanter Planungsgrößen werden mit der Absicht der Zielerreichung und bei einhergehender Bewertung der Maßnahmen ermittelt. Die Komplexität der Entscheidungsdimensionen bedarf einer Entwicklung und Einbindung informationstechnologischer Softwaresysteme zur Unterstützung der Planungsverantwortlichen, da eine Einbeziehung aller Planungs- und Parametergrößen in den Planungsprozess alleine durch menschliche Leistung nicht erbracht werden kann. Aufgrund der Struktur der Entscheidungsfindung und den angegliederten Anforderungen konzentriert sich die Auswahl methodischer Konzepte zur Planungsunterstützung auf den Bereich der linearen und gemischt-ganzzahligen Optimierung, welche zudem der Anforderung der Entscheidungsbewertung in Form einer problemorientierten Zielfunktion gerecht werden. Im Stand der Technik wurde bereits eine Fokussierung auf Arbeiten vorgenommen, welche als primäres Lösungsverfahren lineare oder gemischt-ganzzahlige Optimierung genutzt haben.

Der Stand der Technik hat gezeigt, dass hinsichtlich der PPS-Kernaufgaben eine Vielzahl an Arbeiten verfasst und Verfahren entwickelt wurden, welche alle den Großteil der unterschiedlichen Facetten der probleminhärenen Eigenschaften betrachten. Hinsichtlich einer praktischen Anwendung der Verfahren können nicht alle Arbeiten einer Bewertung unterzogen werden. Allerdings erscheinen die Arbeiten, welche bereits einen direkten Praxisbezug vermissen lassen eher einer theoretischen Weiterentwicklung der Forschungsinhalte zu dienen, als dem Wunsch einer praxisnahen Umsetzung gerecht werden zu wollen. Dennoch kann festgehalten werden, dass Arbeiten existieren (siehe Kapitel 3), welche die umfassenden Anforderungen eines praktischen Umfelds problemspezifisch abzubilden versuchen und diese für eine operative Anwendung handhabbar zu gestalten. Eine gängige Bewertung der operativen Maßnahmen erfolgt durchweg unter operativen Maßstäben, wobei sich diese nicht notwendigerweise an den

strategischen Zielen des Unternehmens orientieren müssen. Die Annahme vieler Autoren, dass die Bewertung operativer Größen und das Erreichen positiver Bewertungen im Sinne der modelhaften Zielsetzung mit einer analogen Orientierung an den strategischen Unternehmenszielen gleichzusetzen ist, entzieht sich nicht ganz einer gewissen Logik, unterstützt aber nicht den wirklichen Wunsch nach unternehmerischen Denken, Entscheiden und Handeln in allen operativen Bereichen, der von Seite der Unternehmensleitung bzw. –Führung durchweg ausgesprochen wird.

Im Interesse der Leitungsebene eines Unternehmens steht grundsätzlich die Absicherung und Weiterentwicklung des unternehmerischen Fortbestehens, welches durch die Unterstützung der unteren operativ handelnden und entscheidenden Ebenen zum Erfolg geführt werden kann. Daher bedarf es einer Schnittstelle, welche die strategischen und unternehmerischen Ebenen zueinander koordiniert, den operativen Fokus der eigentlichen Leistungserbringung und Wertschöpfung allerdings nicht verliert.

Der konzeptionelle Ansatz, von den unternehmerischen Erfolgsfaktoren operative Größen abzuleiten, die bei allen operativen Planungsmaßnahmen einen Handlungsrahmen beschreiben sollen, erscheint unter den genannten Gesichtspunkten als erfolgsversprechend. Die konkret abgeleiteten operativen Größen sind im Kontext des Betrachtungsumfelds der Automobilzuliefererindustrie nicht als vollständig zu verstehen, grenzen aber den Inhalt der vorliegenden Arbeit ein. Dennoch lässt eine Vielzahl der Arbeiten den Bezug zu den strategischen Erfolgsfaktoren vermissen, weshalb hier eine Notwendigkeit besteht, durch den Beitrag dieser Arbeit entsprechende Lücke zumindest ansatzweise zu schließen.

Das Vorgehen bei der Erarbeitung einer Systematik zur Sicherstellung der Kundenbedarfe orientiert sich primär an den von den Erfolgsfaktoren abgeleiteten operativen Größen Liquidität, Beschäftigung, Knowhow und Informationstechnologie. Diese bilden die Grundstruktur der Systematik, anhand welcher die Entscheidungsgrößen der PPS erarbeitet und organisiert werden.

Der Bereich der Variablen umfasst die planerischen Entscheidungsgrößen der PPS-Funktionsbereiche, welche im Handlungsrahmen der Nebenbedingungen vorzufinden sind. Ebenso wird die planungsrelevante Parametrisierung beschrieben. Die spezifische mathematische Umsetzung innerhalb des Bezugsrahmens wird durch die Restriktionen beschrieben, welche die relevante Koordinierung einzelner Entscheidungsgrößen untereinander ausdrücken. Abschließend sind die Bewertungsgrößen zu beschreiben, anhand derer der Entscheidungsfindungsprozess vollzogen wird. Diese beziehen sich im Anwendungsfall dieser Arbeit auf konkrete Kostengrößen, die aufgrund der Anforderung einer kostenminimalen Zielerreichung herangezogen werden. Bezug nehmend auf eine

finanzielle Gesamtbewertung der erarbeiteten Systematik findet sich dort die Kostenbestimmung einer konkreten Implementierung.

Damit sind die zu leistende Arbeit sowie die erarbeitete Strukturierung des folgenden Kapitels 5 umrissen. Folgendes Kapitel wird nun die Komposition der relevanten Planungsgegenstände unter genannten Anforderungen und Nebenbedingungen vornehmen. Im daran anknüpfenden Kapitel 6 wird eine konkrete Implementierung von Planungsmodellen vorgestellt, welche sich der Inhalte von Kapitel 5 bedienen.

5 Modell-Komposition

In diesem Kapitel erfolgt die Erarbeitung einer Systematik zur Sicherstellung der Kundenabrufe im Umfeld eines Automobilzulieferunternehmens. Anforderungen an die Systematik sind Kostenminimalität sowie die Beachtung der Nebenbedingungen Liquidität, Beschäftigung, Knowhow und Informationstechnologie. Letztere leiten sich von den unternehmerisch strategischen Erfolgsfaktoren ab und sollen einen Handlungsrahmen schaffen, innerhalb dessen operative Maßnahmen immer an den strategischen Unternehmensgrößen ausgerichtet sind.

In den Kapiteln 2 und 4 wurden bereits die Methoden der linearen und gemischt-ganzzahligen Optimierung genannt, die zur Problemlösung genutzt werden sollen. Die weitere Betrachtung orientiert sich auf oberster Gliederungsebene an der Struktur mathematischer Programme und ordnet operative Größen den entsprechenden Programm-elementen Variablen, Restriktionen und Zielfunktion zu. Die zweite Gliederungsebene wird durch die Nebenbedingungen gebildet. Operative Größen, die unterhalb der Variablen beschrieben werden, entsprechen den zu bestimmenden Entscheidungsgrößen des Planungsbereichs. Unterhalb der Restriktionen erfolgt die detaillierte Herleitung der mathematischen Restriktionen, welche in direktem Zusammenhang mit den operativen Größen stehen. Unterhalb der Zielfunktion werden die Kostengrößen zusammengefasst, welche zur Bewertung der Planungsergebnisse verwendet werden.

5.1 Variablen

Im Folgenden werden die operativen Größen betrachtet, die zur Sicherstellung der Kundenbedarfe von Bedeutung sind. Diese werden durch Bündel von Entscheidungsvariablen im Planungskonzept abgebildet und deren Beziehung zu den jeweiligen Nebenbedingungen genauer untersucht.

5.1.1 Liquidität

Eine Vielzahl operativer Entscheidungsgrößen hat Einfluss auf die Liquidität des Unternehmens bzw. wird durch diese beeinflusst. Eine der elementarsten Eigenschaften eines produzierenden Unternehmens ist die Tatsache, dass Geldmittel verbraucht werden müssen um eine Leistung zu erbringen, die wiederum in Form der Leistungsverwertung am Absatzmarkt neue Geldmittel für das Unternehmen einbringt. Dieser Abfluss und Zufluss von Geldmitteln wirkt sich direkt auf die Liquidität des Unternehmens aus.

5.1.1.1 Bedarfsdeckung und Bestände

Die wichtigste Form des finanziellen Zuflusses erfolgt durch die Leistungsverwertung am Absatzmarkt. Im Fall einer auftragsorientierten Produktion kann dieses nur erfolgen, wenn die erbrachte Leistung in Form von produzierten Gütern in Menge und Qualität rechtzeitig verfügbar ist, um die Kundenbedarfe d zu decken. Insbesondere die Dimensionen der Menge und Zeit sind von besonderer Bedeutung, beschreiben diese doch wichtige Entscheidungsgrößen. Es muss entschieden werden, zu welchem Zeitpunkt t welche Menge q eines bestimmten Produktes p hergestellt werden soll. Aus dieser Entscheidung folgen weitere Dimensionen, schließlich muss entschieden werden, was mit der produzierten Menge q zu geschehen hat. Zudem ist zu gewährleisten, dass die produktionsrelevanten Ressourcen und Materialien zum Produktionszeitpunkt verfügbar sind. Es bestehen zwei Optionen hinsichtlich der Verwendung der Produktionsmenge q . Zum einen kann sie eingelagert werden, um zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung zu stehen. Zum anderen kann die Produktionsmenge direkt genutzt werden um die Kundenbedarfe zu decken. Bedingt durch die Tiefe der Produktion werden auch Halbfertigerzeugnisse produziert, welche zur Deckung der nachgelagerten Produktion genutzt werden. Primäre Bezugsgröße ist der unternehmenseigene Lagerbestand I an Produkten, Halbfertigerzeugnissen und Materialien. Beim Begriff des Bestands handelt es sich um eine der meistdiskutierten Entscheidungsgrößen in der Produktion, bedeutet Bestand doch immer eine Kapitalbindung, welche die verfügbaren finanziellen Mittel des Unternehmens in Form von schwer liquidierbaren Waren bindet. Im Gegensatz dazu kann ein größerer Bestand unter Umständen Versorgungssicherheit der Produktions- und Lieferprozesse bedeuten. Hier besteht zwischen zwei operativen Größen (Liquidität, Lieferfähigkeit), die direkt mit den strategischen Erfolgsfaktoren der Finanzen und der Kundenorientierung in Beziehung stehen, ein gegensätzliches Verhalten welches es auszubalancieren gilt.

Variablen und Parameter

- | | |
|-----|----------------------------|
| d | Parameter: Kundenbedarf |
| p | Parameter: Produkt |
| q | Variable: Produktionsmenge |
| I | Variable: Lagerbestand |

5.1.1.2 Bedarfsunterdeckung

In direktem Bezug zur Bedarfsdeckung steht die Bedarfsunterdeckung¹⁷⁶. Sie drückt aus, dass der Bestand eines Produktes „zur Deckung der Nachfrage ungenügend ist“¹⁷⁷. Es bedarf einer genauen Betrachtung, ob die Lieferausfallmenge b der vollständigen Bedarfsmenge oder nur einem Teil der Bedarfsmenge entspricht. Ersteres würde einen vollständigen Lieferausfall bedeuten, mit weitreichenden Konsequenzen für die Kunden entlang der nachfolgenden Lieferkette. Gerade aufgrund der in der Automobilindustrie präzise abgestimmten Lieferkette mit ihren Just-in-Time-Anlieferungen¹⁷⁸ haben solche Ausfälle für die Produktionsabläufe der Automobilhersteller schwerwiegende Konsequenzen, welche sich in hohen Ausfallkosten niederschlagen. Daher sind in den Rahmenverträgen zwischen Automobilherstellern und ihren Zulieferern solche Ausfälle durch die Zahlung von Konventionalstrafen abgedeckt¹⁷⁹, welche abhängig vom verursachten Produktionsausfall schnell mehrere Zehntausend Euro betragen können. Diese stellen den gewichtigsten Faktor dar, welcher im Zusammenhang mit einer Bedarfsunterdeckung unmittelbar auf die Liquidität des Unternehmens wirkt. Im Falle eines nur teilweise gedeckten Bedarfs besteht zumindest noch die Möglichkeit, durch hohe transportlogistische Aufwendungen Teillieferungen direkt aus der Produktion heraus in kurzen Intervallen zum Kunden zu transportieren, so dass eine konstante Versorgung seines Produktionsablaufs gewährleistet wird. Diese Sonderfahrten können, abhängig von Intervall und Transportdauer, ebenfalls hohe liquiditätsmindernde Kosten verursachen, welche im Verhältnis zu den oben genannten Konventionalstrafen geringer zu bemessen sind.

Variablen und Parameter

b Variable: Lieferausfallmenge bei Bedarfsunterdeckung

5.1.1.3 Produktionskapazitäten

Die Wechselwirkung zwischen der verfügbaren Liquidität und den Produktionskapazitäten¹⁸⁰, insbesondere den Fertigungsanlagen M , bedarf im Folgenden einer genaueren

¹⁷⁶ Andere gebräuchliche Begriffe sind in diesem Zusammenhang auch Lieferrückstand oder Lieferausfall. Eine genaue Definition zu den Begriffen kann bspw. in [Scho11], S. 282, nachgelesen werden

¹⁷⁷ ebenda

¹⁷⁸ Vgl. dazu [Koch06] oder [Zobo09]

¹⁷⁹ Siehe dazu [Voel08], S.159 oder [Krop09], S.339

¹⁸⁰ Unter dem Kapazitätsbegriff wird betriebswirtschaftlich „das Leistungsvermögen einer wirtschaftlichen oder technischen Einheit – beliebiger Art, Größe und Struktur – in einem Zeitabschnitt“ (siehe

Betrachtung. Die Fertigungsanlagen gehören zu den schwer liquidierbaren Gütern, können aber im Fall eines Liquiditätsengpasses zur Liquiditätserhöhung veräußert werden. Eine solche Kapitalfreisetzung erfolgt immer, solange sie nicht parallel mit „*Lern- und Spezialisierungseffekte[n] der Erfahrungskurve*“¹⁸¹ einhergeht, mit einem Kapazitätsabbau. Entscheidungen dieser Dimension werden nicht im operativen Bereich getroffen, haben aber aufgrund ihrer kapazitätsmindernden Konsequenzen erhebliche Auswirkungen auf die operationalen Entscheidungsgrößen. Ein weiterer direkter Zusammenhang besteht im Falle der Notwendigkeit, finanzielle Mittel zum Ausbau der Produktionskapazitäten aufzubringen, um Wachstumsphasen auszunutzen. In solchen Situationen ist eine ausreichende Liquidität von großem Vorteil, bedeutet diese doch eine hohe Flexibilität für das Unternehmen um schnell reagieren und Anpassungen vornehmen zu können. Fehlt diese Flexibilität, so sind hier die Auswirkungen auf operative Entscheidungsgrößen, aufgrund der zeitlichen Latenz zwischen Wachstum der Auftragslage und Erreichen des Kapazitätsausbaus, deutlich spürbar.

Variablen und Parameter

M Parameter: Fertigungsanlagen, als Produktionskapazität bestimmender Faktor

5.1.1.4 Instandhaltung

Prinzipiell kann die Maschineninstandhaltung¹⁸² in eine vorbeugende und eine ausfallbedingte Instandhaltung unterteilt werden. Während eine ausfallbedingte Instandhaltung lediglich als Reparaturmaßnahme mit dem Ziel der Wiederherstellung der Produktionsfähigkeit zu verstehen ist, beschreibt eine vorbeugende Instandhaltung das Ergebnis eines langen Wandlungsprozesses bzgl. der wahrgenommenen Bedeutung einer vorausschauenden Instandhaltungsstrategie. Dadurch steigt der planerische Aufwand, gilt es

dazu [Kern62], S.27) verstanden. Eine Eingrenzung des Kapazitätsbegriffs, hin zur Produktionskapazität, umfasst „*die Summe der Kapazitätsfaktoren an Fertigungsanlagen und -mitarbeitern*“¹⁸⁰(siehe dazu [Mona11], S.9).

¹⁸¹ Siehe dazu [Jung07], S.503

¹⁸² In [DIN31051] wird die Instandhaltung (*Maintenance*) definiert als „*Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann*“. Weiter wird festgehalten: „*Die Instandhaltung kann vollständig in die Grundmaßnahmen Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung unterteilt werden*“. Unter Betrachtungseinheiten sind sowohl Gebäude wie auch Maschinen zusammengefasst, wobei Letztere für den weiteren Betrachtungsverlauf von Interesse sind.

doch die vorbeugende Instandhaltung bei der Planung des Produktionsprogrammes einzubeziehen¹⁸³.

Nach Expertenschätzungen fallen in Deutschland jährlich Wartungskosten von etwa 140 Milliarden Euro an¹⁸⁴, wobei davon auszugehen ist, dass eine solche hohe Summe auf den funktionalen Zusammenhang zwischen Instandhaltungs- und Produktionsausfallkosten zurückzuführen ist¹⁸⁵. Ohne eine genaue Aufschlüsselung des jeweiligen Kostenträgers vorzunehmen gilt es festzuhalten, dass die anfallenden Kosten direkt auf die Liquidität wirken. Die Auswirkungen einer unterlassenen vorbeugenden Instandhaltung zeigen sich in einer Verschlechterung der Ausbringungsqualität und damit einhergehender Verminderung der Produktionsausbringung bis hin zum totalen Anlagenausfall. Die dann ausfallbedingte Instandhaltung ist aufgrund eines erheblichen Mehraufwands in Form von Personal und Material um ein Vielfaches kostspieliger, als es eine regelmäßige vorbeugende Instandhaltung gewesen wäre¹⁸⁶.

Variablen und Parameter

maintenance Variable: Instandhaltungsindikator

5.1.1.5 Ladungsträgermanagement

Betrachtet man die logistische Lieferkette innerhalb und außerhalb des Unternehmens, so lässt sich unweigerlich die zentrale Bedeutung von Ladungsträgern¹⁸⁷ erkennen. Sie sind ein „*tragendes Mittel zur Zusammenfassung von Gütern*“¹⁸⁸ und repräsentieren „*Transporthilfsmittel, mit denen (...) Ladegut gelagert und transportiert wird*“¹⁸⁹. Aufgrund der engen Verzahnung von Ladungsträgern mit der logistischen Lieferkette bedarf es einer Verwaltung dieser logistischen Größe, welche sich durch das Ladungsträgermanagement¹⁹⁰ in Unternehmen widerspiegelt. Die Steuerung des Ladungsträger-

¹⁸³ Vgl. dazu [Mert06], S.125

¹⁸⁴ Siehe dazu [Maty08], S.24

¹⁸⁵ Vgl. dazu [Gien07], S.462. Der funktionale Zusammenhang ist dahingehend zu verstehen, dass instandhaltungsbedingte Produktionsausfälle durch unterlassene vorbeugende Instandhaltung und die direkte Durchführung der ausfallbedingten Instandhaltung zusammengefasst werden.

¹⁸⁶ Vgl. dazu [Gien07], S.462

¹⁸⁷ Häufig finden auch die Begriffe Container und Behälter Anwendung, wenn von Ladungsträgern gesprochen wird (siehe dazu [Bich11], S.104).

¹⁸⁸ Siehe dazu [DIN30781], S.2

¹⁸⁹ Siehe dazu [Bich11], S.104

¹⁹⁰ Darunter versteht man die „*inner- und überbetriebliche Steuerung des Behälterkreislaufs für Mehrwegladungsträger (...)*“ (siehe dazu [Bich11], S.104), wobei eine Unterscheidung zwischen Mehrweg- und Einwegladungsträgern erfolgt, welche im weiteren Verlauf dieses Abschnitts nochmal aufgegrif-

kreislaufs ist von hoher Bedeutung, bedarf es doch durchweg eine dem Produktionsprogramm angepasste mengenmäßige Verfügbarkeit an Ladungsträgern. Kann diese nicht gewährleistet werden, hat dieses weitreichende Konsequenzen die sich durch hohe Kosten oder eine unzureichende Lieferfähigkeit ausdrücken¹⁹¹. Es ist nicht unüblich, dass in einem Unternehmen mehrere Ladungsträgerkreisläufe koordiniert werden. Dieser Umstand folgt häufig der Tatsache, dass an die Produkte angepasste Spezialladungsträger verwendet werden müssen, welche keine Mehrfachverwendung hinsichtlich unterschiedlicher Produkte zulassen¹⁹².

Die Lieferfähigkeit ist grundsätzlich in den Fällen gefährdet, in denen der Ladungsträgerbestand nicht den Bedarf decken kann und alternative Ladungsträger oder Einwegladungsträger¹⁹³ nicht in ausreichender Menge verfügbar sind. Doch auch die Möglichkeit der Verwendung von Ausweichverpackungen verursacht Kosten¹⁹⁴, welche direkt auf die Liquidität des Unternehmens durchgreifen. Diese, sowie weitere zu betrachtende Kosten, können direkt dem Ladungsträgermanagement zugerechnet werden. So zeichnen sich Ladungsträger in der Regel durch hohe Anschaffungskosten aus. Bei Mehrwegladungsträger stehen diese mit bis zu 600€¹⁹⁵ im Faktor 10-50¹⁹⁶ den Anschaffungskosten von Einwegladungsträgern gegenüber. Daher ist die bedarfsgerechte Ermittlung von Ladungsträgern, ungeachtet ob es um die Anschaffung oder operative Versorgung geht, von besonderer Bedeutung. Gerade wenn es darum geht, den eigenen Ladungsträgerbestand aufzubauen, bilden die Anschaffungskosten eine nicht zu vernachlässigende Ursache für hohe Kapitalbindung¹⁹⁷, welche direkt die Liquidität mindert und in Fällen von Liquiditätsengpässen nicht unweigerlich sofort wieder freigesetzt werden können¹⁹⁸ um die Liquidität zu stabilisieren. Bestehen Instabilitäten im Versorgungsprozess, so

fen wird. Weiterhin ist ein „Ziel des Ladungsträgermanagements (...) die Versorgung von internen und externen Lieferanten mit Leergut in der richtigen Menge zum richtigen Zeitpunkt und mit den richtigen Ladungsträgern gem. Ladungsträgerkonzept“ (siehe dazu [Bich11], S.104).

¹⁹¹ Siehe dazu [Schm05], S. 56–60

¹⁹² Gerade in der Automobilindustrie, wo kundenspezifische Produkte gefertigt werden, ist eine solche Situation vorzufinden. In der Regel befinden sich diese kundenspezifischen Spezialladungsträger im Besitz der Automobilhersteller, welche diese dann Ihren Zulieferern zur Verfügung stellen (siehe dazu [Klau09], S.37). Die Zuliefererunternehmen müssen für den eigenen Produktionsablauf daher einen eigenen Ladungsträgerkreislauf aufbauen, welcher auf eigene angepasste Ladungsträger aufbaut, die in der Regel einer Standardisierung folgen um eine Mehrfachverwendung zuzulassen und somit die Anschaffungskosten geringer halten.

¹⁹³ Synonym wird auch häufig von Ausweichverpackungen gesprochen

¹⁹⁴ Vgl. dazu [Schn08], S.7

¹⁹⁵ Siehe dazu [GeHe07], S.82

¹⁹⁶ Siehe dazu [Dick07], S.227

¹⁹⁷ Vgl. dazu [Schn08], S.7

¹⁹⁸ Ladungsträger weisen eine schlechte Liquidierbarkeit auf

fallen auch regelmäßig hohe Kosten für Sonderfahrten an, um Leergut zu beschaffen. Weitere Kosten für Handling, Transport, Verluste und Reinigung unterstreichen nochmal das enorme Potential eines ausgereiften Ladungsträgermanagements, da sich aufgrund der hohen Zirkulationsfrequenz von Ladungsträgern die vergleichsweise geringen Einzelkosten zu hohen Beträgen aufsummieren.

Variablen und Parameter

<i>Carrier</i>	Parameter: Ladungsträger
<i>CarrierStock</i>	Parameter: Verfügbarer Ladungsträgerbestand
<i>CarrierDemand</i>	Variable: Ladungsträgerbedarf

5.1.1.6 Transportleistungen

Allgemein kann zwischen inner- und außerbetrieblichen Transport¹⁹⁹ unterschieden werden, wobei im Folgenden eine Betrachtung von Letzterem erfolgen soll. Prinzipiell werden für die Erbringung von Transportleistungen Dienstleister beauftragt²⁰⁰, die über entsprechende Kompetenzen und Ressourcen verfügen. Außerbetriebliche Transportleistungen bestehen zwischen einem Unternehmen und seinen Zulieferern sowie Kunden und sind fester Bestandteil der Abrufsicherstellung im Leistungsprozess zwischen den Partnern in der Logistikkette. Betrachtet man den Kostenfaktor dieses unweigerlich zu erbringenden Leistungsbestandteils, so besteht grundsätzliches Kosteneinsparungspotential in der Auswahl der kostengünstigsten Transportdienstleister²⁰¹. Transportleistungen lassen sich in zwei Kategorien unterteilen, von denen die regulären und planmäßigen Transporte bereits vorgestellt wurden. Eine zweite Kategorie beschreiben die Sonderfahrten, welche zu den unplanmäßigen Transporten gehören und „*aufgrund der Kurzfristigkeit (...) für gewöhnlich sehr kostenintensiv sind*“²⁰². Alleine der Kostenanteil von Sonderfahrten kann nach Expertenmeinung²⁰³ in einem Jahr durchaus einen zweistelligen Millionenbetrag ausmachen. Auslöser für Sonderfahrten finden sich häufig in Prozessinstabilitäten innerhalb der Lieferkette und manifestieren sich bspw. in Qualitätsdefiziten oder verringerten Produktionsausbringungen, welche zu einer ungenügenden Lieferfähigkeit führen. Um die hohen Pönale, hervorgerufen durch Produk-

¹⁹⁹ In [Pföh10] (S.149) wird folgende Definition für Transport gegeben: „Unter Transport versteht man die Raumüberbrückung oder Ortsveränderung von Transportgütern mit Hilfe von Transportmitteln“

²⁰⁰ Vgl. dazu [StWe07], S.625

²⁰¹ Vgl. dazu [Bach03], S.373

²⁰² Siehe dazu [Czaj09], S.253 oder [Fisc07], S.295

²⁰³ Vgl. [FL07], S.108

tionsausfälle des Kunden, zu vermeiden, werden Sonderfahrten dennoch durchgeführt, fallen die Pönale im Verhältnis zu den Sonderfahrtkosten doch erheblich höher aus²⁰⁴. Somit sind Sonderfahrten in der Vielzahl der auftretenden Fälle als direkte Konsequenzen von Ursachen zu sehen, welche in anderen Leistungsbereichen auftreten, weshalb kein direktes Verbesserungspotential in der operativen Größe der Sonderfahrten zu sehen ist. Vielmehr besteht ein Vermeidungsinteresse von Sonderfahrten, da die hohen operativen Kosten direkt eine Minderung der Liquidität darstellen.

Variablen und Parameter

<i>Max Extra Transport</i>	Parameter: Maximal zulässige Anzahl von Sonderfahrten
<i>Max Cost Extra Transport</i>	Parameter: Maximal zulässiger Kostenbetrag, der durch Sonderfahrten aufkommen darf
<i>Extra Transport</i>	Variable: Anzahl der im Planungsbereich anfallenden Sonderfahrten

5.1.2 Beschäftigung

In jedem operativen Teilbereich einer Unternehmung stellt die Beschäftigung der Mitarbeiter eine wichtige Planungsgröße dar, deren Entscheidungsgegenstände einer Vielzahl an systembedingten Vorgaben unterliegen. Dabei können Entscheidungen hinsichtlich der Kapazitätsverwendung nur unter Beachtung rechts- und sozialvertraglicher Rahmenbedingungen getroffen werden. Relevante Größen, die variabel entschieden oder vorgegeben werden, sollen im Folgenden betrachtet werden.

5.1.2.1 Schichten

Gründe für Schichtarbeit²⁰⁵ liegen im Interesse des Unternehmens, bedeuten Schichtsysteme doch eine Ausweitung der betrieblichen Kapazitäten, da das Unternehmen die Ma-

²⁰⁴ Siehe [Czaj09], S.253

²⁰⁵ Für Schichtarbeit gibt es keine gesetzliche Definition, weshalb sich aus Richtlinien und tariflichen Vereinbarungen eigene Definitionen herausgebildet haben. So wird in der EG-Richtlinie 93/104, Art.5, Nr.2 Schichtarbeit definiert als „*jede Form der Arbeitsgestaltung kontinuierlicher oder nicht kontinuierlicher Art mit Belegschaften, bei der Arbeitnehmer nach einem bestimmten Zeitplan, auch im Rotationsturnus, sukzessive an den gleichen Arbeitsstellen eingesetzt werden, so daß sie ihre Arbeit innerhalb eines Tages oder Wochen umfassenden Zeitraums zu unterschiedlichen Zeiten verrichten müssen*“.

schinen über die eigentliche Arbeitszeit hinaus bedienen lassen kann. Abhängig vom genutzten Schichtbetrieb können bis zu 24h eines Tages kapazitativ genutzt werden, wobei dann Dreischicht-, Vierschicht- oder Fünfschichtbetriebe Anwendung finden. Im Hinblick auf die Flexibilitätsforderungen, die an produzierende Unternehmen gestellt werden, bergen operative Entscheidungsgrößen erhebliche Potentiale.

5.1.2.1.1 Schichtauswahl

Eine wichtige Stellgröße bzgl. der betrieblichen Kapazitäten, verbirgt sich in der Gestaltung des Schichtbetriebs. Allgemein kann bei der Wahl eines geeigneten Schichtbetriebs zwischen der klassischen und der flexiblen Schichtgestaltung unterschieden werden. Die klassische Variante gibt ein festes und gleichmäßiges Schichtmuster vor, bspw. ein Dreischichtbetrieb teilt den Arbeitstag in die drei Schichten Früh, Spät und Nacht unterteilt. Bei bekanntem und größtenteils gleichmäßigem Kapazitätsbedarf bietet sich diese Variante durchaus an, da nur mit geringen Kapazitätsverlusten zu rechnen ist. Bei Wahl der flexiblen Variante erfolgt die Kapazitätsverteilung ebenfalls durch Anwendung von unterschiedlichen Schichten, welche allerdings nicht einem gleichmäßigen und festen Muster folgen müssen (vgl. Abbildung 6).

Dreischichtbetrieb							
	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
06:00	Früh						
14:00	Spät						
22:00	Nacht						

Flexibler Schichtbetrieb							
	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So
06:00	Früh	Früh	Früh	Früh	Früh	Früh	Früh
14:00	Spät	Spät	Spät	Spät	Spät	Spät	-
22:00	Nacht	-	-	Nacht	-	-	-

Abbildung 6 Regulärer und Flexibler Schichtbetrieb

Gerade bei schwankendem Kapazitätsbedarf bietet dieser Schichtbetrieb den geringsten Kapazitätsverlust aufgrund von ungenutzter Arbeitskraft.

Aufgrund der kapazitätsstrukturierenden Eigenschaft von Schichten, muss zwischen regulärer und zusätzlicher Kapazität unterschieden werden, da dem Kapazitätsbegriff

auch immer ein nicht zu vernachlässigender Kostenaspekt zuzuordnen ist. Entsprechend verteilen sich die Kosten vertikal über die Schichten, was dazu führt, dass mit steigender Kapazitätsnutzung an einem Arbeitstag die Kapazitätsskosten steigen. Ähnlich gestaltet es sich in horizontaler Dimension, wo die Kapazitätsskosten der regulären Schichtkapazität unverändert bleiben aber bei Nutzung der zusätzlichen Kapazitäten ansteigen. Die Wahl des Schichtbetriebs beeinflusst direkt eine Dimension des Personalbedarfs, da aufgrund der Einschränkungen hinsichtlich maximal zulässiger Arbeitszeit an einem Arbeitstag der minimal notwendige Personalbedarf ableitbar ist (vgl. Abbildung 7).

	Mo	Di	Mi	
06:00	Früh	Früh	Früh	
14:00				

	Mo	
06:00	Früh	
14:00		Spät
22:00		Nacht

Abbildung 7 Unterschiedliche Schichtverteilung und deren Auswirkung auf den Personalbedarf

Abbildung 7 beschreibt zwei Situationen, die diesen Umstand verdeutlichen. So kann bei Anwendung von drei Frühschichten (Abbildung 7, a) an jedem Tag das Personal vom Vortag eingesetzt werden, was bei Anwendung von drei Schichten an einem Arbeitstag (Abbildung 7, b) nicht möglich ist. Es bedarf eines größeren Personalbestands, um diese Schichtverteilung umsetzen zu können.

Variablen und Parameter

<i>Shift System</i>	Parameter: Vorgabe des genutzten Schichtsystems (klassisch, flexibel)
<i>Shifts</i>	Parameter: Menge der nutzbaren Schichten im Schichtsystem
<i>Shift Switch</i>	Parameter: Indikator, ob eine Schicht genutzt werden kann
<i>Shift Indicator</i>	Variable: Indikator, ob eine Schicht genutzt wird

5.1.2.1.2 Schichtauslastung

Die Kapazitätseigenschaft von Schichten wurde bereits genannt, bündelt diese doch die Ressource Arbeitskraft eines Unternehmens. Es ist daher im Interesse des Unternehmens, diese Ressource möglichst optimal zu nutzen, was bedeutet, dass der Kapazitätsbedarf dem Kapazitätsangebot bestmöglich deckungsgleich gegenüberzustellen ist. Dabei wird das Ziel verfolgt, die Kapazitätsverluste innerhalb der Schichten zu minimieren indem, soweit möglich, die vom Produktionsprogramm abgeleiteten Kapazitätsbedarfe den Schichtkapazitäten angeglichen werden. Ein entsprechender Abgleich kann in einem umfassenden Planungsprozess erfolgen, der die unterschiedlichen Kapazitäten im Produktionsbereich miteinander abstimmt.

Variablen und Parameter

<i>Shiftsystem Capacity</i>	Parameter: Insgesamt nutzbare Schichtkapazität
<i>Shiftsystem Capacity Indicator</i>	Variable: Indikator der gewählten Schichtkapazität
<i>Capacity Requirements</i>	Variable: Zu ermittelnder Kapazitätsbedarf
$\delta - Capacity$	Variable: Differenz zwischen Kapazitätsangebot und Kapazitätsbedarf

5.1.2.1.3 Schichtangleichung

Die Anwendung eines flexiblen Schichtbetriebs wurde bereits vorgestellt. In Ergänzung dazu ist in einem umfassenden Planungsprozess unter Beachtung sozialverträglicher Randbedingungen die Angleichung der gewählten Schichtkapazitäten innerhalb eines bestimmten Betrachtungshorizonts vorteilhaft. Entsprechend ergeben sich zwei Entscheidungsdimensionen die in Bezug zum Kapazitätsbedarf stehen und welche unterschiedliche Freiheitsgrade bieten. Schichtangleichung unterstützt die betriebliche Planung in der Schaffung einer gleichmäßig verteilten Beschäftigung des Personals, ohne diese, wie in einem fixierten Schichtbetrieb, vorauszusetzen. Abbildung 8 zeigt beispielhaft die Umverteilung von Schichten, um eine Angleichung der Schichtkapazitäten zu erreichen. Als messbarer Indikator dient die Differenz zwischen den gewählten Schichtkapazitäten. Zusatzkapazitäten werden von dieser Betrachtung ausgeschlossen, da diese lediglich im Fall von nicht ausreichenden regulären Kapazitäten zu verwenden sind.

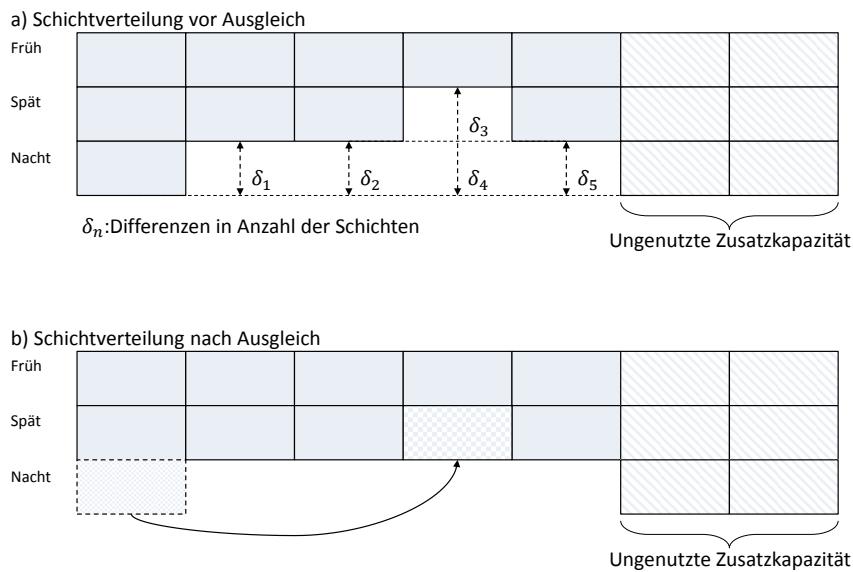


Abbildung 8 Kapazitätsausgleichs durch Umverteilung von Schichten

Variablen und Parameter

δ – Shiftsystem Capacity Indicator

Variable: Differenz zwischen gewählten Schichtkapazitäten

5.1.2.2 Aktivitäten

Beschäftigung beschreibt nicht nur eine Ressource im Unternehmen sondern steht auch für konkrete Tätigkeiten, welche im betrieblichen Umfeld zu erfüllen sind. Für den Beobachtungsgegenstand gliedern sich diese in die vier Tätigkeiten Produktion, Rüsten, Instandhaltung und Warenvereinnahmung, welche alle voneinander unterschiedliche Qualifikationsanforderungen an das eingesetzte Personal haben.

5.1.2.2.1 Produktion

Die Tätigkeit der Produktion beschreibt den elementaren Bestandteil der wertschöpfenden Leistung in einem Unternehmen. Produktion bedeutet, dass durch eine Faktorkombination ein Output generiert wird, die Produktionsausbringung, welche der Deckung von internen und externen Bedarfen dient. Produktion beinhaltet immer eine exklusive Belegung von Maschinenressourcen sowie einen Verbrauch von Produktionskapazitäten. Letzteres kann dahingehend gesteuert werden, dass unterschiedliche Maschinenressourcen genutzt werden, welche einen unterschiedlichen Kapazitätsverbrauch aufweisen. Eine weitere Entscheidungsdimension kann in der variablen Ausgestaltung des maschinenbedienenden Personals liegen, so dass bei gleichbleibender Bindung von Pro-

duktionskapazitäten ein höherer Output generiert werden kann. Der Produktion liegt ein großes Entscheidungspotential inne, da über die Ausbringungsmenge entschieden werden kann. Entsprechend kann gesteuert werden, wie häufig die Tätigkeit der Produktion angestoßen werden muss um die Kundenbedarfe zu erfüllen.

Variablen und Parameter

p	Parameter: Produkt
m	Parameter: Maschine
a	Parameter: Personal
ct	Parameter: Stückbearbeitungsdauer
q	Variable: Produktionsmenge

5.1.2.2.2 Rüsten

Rüsten²⁰⁶ ist der Produktion in zeitlicher Dimension vorangestellt und beschreibt eine notwendige Tätigkeit, ohne die eine Produktion nicht möglich ist. Während des Rüstvorgangs geht die Produktionskapazität der zu rüstenden Maschine ungenutzt verloren, weshalb eine maßgebliche Entscheidungsgröße in der Rüsthäufigkeit zu finden ist. Ein weiterer Entscheidungsgegenstand ist in der Rüstreihenfolge zwischen verschiedenen Produkten zu sehen, da die Dauer eines jeden Rüstvorgangs dadurch beeinflusst werden kann.

Variablen und Parameter

p	Parameter: Produkt auf das gerüstet werden soll
m	Parameter: Maschine
st	Parameter: Rüstdauer
s	Variable: Rüstindikator
$state(m)$	Variable: Rüszustand der Maschine

5.1.2.2.3 Instandhaltung

Instandhaltung wurde bereits in Abschnitt 5.1.1.4 unter dem Aspekt der Liquidität vorgestellt. Als nennenswerte Eigenschaft ist zu erwähnen, dass diese aufgrund eines standardisierten Instandhaltungsschemas in zeitlicher Dimension vollkommen planbar ist, sind die zu prüfenden Maschinenteile und -eigenschaften doch bekannt. Instandhaltung

²⁰⁶ Um eine Maschine zur Produktion eines spezifischen Produktes nutzen zu können, muss diese in einen entsprechenden Rüszustand versetzt werden. Dieses erfolgt durch die Tätigkeit des Rüstens.

hat besondere Ansprüche an die Qualifikation des Instandhaltungspersonals, weshalb dieses häufig ausschließlich der Instandhaltungstätigkeit nachkommt. Ähnlich dem Rüsten ist während der Instandhaltung die produktive Nutzung der Maschine nicht möglich. Auch der Entscheidungsgegenstand hinsichtlich Instandhaltungshäufigkeit ähnelt der Entscheidungsdimension des Rüstens.

Variablen und Parameter

m	Parameter: Maschine
mt	Parameter: Instandhaltungsdauer
$ub_maintenance$	Parameter: Auslöser zur Instandhaltung
$maintenance$	Variable: Instandhaltungsindikator

5.1.2.2.4 Warenvereinnahmung

Im Wareneingang grenzen verfügbare Kapazitäten die Handlungsmöglichkeiten ein. Neben räumlichen sind personelle Kapazitäten von Bedeutung, da diese den Prozess der Warenvereinnahmung maßgeblich beeinflussen. Aktivitäten wie das Abladen der angelieferten Materialien sowie das Erfassen und Verbringen an die Lagerorte unterliegen weitgehend festen Abläufen, welche zur besseren Planbarkeit durch normierte Zeitwerte abgebildet werden können. Diese Aktivitäten setzen, neben der Verfügbarkeit personeller Kapazitäten, zudem ein spezifisches Qualifikationsspektrum des Personals voraus.

Variablen und Parameter

$receiving\ Capacity$	Parameter: Kapazität (Zeit/Personal) im Wareneingang
rt	Parameter: Warenvereinnahmungsdauer

5.1.2.3 Teamorganisation

Seit vielen Jahren besteht die Erkenntnis, dass insbesondere im industriellen Produktionsumfeld die Organisationsform als Team positive Effekte ausübt²⁰⁷. So bieten Teams eine gesteigerte Flexibilität, die sich unter anderem durch ein hohes Maß an Selbstbestimmbarkeit und Eigenverantwortung der Mitarbeiter sowie konzentriertem Qualifikationspotential innerhalb der Teams ausdrückt. Insbesondere in Unternehmen,

²⁰⁷ Vgl. dazu [Burr03], S.17f

deren Produktionsstrukturen sich in einzelne autonome Produktionsbereiche untergliedern, lassen sich Teams als „*produktorientierte Leistungseinheiten*“²⁰⁸ einbinden.

5.1.2.3.1 Teambildung

Der Prozess der Teambildung gliedert sich in zwei aufeinander aufbauende Phasen. Zuerst gilt es die Anforderungen an die Teams in Qualifikation, Anzahl und Größe zu bestimmen um anschließend die Auswahl der Teammitglieder vorzunehmen. Dabei sind verschiedene Faktoren zu beachten, welche sich direkt aus dem Unternehmensumfeld ableiten. Hinsichtlich der Qualifikation gilt es festzustellen, welche Tätigkeiten, und somit die daraus ableitbaren Qualifikationsanforderungen, durch ein Team zu leisten sind. Zudem müssen die Qualifikationsziele des Unternehmens in die Betrachtung einzbezogen werden, da bspw. ein durchweg gleicher Ausbildungsstand über alle Mitarbeiter im Unternehmen oder in einem Produktionsbereich angestrebt wird. Anzahl und Größe der Teams lassen sich vom Bedarf an Produktionskapazitäten ableiten. Entsprechend lassen sich Teams, ungeachtet der zeitlichen Faktoren, für einen gesamten Produktionsbereich aufstellen. Gemäß der betrieblichen Wochenarbeitsleistung gilt es bei der Teambildung bereits auf eine entsprechende Erfüllung der Arbeitsleistung innerhalb der Teams zu achten. Außerdem darf die Verteilung der Arbeitsbelastung über die verschiedenen Teams nicht zu stark schwanken, um eine sozial unverhältnismäßige Bevorteilung zu vermeiden.

Variablen und Parameter

<i>teamQualification</i>	Parameter: Qualifikationsanforderungen der Teams
<i>weeklyWorktime</i>	Parameter: Zu erbringende Wochenarbeitsleistung
<i>workloadDifference</i>	Parameter: Zulässige Schwankung der Arbeitsbelastung
<i>nbTeams</i>	Variable: Anzahl der zu bildenden Teams
<i>teamCapacity</i>	Variable: Größe der zu bildenden Teams

5.1.2.3.2 Schichtzuordnung

Sind die Teams gemäß des Produktionsbedarfs gebildet, gilt es im Fall einer den zeitlichen Faktoren angepassten Zuordnung, die Teams den unterschiedlichen Schichten zuzuweisen. Dabei ist auf das vorherrschende Schichtmodell zu achten, welches im jeweiligen Produktionsbereich genutzt wird (vgl. Abbildung 9). Eine Zuweisung erfolgt innerhalb des Schichtmodells, wobei eine Vielzahl weiterer Bedingungen einzubeziehen

²⁰⁸ Siehe [LaMi97], S.82

ist. Ähnlich der Teambildung ist auf die betriebliche Wochenarbeitszeit zu achten, so dass diese in allen Teams eingehalten wird. Zusätzlich darf die tägliche Arbeitsbelastung eine festgeschriebene Grenze nicht überschreiten.

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	...
F { T1	T1	T1	T1	T1			T2	T2	T2	T2	T2			...
S { T2	T2	T2	T2	T2			T1	T1	T1	T1	T1			...
N {														...

Reguläre Schichtkapazität Ungenutzte zusätzliche Schichtkapazität

Abbildung 9 Anwendung eines regulären Zweischichtbetriebs

Ist dieses gewährleistet, gilt es zusätzlichen Personalkapazitätsbedarf (vgl. Abbildung 10) über die verschiedenen Teams zu verteilen, dabei aber ebenfalls eine möglichst gleichverteilte Arbeitsbelastung zu gewährleisten. Außerdem sind ausreichende Freizeitintervalle zu gestalten sowie vorgeschriebene Rotationen im Schichtsystem einzuhalten.

Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	Mo	Di	Mi	Do	Fr	Sa	So	...
F { T1	T1	T1	T1	T1	T1		T2	T2	T2	T2	T2			...
S { T2	T2	T2	T2	T2	T2		T1	T1	T1	T1	T1			...
N {														...

Reguläre Schichtkapazität Ungenutzte zusätzliche Schichtkapazität

Zusätzlicher Kapazitätsbedarf

Abbildung 10 Zusätzlicher Kapazitätsbedarf in einem Zweischichtbetrieb

Variablen und Parameter

sfRotationPattern

Parameter: Schichtrotationsmuster

Shift System

Parameter: Vorgabe des genutzten Schichtsystems (klassisch, flexibel)

Shifts

Parameter: Menge der nutzbaren Schichten im Schichtsystem

weeklyWorktime

Parameter: Zu erbringende Wochenarbeitsleistung

workloadDifference

Parameter: Zulässige Schwankung der Arbeitsbelastung

<i>nbTeams</i>	Parameter: Anzahl der zuzuordnenden Teams
<i>shiftfTeamIndicator</i>	Variable: Indikator der Schichtzuordnung

5.1.3 Knowhow

Die Bedeutung von Mitarbeitern als Erfolgsfaktor in Unternehmen ist in den letzten Jahren verstkt in den Vordergrund gerckt²⁰⁹. Dieses wird zustzlich durch den Begriff des Humankapitals unterstrichen, welcher das klassische Kapitalverstndnis ergzen und somit einen moderneren Kapitalbegriff bilden soll. Es bedarf einer vorausschauenden Planung dieser fr Unternehmen unverzichtbaren Ressource, um das Fortbestehen zu sichern und auch in Zukunft Wachstumschancen wahrnehmen zu knnen. Relevante Entscheidungsgren liegen auf einer langfristigen Planungsebene und stehen in Wechselwirkung zu operativen Entscheidungen. Ausgehend von einer prognostizierten Absatzentwicklung ergeben sich Anforderungen an eine angepasste Personalbestands- und Qualifikationsentwicklung. Entsprechend leiten sich Entscheidungsgren ab, um auf den Personal- bzw. Qualifikationsgegenstand einzuwirken (vgl. Abbildung 11). Darer hinaus mssen Einflussgren in den Planungsgegenstand einbezogen werden, welche nur bedingt gesteuert werden knnen.

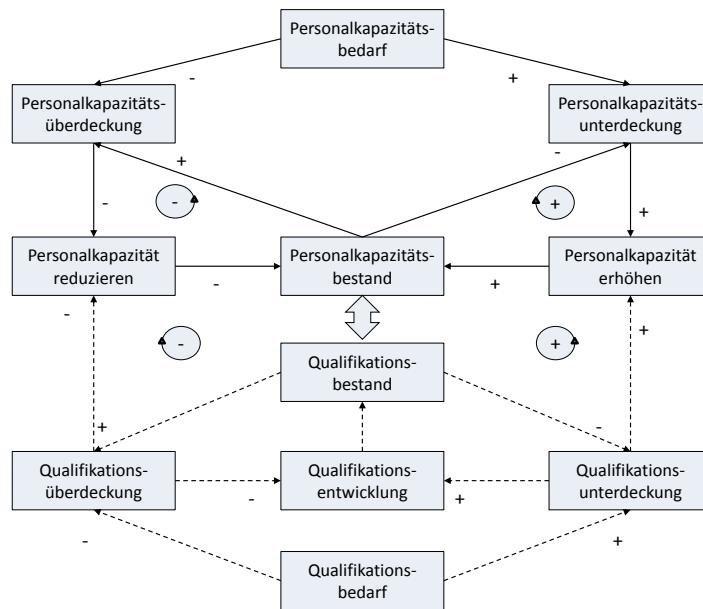


Abbildung 11 Abstimmung des Personal- und Qualifikationsbestands²¹⁰

²⁰⁹ Siehe [Raps08], S.162

²¹⁰ In Anlehnung an [Schi06], S.809-832 und S.814

5.1.3.1 Personaleinstellung

Besteht eine Personalkapazitäts- oder Qualifikationsunterdeckung, kann diesem Umstand auf unterschiedlichen Weisen begegnet werden. Primär kann der vorhandene Bestand unverändert bleiben und lediglich eine Anpassung der verfügbaren Leistungskapazität vorgenommen werden. Dieses stellt allerdings keine langfristige Alternative dar, sondern bietet ausschließlich kurzfristiges Potential um Engpässe zu überbrücken. Um einen langfristig stabilen Zustand herzustellen, bedarf es einer Entwicklung der entsprechenden Bestandsgrößen, indem durch das Einstellen von Personal auf diese eingewirkt wird. Es existieren zwei relevante Entscheidungsgrößen, welche sich durch unterschiedliches Flexibilisierungspotential auszeichnen. Zum einen kann der Stammpersonalbestand vergrößert werden, indem neues Personal mit dem geforderten Qualifikationsprofil eingestellt wird. Eine solche Entscheidung bietet zwar weniger Flexibilität, stellt allerdings im Hinblick auf die Unternehmensentwicklung durchaus Vorteile dar, vor allem da Knowhow an das Unternehmen gebunden wird. Eine zweite Entscheidungsgröße wirkt auf den Personalbestand, indem befristetes Personal bzw. Zeitarbeiter eingestellt werden. Dieses bietet im Vergleich zur Stammbelegschaft zwar mehr Flexibilität, allerdings ist das Knowhow dann nicht unternehmensgebunden.

Variablen und Parameter

<i>capacityRequirements</i>	Parameter: Personal-/Qualifikationsbedarf
<i>performanceCapacity</i>	Parameter: Leistungskapazitätsobergrenze
<i>perfCapacityIncrease</i>	Variable: Anpassung der Leistungskapazität
<i>permanentStaffIncrease</i>	Variable: Entwicklung des Stammpersonalbestands
<i>temporaryStaffIncrease</i>	Variable: Entwicklung des befristeten Personalbestands

5.1.3.2 Personalfreisetzung

Im Fall einer Kapazitätsüberdeckung gilt es zu entscheiden, ob die Überdeckungsdauer durch eine kurzfristige Kapazitätsanpassung überbrückt werden kann oder eine langfristige Kapazitätsfreisetzung vorgenommen werden muss. Insbesondere Letzteres ist dagehend von großer Bedeutung, als dass im Unternehmen aufgebautes und nur mit großem Aufwand und hohen Kosten wiederbeschaffbares Knowhow abgegeben werden muss. Dabei gilt zu beachten, welches Flexibilisierungspotential durch den Personalbe-

stand gegeben ist und ob eine Freisetzung von befristetem Personal oder Stammpersonal durchzusetzen ist.

Aus Sicht des Unternehmens ist die Flexibilität von befristetem Personal bzw. Zeitarbeitern im direkten Vergleich größer, weshalb eine Kapazitätsfreisetzung dort zuerst umsetzbar ist. Erst wenn das Potential vollkommen aufgebraucht ist müssen Teile des Stammpersonalbestands freigesetzt werden, wobei dieses nicht nach Belieben erfolgen kann sondern bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein müssen. Tarifvereinbarungen sowie gesetzliche Vorgaben können die Handlungsmöglichkeiten daher weiter einschränken.

Variablen und Parameter

<i>capacityRequirements</i>	Parameter: Personal-/Qualifikationsbedarf
<i>performanceCapacity</i>	Parameter: Leistungskapazitätsuntergrenze
<i>perfCapacityDecrease</i>	Variable: Anpassung der Leistungskapazität
<i>permanentStaffDecrease</i>	Variable: Entwicklung des Stammpersonalbestands
<i>temporaryStaffDecrease</i>	Variable: Entwicklung des befristeten Personalbestands

5.1.3.3 Personalweiterbildung

Nicht immer ist es notwendig auf den Personalbestand einzuwirken, da sich aufgrund des heterogenen Qualifikationsprofils eines Unternehmens Kapazitätsüber- bzw. Kapazitätsunterdeckungen auf einzelne Produktionsbereiche beschränken können. Entsprechend kann es ausreichen eine Kapazitätsverlagerung vorzunehmen, indem der Qualifikationsbestand personell transferiert und weiterentwickelt wird. Diese Maßnahme beinhaltet ein großes Entwicklungspotential, da Knowhow und Arbeitskraft im Unternehmen gehalten werden.

Variablen und Parameter

<i>capacityRequirements</i>	Parameter: Personal-/Qualifikationsbedarf einzelner Bereiche
<i>capacityAdjustment</i>	Variable: Kapazitätsverschiebung zwischen Bereichen
<i>qualificationDevelopment</i>	Variable: Angleichung des Qualifikationsprofils

5.1.3.4 Personalfliktuation

Auf den Personalbestand wirken Veränderungen ein, welche in den Planungsgegenstand einbezogen werden müssen. So verfügt ein Unternehmen zwar über einen festen Personalbestand, vermag aber nicht durchweg die damit verbundene Personalkapazität abzurufen, da verschiedene Einflussgrößen Kapazitätsschwankungen hervorrufen können. Bezogen auf diese Schwankungen gilt es bereits im Vorfeld die Personalkapazitäten so aufzubauen, dass Veränderungen zumindest kurzfristig kompensiert werden können. Maßnahmen hierzu gestalten sich derart, dass im kurzfristigen Bereich eine Anpassung der gegebenen Leistungskapazitäten erfolgen kann. Darüber hinaus besteht immer die Möglichkeit, die Personalkapazitäten grundlegend zu erweitern. Schwankungsgrößen lassen sich anhand der zeitweisen und endgültigen Konsequenzen unterteilen. Zeitweise Konsequenzen bedeuten, dass der Kapazitätsverlust von temporärer Natur ist und sich nach kurzer Zeit wieder auflöst, wie es bspw. bei Krankheiten oder Urlaub der Fall ist. Im Gegensatz dazu beschreiben endgültige Konsequenzen eine Kapazitätsveränderung, welche ohne Gegenmaßnahmen irreversibler Art sind. Diese Veränderungen können z. B. durch Pensionierung oder Kündigung von Mitarbeitern hervorgerufen werden.

Variablen und Parameter

<i>fluctuationValues</i>	Parameter: Vergangenheitsdaten der Schwankungsgrößen
<i>perfCapacityIncrease</i>	Variable: Anpassung der Leistungskapazität
<i>staffCapacityIncrease</i>	Variable: Entwicklung des Personalbestands

5.1.4 Informationstechnologie

Der Anwendungswandel von Informationstechnologien in Unternehmen hat dazu geführt, dass die vitalen Geschäftsprozesse eines Unternehmens vollständig in diesen abgebildet und auch weiterentwickelt werden²¹¹. Entsprechend ist ein vereinheitlichender Planungsansatz in bestehende Technologien zu integrieren, so dass eine unternehmensweite Datenbasis in den Planungsprozess einbezogen wird und bereichsumfassende Ergebnisse für alle Verantwortlichen verfügbar sind. Im Folgenden werden die Bestandteile des Datenmodells vorgestellt, welche durch die Informationstechnologie bereitgestellt und aufbereitet werden müssen. Abschließend erfolgt eine Vorstellung der in der Informationstechnologie abzubildenden Planungsergebnisse.

²¹¹ Vgl. dazu [OBri05], S.214

5.1.4.1 Kundenabrufe

Gemäß den VDA-Empfehlungen 4905 und 4915 werden Bedarfe zwischen Automobilherstellern und deren Zulieferern in elektronischer Form übertragen. Abhängig vom Planungsraster werden die Bedarfe unterschiedlich granular zusammengefasst, so dass Bedarfsbündelungen von einem Tag bis zu einer Woche möglich sind. Um eine exakte Planung der operativen Maßnahmen durchführen zu können, sind von jedem Kunden die Bedarfsdaten auf Tagesbasis notwendig. Da der Planungsansatz auftragsneutral gestaltet ist, können Bedarfe unterschiedlicher Kunden, welche das gleiche Produkt betreffen²¹², zusammengefasst werden.

Variablen und Parameter

<i>d</i>	Parameter: Kundenabrufe
----------	-------------------------

5.1.4.2 Produkt- und Fertigungsstruktur

Um eine koordinierte Sicherstellung der Kundenabrufe gewährleisten zu können, bedarf es einer vollständigen Abbildung der Produkt- und Fertigungsstrukturen durch gegebene Informationstechnologien.

Bei Anwendung einer Top-Down-Perspektive erfolgt eine Abbildung anhand des Erzeugnisaufbaus eines Produktes und stellt sämtliche Produktbestandteile dar. Veranschaulichen lassen sich diese anhand von Stücklisten²¹³, welche Informationen zu Eingangsmengen bzw. Strukturbestandteile von Produkten beinhalten²¹⁴. Die gegensätzliche Perspektive dazu erfolgt Bottom-Up und zeigt die Verwendung der unterschiedlichen Erzeugnisse. Eine Kombination beider Perspektiven führt zu Gozinto-Strukturen, welche mittels Listen, Matrizen oder Graphen den vollständigen Erzeugniszusammenhang abbilden können. Um die Fertigungsstruktur ebenfalls abbilden zu können bedarf es zusätzlich einer persistenten Zuordnung von Maschinen und Produkten derart, dass die produktbezogene Produktionsfähigkeit der Maschinen abrufbar ist. Dieses, in Kom-

²¹² Es ist nicht unüblich, dass Produktionswerke als Kunden geführt werden. Das bedeutet, dass für einen Automobilhersteller mehrere Kundenschlüssel vorhanden sind. Entsprechend wird in den Informationssystemen kundenbezogen unterschieden, wobei es sich, bezogen auf den Automobilhersteller selber, immer um den gleichen Kunden handelt.

²¹³ Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Stücklisten, bspw. Mengenübersichtsstücklisten, Strukturstücklisten oder Baukastenstücklisten. Sie unterscheiden grundsätzlich sich im Informationsgehalt.

²¹⁴ Die IT erweist sich bereits seit vielen Jahrzehnten durch Bereitstellen von Datenbanktechnologien als hervorragend geeignet, Stücklisten persistent zu machen. Datenbankschemata sind in ihrer Struktur sehr nah an Stücklistendarstellungen und bieten daher ein ausgezeichnetes Einbettungsmedium.

bination mit dem vollständigen Erzeugniszusammenhang, bildet eine Strukturierung der Fertigungsabläufe im Produktionsbereich.

Variablen und Parameter

<i>BOM</i>	Parameter: Stückliste
<i>machine_product_Relation</i>	Parameter: Abbildung zwischen Maschinen und Produkten

5.1.4.3 Maschinendaten

Aus der Maschinen-Produkt-Relation ergeben sich wichtige maschinenbezogene Parameter, welche informationstechnologisch erfasst werden müssen. Neben statischen, langfristig gleichbleibenden, Parametern sind dynamische Parameter aufzuführen, welche durch einen regelmäßigen Abgleich mit den operativen Maschinendaten erfasst werden.

5.1.4.3.1 Kapazitäten und Zeitgrößen

Maschinenkapazitäten und Zeitparameter stehen in einem engen Zusammenhang, da bei dynamischen Kapazitäten die damit verbundenen Zeitparameter ebenfalls variieren können. Maschinenkapazitäten werden im weiteren Sinne durch die Betriebsfähigkeit der Maschinen beschrieben. Diese wiederum hängt primär davon ab, ob ausreichendes Bedienpersonal verfügbar ist. Kann dieses garantiert werden, ist die Maschinenkapazität lediglich durch 24 Arbeitsstunden pro Tag begrenzt. Im engeren Sinne beschreiben Maschinenkapazitäten eine outputbezogene Leistungsfähigkeit innerhalb eines festen Zeitintervalls, auf welche durch die Varianz des Betriebspersonals eingewirkt werden kann. Ist die Betriebsfähigkeit einer Maschine durch eine minimale, notwendige Anzahl an Betriebspersonal hergestellt, kann durch Ergänzen weiteren Personals auf die Maschinenkapazität positiv eingewirkt werden. Demnach verfügt eine Maschine über einen definierten Leistungsintervall, welcher in diskrete Leistungsgrade unterteilt werden kann.

Mit den leistungsbezogenen Kapazitäten verbunden sind die von den Maschine-Produkt-Relationen abhängigen Taktzeiten. Diese variieren in Maschinendimension abhängig vom gewählten Leistungsgrad und dienen bei Kapazitätsengpässen als primäre Bezugsgröße um alternative Entscheidungen zu bewerten. Auch Rüstzeiten stellen eine entsprechende Bezugsgröße dar, sind allerdings unabhängig vom Leistungsgrad einer Maschine. Ihre Variabilität besteht in der Rüstabfolge und bezieht sich auf die Produktdimension.

Variablen und Parameter

<i>PerformanceRate</i>	Parameter: Maschinenbezogene Leistungsgrade
<i>Personnel PerformanceRate Relation</i>	Parameter: Leistungsgradabhängiger Personaleinsatz
<i>Cycletime</i>	Parameter: Maschinen- und Produktabhängige Taktzeit
<i>Setuptime</i>	Parameter: Maschinen- und Produktabhängige Rüstzeit

5.1.4.3.2 Instandhaltungsparameter

Neben den direkten produktionsrelevanten Parametern bestehen weitere Parameter, die im Sinne einer koordinierten Planung einbezogen werden müssen. Zu diesen zählen auch alle Instandhaltungsparameter. Da in der weiteren Betrachtung eine Instandhaltung ausschließlich auf die verfügbare Maschinenkapazität einwirkt und weitere auf die Instandhaltung bezogene Tätigkeiten ignoriert werden können, reichen die Bereitstellung von maschinenbezogenen Leistungsgrenzen²¹⁵ sowie Instandhaltungsdauern aus.

Präventive Instandhaltung

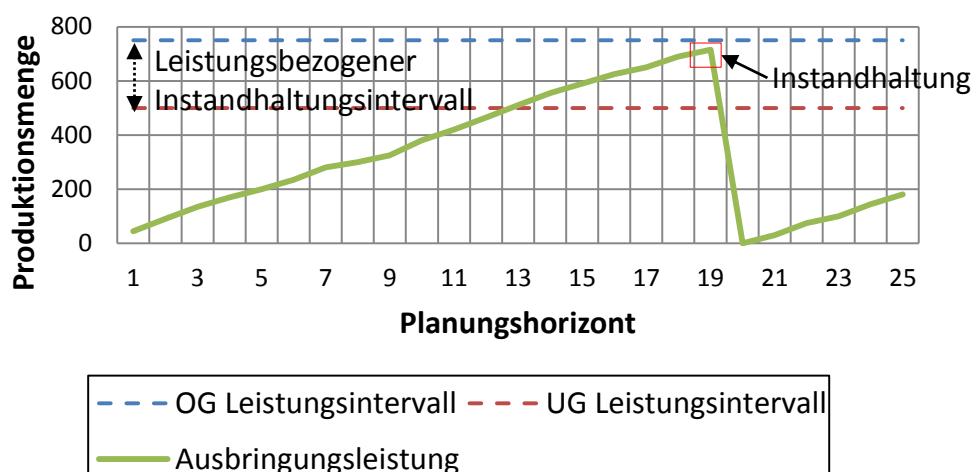


Abbildung 12 Veranschaulichung einer präventiven Instandhaltung bei leistungsbezogenem Instandhaltungsintervall

²¹⁵ Eine Leistungsgrenze bezieht sich auf die von einer Maschine erbachten Ausbringungsleistung und wird durch einen Intervall beschrieben. Erreicht die kumulierte Ausbringungsmenge einer Maschine nach der letzten Instandhaltung dieses Intervall, besteht ein Entscheidungsbedarf, wann genau die nächste Instandhaltung durchgeführt werden muss (vgl. Abbildung 12).

Variablen und Parameter

<i>Limit of Performance</i>	Parameter: Maschinenbezogene Leistungsgrenzen und resultierender Instandhaltungsintervall
<i>MaintenanceTime</i>	Parameter: Maschinenbezogene Instandhaltungsdauer

5.1.4.3.3 Operativer OEE

Als operativer Parameter ist die Gesamtanlageneffektivität²¹⁶ zu verstehen, welche als Maschinenkennzahl Aufschluss über die Wertschöpfung der Maschine geben soll. Die Kennzahl wird durch drei verschiedene Faktoren²¹⁷ beschrieben, wobei Veränderungen der Faktoren Veränderungen in der Prozessstabilität der Produktion bedeuten. Sie stellen daher Parameter dar, welche in einem umfassenden Planungsvorhaben einzubeziehen sind, um temporäre Prozessschwankungen zu beachten und nicht Gefahr zu laufen, mit ungültigen Produktionsparametern zu planen.

Variablen und Parameter

<i>Availability Factor</i>	Parameter: Maschinenbezogener Verfügbarkeitsfaktor (Bestandteil OEE)
<i>Performance Factor</i>	Parameter: Maschinenbezogener Leistungsfaktor (Bestandteil OEE)
<i>Quality Factor</i>	Parameter: Maschinenbezogener Qualitätsfaktor (Bestandteil OEE)

5.1.4.4 Schichtmodelle und Schichtkapazitäten

Um eine einheitliche Datenbasis für die unterschiedlichen Entscheidungsgrößen²¹⁸ zu haben, sind für die verschiedenen Planungsbereiche die gültigen Schichtparameter verfügbar zu machen. Dieses beinhaltet zum einen die vom Produktionsbereich abhängigen

²¹⁶ engl. Overall Equipment Effectiveness

²¹⁷ Der Verfügbarkeitsfaktor beschreibt den Anteil produktiv genutzter Maschinenzeit an der gesamten Laufzeit einer Maschine und liefert Informationen dazu, in wie weit ungeplante Stillstände die Wertschöpfung gemindert haben. Der leistungsbezogene Faktor drückt die Abweichung der erbrachten Ist-Leistung von geplanter Soll-Leistung einer Maschine aus. Es gilt zu beachten, dass eine Soll-Leistung die vollständig abrufbare Leistung einer Maschine beschreibt. Der Qualitätsfaktor drückt das Verhältnis von IO-Teilen zu NIO-Teilen aus und stellt einen Indikator für qualitätsbezogene Prozessstabilität dar.

²¹⁸ Diese betreffen insb. Maschinen- und Personalkapazitäten

Schichtmodelle, sowie die innerhalb der verschiedenen Schichten verfügbaren Kapazitäten. Außerdem wirken unterschiedliche Ereignisse²¹⁹ auf die verfügbaren Kapazitäten ein und müssen im operativen gepflegt werden.

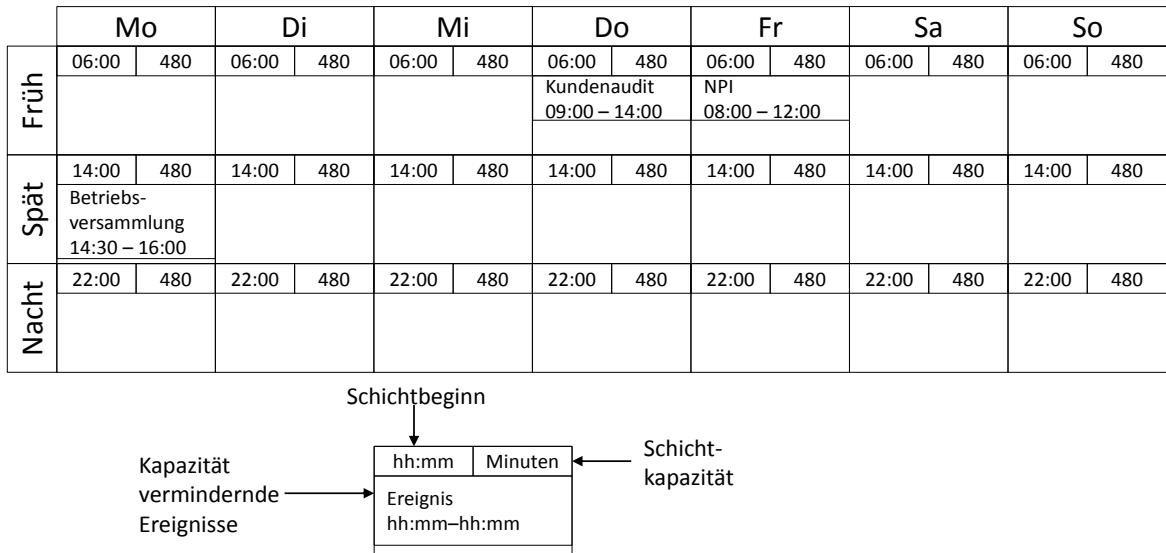


Abbildung 13 Darstellung von Ereignissen und Schichtparametern, basierend auf Schichtmodell und operativen Größen

Schichtmodellparameter beziehen sich allgemein auf Zeitgrößen (vgl. Abbildung 13) und gliedern verfügbare Kapazitäten in eine geordnete Struktur derart, dass diese mit den nachgefragten Kapazitätsbedarfen abgeglichen werden können.

Variablen und Parameter

<i>Shiftmodel</i>	Parameter: Bereichsbezogene Schichtmodelle
<i>ShiftCapacity</i>	Parameter: Schichtbezogene, planbare Kapazitäten
<i>Events</i>	Parameter: Menge der variablen Ereignisse im Planungshorizont

5.1.4.5 Ladungsträgerdaten

Der Ladungsträgerkreislauf beschreibt eine durchweg operative Größe, welche durch geeignete Methoden überwacht werden muss. Eine Hauptaufgabe besteht in der Erfassung des verfügbaren Leer- sowie Umlaufbestands, um eine Verfügbarkeit an Ladungsträgern für die Produktion gewährleisten bzw. auf Ladungsträgerengpässe rechtzeitig

²¹⁹ Zu diesen zählen bspw. Betriebsversammlungen oder Audits

reagieren zu können. Für das gesamte Ladungsträgersortiment ist zudem nachzuhalten, welche produktbezogene Verwendungen und Fassungsvermögen zulässig sind bzw. welche Ausweichmöglichkeiten in Einwegverpackungen genutzt werden können.

Variablen und Parameter

<i>EmptiesStock</i>	Parameter: Verfügbares Leergut
<i>CirculatingCarrierStocks</i>	Parameter: Im Umlauf befindliche Ladungsträger
<i>CarrierUse</i>	Parameter: Produktbezogene Verwendbarkeit von Ladungsträgern
<i>CarrierCapacity</i>	Parameter: Produktbezogene Ladungsträgerkapazität

5.1.4.6 Lagerbestands- und Produktionsdaten

Um eine vollständige Nachvollziehbarkeit des betrieblichen Produktionsablaufs gewährleisten zu können, ist eine IT-mäßige Erfassung der Produktions- und Bestandsdaten notwendig. Da eine Überprüfung der Planeinhaltung bei jedem neuen Planungslauf durchzuführen ist, muss eine Datenerfassung bei gleichem Detaillierungsgrad stattfinden, welcher auch für die Planung angewandt wird. Dazu gehört eine Erfassung der produktbezogenen Produktionszahlen auf Maschinenebene sowie eine nach Lagerorten getrennte Lagerbestandsentwicklung.

Variablen und Parameter

<i>ProductionOutput</i>	Parameter: Schichtbezogene IST-Produktionsleistung
<i>Inventory</i>	Parameter: Gebuchter, verfügbarer IST-Lagerbestand
<i>NIO – Parts</i>	Parameter: IST-Sperrbestand NIO-Teile

5.1.4.7 Lieferantendaten

Um eine über die Unternehmensgrenzen hinweg koordinierte Planung gewährleisten zu können bedarf es lieferantenseitige Parameter, die informationstechnologisch verfügbar sein müssen. Dazu zählen primär das Produktportfolio sämtlicher Lieferanten und die entsprechenden Produktionskapazitäten, welche vertraglich zugesichert sind. Zusätzlich sind produktabhängige Vorlaufzeiten notwendig, um die Versorgungsplanung zeitnah an der eigenen Produktion ausrichten zu können.

Variablen und Parameter

<i>Products</i>	Parameter: Vom Lieferanten zugesichertes Produktportfolio
<i>Capacities</i>	Parameter: Lieferantenseitige Produktionskapazitäten
<i>Leadtime</i>	Parameter: Produktbezogene Vorlaufzeiten

5.1.4.8 Logistikdienstleisterdaten

Unternehmen haben aufgrund von Erfahrungswerten häufig ein festes Portfolio an Logistikdienstleistern aufgebaut, auf welches abhängig von der einzukaufenden Lieferleistung zurückgegriffen werden kann. Um den Prozess der Einbindung von Logistikdienstleistern in das Planungskonzept positiv zu unterstützen, sind relevante Logistikparameter bzgl. Transportkapazitäten und Transportzeiten notwendig.

Variablen und Parameter

<i>Capacities</i>	Parameter: Vom Dienstleister angebotene Kapazitäten
<i>TransportDuration</i>	Parameter: Distanz-fixe Transportzeiten

5.1.4.9 Personaldaten

Besteht die Absicht, die betriebliche Produktionsplanung durch ein Angleichen von Personalkapazitäten zu unterstützen, müssen dafür relevante Personalparameter bereitgestellt werden. Ausgehend von einem verfügbaren bereichsabhängigen Personalbestand können die Parameter zusätzlich das Qualifikationsprofil der Mitarbeiter umfassen, so dass eine direkte Zuordnung von Personalkapazität zu Kapazitätsbedarf vorgenommen werden kann. Dadurch kann eine bedarfsgerechte Qualifikationsentwicklung des Personalbestands geplant werden.

Ergänzend ist eine personenbezogene Leistungserfassung von Bedeutung, um die tatsächlich verfügbare Personalkapazität abrufen zu können. Dieses kann durch Führen eines Arbeitszeitkontos, welches reguläre, zusätzliche und nachzuholende Leistungen erfasst, erreicht werden.

Variablen und Parameter

<i>Staff</i>	Parameter: Bereichsbezogener Personalbestand
<i>Qualifications</i>	Parameter: Verfügbare Qualifikationen

<i>Potential</i>	Parameter: Möglichkeiten der Qualifikationsentwicklung
<i>RegularPerformance</i>	Parameter: Regulär geleistete Arbeit
<i>AdditionalPerformance</i>	Parameter: Zusätzlich geleistete Arbeit
<i>ReducedPerformance</i>	Parameter: Nachzuholende Arbeitsleistung

5.1.4.10 Fluktuationsdaten

Sowohl die operative Planung des Produktionsbetriebs wie auch die strategische Planung der Personalbestandsentwicklung setzen auf personalbezogene Parametergrößen auf. Neben den bereits genannten direkten Personaldaten sind Parameter zu beachten, welche auf den Personalbestand einwirken und in ihrer Ausprägung aufgrund zufälliger Einflüsse nur bedingt planbar sind.

Variablen und Parameter

<i>Staff</i>	Parameter: Vollständig verfügbarer Personalbestand
--------------	--

5.1.4.10.1 Krankenstand

Der permanent gegebenen Verminderung an Personalkapazität durch Krankheiten kann bei der Kapazitätsplanung begegnet werden, indem Reservekapazitäten eingeplant werden. Dabei besteht die Herausforderung, einen Kapazitätsumfang zu bestimmen, welcher bei Eintreten von Kapazitätsminderungen diese kurzfristig ausgleichen kann und bei Ausbleiben von Kapazitätsminderungen keine zu hohen Kosten verursacht. Grundlage für die Bestimmung stellen historische Daten dar, welche entweder unternehmensintern erfasst oder von externen Statistiken abgeleitet werden können.

Variablen und Parameter

<i>SickLeave</i>	Parameter: Bezugsgröße zur Prognose des Krankenstands
------------------	---

5.1.4.10.2 Ausscheiden aus der Berufstätigkeit

Weitere Fluktuationsparameter werden durch das Ausscheiden von Mitarbeitern aus dem Unternehmen dargestellt. Es handelt sich nicht um vollständig zufällige Parameter, da ein fester Anteil bereits durch ein altersbedingtes und im Vorfeld bekanntes Ausscheiden bedingt ist. Neben diesem bestehen weitere Gründe für ein Ausscheiden aus der Berufstätigkeit, welche bspw. krankheits- oder kündigungsbedingt erklärt werden können. Dieser zufällige Anteil kann wie zuvor auch durch statistische Vergangenheitsdaten abgebildet werden.

Variablen und Parameter

<i>RegularLeave</i>	Parameter: Bezugsgröße zur Prognose des regulären Ausscheidens von Personal
<i>IrregularLeave</i>	Parameter: Bezugsgröße zur Prognose des unerwarteten Ausscheidens von Personal

5.1.4.11 Betriebliche Tarifvereinbarungen, gesetzliche Vorgaben und Zeitarbeit

Vereinbarungen auf gesetzlicher bzw. tariflicher Basis dienen der Regulierung betrieblicher Interessen zwischen Arbeitgebern und Arbeitnehmern. Interessengegenstand ist primär das Erbringen und Vergüten von Leistungen, was sich bei fortlaufender Betrachtung in der Verfügbarkeit von Kapazitäten niederschlägt. Dazu zählt die Bestimmung von regulärer und zusätzlicher Arbeitsleistung, die Anwendung von Flexibilitätsmechanismen auf den regulären Personalbestand sowie Vereinbarungen zum Einsatz befristeter Personalkapazität.

5.1.4.11.1 Reguläre und zusätzliche Arbeitszeiten

Die Kapazitätsbedeutung von Schichtmodellen wurde bereits genannt, wobei allerdings eine verallgemeinernde Sicht gewählt wurde, welche bestimmte Aspekte nicht näher betrachtet hat. Diese Aspekte werden durch gesetzliche oder tarifliche Vorgaben beschrieben und sind rechtlicher bzw. normativer Natur. Sie wirken sich auf die betrieblichen Kapazitäten aus, weshalb relevante Größen aus den Vorgaben abgeleitet und in den Planungsprozess eingebunden werden müssen. Dazu zählen Vereinbarungen bzw. Vorgaben bzgl. der betrieblichen Arbeitszeiten, welche sich in reguläre und zusätzliche Leistungen unterteilen lassen (vgl. Abbildung 14).

	Reguläre Arbeitsleistung	Zusätzliche Arbeitsleistung	Gesamt
Bezugsrahmen - Tag -	7 Stunden	2 Stunden	9 Stunden
Bezugsrahmen - Woche -	35 Stunden	10 Stunden	45 Stunden
Bezugsrahmen - Monat -	150,5 Stunden	20 Stunden	170,5 Stunden

Abbildung 14 Beispielhafte Darstellung regulärer und zusätzlicher Arbeitszeitvereinbarungen unterschiedlicher Bezugsrahmen

Variablen und Parameter

<i>Agreement on reg. Performance</i>	Parameter: Tarifliche oder gesetzliche Vereinbarungen des regulären Leistungsumfangs
<i>Agreement on add. Performance</i>	Parameter: Tarifliche oder gesetzliche Vereinbarungen des zusätzlichen Leistungsumfangs

5.1.4.11.2 Vereinbarungen zur befristeten Einstellung und Zeitarbeit

Neben der Flexibilisierung von Stammpersonal besteht die Möglichkeit weitere Flexibilität durch das Einstellen von befristetem oder überlassenem Personal zu erreichen. Um die Interessen des Stammpersonals zu wahren und keine Verlagerung seitens der Unternehmen von festangestelltem Personal zu einer flexibleren Personalverwendung zu unterstützen sind die Möglichkeiten der Einstellung von befristetem oder überlassenem Personal in Betriebsvereinbarungen stark reglementiert. Von entsprechenden Vereinbarungen lassen sich relevante Größen ableiten und gerade bei der strategischen Personalentwicklung in den Planungsprozess einbinden.

Variablen und Parameter

<i>Agreement on add. Workers</i>	Parameter: Tarifliche oder gesetzliche Vereinbarungen, mit welchem Anteil Zeitarbeiter beschäftigt werden dürfen
<i>Agreement on temp. Workers</i>	Parameter: Tarifliche oder gesetzliche Vereinbarungen, mit welchem Anteil befristete Einstellungen zulässig sind

5.1.4.12 Planungsergebnisse

Da bei einem umfassenden und koordinierten Planungskonzept unterschiedliche Unternehmensbereiche in die Planung einbezogen werden, müssen die resultierenden Ergebnisse persistent und den jeweiligen Adressaten zugänglich gemacht werden. Außerdem können weitere Planung auf den vorherigen Planungsergebnissen aufsetzen, weshalb ein nicht auf eine informationstechnologische Erfassung verzichtet werden kann.

5.1.4.12.1 Pläne

Aus der operativen Produktionsplanung lassen sich, je nach Adressat, unterschiedliche Planungsergebnisse ableiten. Um beispielsweise einen Überblick über die Lieferfähigkeit und eventuelle Engpässe zu erreichen, kann eine Darstellung der geplanten Produktionszahlen und Lagerbestandsentwicklungen ausreichen (vgl. Abbildung 15).

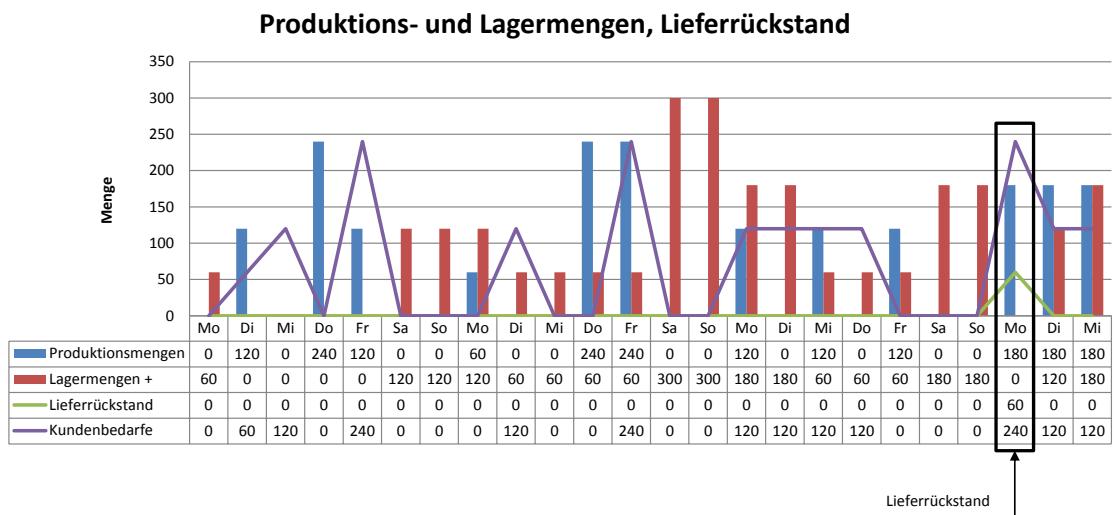


Abbildung 15 Beispielhafte Darstellung von Produktionszahlen, Lagerbeständen und Lieferfähigkeit

Aus den Planungsergebnissen lassen sich auch Instandhaltungsintervalle (vgl. Abbildung 16) oder Behälterbedarfe ableiten, welche in den entsprechenden Verantwortungsbereichen zur operativen Steuerung herangezogen werden können.

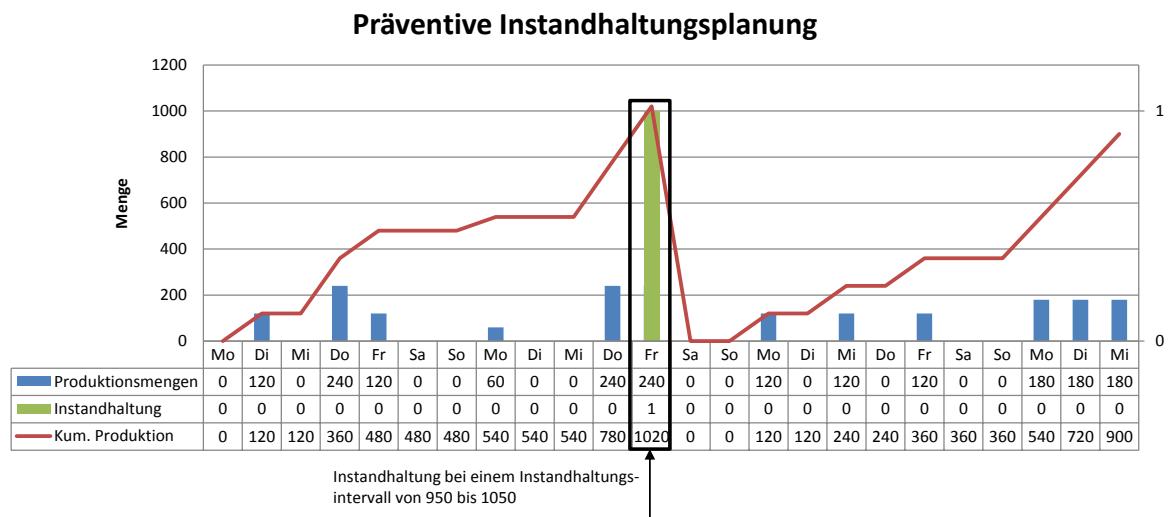


Abbildung 16 Beispielhafte Darstellung einer präventiven Instandhaltungsplanung

Auf detaillierterster Planungsebene sind Planungsergebnisse zur Ablaufplanung verfügbar, was im Rahmen der Produktionsplanung zur Auftragsfreigabe sowie Koordinierung von Rüst- und Instandhaltungsvorgängen genutzt werden kann (vgl. Abbildung 17).

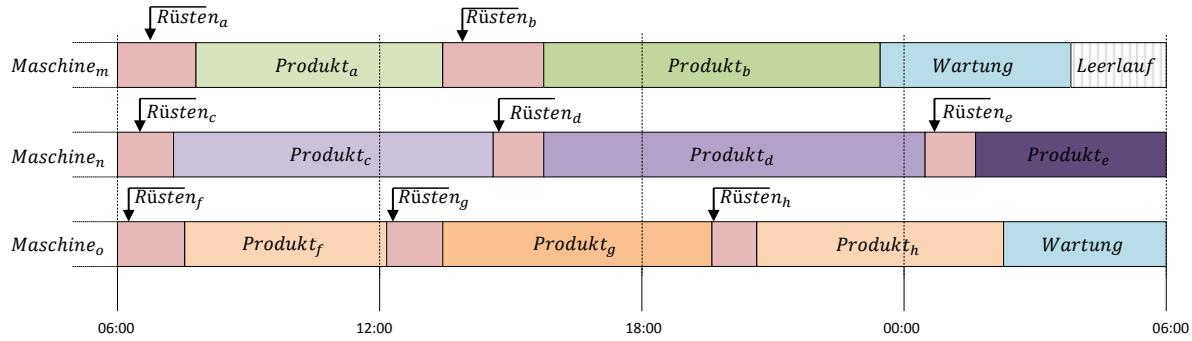


Abbildung 17 Beispielhafte Darstellung eines Gantt-Charts als Ergebnis einer Ablaufplanung

Variablen und Parameter

<i>Term. Production Program</i>	Parameter: Geplantes Produktionsprogramm auf Tagesebene
<i>Term. Production Sequence</i>	Parameter: Geplanter Produktionsablauf, basierend auf dem Produktionsprogramm
<i>Inventory</i>	Parameter: Planmäßiger Lagerbestand nach Produktion und Bedarfsdeckung
<i>Backorder</i>	Parameter: Lieferrückstand aufgrund von Kapazitätsengpässen
<i>Term. Maintenance</i>	Parameter: An das Produktionsprogramm angegliederte Instandhaltungsvorgänge
<i>CarrierDemand</i>	Parameter: Vom Produktionsprogramm abgeleiteter Behälterbedarf
<i>SetupSequence</i>	Parameter: Rüstsequenz (implizit in der Produktionssequenzierung)

5.1.4.12.2 Bestellmengen, Bestellmengenverteilung und Bestellauslösung

Einen an die operative Produktionsplanung angegliederten Planungsbereich beschreibt die Materialversorgungsplanung, welche am geplanten Produktionsprogramm ausgerichtet eine Bestellmengenermittlung, -verteilung und -auslösung vornimmt. In diesen Planungsdimensionen müssen die jeweiligen Ergebnisse auch nachgehalten werden, um diese nachzuvollziehen sowie bei fortsetzender Planung daran anknüpfen zu können (vgl. Abbildung 18).

Variablen und Parameter

MaterialDemand

Parameter: Vom Produktionsprogramm abgeleiteter Materialbedarf

OrderPlacement

Parameter: Verteilung der Bestellmengen auf verfügbare Lieferanten

Term. Ordering

Parameter: Ermittelte Zeitpunkte zur Bestellauslösung

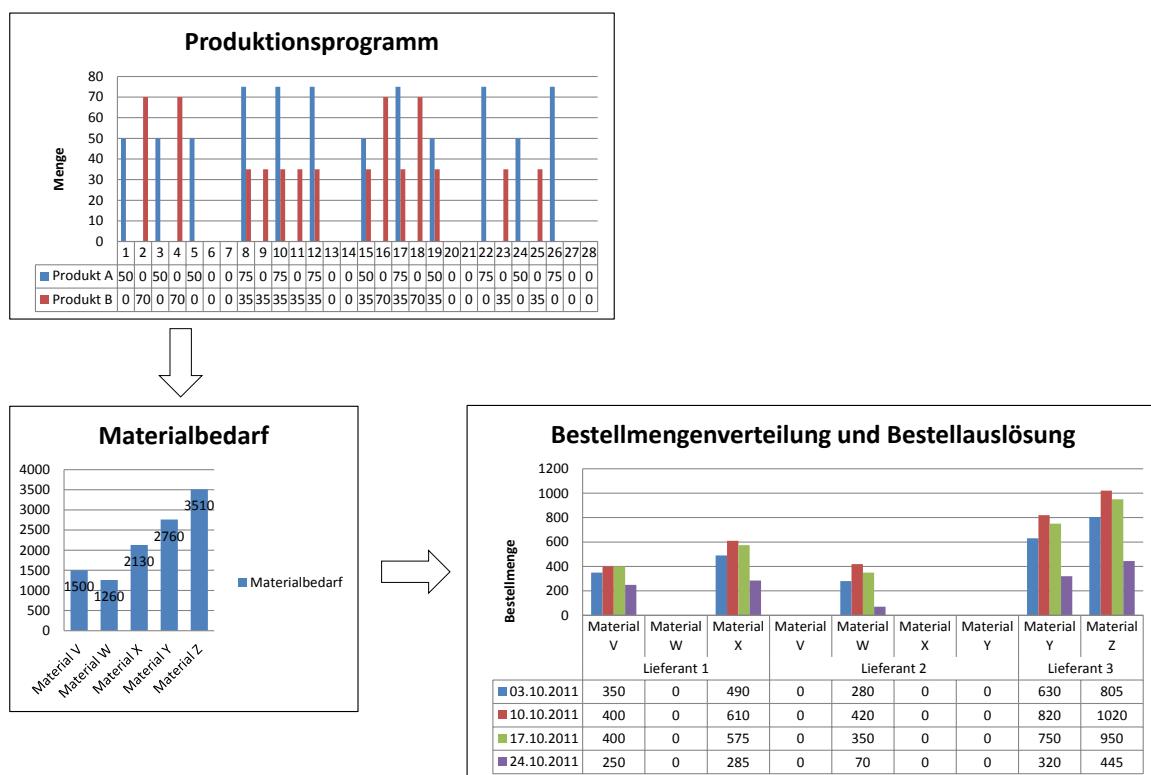


Abbildung 18 Beispielhafte Darstellung der Ergebnisbestandteile der Materialversorgungsplanung

5.1.4.12.3 Personalentwicklung

Auf langfristiger Planungsebene erfolgt die Feststellung von Potentialen in der Personalentwicklung um zukünftigen Marktentwicklungen ökonomisch begegnen zu können. Die ermittelten Planungsgrößen müssen zur Einbeziehung in konkrete unternehmerische Entscheidungen durch die jeweiligen Verantwortlichen informationstechnologisch nachgehalten werden. Betrachtete Entscheidungsgrößen beziehen sich auf den Einstellungs- und Freisetzungsbeford bzgl. des Personalbestands sowie die Entwicklungsmöglichkeiten des Qualifikationsprofils. Abhängig von betrieblichen Vereinbarungen kann ein Bedarf an flexiblen Kapazitäten bestehen.

Variablen und Parameter

<i>Recruitment</i>	Parameter: Einstellungsbedarf von Stammpersonal
<i>Release</i>	Parameter: Freisetzungsbefehl von Stammpersonal
<i>Training</i>	Parameter: Entwicklungsbedarf von Stammpersonal
<i>Recruitment (Temporary)</i>	Parameter: Einstellungsbedarf von temporär überlassenen Personal

5.1.4.12.4 Personalplanung

Auf operativer Planungsebene gilt es die verfügbaren Personalkapazitäten derart zu organisieren, dass diese am Kapazitätsbedarf der Produktionsplanung ausgerichtet sind. Dieses erfolgt auf Kapazitätsebene, indem Größe und Anzahl der mittelfristig einzusetzenden Teams bestimmt werden. Daran anknüpfend sind die Kapazitäten zu koordinieren und detailliert am genutzten Schichtsystem auszurichten.

Variablen und Parameter

<i>Team Formation</i>	Parameter: Teambildung in Größe und Anzahl
<i>Regular Performance</i>	Parameter: Durch Teamkapazität zu leistende reguläre Arbeitsleistung
<i>Additional Performance</i>	Parameter: Durch Teamkapazität zu leistende zusätzliche Arbeitsleistung
<i>Shift Assignment</i>	Parameter: Einteilung der Teams zu Schichten innerhalb des Planungshorizonts

5.2 Restriktionen

In Kapitel 5.1 wurden Bezugsgrößen vorgestellt, welche sich anhand der Nebenbedingungen untergliedern lassen und entweder Bestandteil des Entscheidungsprozesses in Form einer zu bestimmenden Entscheidungsgröße sind oder zur Parametrisierung aus dem Umfeld abgeleitet und genutzt werden. Im Folgenden werden Restriktionskomponenten, ebenfalls durch die vier Nebenbedingungen gegliedert, vorgestellt. Diese Komponenten beziehen sich auf konkrete Planungsgegenstände und nutzen die vorgestellten Variablen und Parameter. Die Komponenten werden formal beschrieben, es wird aber nicht der Anspruch erhoben, dass eine direkte Einbindung als LP oder IP möglich ist, ohne entsprechende Restriktionen auszuformulieren oder ergänzende Restriktionen zum Erhalt allgemeiner Gültigkeit hinzuzufügen. In Kapitel 6 werden LP- und IP-Modelle

vorgestellt, welche einen Praxisfall darstellen und auf den im folgenden Abschnitt vorgestellten Restriktionen basieren.

5.2.1 Liquidität

Die Nebenbedingung, im Planungsprozess Liquiditätsaspekte mit einzubeziehen, wird im Folgenden in Form von Restriktionskomponenten vorgestellt.

5.2.1.1 Bedarfsdeckung

Die Sicherstellung der Kundenabrufe beschreibt die Hauptabsicht aller planerischen Maßnahmen. Aufgrund der engen Beziehungen mehrerer Planungsgrößen (vgl. Abbildung 19) erfolgt eine formale Repräsentation in zusammenhängender Form, da einzelne Sachverhalte nicht voneinander gelöst werden können.

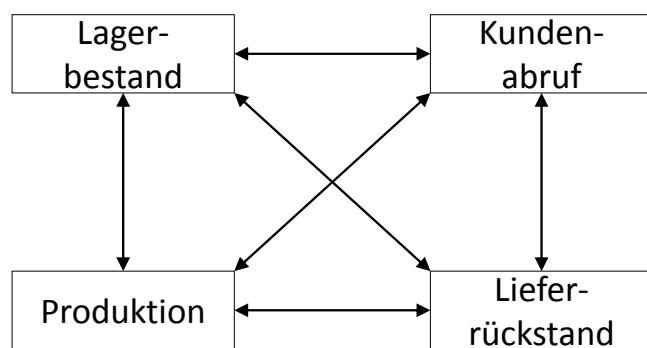


Abbildung 19 Zusammenhang wichtiger Planungsgrößen in Bezug auf die Bedarfsdeckung

Formalisiert beschreibt die Bedarfsdeckung den Zufluss in eine Planungsgröße, Ihren Erhalt sowie den Abfluss in eine andere Planungsgröße. Zufluss findet ausschließlich zwischen der Produktion und dem Lager statt und führt zu einem Aufbau von Lagerbestand, welcher durch Abfluss zur Bedarfsdeckung von Kundenabrufen oder Lieferrückständen genutzt werden kann. Die Ausbringung der Produktion kann ebenfalls direkt zur Bedarfsdeckung herangezogen werden. Erweitert man in diesen Sachverhalt um die Mehrdimensionalität von Produktionssystemen, begründet durch zeitliche und sachliche Dimensionen, so ergibt sich eine vollständige Beschreibung der Zusammenhangskomponenten und der entsprechenden Flussrichtungen (vgl. Abbildung 20).

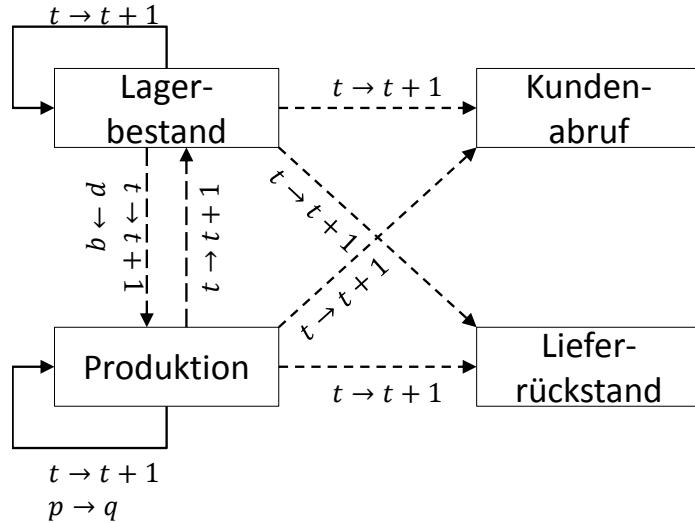


Abbildung 20 Mehrdimensionalität der Bedarfsdeckung

Der Lagerbestand der Vorperiode $t - 1$ kann in den Lagerbestand der Periode t übergehen, für die Deckung der Kundenabrufe oder Lieferrückstände verwendet oder im Fall interner Bedarfe, für diese verwendet werden. Die Ausbringung der Produktion kann in gleicher Weise genutzt werden. Die davon ableitbare formale Komponente lässt sich folgendermaßen formulieren:

$$iy_{t-1,p} + \sum_m^M pn_{t-1,m,p} - \sum_m^M \sum_{(q:q \neq p)}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * pn_{t,m,q} - iy_{t,p} - bg_{t-1,p} + bg_{t,p} = d_{t,p} \quad (1)$$

Die Restriktion ist in ihrer Form unkapazitiert und muss im Fall kapazitativer Einschränkungen mit weiteren Kapazitätsrestriktionen kombiniert werden. Eine alternative Restriktionsmöglichkeit, welche zumindest eine Mengenkapazität einbezieht lautet:

$$iy_{t-1,p} - iy_{t,p} - bg_{t-1,p} + bg_{t,p} + \sum_m^M \left\lfloor \frac{Period_t}{ct_{m,p}} \right\rfloor * stpSte_{t,m,p} - \sum_m^M \sum_{q:q \neq p}^{\mathbb{P}} a_{pq} * \left\lfloor \frac{Period_{t+1}}{ct_{m,p}} \right\rfloor * stpSte_{t+1,m,p} = d_{t,p} \quad (2)$$

Nachteilig an dieser Formulierung ist der Umstand, dass in einer Betrachtungsperiode auf einer Maschine lediglich ein Produkt hergestellt werden kann.

Erläuterung

$iy_{t,p}$

Variable: Lagerbestand von Produkt p zum Zeitpunkt t

$pn_{t,m,p}$	Variable: Produktion v. Produkt p auf Maschine m zum Zeitpunkt t
a_{pq}	Parameter: Teilemenge, die von Produkt p in Produkt q eingeht
$bg_{t,p}$	Variable: Lieferrückstand von Produkt p zum Zeitpunkt t
$d_{t,p}$	Parameter: Bedarf an Produkt p zum Zeitpunkt t
$\left\lfloor \frac{Period_t}{ct_{m,p}} \right\rfloor$	Parameter: Produktionsmenge in einer Periode
$stpSte_{t,m,p}$	Variable: Rüttzustand von Maschine m

5.2.1.2 Produktionskapazitäten

Im Folgenden werden Restriktionen hergeleitet, welche sich in ihrem Entscheidungspotential den verfügbaren Produktionskapazitäten bedienen. Relevante Entscheidungsgrößen beziehen sich auf das Leistungsvermögen der Produktion und drücken sich durch die erbringbare Leistung in Bezug auf die Produktionsmenge aus. Produktionskapazität kann auch in zeitlicher Dimension betrachtet werden, was sich anbietet, wenn um die Produktionskapazität konkurrierende Tätigkeiten aufeinander abgeglichen werden müssen. Entsprechende Tätigkeiten im Produktionsbereich sind das Rüsten der Maschinen, die Produktion und die Instandhaltung der Maschinen.

$$\sum_p^P ct_{m,p} * pn_{t,m,p} + st_{m,p} * stp_{t,m,p} + mt_m * mntce_{t,m} \leq prodCapacity_{t,m} \quad (3)$$

Erläuterung

$ct_{m,p}$	Parameter: Taktzeit von Produkt p auf Maschine m
$st_{m,p}$	Parameter: Rüstzeit auf Produkt p auf Maschine m
mt_m	Parameter: Instandhaltungsdauer von Maschine m
$pn_{t,m,p}$	Variable: Produktionsmenge von Produkt p auf Maschine m in Periode t
$stp_{t,m,p}$	Variable: Rüsten von Maschine m auf Produkt p
$mntce_{t,m}$	Variable: Instandhaltung von Maschine m

$prodCapacity_{t,m}$ Parameter: Nutzbare Produktionskapazität

5.2.1.2.1 Reguläre und Zusatzkapazitäten

In einem Produktionsbetrieb erfolgt die Erbringung von Arbeitsleistung primär in den verfügbaren, regulären Kapazitäten. Diese ergeben sich durch gesetzliche Vorgaben sowie tarifliche Vereinbarungen und münden in einer Vereinheitlichung von Wochenarbeitszeit, zulässiger Werktag und genutzten Schichtmodellen, welche im betrachteten Fall eine reguläre Kapazität einer Arbeitswoche von Montag bis Freitag definiert. Das Abrufen regulärer Kapazität innerhalb einer Woche ist demzufolge in diesem Intervall von fünf Tagen möglich²²⁰. Zusätzliche Kapazität ist somit an den verbleibenden Tagen verfügbar und kann, bei gesteigertem Kapazitätsbedarf, genutzt werden um Engpässe zu kompensieren. Da Produktionskapazität auch von nichtproduktiven Tätigkeiten verbraucht wird, gilt es sämtliche Aktivitäten grundsätzlich so zu koordinieren, dass die regulären Kapazitäten ausreichen. Als Bezugsgröße wird die zeitliche Dimension genutzt, da so eine vereinheitlichte Betrachtung aller Tätigkeiten möglich ist.

$$\sum_w^W \sum_a^A timeExposure_{w,a} \leq prodCapacity_{reg,w} + prodCapacity_{add,w} \quad (4)$$

Erläuterung

$timeExposure_{w,a}$	Variable: Kumulierter Zeitaufwand, der durch Aktivitäten a in Anspruch genommen wird
$prodCapacity_{reg,w}$	Parameter: Verfügbare reguläre Kapazität
$prodCapacity_{add,w}$	Parameter: Verfügbare zusätzliche Kapazität
W	Parameter: Menge der Arbeitswochen w
A	Parameter: Menge der Aktivitäten a

5.2.1.2.2 Leistungsgrade

Eine weitere Möglichkeit, auf die Produktionskapazitäten einzuwirken und bei Bedarf eine Steigerung der Ausbringungsleistung zu erreichen, bieten unterschiedliche Leistungsgrade der Maschinen. Indem die Größe des Bedienpersonals variiert wird, kann in geringem Umfang auf die Ausbringungsleistung eingewirkt und eine Steigerung erreicht werden. Da diese Alternative allerdings generell eine Verringerung der Effizienz bedeu-

²²⁰ Das gilt nicht für Wochen, in denen auf einen regulären Werktag ein Feiertag fällt.

tet, werden entsprechende Optionen nur in Betracht gezogen, wenn Kapazitätsengpässe vorliegen.

$$\sum_m^M \sum_{pr}^{PR} ct_{m,p,pr} * pn_{m,p,pr} \leq prodCapacity_m \quad (5)$$

Entsprechend des genannten Steigerungspotentials gilt, dass sich die auf die Leistungsgrade bezogenen Taktzeiten unterscheiden:

$$ct_{m,p,pr'} \neq ct_{m,p,pr''}, pr' \neq pr'' \quad (6)$$

Demzufolge gibt es eine Ordnung der auf die Leistungsgrade bezogenen Ausbringungsmengen:

$$pn_{m,p,pr'} < pn_{m,p,pr''} \quad (7)$$

Erläuterung

M	Parameter: Menge der Maschinen m
PR	Parameter: Leistungsgrade pr
$ct_{m,p,pr}$	Parameter: Taktzeit v. Produkt p auf Maschine m bei Leistungsgrad pr
$pn_{m,p,pr}$	Variable: Produktionsmenge von Produkt p auf Maschine m bei Leistungsgrad pr
$prodCapacity_m$	Parameter: Verfügbare Kapazität auf Maschine m

5.2.1.2.3 Operativer OEE

Kurzfristig auftretende Prozessinstabilitäten im Produktionsbetrieb wirken sich direkt mindernd auf die verfügbare Produktionskapazität aus und beeinflussen somit bereits durchgeführte Planungen. Sie müssen daher in einer Neuplanungsphase unbedingt einbezogen werden um gültige Planungsergebnisse zu erhalten. Die Größen, welche operative Instabilitäten abbilden bzw. repräsentieren, sind erheblich vom betrachteten Produktionssystem abhängig und können daher im Folgenden nicht allgemein beschrieben werden. Da im betrachteten Produktionssystem die Kennzahl der Gesamtanlageneffektivität²²¹ zur Bewertung der Anlagen genutzt wird, soll im Folgenden eine Möglichkeit beschrieben werden, wie diese im Planungsprozess eingebunden werden kann.

²²¹ In [PPDT99], S.4, wird der OEE wie folgt zusammengefasst: „Overall equipment effectiveness is a measurement used in TPM to indicate how effectively machines are running.“

Die Kennzahl der OEE besteht aus den drei Faktoren Verfügbarkeit (avl_m^{oee}), Leistung (prf_m^{oee}) und Qualität (ql_m^{oee}). Die Faktoren beziehen sich auf die Dimensionen der Zeit (Verfügbarkeit) und Quantität (Leistung, Qualität), welche durch Unsicherheiten beeinflusst werden. Ausgehend von der vollständigen Zeitkapazität Z^{ALL} einer Maschine, werden die bereits geplanten Stillstände $IDLE^{PLANNED}$ abgezogen und man erhält die Kapazität Z^{AVAIL} , welche für den produktiven Leistungsprozess zur Verfügung steht. Da eine Maschine nie störungsfrei betrieben werden kann, sind ungeplante Stillstände $IDLE^{UNPLANNED}$ zu erwarten. Diese vermindern die produktiv verfügbare Zeitkapazität und es ergibt sich die tatsächlich produktiv genutzte Zeitkapazität Z^{USED} .

$$Z^{ALL} - IDLE^{PLANNED} = Z^{AVAIL} \quad (8)$$

$$Z^{AVAIL} - IDLE^{UNPLANNED} = Z^{USED} \quad (9)$$

Der Verfügbarkeitsfaktor stellt die verfügbare Zeitkapazität der genutzten Zeitkapazität gegenüber (s. Abbildung 21) und repräsentiert einen Wert zwischen 0 und 1.

$$\text{Verfügbarkeit} = \frac{Z^{USED}}{Z^{AVAIL}} \quad (10)$$



Abbildung 21 Ermittlung der Bestandteile des Verfügbarkeitsfaktors

Der mengenmäßige Bezug erfolgt durch die Faktoren der Leistung und Qualität. In erster Instanz wird die erbrachte Ist-Leistung betrachtet, welche im Anschluss noch nach IO- und NIO-Teilen differenziert wird. Die grundlegende Bezugsgröße besteht in der geplanten Produktionsausbringung P^{SOLL} , welche sich aus der produktiv verfügbaren Zeitkapazität Z^{AVAIL} ableiten lässt. Wird mit verringriger Leistung produziert bauen sich Fehlmengen P_{FEHL}^{IST} auf, welche die Differenz zwischen P^{SOLL} und der erbrachten Produktionsausbringung P^{IST} repräsentieren.

$$f(Z^{AVAIL}) = P^{SOLL} \quad (11)$$

$$P^{SOLL} - P_{FEHL}^{IST} = P^{IST} \quad (12)$$

Die Funktion $f(Z^{AVAIL})$ beschreibt eine Abbildung der zeitlichen Dimension auf die quantitative Dimension (vgl. Abbildung 22). Der daran anknüpfende Leistungsfaktor stellt einen Wert zwischen 0 und 1 dar. Abschließend dient die erbrachte Produktionsausbringung P^{IST} der Berechnung des Qualitätsfaktors, indem eine Differenzierung nach IO-Teilen P_{IO}^{IST} und NIO-Teilen P_{NIO}^{IST} erfolgt²²². Auch der Qualitätsfaktor nimmt einen Wert zwischen 0 und 1 an.

$$\text{Leistung} = \frac{P^{IST}}{P^{SOLL}} \quad (13)$$

$$P^{IST} - P_{NIO}^{IST} = P_{IO}^{IST} \quad (14)$$

$$\text{Qualität} = \frac{P_{IO}^{IST}}{P^{IST}} \quad (15)$$

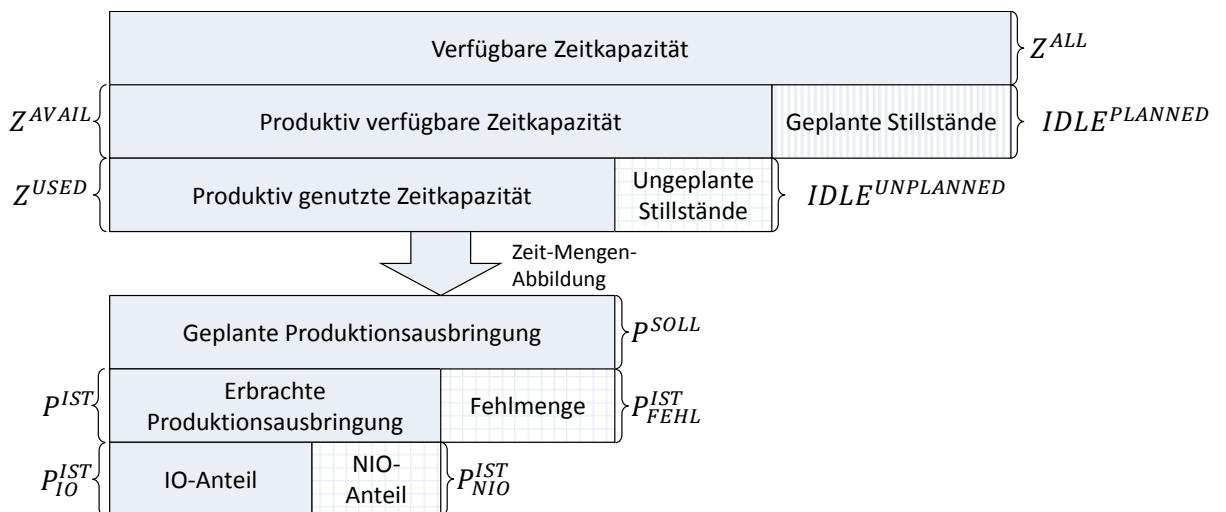


Abbildung 22 Ermittlung der Bestandteile der Leistungs- und Qualitätsfaktoren

Die Kennzahl des OEE stellt eine retrospektive Betrachtung dar, liefert aber einen Indikator zur effektiven Ausnutzung der Maschinenkapazitäten und ergibt demzufolge auch einen Überblick zum Zustand der Produktion²²³.

²²² IO: In Ordnung, NIO: Nicht In Ordnung

²²³ Der OEE wird durch einen Wert zwischen 0 und 1 dargestellt und kann durch Perzentile repräsentiert werden. Entsprechende Prozentränge stellen den Zustand der Maschineneffektivität dar und geben Aufschluss zu bestehenden Potentialen. Allgemein gelten im Zusammenhang mit dem OEE folgende Wertebereiche:

<65% Großes Verbesserungspotential an entsprechenden Anlagen

65% - 85% Hier befinden sich die meisten Unternehmen. Es besteht Verbesserungspotential

>85% Entspricht Leadership-Niveau mit geringem bis keinem Verbesserungspotential

Primärer Entscheidungsgegenstand der Produktionskapazitätsplanung ist die Bestimmung der Produktionsmengen zur Erfüllung der Kundenbedarfe, wobei die kapazitative Verfügbarkeit der Maschinen maßgeblichen Einfluss auf die Zielerreichung hat. Verfügbarkeit bezieht sich in diesem Kontext auf die Dimension der Zeit, weshalb eine Einbeziehung der Störgrößen grundsätzlich nur in dieser Dimension erfolgen sollte. Abhängig von der jeweiligen Störgröße, welche einem der beschriebenen Faktoren zugeordnet werden kann, werden die konkreten Konsequenzen im Folgenden erklärt.

Die Verfügbarkeit einer Maschine wird in zeitlicher Dimension ermittelt, wobei der Verfügbarkeitsfaktor das Verhältnis von produktiv genutzter Zeitkapazität zur produktiv verfügbaren Zeitkapazität beschreibt. Die verfügbare produktive Zeitkapazität ergibt sich durch die verplante Produktionszeit, da alle anderen verplanten und nicht für die Produktion genutzten Kapazitäten einem geplanten Stillstand entsprechen.

$$\sum_p^P ct_{m,p} * pn_{t,m,p} \quad (16)$$

$$\sum_p^P (1 - avl_m^{oee}) * ct_{m,p} * pn_{t,m,p} \quad (17)$$

Als Konsequenz bedeutet dieses, dass von der verfügbaren Zeitkapazität der zu erwartende Anteil ungeplanter Stillstände bereits abgezogen wird, so dass, sollte der Fall wirklich eintreten und die Maschine wie erwartet ausfallen, entsprechende Reservekapazitäten vorhanden sind.

Der Leistungsfaktor bezieht sich auf das Verhältnis der ausgebrachten Produktionsmenge zur geplanten Produktionsmenge, wobei die geplante Produktionsmenge der maximalen Leistung entspricht, welche innerhalb der produktiv genutzten Zeitkapazität erbracht werden kann. Der Leistungsverlust bezieht sich auf die geplante Produktionsausbringung, welche wiederum in die produktiv genutzte Zeitkapazität überführt werden kann. Aus dieser ist der zu erwartende zeitliche Leistungsverlust abzuleiten.

$$\sum_p^P avl_m^{oee} * ct_{m,p} * pn_{t,m,p} \quad (18)$$

$$\sum_p^P avl_m^{oee} * (1 - prf_m^{oee}) * ct_{m,p} * pn_{t,m,p} \quad (19)$$

Dieser zeitliche Leistungsverlust kann ebenfalls von der verfügbaren Produktionskapazität abgezogen werden, um im Falle des Eintretens von Prozessinstabilitäten entsprechende Reserven zu haben.

Es folgt die verbleibende Betrachtung der Qualität und der zu erwartenden Qualitätsverluste, welche sich durch eine Verringerung der nutzbaren Produktionsmenge bemerkbar machen. Qualitative Verluste bedeuten, dass Teile zwar produziert wurden, diese aber nicht verbaut oder an den Kunden ausgeliefert werden können. Aufgrund einer bedarfsoorientierten Produktion ergeben sich somit Probleme, da unter Umständen nicht die geplanten Mengen verfügbar sind um Kundenaufträge zu erfüllen oder die Eigenproduktion aufrecht zu erhalten. Im Folgenden werden zwei Maßnahmen, Nacharbeit²²⁴ und Überproduktion²²⁵, vorgestellt, mit welchen den genannten Problemen begegnet werden kann.

Überproduktion erscheint auf den ersten Blick als besonders geeignet, da die zu erwartenden Fehlmengen bereits durch die Planung ausgeglichen werden können. Dennoch ergeben sich dadurch Schwierigkeiten, auf welche im Folgenden eingegangen wird. Ohne Zweifel ist die Einbeziehung produktionstechnischer Instabilitäten in den Planungsprozess notwendig um die Planungsergebnisse zu verbessern, allerdings kann die Maßnahme der Überproduktion, welche sich nicht direkt aus den Kundenbedarfen ableitet, als Planung von Verlusten interpretiert werden, was der Definition planerischen Handelns bei Beachtung von Liquiditätsrestriktionen widerspricht. Dieses ist eine argumentative Problematik, wohingegen dem realen Sachverhalt der resultierenden Lieferunfähigkeit begegnet werden muss, welcher bei Liquiditätsbeachtung durchaus höhere Kosten verursacht. Wird die Maßnahme der Überproduktion zum Auffangen von qualitativ bedingten Produktionsverlusten in Betracht gezogen, ergeben sich folgende Restriktionen.

$$[avl_m^{oee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{oee}) * pn_{t,m,p}] = NIO_{t+1,m,p} \quad (20)$$

$$iy_{t-1,p} + \sum_m^M production_{t-1,m,p} - NIO_{t,m,p} - \sum_{(q:q \neq p)}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * production_{t,m,q} - iy_{t,p} - bg_{(t-1,p)} + bg_{t,p} = d_{t,p} \quad (21)$$

Ein abschließender Kritikpunkt dieser Einbeziehung des Qualitätsfaktors ergibt sich durch den Umstand, dass die OEE eine maschinenbezogene Kennzahl ist. Es ist durchaus möglich, dass lediglich ein Produkt auf einer Anlage Probleme bereit, alle anderen Produkte allerdings problemlos produziert werden können. Die Auswirkungen auf den

²²⁴ Bei bestimmten qualitativen Mängeln besteht die Möglichkeit, durch zusätzliche Arbeitsleistung die Mängel zu beseitigen. Sobald dieses geschehen ist stehen die nachbearbeiteten Mengen zur weiteren Verwendung zur Verfügung.

²²⁵ Wenn die zu erwartenden qualitativen Verluste bereits im Vorfeld quantifizierbar sind, besteht die Möglichkeit entsprechende Mengen vorzuproduzieren bzw. das verlustbehaftete Produktionslos mit einer größeren Produktionsmenge zu planen, welche die Verluste ausgleicht.

OEE beeinflussen die Produktionsentscheidungen für alle anderen Produkte und sorgen, gerade in Hinblick auf die angeführte Kritik einer Planung von Produktionsverlusten, für erhebliche Schwierigkeiten, auch wenn im Kontext einer fortlaufenden Planung die Lagerbestandsentwicklungen nachkorrigiert werden.

Als Alternative zur Überproduktion gilt die Maßnahme der Nacharbeit, welche auf der Annahme beruht, dass qualitative Mängel in allen Fällen durch das Nacharbeiten der Produkte zu beheben sind. Die dafür geltenden Restriktionen lauten:

$$NIO - \text{Anteil} := \lceil avl_m^{oee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{oee}) * pn_{t,m,p} \rceil \quad (22)$$

$$\text{Nacharbeitszeit} := \lceil avl_m^{oee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{oee}) * pn_{t,m,p} \rceil * rt_{m,p} \quad (23)$$

Auch wenn der vorliegende Anwendungsfall dieses nicht erfordert, können beide vorgestellte Maßnahmen auch gleichzeitig angewendet werden, wobei konkret zu betrachten wäre, ob die eingeplanten Reservekapazitäten dann nicht zu großzügig ausgelegt sind. Zusammenfassend erfolgt die Einbeziehung der OEE-Kennzahl durch den folgenden Ausdruck, welcher die zeitliche Ermittlung der vorgestellten Reservekapazitäten beschreibt:

$$(1 - avl_m^{oee}) * ct_{m,p} * pn_{(t,m,p)} + avl_m^{oee} * (1 - prf_m^{oee}) * ct_{m,p} * pn_{t,m,p} \quad (24) \\ + avl_m^{oee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{oee}) * rt_{m,p} * pn_{t,m,p}$$

Erläuterung

avl_m^{oee}	Parameter: Verfügbarkeitsfaktor
prf_m^{oee}	Parameter: Leistungsfaktor
ql_m^{oee}	Parameter: Qualitätsfaktor
$ct_{m,p}$	Parameter: Taktzeit von Produkt p auf Maschine m
M	Parameter: Menge der Maschinen m
P	Parameter: Menge der Produkte p
a_{pq}	Parameter: Teilemenge, die von Produkt p in Produkt q ein geht
$d_{t,p}$	Parameter: Bedarf an Produkt p zum Zeitpunkt t
$rt_{m,p}$	Parameter: Nacharbeitszeit für ein Produkt p auf Maschine m
$pn_{t,m,p}$	Variable: Produktionsmenge von Produkt p auf Maschine m in Periode t

$NIO_{t,m,p}$	Variable: Nicht nutzbare Teilemenge von Produkt p auf Maschine m in Periode t
$iy_{t,p}$	Variable: Lagerbestand von Produkt p zum Zeitpunkt t
$bg_{t,p}$	Variable: Lieferrückstand von Produkt p zum Zeitpunkt t

5.2.1.2.4 Produktionsglättung

Eine in der Automobilzuliefererindustrie häufig anzutreffende Methode zur Planung und Steuerung des Produktionsbetriebs ist unter dem japanischen Begriff Heijunka bekannt und zielt unter anderem auf eine beruhigte und von Kundenaufträgen entkoppelte Produktion ab²²⁶. Um dieses zu erreichen werden verschiedene Maßnahmen angewandt, unter anderem wird durch standardisierte Losgrößen und wiederkehrende Produktionsabfolgen ein „*stetiges [...] Arbeitspensum für die Mitarbeiter und Maschinen*“²²⁷ geschaffen. Heijunka ist in seiner Art nicht direkt mit dem hier vorgestellten Planungskonzept vereinbar, bietet aber Ansätze, welche in abgewandelter Form dennoch eingebunden werden können. Dazu zählt die Produktionsglättung, welche das aufkommende Arbeitspensum versucht anzugeleichen und Kapazitätsschwankungen zu kompensieren.

Da eine Glättung und Angleichung des Arbeitspensums nicht „um jeden Preis“ erfolgen soll, erfolgt eine Modellierung der Maßnahmen in relaxierter Form, welche geringe Schwankungen durchaus zulässt. Die Produktionsglättung bezieht sich auf ein Periodenintervall fester Größe und ermöglicht, solange Restriktionen mit höherer Priorität nicht verletzt werden, eine Angleichung der Produktionskapazitäten in den einzelnen Perioden. Dabei kann sowohl sämtliche Produktionskapazität oder lediglich die produktiv genutzte Produktionskapazität angeglichen werden (vgl. Abbildung 23). Da das betriebliche Umsystem durch unterschiedliche Größen²²⁸ kapazitätsbestimmend ist, kann ein Anleihen direkt an diesen Größen orientiert oder auf einer noch detaillierteren Ebene erfolgen.

Bei ausschließlicher Betrachtung der produktiven Produktionskapazitäten kann dieses neben einer zeitlichen Abbildung ebenso auf die Produktionsmengen bezogen werden (vgl. Abbildung 23). Dazu werden im Glättungsintervall I das Maximum \max_I und Minimum \min_I von allen Werten w gebildet und deren Differenz $diff_I$ ermittelt, welche somit die größte Schwankung im Intervall beschreibt. Eine Angleichung der einzel-

²²⁶ Siehe [Dick07], S.248f

²²⁷ Siehe [Dick07], S.249

²²⁸ Dieses sind bspw. Schichtsysteme, gesetzliche Vorgaben oder tarifliche Einigungen

nen Werte kann erreicht werden, indem die Differenz $diff_I$ im Prozess der allgemeinen Lösungsfindung minimiert wird.

$$\max_I := \max(w_0, \dots, w_i) \quad (24)$$

$$\min_I := \min(w_0, \dots, w_i) \quad (25)$$

$$diff_I := \max_I - \min_I \quad (26)$$

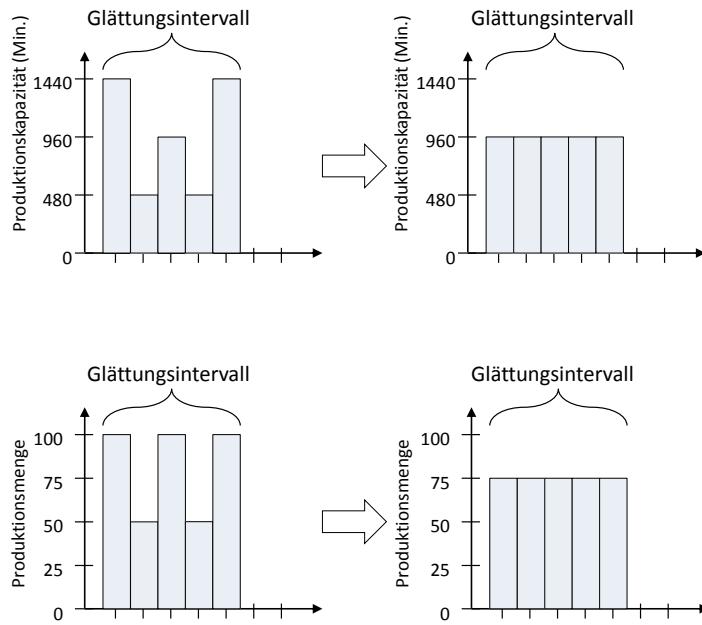


Abbildung 23 Produktionskapazitätsglättung mit unterschiedlichen Bezugsgrößen

Erläuterung

I	Parameter: Glättungsintervall, welcher die Werte w_0 bis w_i beinhaltet
\max_I	Variable: Das Maximum der Werte w_0, \dots, w_i im Glättungsintervall I
$\max(w_0, \dots, w_n)$	Funktion: Maximal-Funktion mit Eingabewerten
\min_I	Variable: Das Minimum der Werte w_0, \dots, w_i im Glättungsintervall I
$\min(w_0, \dots, w_n)$	Funktion: Minimal-Funktion mit Eingabewerten
$diff_I$	Variable: Differenzwert, welcher vom Maximum und Minimum gebildet wird

$MIN \rightarrow diff_I$	Funktion: Minimierungsfunktion, angewandt auf den Differenzwert
--------------------------	---

5.2.1.3 Instandhaltung

Die Instandhaltung der Maschinen erfolgt auf Grundlage der durch die Maschinen erbrachten Produktionsleistung cPn_m . Dabei wird vorausgesetzt, dass eine Leistungsgrenze $pnLimit_m$ definiert ist, anhand derer die Notwendigkeit der Durchführung einer präventiven Instandhaltung $mntce_m$ indiziert wird. Die erbrachte Produktionsleistung lässt sich durch folgende Restriktion ermitteln:

$$\sum_p^P \sum_t^T pn_{t,m,p} = cPn_m \quad (27)$$

Sobald gilt, dass die erbrachte Produktionsleistung cPn_m die Leistungsgrenze $pnLimit_m$ übersteigt, folgt daraus, dass eine präventive Instandhaltung durchzuführen ist, bevor weitere Produktionen eingeplant werden können.

$$cPn_m \geq pnLimit_m \rightarrow mntce_m \quad (28)$$

Erläuterung

cPn_m	Variable: Kumulierte Produktionsleistung von Maschine m
$pnLimit_m$	Parameter: Für Maschine m festgelegte Leistungsgrenze
$mntce_m$	Variable: Indikator, dass eine Instandhaltung durchzuführen ist
$pn_{t,m,p}$	Variable: Produktionsmenge von Produkt p auf Maschine m in Periode t

5.2.1.4 Behältermanagement

Das Behältermanagement ist direkt an der Produktionsleistung auszurichten, stellt es doch eine unverzichtbare logistische Größe im Produktionsbetrieb dar. Die sich daraus ableitbaren Informationen führen zum planmäßigen Behälterbedarf der Produktion und können zur Steuerung des inner- und außerbetrieblichen Behälterflusses genutzt werden.

$$\sum_c^C containerSize_c * containerRequirement_{t,p,c} = pn_{t,m,p} \quad (29)$$

Dabei ist darauf zu achten, dass auch alternative Ladungsträger zulässig sind, um flexibler auf Engpässe reagieren zu können.

Erläuterung

C

Parameter: Menge aller Behälter c

$containerSize_c$

Parameter: Ladungskapazität von Behälter c

$containerRequirement_{t,p,c}$

Variable: Bedarf an Behälter c zum Zeitpunkt t bei Produktion von Produkt p

$pn_{t,m,p}$

Variable: Produktionsmenge von Produkt p auf Maschine m in Periode t

5.2.2 Beschäftigung

Im Folgenden werden die Restriktionen vorgestellt, welche sich direkt mit Entscheidungsgrößen der Personalbeschäftigung befassen.

5.2.2.1 Schichten

Eine Bestimmung der zu nutzenden Schichten ist in einem koordinierten Planungsvorgehen, welches die Ressource des Personals in die Planung einbezieht, unumgänglich. Zusätzlich muss, um eine gleichverteilte Arbeitsbelastung gewährleisten zu können, eine Angleichung der Schichten erfolgen.

5.2.2.1.1 Schichtauswahl

Bereits beim Verplanen der Produktionskapazitäten finden Parameter, wie bspw. das betrieblich genutzte Schichtsystem, Einzug in den Planungsprozess. Der genutzte Abstraktionsgrad ist allerdings noch zu weit davon entfernt, eine direkte Schichtauswahl zu treffen, da detaillierte Informationen ausgelassen werden. Genügt ausschließlich die Bestimmung der Schichtanzahl, so reichen Bestandteile der Restriktion zur Ermittlung des Produktionskapazitätsbedarfs aus, um diesen Sachverhalt auszudrücken, da diese sämtliche Tätigkeiten im Produktionsbereich umfassen.

$$\sum_p^P ct_{m,p} * pn_{t,m,p} + st_{m,p} * str_{t,m,p} + mt_m * mntce_{t,m} = sfCt_{t,m} * sfCy \quad (30)$$

Die davon ableitbaren Ergebnisse beziehen sich lediglich auf die rein verplante Zeitkapazität und stellen diese der durch eine bestimmte Anzahl Schichten zur Verfügung gestellten Kapazität gegenüber. Soll eine zeitgenaue Verplanung der Kapazitäten entlang der Schichten erfolgen, bedarf es einer feineren Unterteilung des Betrachtungsgegenstands. Dazu gilt es zunächst, die zeitliche Bezugsgröße anzupassen und in granulare Perioden zu unterteilen, um im Planungsprozess für jede dieser Mikroperioden zu bestimmen, welche Tätigkeit ausgeführt wird (s. Abbildung 24).

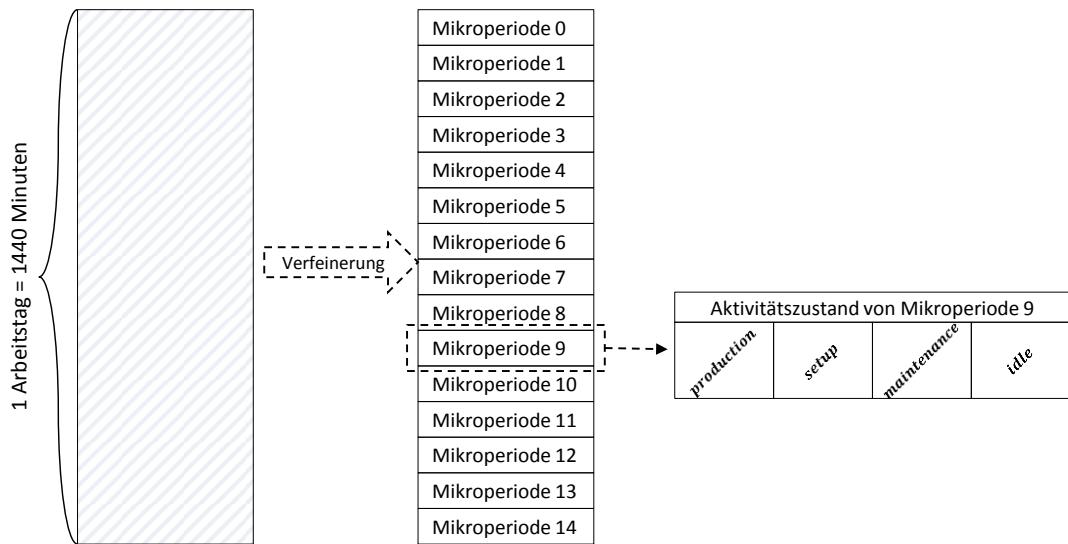


Abbildung 24 Verfeinerung der zeitlichen Bezugsgröße

Dadurch ist es möglich, zeitbezogene Kapazitätsverringerungen direkt in den Mikroperioden zu verrechnen, was zum einen zu einer genaueren Kapazitätsabbildung führt, zum anderen aber auch eine zeitgenaue Schichtauswahl ermöglicht.

Die dazu notwendigen Restriktionen zur Bestimmung und Kopplung von Produktions- oder Rüstaktivität ähneln in Ihrer Struktur sehr der in Abschnitt 5.2.1.1 vorgestellten Restriktion zur Bedarfsdeckung.

$$iy_{t,s-1,p} + \left\lfloor \frac{MicroPeriod_{t,s}}{ct_{m,p}} \right\rfloor * stpSte_{t,s,m,p} - iy_{t,s,p} = 0 \quad (31)$$

$$stpSte_{t,s,m,p} - stpSte_{t,s-1,m,p} - stp_{t,s,m,p} \leq 0 \quad (32)$$

Da es sich um eine Steigerung der Granularität handelt, welche auf einer weniger detaillierten Datenbasis aufsetzt, muss die Gesamtleistung der abgeleiteten Mikroperioden an die Planleistung der größeren Einzelperiode angeglichen werden. Dieses geschieht, indem der Ziellagerbestand der Einzelperiode spätestmöglich durch den Endlagerbestand der letzten Mikroperiode erbracht wird.

$$iy_{t,s_{end},p} = Inventory_{t,p}^{WORKDAY} \quad (33)$$

Um Instandhaltungsaktivitäten einzubeziehen, kann das in Abschnitt 5.2.1.3 vorgestellte Vorgehen angewandt werden, indem zusammengefasste Produktionsmengen als Instandhaltungsindikator genutzt werden.

Erläuterung

$ct_{m,p}$	Parameter: Taktzeit von Produkt p auf Maschine m
$st_{m,p}$	Parameter: Rüstzeit auf Produkt p auf Maschine m
mt_m	Parameter: Instandhaltungsdauer von Maschine m
$pn_{t,m,p}$	Variable: Produktionsmenge von Produkt p auf Maschine m in Periode t
$stp_{t,m,p}$	Variable: Rüsten von Maschine m auf Produkt p bei grober Betrachtung
$mntce_{t,m}$	Variable: Instandhaltung von Maschine m
$sfc_{t,m}$	Variable: Anzahl der verplanten Schichten
sfc_y	Parameter: Kapazität einer einzelnen Schicht
$iy_{t,s,p}$	Variable: Lagerbestand von Produkt p an Arbeitstag t , in Mikroperiode s
$\left\lfloor \frac{MicroPeriod_{t,s}}{ct_{m,p}} \right\rfloor$	Parameter: Von Produkt p in einer Mikroperiode s herstellbare Produktionsmenge
$stpSte_{t,s,m,p}$	Variable: Rüstzustand vom Maschine m für Produkt p an Arbeitstag t in Mikroperiode s
$stp_{t,s,m,p}$	Variable: Rüsten von Maschine m auf Produkt p an Arbeitstag t in Mikroperiode s bei feiner Betrachtung

5.2.2.1.2 Schichtangleichung

Das Konzept der Kapazitätsangleichung wurde bereits in Abschnitt 5.2.1.2 vorgestellt, weshalb im Folgenden eine Erweiterung der zeitbezogenen Angleichung auf ein gegebenes Schichtsystem vorgestellt wird. Da das Schichtsystem feste Bezugsgrößen für Schichtanfänge und Schichtenden vorgibt, erfolgt eine Angleichung derart, dass die verplanten Zeitkapazitäten an die Schichtübergänge anzupassen sind. Entsprechend

existiert in jeder Schicht ein δ -Intervall, welches die Schichtkapazität beschreibt die genutzt werden muss, sobald eine Schicht ausgewählt wird (vgl. Abbildung 25). Das Intervall wird vor der Planung parametrisiert und eröffnet bei der Lösungsfindung ein gewisses Flexibilitätsmaß, welches durchaus eine Differenz zwischen den täglich verplanten Kapazitäten zulässt, aber garantiert, dass die verplante Kapazität auf jeden Fall im δ -Intervall liegt.

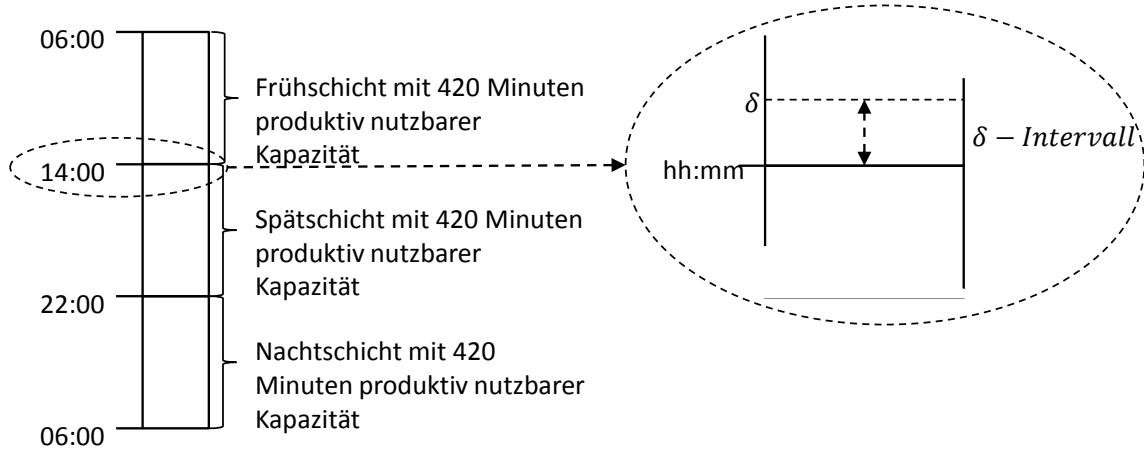


Abbildung 25 Angleichung der Schichtkapazität

Entsprechend kann eine Restriktion derart formuliert werden, dass der vollständig aufzubringende Zeitaufwand, verbunden mit sämtlichen Aktivitäten innerhalb einer Schicht, im δ -Intervall liegen muss:

$$\sum_a^A timeExposure_{s,a} \leq prodCapacity_s \quad (34)$$

$$\sum_a^A timeExposure_{s,a} \geq prodCapacity_s - \delta \quad (35)$$

Erläuterung

$timeExposure_{s,a}$

Variable: Kumulierter Zeitaufwand, der durch Aktivitäten a in Anspruch genommen wird

$prodCapacity_s$

Parameter: Verfügbare reguläre Kapazität in einer Schicht

δ

Parameter: Wert, welcher maßgeblich für die Größe des δ -Intervalls ist

5.2.2.2 Aktivitäten

Sämtliche im Planungskonzept einzubeziehenden operativen Aktivitäten wurden bereits in den vorherigen Abschnitten genannt und unterschiedliche Restriktionen dienen zum Kennzeichnen des Ausführens dieser Aktivitäten. Abhängig vom Detaillierungsgrad der Planung kann das Aufzeigen einer Aktivität innerhalb einer Planungsperiode untermiert erfolgen, indem der konkrete Ausführungszeitpunkt ausgelassen und lediglich die Notwendigkeit der Ausführung aufgezeigt wird. Bei detaillierter Planung können die verschiedenen Aktivitäten allerdings auch zeitbezogen terminiert werden.

Die im Planungskonzept relevanten operativen Aktivitäten sind

- die Produktion
- das Rüsten
- die Instandhaltung
- die Warenvereinnahmung

Auf grober Planungsebene lassen sich alle dem Produktionsbereich zuzuordnenden Aktivitäten anhand der bereits bekannten Restriktion (3) beschreiben. Auch wenn es sich um eine Kapazitätsrestriktion handelt, so verbindet sie doch die drei Aktivitäten der Produktion, des Rüstens und der Instandhaltung miteinander anhand einer gemeinsamen Bezugsgröße. Eine Interpretation erfolgt demzufolge derart, dass wenn eine Aktivität durchgeführt werden muss und diese auch unter gegebener Produktionskapazität durchgeführt werden kann, diese in der Planungsperiode eingeplant wird.

Die Restriktion steht in Beziehung zur Bedarfsdeckung (vgl. Abs. 5.2.1.1) und Instandhaltung (vgl. Abs. 5.2.1.3), welche die Aktivitäten den auslösenden Bezugsgrößen gegenüberstellen. Die Aktivität der Produktion steht in direktem Zusammenhang zur Aktivität des Rüstens, weshalb beide in einer Restriktion miteinander zu koppeln sind.

$$pn_{t,m,p} - M * stp_{t,m,p} \leq 0 \quad (36)$$

Die Warenvereinnahmung, welche in einem anderen Betriebsbereich stattfindet, wird ebenfalls durch Restriktionen angezeigt, die die kapazitativen Charakteristika des Bereichs auszudrücken versuchen. Diese sind dem, gemäß Planung, zu erwartenden Lieferaufkommen $lsOn$ in einer Planungsperiode gegenübergestellt und beziehen sich auf die in einer Periode durchschnittlich bedienbaren Fahrzeuge sowie die maximal verfügbare Arbeitszeit im Arbeitsbereich.

$$\sum_{z,w,l}^{Z,W,L} lsOn_{t,z,w}^l \leq rCyVs \quad (37)$$

$$\sum_{z,w,l}^{Z,W,L} lsOn_{t,z,w}^l * rgTe_w \leq rgCyTe \quad (38)$$

Bei Anwendung einer detaillierteren Betrachtung der operativen Aktivitäten im Produktionsbereich erfolgt eine granulare Aufteilung der Planungsperioden, welche somit ein detailliertes Zeitraster darstellen und jeder Aktivität eine exakte Anfangs- und Endzeit zuordnen. Die relevanten Restriktionen lauten:

$$iy_{t,s-1,p} + \left\lfloor \frac{MicroPeriod_{t,s}}{ct_{m,p}} \right\rfloor * stpSte_{t,s,m,p} - iy_{t,s,p} = 0 \quad (39)$$

$$stpSte_{t,s,m,p} - stpSte_{t,s-1,m,p} - stp_{t,s,m,p} \leq 0 \quad (40)$$

$$\sum_p^P \sum_{s':0..s}^S \left\lfloor \frac{MicroPeriod_{t,s'}}{ct_{m,p}} \right\rfloor * stpSte_{t,s',m,p} = cPn_{t,s,m} \quad (41)$$

$$cPn_{t,s,m} \geq pnLimit_m \rightarrow mntce_{t,s,m} \quad (42)$$

In allen Restriktionen ist der Parameter $s \in S$ von großer Bedeutung, da dieser die ursprüngliche Betrachtungsperiode t in ein detaillierteres Zeitraster unterteilt und jedes s ein festes Zeitfenster mit Anfangs- und Endzeit definiert. Dadurch erfolgt die angestrebte zeitgenaue Bestimmung von Aktivitäten im Produktionsbereich.

Erläuterung

$pn_{t,m,p}$	Variable: Produktionsmenge von Produkt p auf Maschine m in Periode t
$stp_{t,m,p}$	Variable: Rüsten von Maschine m auf Produkt p bei grober Betrachtung
$mntce_{t,m}$	Variable: Instandhaltung von Maschine m
$lsOn_{t,z,w}^l$	Variable: Gewählte Logistikoption, welche ausdrückt welche Frachtgröße mit welchem Dienstleister von welchem Zulieferer wann eintrifft
$cPn_{t,s,m}$	Variable: Kumulierte Produktionsmenge zum Zeitpunkt s auf Maschine m
$mntce_{t,s,m}$	Variable: Instandhaltung von Maschine m in Zeitfenster s
$iy_{t,s,p}$	Variable: Lagerbestand von Produkt p an Arbeitstag t , in Mikroperiode s
M	Variable: Ein großer Wert

$prodCapacity_{t,m}$	Parameter: Verfügbare Produktionskapazität
mt_m	Parameter: Instandhaltungsdauer von Maschine m
$st_{m,p}$	Parameter: Rüstzeit auf Produkt p auf Maschine m
$ct_{m,p}$	Parameter: Taktzeit von Produkt p auf Maschine m
Z	Parameter: Menge aller Zulieferer z
W	Parameter: Menge aller Frachtoptionen w
L	Parameter: Menge aller Logistikdienstleister l
$rCyVs$	Parameter: Vereinnahmungskapazität bzgl. Fahrzeuge
$rgTe_w$	Parameter: Vereinnahmungsdauer einer Frachtgröße w
$rgCyTe$	Parameter: Vereinnahmungskapazität bzgl. Zeit
S	Parameter: Menge aller Zeitfenster s
$pnLimit_m$	Parameter: Instandhaltungslimit
$\left\lfloor \frac{MicroPeriod_{t,s}}{ct_{m,p}} \right\rfloor$	Parameter: Von Produkt p in einer Mikroperiode s herstellbare Produktionsmenge
$stpSte_{t,s,m,p}$	Variable: Rüstzustand vom Maschine m für Produkt p an Arbeitstag t in Mikroperiode s
$stp_{t,s,m,p}$	Variable: Rüsten von Maschine m auf Produkt p an Arbeitstag t in Mikroperiode s

5.2.2.3 Teamorganisation

Sobald die Entscheidungsgrößen hinsichtlich der unterschiedlichen Aktivitäten bestimmt sind, gilt es die Organisation der Personalressource derart zu koordinieren, dass alle Aktivitäten mit ausreichender Leistungskapazität bedient werden können. Dazu zählen zum einen die Bündelung der Personalkapazitäten zu Teams und zum anderen die Zuweisung der Teams zu Schichten, wobei Leistungen auf regulärer und zusätzlicher Basis beruhen können.

5.2.2.3.1 Teambildung bei regulärer und zusätzlicher Leistung

Die Teambildung erfolgt auf Grundlage des geplanten Produktionsprogramms, wobei als primäres Planungsziel die Deckung des Leistungsbedarfs anzusehen ist. Dieser leitet sich durch die im Produktionsprogramm getroffenen Entscheidungen hinsichtlich der

Leistungsgrade ab. Als Entscheidungsgrößen dienen, neben der zu bestimmenden Anzahl an Teams, die unterschiedlichen Leistungsarten, welche sich in reguläre und zusätzliche Leistungen unterteilen.

$$tms * rgWyWkCy = \sum_{t:t \in W,s}^{T,S} d_{t,s} - wyEaHs_w + wyFrHs_w - wyAlCy_w \quad (43)$$

Da der Kapazitätsabgleich über einen größeren Planungshorizont erfolgt, sind die Entscheidungsgrößen aufeinander abzustimmen, so dass Kapazitätsschwankungen kompensiert werden können. Aufgrund der zeitbezogenen Anforderungen des Planungsgegenstands, auf langfristiger Ebene eine konstante Anzahl an Teams einzuplanen und auf kurzfristiger Ebene die jeweiligen Kapazitätsbedarfe zu erfüllen, müssen mehrere Restriktionen miteinander abgeglichen werden. Die kurzfristige Kapazitätsdeckung sowie der Restriktionsabgleich erfolgen durch:

$$tsODy_t * rgDyWkCy + dyEaHs_t - dyFrHs_t + alCy_t = \sum_s^S d_{t,s} \quad , \forall t \text{ in } T \quad (44)$$

$$tsODy_t \leq tms \quad (45)$$

Bei allen Kapazitätsentscheidungen sind die betrieblich festgesetzten Vereinbarungen hinsichtlich Flexibilisierungsmaßnahmen zu beachten, indem Ober- bzw. Untergrenzen eingesetzt werden.

$$tms * wyEaHs^{MAX} \geq wyEaHs_w \quad (46)$$

$$tsODyOEaHs_t * dyEaHs^{MAX} \geq dyEaHs_t \quad (47)$$

$$tms * wyFrHs^{MAX} \geq wyFrHs_w \quad (48)$$

$$tsODyOFrHs_t * dyFrHs^{MAX} \geq dyFrHs_t \quad (49)$$

Erläuterung

tms	Variable: Anzahl der zu bestimmenden Teams
$wyEaHs_w$	Variable: Wöchentliche Mehrarbeit
$wyFrHs_w$	Variable: Wöchentliche Minderarbeit
$wyAlCy_w$	Variable: Relaxationsvariable
$tsODy_t$	Variable: An einem Arbeitstag eingeplante Anzahl an Teams
$dyEaHs_t$	Variable: Tägliche Mehrarbeit

$dyFrHs_t$	Variable: Tägliche Minderarbeit
$alCy_t$	Variable: Relaxationsvariable
$tsODyOEaHs_t$	Variable: Anzahl der Mehrarbeit leistenden Teams
$tsODyOFrHs_t$	Variable: Anzahl der Minderarbeit leistenden Teams
$rgWyWkCy$	Parameter: Reguläre Arbeitszeit in einer Woche
$d_{t,s}$	Parameter: Kapazitätsbedarf
$rgDyWkCy$	Parameter: Reguläre Arbeitszeit eines Tages
$wyEaHs^{MAX}$	Parameter: Maximal zulässige Mehrarbeit in einer Woche
$dyEaHs^{MAX}$	Parameter: Maximal zulässige Mehrarbeit an einem Tag
$wyFrHs^{MAX}$	Parameter: Maximal zulässige Minderarbeit in einer Woche
$dyFrHs^{MAX}$	Parameter: Maximal zulässige Minderarbeit an einem Tag

5.2.2.3.2 Schichtzuordnung bei regulärer und zusätzlicher Leistung

Sobald die Anzahl der einzusetzenden Teams bestimmt ist, sind diese in das betriebliche Schichtsystem einzugliedern, wobei erneut Entscheidungsgrößen hinsichtlich des Einsatz- und Flexibilisierungsgrads sowie die vertraglichen und tariflichen Rahmenbedingungen betrachtet werden müssen. Als primäre Entscheidung ist zu bestimmen, welches Team in welcher Schicht einzusetzen ist. Dieses erfolgt durch drei Restriktionen, welche im betrachteten Fall ein Dreischichtsystem abdecken:

$$\sum_t^T tmOEySt_{p,t} = d_{p,0} \quad (50)$$

$$\sum_t^T tmOLeSt_{p,t} = d_{p,1} \quad (51)$$

$$\sum_t^T tmONtSt_{p,t} = d_{p,2} \quad (52)$$

Zusätzlich ist der Einsatz eines Teams pro Tag auf höchstens eine Schicht zu begrenzen.

$$tmOEySt_{p,t} + tmOLeSt_{p,t} + tmONtSt_{p,t} + tmONoSt_{p,t} = 1 \quad (53)$$

Ergänzend zur Kapazitätsgleichung auf Tagesebene muss eine ähnliche Restriktionsfunktion ebenfalls auf Wochenebene formuliert werden, welche eine Kopplung an die Wochenarbeitszeit des Betriebs leistet.

$$\sum_{p:p \in w}^P (tmOEySt_{p,t} + tmOLeSt_{p,t} + tmONtSt_{p,t}) * dyWkTe + tmFrHs_{w,t} - tmEaHs_{w,t} = weeklyWorktime \quad (54)$$

Dem Schichtbetrieb zugeordnet sind weitere Vorgaben, die in Form von Restriktionen abzubilden sind. Dazu zählen das Einsatzverbot eines Teams in einer Frühschicht, welche direkt an eine bereits geleistete Nachschicht anknüpft sowie der Schichtwechsel innerhalb eines gegebenen Rotationsintervalls.

$$tmOEySt_{p,t} + tmONtSt_{p-1,t} \leq 1 \quad (55)$$

Die Formulierung einer Rotationsfunktion erfolgt, aufgrund einer gewissen Unschärfe bzgl. des Rotationszeitpunktes, in Form einer relaxierten Restriktion. Diese setzt voraus, dass ein Schichtwechsel innerhalb eines gegebenen Rotationsintervalls stattfinden muss und baut auf den folgenden Restriktionen auf, welche einen Schichtwechsel im Rotationsintervall markieren.

$$tmOEySt_{p,t} - tmOEySt_{p-1,t} = tmEyStCe_{p,t} \quad (56)$$

$$tmOLeSt_{p,t} - tmOLeSt_{p-1,t} = tmLeStCe_{p,t} \quad (57)$$

$$tmONtSt_{p,t} - tmONtSt_{p-1,t} = tmNtStCe_{p,t} \quad (58)$$

Die Rotationsformulierung dazu lautet:

$$\sum_{p:p \in w}^P |tmEyStCe_{p,t}| + |tmLeStCe_{p,t}| + |tmNtStCe_{p,t}| \geq 1 \quad (59)$$

Erläuterung

$tmOEySt_{p,t}$	Variable: Indikator, welches Team t in Planungsperiode p auf Frühschicht ist
$tmOLeSt_{p,t}$	Variable: Indikator, welches Team t in Planungsperiode p auf Spätschicht ist
$tmONtSt_{p,t}$	Variable: Indikator, welches Team t in Planungsperiode p auf Nachschicht ist
$tmONoSt_{p,t}$	Variable: Indikator, welches Team t in Planungsperiode p keine Schicht leistet
$tmFrHs_{w,t}$	Variable: Von einem Team t im Zeitraum w geleistete Mehrarbeit

$tmEaHs_{w,t}$	Variable: Von einem Team t im Zeitraum w geleistete Minderarbeit
$tmEyStCe_{p,t}$	Variable: Indikator, welches Team t in Planungsperiode p in die Frühschicht wechselt
$tmLeStCe_{p,t}$	Variable: Indikator, welches Team t in Planungsperiode p in die Spätschicht wechselt
$tmNtStCe_{p,t}$	Variable: Indikator, welches Team t in Planungsperiode p in die Nachschicht wechselt
$d_{p,i}$	Parameter: Personalbedarf in Planungsperiode p , Schicht i
$dyWkTe$	Parameter: Tägliche reguläre Arbeitszeit
$weeklyWorktime$	Parameter: Wöchentliche reguläre Arbeitszeit

5.2.3 Knowhow

Die Planung und Entwicklung des personellen Knowhows ist auf strategischer Ebene ebenfalls durch entsprechende Restriktionen zu unterstützen. Relevante Entscheidungsgrößen beziehen sich auf die Entwicklung des Personal- sowie Qualifikationsbestands.

5.2.3.1 Personalbedarfsdeckung

Ausgehend von einem gegebenen Personalbedarf (vgl. hierzu Abs. 5.2.4.2) gilt es für einen fixierten aber ausreichend großen Planungshorizont den prognostizierten Personalbedarf zu decken. Dazu ist der Stammpersonalbestand sowie der befristete Personalbestand unter Einbeziehung von Flexibilisierungsmaßnahmen in entsprechender Form zu entwickeln, wobei eine Kapazitätsreserve zur Kompensation kurzfristiger Schwankungen ebenfalls zu gewährleisten ist.

$$(Sf_{y,q} + VrSf_{y,w,q}) * wkWe - sFr * (Sf_{y,q} + VrSf_{y,w,q}) * wkWe \quad (60) \\ + ExHsWk_{y,w,q} - FeHsWk_{y,w,q} = d_{y,w,q}$$

Die Maßnahmen zur Flexibilisierung der erbringbaren Leistung gleichen den in Abschnitt 5.2.2 bereits vorgestellten Maßnahmen. Dabei handelt es sich um Mehr- und Minderarbeit, welche es im Verlauf der Planungsperiode auszugleichen gilt. Ebenso sind Vereinbarungen hinsichtlich der Anwendbarkeit von Flexibilisierungsmaßnahmen zu beachten.

$$ExHsWk_{y,w,q} \leq Sf_{y,q} * oeODy_{y,w,q}^{MAX} * wsIWkFr_{y,w,q} \quad (61)$$

$$\sum_w^{\omega_i} ExHsWk_{y,w,q} \leq Sf_{y,q} * oeIPd_{y,q}^{\omega_i}, \quad w \in \omega_i: \bigcup \omega_i = W \quad (62)$$

Beide Restriktionen sorgen für eine Einhaltung der erbringbaren Leistung in Form von Überstunden, wobei unterschiedliche zeitliche Bezugsgrößen behandelt werden. Um einen Ausgleich der gegensätzlichen Flexibilisierungsgrößen herzustellen, sind, ebenfalls in unterschiedlichen zeitlichen Bezugsgrößen, diese miteinander in Beziehung zu setzen, was in den folgenden Restriktionen erfolgt:

$$\begin{aligned} \sum_w^W ExHsWk_{y,w,q} - \sum_w^W FeHsWk_{y,w,q} \\ = DeWk_{y,q}^+ - DeWk_{y,q}^- \end{aligned} \quad (63)$$

$$\begin{aligned} \sum_w^W (ExHsWk_{y,w,q} - FeHsWk_{y,w,q}) + \sum_w^{W'} (ExHsWk_{y,w,q} - FeHsWk_{y,w,q}) \\ = Difference_{y,q,W,W'}^+ - Difference_{y,q,W,W'}^-, \quad W' = succ(W) \end{aligned} \quad (64)$$

Zuletzt sind Vorgaben rechtlicher bzw. tariflicher Art zu beachten, welche im betrachteten Fall einen fixen, zulässigen Anteil des befristeten Personals sowie dessen Einstellungsduer betreffen.

$$VrSf_{y,w,q} \leq Sf_{y,q} * VrSfPn_{y,w,q} \quad (65)$$

$$VrSf_{y,w,q} = VrSf_{y,w+1,q}, \quad \forall w \in \mathbb{W} \quad (66)$$

5.2.3.2 Personalbestandsentwicklung

Um den prognostizierten Personalbedarf kapazitativ decken zu können, stehen mehrere Entscheidungsgrößen zur Wahl, welche sich in die Personaleinstellung, die Personalfreisetzung sowie das Personaltraining gliedern.

Die Personalbestandsentwicklung ist eng verbunden mit der Personalbedarfsdeckung und die relevanten Variablen werden maßgeblich durch die Deckungsrestriktion beeinflusst.

$$Sf_{y-1,q} + he_{y-1,q} + \sum_{q':q \neq q'}^Q tn_{y-1,q',q} - fe_{y-1,q} - \sum_{q'':q \neq q''}^Q tn_{y-1,q,q''} = Sf_{y,q} \quad (67)$$

Sie stellt die Entwicklung des Stammpersonalbestands dar, welcher fortlaufend zu planen ist. Der befristete Personalbestand wird bereits in der Personalbedarfsdeckung beachtet und dient zur Ergänzung der Stammpersonalkapazität.

Erläuterung

$Sf_{y,q}$	Variable: Bestand des Stammpersonals mit Qualifikationsprofil q im Planungsjahr y
$VrSf_{y,w,q}$	Variable: Bestand des befristeten Personals mit Qualifikationsprofil q im Planungsjahr y , Woche w
$ExHsWk_{y,w,q}$	Variable: Mehrarbeit im Qualifikationsprofil q im Planungsjahr y , Woche w
$FeHsWk_{y,w,q}$	Variable: Minderarbeit im Qualifikationsprofil q im Planungsjahr y , Woche w
$DeWk_{y,q}^+$	Variable: Hilfsvariable zum Ausgleich der Flexibilisierungsmaßnahmen, mit zeitlicher Bezugsgröße des Planungsjahrs y
$DeWk_{y,q}^-$	Variable: Hilfsvariable zum Ausgleich der Flexibilisierungsmaßnahmen, mit zeitlicher Bezugsgröße des Planungsjahrs y
$Difference_{y,q,W,W'}^+$	Variable: Hilfsvariable zum Ausgleich der Flexibilisierungsmaßnahmen, mit zeitlicher Bezugsgröße der Planungsperioden W, W'
$Difference_{y,q,W,W'}^-$	Variable: Hilfsvariable zum Ausgleich der Flexibilisierungsmaßnahmen, mit zeitlicher Bezugsgröße der Planungsperioden W, W'
$he_{y,q}$	Variable: Einstellungsbedarf des Qualifikationsprofils q zum Planungsjahr y
$tn_{y,q',q}$	Variable: Trainingsbedarf von Qualifikationsprofil q' auf Qualifikationsprofil q zum Planungsjahr y
$fe_{y,q}$	Variable: Freisetzungsbeford des Qualifikationsprofils q zum Planungsjahr y
Y	Parameter: Menge aller Planungsjahre y
W	Parameter: Menge aller Wochen w

$wkWe$	Parameter: Reguläre wöchentliche Arbeitszeit
sFr	Parameter: Krankenquote
$d_{y,w,q}$	Parameter: Bedarf an Personalqualifikation q im Planungsjahr y , Woche w
$oeODy_{y,w,q}^{MAX}$	Parameter: Maximal zulässige, tägliche Mehrarbeit bei Qualifikationsprofil w im Planungsjahr y , Woche w
$wsIWkFr_{y,w,q}$	Parameter: Anzahl der regulären Arbeitstage, bezogen auf Qualifikationsprofil q im Planungsjahr y , Woche w
$oeIPd_{y,q}^{\omega_i}$	Parameter: Maximal zulässige Mehrarbeit in Periode ω_i bei Qualifikationsprofil q im Planungsjahr y
ω_i	Parameter: Zusammenhängende Periode, beliebig wählbar. Es gilt: $\bigcup \omega_i = W$
$VrSfPn_{y,w,q}$	Parameter: Maximal zulässiger Anteil an befristetem Personal mit Qualifikationsprofil q im Planungsjahr y , Woche w
$\mathbb{W}' = succ(\mathbb{W})$	Funktion: Nachfolgerfunktion, welche die nachfolgende Woche \mathbb{W}' für die Woche \mathbb{W} bestimmt

5.2.4 Informationstechnologie

Die vorgestellten Restriktionen beziehen sich auf eine Vielzahl an Parametern, welche informationstechnologisch zur Verfügung gestellt werden müssen. Dazu gehört eine vorherige Aufbereitung von vorhandenen Plandaten, die in ihrer ursprünglichen Form nicht weiterverarbeitet werden können. Zudem müssen Planungsergebnisse für die unterschiedlichen Planungsbereiche zugänglich sein, um auf den Ergebnissen aufbauend Entscheidungen treffen zu können.

5.2.4.1 Reichweitenvorgaben

Die Notwendigkeit der Spezifikation von zulässigen Reichweiten beruht auf der Tatsache, dass Lieferfähigkeit gewährleistet werden muss ohne eine liquiditätsgefährdende Kapitalbindung zuzulassen. Es ist zu bestimmen, welche Lagerbestandshöhen die Lieferfähigkeit bei Produktionsengpässen aufrechterhalten und welche Obergrenze zu setzen ist. Eine Bewertung dieser Größen kann entweder in Form von lieferfähigen Tagen oder auf monetärer Basis erfolgen.

5.2.4.1.1 Betriebswirtschaftliche Lagerreichweite

Bei gegebenen Kundenbedarf und hypothetisch ausbleibender Produktion ohne Fremdbeschaffung beschreibt die Lagerreichweite, gemessen in Tagen, die Lieferfähigkeit eines Unternehmens, direkt aus dem Lager heraus. Die entsprechenden Formeln für den betrachteten Anwendungsfall lauten:

$$\frac{iy_{t,p}}{\emptyset d_{p,T}} = iyRe_{t,p} \quad (68)$$

$$\frac{\sum_t^T d_p}{T} = \emptyset d_{p,T} \quad (69)$$

Die Berechnung ist austauschbar und kann für jeden anderen Anwendungsfall auf die jeweiligen Unternehmensanforderungen angepasst werden. Lagerreichweiten können ebenso bereits vor dem eigentlichen Entscheidungsprozess gegeben sein und zur Definition von Ober- bzw. Untergrenzen genutzt werden, wobei lediglich eine Anpassung der vorgestellten Berechnungen notwendig ist:

$$iy_{t,p} = iyRe_{t,p} * \emptyset d_{p,T} \quad (70)$$

Entsprechend ist die Planung derart vorzunehmen, dass relevante Entscheidungsgrößen diese Grenzen nicht verletzen bzw. eine Verletzung nur unter besonderen Umständen zulässig ist.

$$iyRe_{t,p}^{LB} \leq iy_{t,p} \leq iyRe_{t,p}^{UB} \quad (71)$$

5.2.4.1.2 Kapitalbindungsgrenzen

Reichweiten des Lagerbestands können ebenso durch monetäre Vorgaben parametrisiert werden, indem für Produkte oder Produktfamilien Ober- und Untergrenzen in Form von zulässigen Lagerwerten definiert werden. Da es eine Aufgabe der Unternehmensführung ist, das wirtschaftliche Fortbestehen des Unternehmens zu sichern und die dazu notwendigen Entscheidungen und Maßnahmen häufig vom Operativen abstrahieren, besteht die Möglichkeit entsprechende Handlungsanweisungen zu kommunizieren, welche nicht auf operativen Bezugsgrößen beruhen.

Die Umsetzung dieser Anweisungen erfährt durch die monetäre Bezugsgröße einen gewissen Grad an Flexibilität, da dem verantwortlichen Disponenten die Verteilung der Kapitalbindung über sein zu verantwortendes Produktpotfolio selbst überlassen ist und die oft strikten Vorgaben der Lagerreichweiten den operativen Begebenheiten anpassen kann.

$$clCt_t = \sum_p^P iy_{t,p} * sp_p \quad (72)$$

$$clCt_T^{LB} \leq clCt_t \leq clCt_T^{UB} \quad (73)$$

Erläuterung

$iy_{t,p}$	Variable: Lagerbestand
$clCt_t$	Variable: Kapitalbindung
$\emptyset d_{p,T}$	Parameter: Durchschnittlicher Kundenbedarf
$iyRe_{t,p}^{LB}$	Parameter: Untergrenze Lagerreichweite
$iyRe_{t,p}^{UB}$	Parameter: Obergrenze Lagerreichweite
d_p	Parameter: Kundenbedarf
T	Parameter: Planungshorizont
$clCt_T^{LB}$	Parameter: Untere Kapitalbindungsgrenze
$clCt_T^{UB}$	Parameter: Obere Kapitalbindungsgrenze
sp_p	Parameter: Am Absatzmarkt erzielbarer Preis für Produkt p

5.2.4.2 Absatz-/Bedarfsprognosen

Zur Entwicklung des Personal- und Qualifikationsportfolios bedarf es einer qualitativen Datenbasis, um entscheidungsunterstützend anwendbare Planungsergebnisse zu erhalten. Eine besondere Herausforderung stellt der lange Planungshorizont von mehreren Jahren dar, welcher es erschwert, eine zutreffende Prognose aufzustellen. Als Datenbasis dient die zu erwartende Entwicklung der Markt- und Produktanforderungen, welche stark von Branche und Produktionsart des Unternehmens abhängen. Eine Prognose hat in zwei Dimensionen zu erfolgen, welche einmal durch die mengenmäßige Verteilung der Bedarfsmengen und zum anderen durch die veränderten Anforderungen an Technologie und Knowhow beschrieben werden können. Die Grundlagen einer solchen Prognostizierung liegen in den vertraglichen Vereinbarungen mit den Kunden, die neben Absatzmengen und Vertragslaufzeiten auch mögliche Anforderungen an das Aftermarket-Geschäft beinhalten. Außerdem bieten Entwicklungen im Bereich F+E, welche in der Regel durch Kunden begleitet werden, ein Indiz dazu, welchen Anforderungen an Technologie und Knowhow gestellt werden.

Die Datenbasis sowie die dazu herangezogenen Grundlagen sind immer vom Unternehmen abhängig und austauschbar, sollten allerdings im Kern eine Prognose der zu erwarteten Kundenbedarfe auf Produktfamilienebene enthalten, so dass von diesen auch die Anforderungen an notwendige Technologien und Knowhow abgeleitet werden kann.

Erläuterung

$dFt_{p,T}$	Parameter: Prognose der Bedarfsentwicklung für Produktfamilie p innerhalb der Planungshorizonts T
$qnFt_{q,T}$	Parameter: Prognose der Anforderungen an betrieblichem Knowhow innerhalb des Planungshorizonts T
$tyFt_{t,T}$	Parameter: Prognose der Anforderungen an betrieblichen Technologien innerhalb des Planungshorizonts T
T	Parameter: Planungshorizont, mit beliebiger Granularität

5.2.4.3 Planungsergebnisse

Planungsergebnisse auf dieser Ebene stellen beliebige Ergebniskombinationen mehrerer Restriktionen dar und sind erst durch Aufarbeitung der isolierten Planungsergebnisse ableitbar. Gerade bei der unternehmensinternen Rechtfertigung von getroffenen Entscheidungen sind diese Daten auf Managementebene relevant, um belegen zu können weshalb bspw. kurzfristige Überschreitungen von Kapitalbindungsgrenzen dazu genutzt werden können um voraussichtliche Kapazitätsengpässe aufzufangen.

Entscheidungsgrößen im betrieblichen Umfeld, die das größte Kapitalbindungspotential besitzen, sind der Umlauf- und Lagerbestand. Die Dimensionierung dieser Größen innerhalb des Planungshorizonts erfolgt bereits unter Beachtung relevanter kapazitativer Einschränkungen und ermöglicht somit eine begründete Argumentation zur Kapitalbindung.

Kapazitative Größen auf dieser Ebene beziehen sich auf Schichtkapazitäten sowie direkt auf die Auslastung der Produktionsanlagen und liefern Rückschlüsse auf Kapazitätsreserven oder Engpässe. Insbesondere bei Letzterem vereinfachen diese Informationen das Nachvollziehen von Lieferrückständen.

Erläuterung

$clCt_{t,p}^{wip}$	Variable: Kapitalbindung im Umlaufbestand
$clCt_{t,p}^{iy}$	Variable: Kapitalbindung im Lagerbestand

$un_{t,m}^{sf}$	Variable. Auslastung des Schichtsystems
$un_{t,m}^{machine}$	Variable: Maschinenauslastung
$reCyt_{t,m}$	Variable: Verfügbare Maschinenkapazität
$btlk_{t,m}^{machine}$	Variable: Kapazitätsengpässe auf Maschinenebene
$pnDelay_{t,p}$	Variable: Durch Kapazitätsengpässe verursachter Produktionsverzug

5.3 Zielfunktionen

Nachdem in den Abschnitten 5.1 und 5.2 auf die Variablen und Restriktionen im Kontext der unternehmensrelevanten Erfolgsfaktoren Liquidität, Beschäftigung, Knowhow und Informationstechnologien eingegangen wurde, soll dieser Abschnitt das Zielsystem vorstellen, welches zur Bewertung der einzelnen Planungsergebnisse notwendig ist. Dieses bedeutet, mit Fokus auf die Erfolgsfaktoren, die entscheidungsrelevanten Zielgrößen aufzuzeigen, welche im Unternehmen von Entscheidungsträgern zur rationalen Bewertung von Alternativen und zielgerichteten Steuerung genutzt werden.

Die bisher vorgestellten Bestandteile des Planungsgegenstands, beginnend mit der Sicherstellung der Kundenabrufe und ergänzt um die sich von den Erfolgsfaktoren ableitenden Nebenbedingungen, beschreiben bereits ein Zielsystem, das aus Sachzielen²²⁹ besteht und vom unternehmerischen Zielsystem abgeleitet ist (vgl. Abs. 2.1.1). Dieses alleine ist nicht geeignet, eine Bewertung der gefundenen Handlungsalternativen durchzuführen, weshalb neben Sachzielen auch Formalziele definiert werden müssen, die unter Verwendung von Bewertungs- und Extremierungsvorschriften²³⁰ eine endgültige Auswahl von Alternativen ermöglichen.

5.3.1 Liquidität

Der Aspekt minimaler Kosten stellt einen relevanten Planungsbestandteil dar, der im Hinblick auf die Liquidität als Formalziel zur Bewertung der Planungsergebnisse herangezogen werden kann. Entsprechend werden im Folgenden die Bewertungsgrößen vorgestellt, welche den Planungsgegenständen inhärent sind. Diese lassen sich den Pla-

²²⁹ Vgl. dazu [Laux06], S. 33

²³⁰ Als Extremierungsvorschrift ist eine Zielfunktion zu verstehen, welche durch Minimierung oder Maximierung der Bewertungsgrößen eine „*rationale Letzentscheidung*“ und somit eine Auswahl ermöglicht. (Vgl. dazu [Laux06], S. 35f)

nungsgegenständen Produktion, Materialbeschaffung und Personal zuordnen, wobei Letzterer in diesem Kontext von besonderer Bedeutung ist, da inhaltlich Beziehungen zu den Erfolgsfaktoren der Beschäftigung und des Knowhows gegeben sind. Es wird eine detaillierte Betrachtung des Kostengegenstands Personal in den Abschnitten 5.3.2 und 5.3.4 erfolgen. Eine Definition der Sachziele ist implizit durch die Formulierung der Variablen und Restriktionen gegeben, ohne allerdings eine Möglichkeit der Bewertung zu liefern, anhand welcher Alternativen gegeneinander abgewogen werden können. Aufgrund der engen Verflechtung der Planungsgegenstände sollte ein Formalziel definiert werden, welches ein einheitliches Bewertungsmaß vorgibt. Da jegliche Entscheidungsgrößen einen Kostenbezug aufweisen, eignet sich eine Zielfunktion der Form

$$\text{MIN} \sum_t^T \text{cost}_t * \text{decVe}_t \quad (74)$$

zur einheitlichen Bewertung, indem eine Minimierung der anfallenden Gesamtkosten angestrebt wird. Bezogen auf die genannten Planungsbestandteile ergibt sich somit folgendes Formalziel:

$$\text{MIN} \sum_t^T (\text{cost}_t^{PROD} * \text{pn}_t + \text{cost}_t^{SUPP} * \text{sply}_t + \text{cost}_t^{STAF} * \text{stf}) \quad (75)$$

Sämtliche operativen Tätigkeiten des Planungsgegenstands weisen in ihrer Kostenstruktur einen Personalanteil auf. Für die weitere Betrachtung wird dieser Anteil kalkulatorisch nicht direkt den jeweiligen Tätigkeiten zugeordnet, sondern im isolierten Planungsgegenstand des Personals aufgeführt.

Im Folgenden wird ein Überblick zu den Kostenbestandteilen der Planungsgegenstände Produktion und Materialbeschaffung gegeben:

Produktion

- Fertigungskosten
- Lagerkosten
- Verzugskosten
- Instandhaltungskosten
- Ladungsträgerkosten
- Rüstkosten

Materialbeschaffung

- Beschaffungskosten
- Materialkosten
- Transportkosten
- Warenvereinnahmungskosten

Sämtliche Kostengrößen bestehen aus fixen und variablen Anteilen, welche gemäß der formulierten Sachziele unterschiedliche Auswirkungen auf die Bewertung der Handlungsalternativen aufweisen.

Fertigungskosten:	Die Fertigungskosten sind direkt der Herstellung eines Produktes zuzuordnen und setzen sich aus den Maschinen- und Lohnkosten ($cost^{machine}$, $cost^{labour}$) zusammen. Der Anteil der Maschinenkosten, welche maschinenabhängig sind, besteht aus den Betriebsmittelkosten, die sich durch die aufgewandten Betriebsstoffe und Energieversorgung ergeben.
Lagerkosten:	Die Lagerkosten sind der Lagerung von Materialien sowie Zwischen- und Endprodukten zuzuordnen und bestehen aus Gebäude-, Betriebsmittel-, Lohn- und Bestandskosten ($cost^{building}$, $cost^{resource}$, $cost^{labour}$, $cost^{stock}$). Unter den Gebäudekosten werden Abschreibungen, Kapitalzinsen der Investition, Versicherungs- sowie Instandhaltungs- und Betriebskosten vereint, welche zusammen mit den Lohn- und Betriebsmittelkosten in Bezug auf die Lagermenge einen fixen Charakter aufweisen, da diese immer anfallen. Dem gegenüber stehen die Bestandskosten, welche direkt von der Lagermenge beeinflusst werden und sich aus den Kapitalzinsen des Lagerbestands sowie den bestandsabhängigen Versicherungskosten zusammensetzen.
Verzugskosten:	Verzugskosten entstehen bei der verspäteten Erfüllung von Kundenbedarfen und beschreiben die vertraglich festgelegten Konventionalstrafen ($cost^{penalty}$).
Instandhaltungskosten:	Instandhaltungskosten lassen sich in direkte und indirekte Kostenanteile unterteilen ²³¹ , wobei direkte Kosten den Instandhaltungsmaßnahmen und indirekte Kosten dem mit der Anlage verbundenen Anlagenausfall zuzuordnen sind. Es werden ausschließlich die direkten Instandhaltungskosten betrachtet, welche aus Lohn-, Material- und Ersatzteil- sowie Betriebsmittelkosten ($cost^{labour}$, $cost^{material}$, $cost^{resource}$) bestehen. Ihr Einfluss auf Produktionsentscheidungen

²³¹ Siehe [Alca00], S.46

besteht bei der Wahl alternativer Produktionsmöglichkeiten.

Ladungsträgerkosten:

$cost^{car}$

Ladungsträgerkosten werden beim Einsatz der Ladungsträger aufgewandt und bestehen aus Versicherungs-, Material- und Lohnkosten sowie der entgangenen Verzinsung des gebundenen Kapitals ($cost^{insurance}$, $cost^{material}$, $cost^{labour}$, $cost^{interest}$).

Rüstkosten:

$cost^{stp}$

Rüstkosten entstehen immer, wenn eine Maschine für die Produktion eines Loses eingerichtet wird. Neben einem Lohnanteil ($cost^{labour}$) lassen sich noch Betriebsmittelkosten ($cost^{resource}$) als Bestandteil der Rüstkosten nennen. Ihr Einflussgegenstand ergibt sich durch die Rüsthäufigkeit im Planungshorizont.

Beschaffungskosten:

$cost^{prcmnt}$

Beschaffungskosten stellen bestellfixe Kosten dar, welche sich in Form des administrativen Aufwands durch einen Prozesskosten- und Lohnkostenanteil ($cost^{process}$, $cost^{labour}$) zusammensetzen. Beschaffungskosten wirken aufgrund der fixen Eigenschaft auf die Entscheidungsgröße der Bestellhäufigkeit ein.

Materialkosten:

$cost^{rawmat}$

Materialkosten können primär durch die Bezugskosten ($cost^{purchase}$) beschrieben werden, welche an den Lieferanten zu entrichten sind. Bei entsprechender vertraglicher Ausgestaltung können noch Rabattierungen ($saving^{discount}$) anzuwenden sein, welche abhängig von der Bestellmenge durch den Lieferanten gewährt werden. Materialkosten wirken auf die Entscheidungsgröße der Bestellmengenverteilung ein.

Transportkosten:

$cost^{trnsp}$

Transportkosten ($cost^{trnsp}$) fallen bei der Inanspruchnahme von Transportdienstleistern an. Der Kostenaufwand entsteht durch die eingekaufte Transportkapazität sowie die durch den Dienstleister zu fahrende Transportdistanz.

Warenvereinnahmungskosten:	Die bei der Warenvereinnahmung anfallenden Kosten setzen sich aus Prozess-, Lohn- und Betriebsmittelkosten ($cost^{process}$, $cost^{labour}$, $cost^{resource}$) zusammen.
$cost^{rcv}$	

Die sich dadurch ergebende Formulierung einer Zielfunktion lautet:

$$\begin{aligned}
 MIN & \sum_t^T \sum_m^M \sum_p^P ((cost_{m,p}^{mnfac} + cost_p^{car}) * pn_{t,m,p} + cost_p^{iy} * iy_{t,p} \\
 & + cost_p^{bg} * bg_{t,p} + cost_{m,p}^{stp} * stp_{t,m,p}) + \sum_t^T \sum_m^M cost_m^{mntce} * mntce_{t,m} \\
 & + \sum_t^T \sum_l^L \sum_r^R (cost_l^{prcmnt} * or_{t,l} + cost_{l,r}^{rawmat} * material_{l,d}) \\
 & + \sum_t^T \sum_l^L \sum_d^D (cost_{l,d}^{trnsp} * dry_{t,l,d} + \sum_t^T \sum_d^D cost_d^{rcv} * rcvg_{t,d})
 \end{aligned} \tag{76}$$

5.3.2 Beschäftigung

Wie bereits in Abschnitt 5.3.1 beschrieben, bietet eine kostenbasierte Bewertung sämtlicher Entscheidungsgrößen eine einheitliche Grundlage. Neben den in Abschnitt 5.1.2 operativen Aktivitäten sind weitere Tätigkeiten zu beachten, welche Personalressourcen beanspruchen und somit in Form von Kostengrößen in die Formalbewertung eingehen müssen.

Fertigungskosten:	Der Lohnkostenanteil der Fertigungskosten ergibt sich durch die direkt produktionsbezogene Arbeitsleistung.
$lbrcost^{mnfac}$	
Lagerkosten:	Arbeitsleistung in Form von Instandhaltungs- und Reinigungstätigkeit sowie sämtlichen Lageraktivitäten geht in den Lohnkostenanteil der Lagerkosten ein.
$lbrcost^{iy}$	
Instandhaltungskosten:	Der Lohnkostenanteil der Instandhaltungskosten ergibt sich durch die direkt instandhaltungsbezogene Arbeitsleistung.
$lbrcost^{mntce}$	

Ladungsträgerkosten:	Ladungsträgermanagement beinhaltet auch, die Instandhaltung und Reinigung der Ladungsträger. Entsprechende Tätigkeiten gehen als Lohnkostenanteil in die Ladungsträgerkosten ein.
Rüstkosten:	Direkt rüstbezogene Aktivitäten ergeben den Lohnkostenanteil der Rüstkosten.
Beschaffungskosten:	Der Lohnkostenanteil der Beschaffungskosten bezieht sich auf administrative Tätigkeiten in Form von Lieferantenauswahl, Kommunikation und Verwaltung.
Warenvereinnahmungskosten:	Die personelle Leistung der Warenvereinnahmung umfasst sämtliche Lade- und Lagertätigkeiten, Qualitätskontrolle sowie Verwaltung und geht im Lohnkostenanteil in die Warenvereinnahmungskosten ein.
Neben den aktivitätsbezogenen Kosten, welche einer einheitlichen Bewertungsgrundlage unterliegen, können weitere betriebliche Größen auf diese Kosten einwirken und somit zu einer differenzierten Bewertungsgrundlage führen. Zu diesen Größen zählen die betrieblichen Schichtsysteme sowie Flexibilisierungsmaßnahmen der Arbeitsleistung, welche abhängig von getroffenen Entscheidungen im Planungsgegenstand unterschiedlich zur Anwendung kommen.	
Schichtsystemkosten:	Der unterschiedlichen Belastung der Arbeitnehmer bei Anwendung eines Schichtbetriebs wird begegnet, indem durch einen festgelegten Zuschlag die Lohnkosten angepasst werden. Im Fall eines Dreischichtbetriebs entsteht somit eine bewertbare Ordnung der Schichten:
	$cost^{earlys f} < cost^{lates f} < cost^{nights f}$ (77)
	Der Zuschlag kann additiv oder in Form eines Zuschlagsfaktors erfolgen.
Mehrarbeit:	Das Leisten von Mehrarbeit erfolgt über die reguläre Arbeitsleistung hinweg und muss ebenfalls in Form eines festgelegten Zuschlags honoriert werden.
	$cost^{reg} < cost^{extra}$ (78)

Minderarbeit: Minderarbeit beschreibt die Unterschreitung der regulären Arbeitsleistung und wird nicht mit direkt aufgewandten Kosten ausgedrückt. Da vertragliche Vereinbarungen allerdings einem Arbeitnehmer den Einsatz innerhalb der regulär zu erbringenden Leistung garantieren, bedeutet dieses auch einen finanziellen Ausgleich bei Minderarbeit derart, dass regulärer Leistungsumfang zu entlohen ist.

Zusatzkapazität: Neben der regulär nutzbaren Kapazität an Werktagen kann auf zusätzliche Kapazität an Wochenenden bzw. Feiertagen zugegriffen werden, um Engpässe zu kompensieren. Eine Leistungserbringung in diesem Kapazitätspektrum ist mit einem höheren Lohnkostenanteil zu entgelten²³². Die dadurch resultierende Ordnung lautet:

$$cost^{reg} < cost^{add} \quad (79)$$

Eine auf die Beschäftigung bezogene Zielfunktion lautet:

$$\begin{aligned} MIN \sum_t^T \sum_s^S \sum_m^M \sum_p^P & ((lbrcost_{t,m,p}^{mnfac} + lbrcost_{t,s}^{mnfac,sf} + lbrcost_{t,p}^{car}) \\ * pn_{t,s,m,p} & + (lbrcost_{t,m,p}^{stp} + lbrcost_{t,s}^{stp,sf}) * stp_{t,s,m,p}) \\ + \sum_t^T \sum_s^S \sum_m^M & ((lbrcost_{t,m}^{mntce} + lbrcost_{t,s}^{mntce,sf}) * mntce_{t,s,m} \\ + lbrcost_{t,s}^{extra} * wrkperf_{t,s,m}^{extra} & + lbrcost_{t,s}^{reg} * wrkperf_{t,s,m}^{fewer}) \\ + \sum_t^T \sum_s^S \sum_p^P & (lbrcost_{t,p}^{iy} + lbrcost_{t,s}^{iy,sf}) * iy_{t,s,p} \\ + \sum_t^T \sum_l^L \sum_r^R & lbrcost_{t,l}^{prcmnt} * or_{t,l} + \sum_t^T \sum_s^S \sum_l^L \sum_d^D lbrcost_{t,d}^{rcv} * rcvg_{t,d} \end{aligned} \quad (80)$$

5.3.3 Knowhow

Dem Planungsgegenstand der Knowhow-Sicherung und -Entwicklung sind Kostengrößen zuordenbar, welche eine einheitliche Bewertungsgrundlage der Planungsergebnisse ermöglichen. Aufgrund der langfristigen Orientierung dieser Planungsebene ist eine

²³² Die Kostengrößen können in einer Zielfunktion implizit über den Zeitindex ausgedrückt werden.

gemeinsame Bewertung mit den operativen und kurzfristigen Planungsgegenständen nicht möglich.

Einstellungskosten: Die Personaleinstellungskosten umfassen die administrative Leistung der Personalsuche (Inserate, Interviews), Übergangskosten (bspw. Umzugszuschuss) sowie die Kosten der Einarbeitung (Schulungen, Leistungslatenz), bis eine vollständige Leistungsfähigkeit abrufbar ist

Freisetzungskosten: Die Freisetzung von Personalstärke verursacht administrative Kosten. In Fällen, welche eine reguläre vertragskonforme Freisetzung nicht zulassen, kann es zur Zahlung von Abfindungen kommen.

Weiterbildungskosten: Die Kosten einer Weiterbildung bestehen aus Lohnfortzahlungen für die Weiterbildungsdauer sowie Kostenanteile der Eigen- und Fremdleistung. Eigenleistungen beziehen sich auf die Kosten, welche durch unternehmensinterne Ausbilder erbracht werden. Fremdleistungen werden durch außenstehende Ausbilder oder Berater erbracht und können Kosten in Höhe der in Beratungsbranchen üblichen Tagessätze verursachen.

Lohnkosten: Entscheidungen zur Sicherung und Entwicklung von Knowhow beziehen sich auf prognostizierte oder auch sichere (vertragliche Vereinbarungen) Zukunftsdaten. Dabei sind Leistungen zur Deckung der Kapazitätsbedarfe zu erbringen, welche durch reguläre oder zusätzliche Leistung abgerufen werden können. Es gilt demnach zu bestimmen, ob reguläre Kapazitäten ausreichen, zusätzliche Kapazitäten abzurufen sind oder weitere Handlungsmaßnahmen (Einstellung, Freisetzung, Weiterbildung) erfolgen müssen. Entsprechend erfolgt eine Kostenbewertung der regulären und zusätzlichen Leistungen ($cost^{wages,reg}$, $cost^{wages,add}$).

Aufgrund des langfristigen Planungsumfangs kann eine Betrachtung des Planungsgegenstands nur auf einem gewissen Abstraktionsgrad erfolgen, welcher operative Details weitgehend ignoriert und diese durch gemittelte Annahmen auszudrücken versucht. Entsprechend kann eine Betrachtung der zeitlichen Dimensionen, anders als bei operativen Aufgaben (vgl. Abs. 5.3.1 und 5.3.2), nicht auf Tages- oder Schichtebene erfolgen.

Ebenso sind detaillierte Beschreibungen von individueller Arbeitsleistung und daraus ableitbarer Entscheidungen zu regulären oder zusätzlichen Kapazitätsbedarfen nur abstrahiert möglich.

Eine daraus ableitbare Zielfunktion lautet:

$$\begin{aligned}
 & \sum_t^T \sum_a^A \sum_q^Q (cost_q^{recruitment} * he_{t,a,q} + cost_{a,q}^{release} * fe_{t,a,q} \\
 & + cost_{a,q}^{wages,reg} * wrkperf_{a,q}^{reg} + cost_{a,q}^{wages,add} * wrkperf_{a,q}^{add}) \\
 & + \sum_{a':a \neq a'}^A \sum_{q':q \neq q'}^Q cost_{q',q}^{training} * tn_{(a,a',q,q')}
 \end{aligned} \tag{81}$$

5.3.4 Informationstechnologie

Nachdem die Bewertungsgrößen operativer und strategischer Planungsentscheidungen in den vorherigen Abschnitten beschrieben und entsprechende Zielfunktionen hergeleitet wurden, wird in diesem Abschnitt auf die informationstechnologischen Anforderungen eingegangen. Zum einen gilt es die Bereitstellung von planungsrelevanten Parametern zu beschreiben. Zum anderen muss, gemäß der dem Planungsgegenstand inhärenten Absicht der Formulierung eines Zielsystems, in Bezug auf die Informationstechnologie auf Sach- und Formalziele eingegangen werden.

5.3.4.1 Kostenparameter

Um die beschriebene Bewertung operativer und strategischer Planungsentscheidungen vornehmen zu können, müssen entsprechende Bewertungsgrößen zur Parametrisierung des Planungsgegenstands, konkreter der Zielfunktion, genutzt werden. Diese sind daher informationstechnologisch verfügbar zu machen, um eine Einbindung bei Generierung der Planungsmodelle zu ermöglichen.

Fertigungskosten: Kosten der Herstellung einer Einheit von Produkt p auf Maschine m .
 $cost_{m,p}^{mnfac}$

Lagerkosten: Lagerkosten einer Einheit von Produkt p .

$cost_p^{iy}$

Verzugskosten:	Kosten bei Nichteinhaltung der Liefertermine in Form von Pönenal.
$cost_p^{bg}$	
Instandhaltungskosten:	Instandhaltungskosten der Maschine m .
$cost_m^{mnce}$	
Ladungsträgerkosten:	Kosten bei Verwendung eines Ladungsträgers.
$cost_p^{car}$	
Rüstkosten:	Kosten für das Rüsten einer Maschine m auf Produkt p .
$cost_{m,p}^{stp}$	
Beschaffungskosten:	Kosten der Bestellauslösung bei Lieferant l .
$cost_l^{prcmnt}$	
Materialkosten:	Kosten für den Erwerb einer Einheit von Material r bei Lieferant l .
$cost_{l,r}^{rawmat}$	
Transportkosten:	Transportkosten von Lieferant l ausgehend, bei Wahl der Frachtoption d .
$cost_{l,d}^{trnsp}$	
Vereinnahmungskosten:	Kosten der Warenvereinnahmung, bei Entladen einer Frachtoption d .
$cost_d^{rcv}$	
Schichtzuschlag:	Schicht- und aktivitätsabhängiger Zuschlag.
$cost^{activity,sf}$	
Mehrarbeitskosten:	Kosten für erbrachte Mehrarbeit.
$cost^{extrahours}$	
Einstellungskosten:	Kosten der Einstellung von Personal mit Qualifikationsprofil q .
$cost_q^{recruitment}$	
Freisetzungskosten:	Kosten der Personalfreisetzung von Qualifikationsprofil q im Betriebsbereich a .
$cost_{a,q}^{release}$	
Weiterbildungskosten:	Kosten der Weiterbildung von Qualifikationsprofil q auf Qualifikationsprofil q'
$cost_{(q,q')}^{training}$	

5.3.4.2 Informationstechnologisches Zielsystem

Auf die Unterteilung eines Zielsystems in Sach- und Formalziele wurde zu Beginn von Abschnitt 5.3 hingewiesen²³³. Aufgrund der Bedeutung von Informationstechnologien für die Einbindung der Planungsabläufe in die betrieblichen Geschäftsprozesse, sind für diese ebenso Zielformulierungen vorzunehmen. Dabei wird das Sachziel dadurch beschrieben, dass die in Kapitel 5 beschriebenen Komponenten gemäß den Planungsabsichten kombiniert und an die betrieblichen Anforderungen angepasst werden sowie das vorhandene IT-System für die Einbindung der zu implementierenden Modellkomponenten vorbereitet wird.

Die Sachziele lassen sich anhand mehrerer Maßnahmen aufteilen:

- Definition von Modell- und Datenbasis
- Modellimplementierung
- Datenbestandserfassung und –Einbindung
- Schnittstellendefinition und –Implementierung
- Integration der Modellkomponenten in das IT-System
- Integration in die Geschäftsprozesse

Beginnend mit der Definition von Modell- und Datenbasis, anhand der in diesem Kapitel vorgestellten Variablen, Parameter, Restriktionen und Zielfunktionen, werden Modellbausteine komponiert, welche die zu lösenden betrieblichen Planungsgegenstände beschreiben. Die resultierenden Kompositionen an einzelnen Bausteinen sind formale Repräsentationen der Planungsgegenstände und müssen, zur Integration und Nutzung in den Geschäftsprozessen, als mathematische Optimierungsmodelle implementiert werden. Um eine zielgerichtete und umfassende Planung vornehmen zu können, darf die notwenige Datenbasis kein einschränkendes Kriterium darstellen, weshalb bereits bei der Modelldefinition die Modellanforderungen nicht der Verfügbarkeit an Daten unterzuordnen ist. Die Datenbasis folgt aus der Definition der Modelle und ist zur erfolgreichen Umsetzung eine notwendige Voraussetzung. Entsprechend muss bei der Datenbestandserfassung geprüft werden, welche Daten in welcher Form bereits vorhanden sind und welche weiteren Daten in Zukunft verfügbar sein müssen. Sobald deren Verfügbarkeit gewährleistet werden kann, gilt es die Daten in das bestehende IT-System, soweit noch nicht vorhanden, einzubinden und Sorge zu tragen, dass Verfahren zur Gewährleistung der Datenaktualität angewandt werden. Um die Optimierungsmodelle operativ im IT-System nutzen zu können, sind Schnittstellen zu implementieren und die Modell-

²³³ Sachziele werden implizit durch die Komposition der Modellbestandteile zur Abbildung des Planungsgegenstands formuliert, wohingegen Formalziele zur Bewertung und Auswahl von Ergebnisalternativen ausdrücklich formuliert werden müssen.

komponenten zu integrieren. Dazu zählt die Maßnahme, zu entscheiden, mit welchen Verfahren die Planungsmodelle zu lösen sind und gegebenenfalls Software²³⁴ zur Verfügung zu stellen. Abschließend sind sämtliche neuen Komponenten in die Geschäftsprozesse und Arbeitsabläufe einzubinden.

Direkt an diesen Maßnahmen kann eine Beschreibung der Formalziele ansetzen, welche gemäß einer einheitlichen Bewertungsgrundlage die kalkulatorischen Kosten der genannten Maßnahmen nutzen. Anhand der aufgeführten Maßnahmen ist nachvollziehbar, dass in Struktur und Vorgehen diese einem IT-Projekt ähneln, weshalb für die Ermittlung der relevanten Kostengrößen im Folgenden Erkenntnisse des IT-Projektmanagements genutzt werden. Bei einem Projekt dieser Art beschreiben die drei Faktoren Kapital, Personal und Zeit²³⁵ die einschränkenden Faktoren, weshalb diese von großer Bedeutung für den Projekterfolg sind. Da Kapital und Kosten, welche als Bewertungsgrundlage der Zielfunktion genutzt werden, auf der gleichen Bezugsgröße basieren und eine Abschätzung der Kosten notwendig ist um überhaupt eine Aussage darüber machen zu können, ob das verfügbare Kapital für das Projekt ausreicht, wird der Kapitalfaktor als einschränkende Größe erst wieder betrachtet, wenn eine Zielfunktion formuliert ist, die es zulässt, Kosten und Kapital miteinander zu vergleichen. Bei Projekten, von denen erwartet wird, dass die Projektergebnisse ein hohes Volumen an Kapital freizusetzen vermögen, ist es in Unternehmen nicht unüblich, diese auf interne Mitarbeiter und externe Dienstleister zu verteilen. Das Prozesswissen liegt dann bei den Mitarbeitern, welche aufgrund ihrer branchenbezogenen Spezialisierung nicht oder in nicht ausreichendem Umfang über das notwendige Methodenwissen verfügen, welches von Dienstleistern beigesteuert wird. Die variabelste Entscheidungsgröße liegt im Arbeits- bzw. Dienstleistungsaufwand, weshalb diese in jeder umzusetzenden Maßnahme aufgegriffen wird:

Variable Entscheidungs- und Kostengrößen

Interne Arbeitsleistung:

workload^{act,intern}

Die interne Arbeitsleistung beschreibt die durch unternehmenseigene Mitarbeiter erbrachte Leistung im Rahmen des Projektes. Die zeitliche Bezugsgröße bei der Ermittlung beruht auf „Manntage“ und verdeutlicht volle Arbeitstage mit einer festen Vorgabe zu leistender Stunden. Die personelle Bezugs-

²³⁴ sog. mathematische Solver

²³⁵ Insbesondere die Faktoren Personal und Zeit spielen eine wichtige Rolle. Dieses wird noch durch die allgemein akzeptierte Größe der „Mannmonate“ bestärkt, welche in der Regel genutzt wird, um eine Aussage über den zu erwarteten Projektaufwand geben zu können.

größe entspricht der Anzahl der im Projekt tätigen Mitarbeiter.

$$workload^{act,intern} = \text{man-days} * projectSf \quad (82)$$

Externe Arbeitsleistung:

$$workload^{act,extern}$$

Die externe Arbeitsleistung beschreibt die beim Dienstleister eingekaufte Leistung in Form von Beratertagen.

Interne Personalkosten:

$$cost^{labour}$$

Lohn- und Gehaltskosten der Mitarbeiter, welche von Maßnahmen unabhängig sind

Externe Dienstleistungskosten:

$$cost^{act,consulting}$$

Dienstleistungs-/Beratungskosten für eine Maßnahme act

Anschaffungskosten:

$$cost^{act,acquisition}$$

Einmalige Kosten für den Bezug von Software/Hardware o.ä.

Um den Anforderungen einer formalen Zielfunktion zu genügen, ist eine Extremierungsvorschrift zu definieren. Wie bei den bereits vorgestellten Zielfunktionen auch, kann diese als Minimierungsvorschrift ausgedrückt werden, da das Formalziel mit der Absicht formuliert wird, eine Umsetzung des beschriebenen Konzeptes mit minimalen Kosten zu erreichen. Das Ergebnis der durch die Zielfunktion geleisteten Kostenbewertung muss folgender Gleichung genügen:

$$costFunction^{IT} \leq assets^{project} \quad (83)$$

Die Zielfunktion kann folgendermaßen formuliert werden:

$$\begin{aligned} \text{MIN } & \sum_a^{\text{Action}} (workload^{a,intern} * cost^{labour} \\ & + workload^{a,extern} * cost^{a,consulting} + cost^{a,acquisition}) \end{aligned} \quad (84)$$

Eine Abschätzung des zu erwartenden Arbeitsaufwands der internen und externen Projektbeteiligten gestaltet sich immer schwierig und setzt neben Erfahrungen im Management von Projekten auch Expertenwissen hinsichtlich der technologischen und methodischen Anforderungen der Projektinhalte voraus.

6 Implementierung

Dieses Kapitel beschreibt, neben der Herleitung von Modellbausteinen, welche auf den in Kapitel 5 vorgestellten Komponenten basieren, die für einen realistischen Anwendungsfall zur Validierung der Modellbausteine ermittelten Planungsergebnisse.

6.1 Modellbausteine

Die unternehmensindividuellen Modellbausteine sind immer von den Zielanforderungen abhängig und können auf vielfältige Art gestaltet und ausformuliert werden, weshalb keine universelle und allgemein gültige Formulierung angenommen werden kann.

Die im Folgenden vorgestellten Modelle leiten sich aus den unternehmensspezifischen Anforderungen ab, wie sie bereits in Kapitel 2 beschrieben wurden. Neben dem Modell zur Knowhow-Sicherung, welches auf strategischer Planungsebene liegt, orientieren sich die verbleibenden Modelle am operativen Planungsgegenstand der Produktions-, Materialbedarfs- und Personalplanung. Aufgrund von Planungskomplexität und damit verbundener hoher Laufzeiten bei der Problemlösung wird kein Simultanmodell entwickelt, sondern der Planungsinhalt auf mehrere Partialmodelle verteilt (s. Abbildung 26).

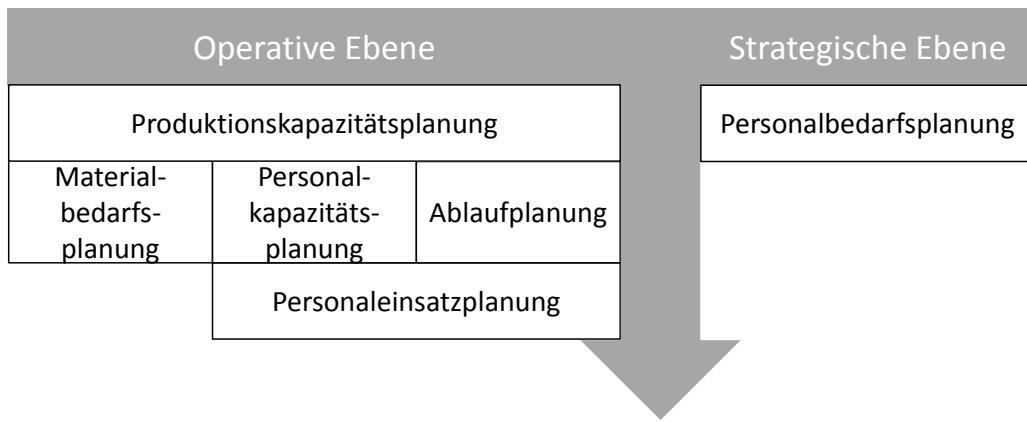


Abbildung 26 Von den Planungsgegenständen abgeleitete Modellbausteine

6.1.1 Produktionskapazitätsplanung

Dieser Abschnitt beschreibt das Partialmodell der Produktionskapazitätsplanung. Es wird als gemischt-ganzzahliges Programm beschrieben und deckt den mittelfristigen Planungsbereich der Produktionsplanung ab. Im Gesamtkontext des operativen Lösungskonzeptes stellt die Produktionskapazitätsplanung die grundlegendste Planungsk-

tivität dar, welche für alle weiteren Planungsaktivitäten bereits wichtige Entscheidungen trifft, die in Wechselwirkung mit den Produktionskapazitäten des Unternehmens stehen.

6.1.1.1 Dekomposition

Aufgrund der Laufzeitkomplexität des Planungsgegenstands, welche zu hohen Lösungsdauern führt, bedarf es eines Dekompositionsverfahrens, das den Aufwand der Lösungsfindung verringert. Bereits das Finden der ersten gültigen Lösung kann viel Zeit in Anspruch nehmen, weshalb ein Dekompositionsverfahren exakt bei dieser Schwierigkeit unterstützen kann. Der im Folgenden vorgestellte Ansatz erweitert ein Verfahren von Stadtler²³⁶, welches eine zeitbasierte Dekomposition darstellt. Der Planungshorizont des Planungsgegenstands wird dazu in kleinere Planungsgrößen unterteilt (s. Abbildung 27), sodass Teilprobleme der ursprünglichen Problemformulierung entstehen, welche aufgrund des reduzierten Planungshorizonts in kürzerer Zeit gelöst werden können.

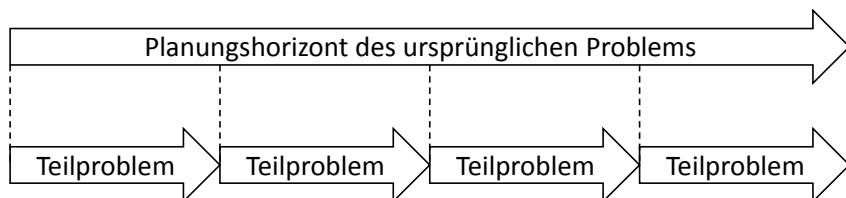


Abbildung 27 Unterteilung des Planungshorizonts in Teilprobleme

Die Teilprobleme sind sukzessive zu lösen, wobei der Übergang von einem Teilproblem $prob_n$ zu $prob_{n+1}$ besonderer Aufmerksamkeit bedarf. Es ist zu gewährleisten, dass Variablen, die in zeitlicher Dimension abhängig sind (bspw. Lagerbestand) zwischen den Teilproblemen wertmäßig transferiert werden, damit nachgelagerte Teilprobleme auf den Planungsergebnissen der vorgelagerten Teilprobleme aufsetzen. Sind alle Teilprobleme gelöst, werden deren Ergebnisse zu einer gültigen Lösung für das ursprüngliche Gesamtproblem verknüpft. Aufgrund der lokalen Optimalität der Teilprobleme, natürlich bedingt durch die Verringerung der Planungshorizonte, wird die globale Qualität der Lösung nicht zwangsläufig optimal sein. Um diesem Umstand zu begegnen und die Ergebnisqualität der Teilprobleme einer globalen Optimalität anzunähern, wird das Dekompositionsverfahren derart erweitert, dass Entscheidungen in vorgelagerten Teilproblemen aufgrund von Erkenntnissen in nachgelagerten Teilproblemen angepasst werden können. Dieses erfolgt durch ein überlappendes Planen von Teilproblemen,

²³⁶ Vgl. [Stad03]

welches sämtliche Erkenntnisse aus den Planungsläufen für eine Neuplanung des initialen Teilproblems verwendet (s. Abbildung 28).

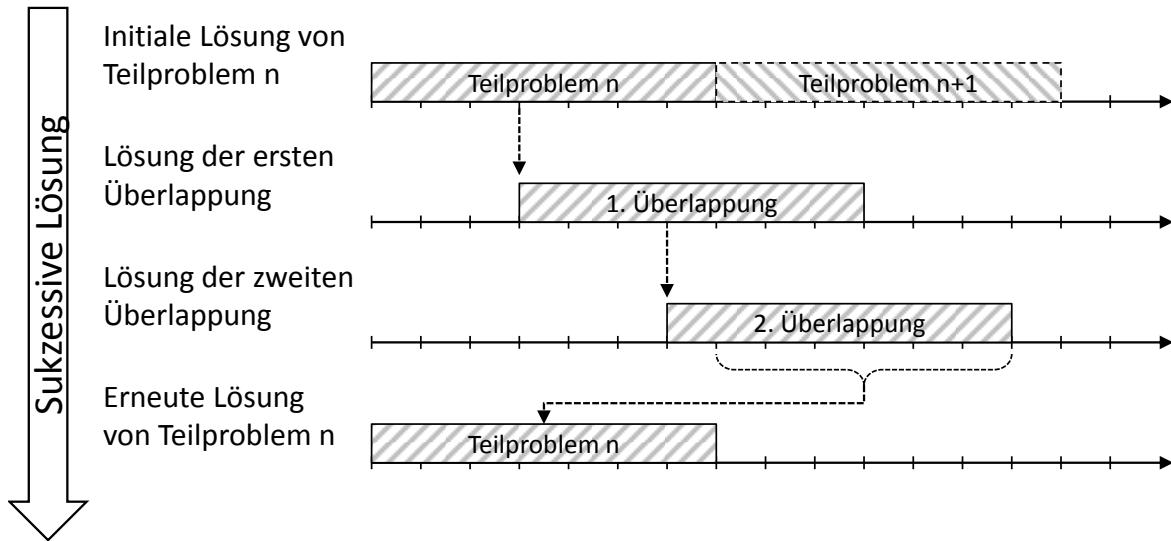


Abbildung 28 Überlappende Planung der Teilprobleme

Durch dieses Vorgehen werden insbesondere Engpässe erkannt, die in der nahen Zukunft auftreten. Entsprechend können Erkenntnisse aus den Planungsergebnissen abgeleitet und zur Parametrisierung des ursprünglichen Teilproblems genutzt werden, so dass bspw. produktionsrelevante Entscheidungen vorgezogen werden.

6.1.1.2 Lagerbilanz

Der primäre Entscheidungsinhalt des Partialmodells besteht in der Bestimmung der Produktionsmengen, welche zur Erfüllung der Kundenbedarfe herangezogen werden. Aufgrund der Tatsache, dass es sich um ein Produktionsumfeld handelt, welches sich über mehrere Produktionsebenen hinweg verteilt, umfassen die Produktionsmengen sowohl die Endprodukte wie auch Halbfertigerzeugnisse, die in die Endprodukte einfließen. Eine weitere, damit direkt verbundene Entscheidungsgröße ist die Entwicklung des Lagerbestands. Sie beschreibt neben der Lieferfähigkeit zum Kunden eine maßgebliche Größe im Fokus des Unternehmens.

$$-\sum_{q:q \neq p}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * pn_{t,m,q} - iy_{t,p} + bg_{t,p} = d_{t,p} - iv_p - id_p + ig_p \quad \text{Lagerbilanz: P1-1}$$

$$, \forall p \in P, t = 0$$

$$iy_{t-1,p} + pn_{t-1,p} - \sum_m^M \sum_{(q:q \neq p)}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * pn_{t,m,q} - iy_{t,p} - bg_{(t-1,p)} + bg_{t,p} \quad \text{Lagerbilanz: P1-2}$$

$$= d_{t,p} , \forall p \in P, t \geq 1$$

$$-\sum_m^M \sum_{q:q \neq p}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * pn_{t,m,p} \leq -iv_p - id_p + ig_p , \forall p \notin FP, t = 0 \quad \text{Lagerbilanz: P1-3}$$

$$iy_{t-1,p} + pn_{t-1,m,p} - \sum_m^M \sum_{q:q \neq p}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * pn_{t,m,q} \geq 0 , \forall p \notin FP, t \geq 1 \quad \text{Lagerbilanz: P1-4}$$

$$iy_{t,p} - M * biy_{t,p} \leq 0 , \forall t \in T, p \in P \quad \text{Lagerbilanz: P1-5}$$

$$bg_{t,p} - M * bbg_{t,p} \leq 0 , \forall t \in T, p \in P \quad \text{Lagerbilanz: P1-6}$$

$$biy_{t,p} + bbg_{t,p} \leq 1 , \forall t \in T, p \in P \quad \text{Lagerbilanz: P1-7}$$

Die Restriktionen P1-1 bis P1-7 beschreiben im Modell die Handhabung der Lagerbilanz. Relevante Entscheidungsvariablen und Parameter sind:

$pn_{t,m,p}$	Variable: Die Produktionsmengen von Produkt p auf Maschinen m in Periode t
$iy_{t,p}$	Variable: Der Lagerbestand von Produkt p in Periode t
$bg_{t,p}$	Variable: Der Lieferrückstand von Produkt p in Periode t
$biy_{t,p}$	Variable: Binärindikator, welcher Lagerbestand von Produkt p in Periode t signalisiert

$bbg_{t,p}$	Variable: Binärindikator, der ausdrückt dass Lieferrückstand von Produkt p in Periode t besteht
a_{pq}	Parameter: Anzahl der Teile p , welche nach Stückliste für die Produktion vom Produkt q gebraucht werden
iv_p	Parameter: Initialer Lagerbestand von Produkt p
id_p	Parameter: Initiale Produktionsausbringung von Produkt p
ig_p	Parameter: Initialer Lieferrückstand von Produkt p
$d_{t,p}$	Parameter: Kundenbedarf an Produkt p In Periode t

6.1.1.3 Zeitkapazitäten

Die im vorherigen Abschnitt vorgestellte Lagerbilanzgleichung dient der Erfüllung der Kundenbedarfe. Die Erfüllung der Bedarfe setzt allerdings eine Verfügbarkeit der Maschinen voraus, welche die einschränkende Kapazität des Planungsmodells darstellen. Entsprechende Kapazität wird im Modell als zeitliche Verfügbarkeit der Maschinen abgebildet, die durch verschiedene Komponenten beeinflusst bzw. verbraucht werden kann. Im Folgenden werden zwei Varianten der Formulierung von Kapazitätsgleichungen vorgestellt. Die erste Variante betrachtet Zeitkapazitäten ohne die Einbeziehung alternativer Leistungsgrade in der Produktion wohingegen die zweite Variante diese ebenfalls betrachtet.

$$\begin{aligned} \sum_p^P ct_{m,p} * pn_{t,m,p} + st_{m,p} * stp_{t,m,p} + (1 - avl_m^{oee}) * ct_{m,p} * pn_{(t,m,p)} \\ + avl_m^{oee} * (1 - prf_m^{oee}) * ct_{m,p} * pn_{t,m,p} \\ + avl_m^{oee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{oee}) * rt_{m,p} * pn_{t,m,p} \\ + mt_m * bMe_{t,m} \leq wte_m^{sf} * sf_{st}, \forall m \in M, t \in T \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{Kapazität:} \\ \text{P1-8} \end{array}$$

$$\begin{aligned} \sum_p^P ct_{m,p} * pn_{t,m,p} + st_{m,p} * stp_{t,m,p} + (1 - avl_m^{oee}) * ct_{m,p} * pn_{(t,m,p)} \\ + avl_m^{oee} * (1 - prf_m^{oee}) * ct_{m,p} * pn_{t,m,p} \\ + avl_m^{oee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{oee}) * rt_{m,p} * pn_{t,m,p} + mt_m * bMe_{t,m} \\ \leq (1 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^1 + (2 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^2 \\ + (3 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^3, \forall m \in M, t \in T \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{Kapazität:} \\ \text{P1-9} \end{array}$$

$$\begin{aligned}
& \left(1 * wte_m^{sf}\right) * tCy_{t,m}^1 + \left(2 * wte_m^{sf}\right) * tCy_{t,m}^2 + \left(3 * wte_m^{sf}\right) * tCy_{t,m}^3 && \text{Kapazität:} \\
& - \sum_p^P ct_{m,p} * pn_{t,m,p} + st_{m,p} * stp_{t,m,p} + (1 - avl_m^{loee}) * ct_{m,p} * pn_{(t,m,p)} && \text{P1-10} \\
& \quad + avl_m^{loee} * (1 - prf_m^{oee}) * ct_{m,p} * pn_{t,m,p} \\
& \quad + avl_m^{loee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{loee}) * rt_{m,p} * pn_{t,m,p} + mt_m * bMe_{t,m} \\
& \quad \leq wte_m^{sf} - 1 , \forall m \in M, t \in T
\end{aligned}$$

$$tCy_{t,m}^0 + tCy_{t,m}^1 + tCy_{t,m}^2 + tCy_{t,m}^3 = 1 , \forall m \in M, t \in T \quad \text{Kapazität:} \\
\text{P1-11}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_p^P ct_{m,p} * pn_{t,m,p} + st_{m,p} * stp_{t,m,p} + (1 - avl_m^{loee}) * ct_{m,p} * pn_{(t,m,p)} && \text{Kapazität:} \\
& \quad + avl_m^{loee} * (1 - prf_m^{oee}) * ct_{m,p} * pn_{t,m,p} \\
& \quad + avl_m^{loee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{loee}) * rt_{m,p} * pn_{t,m,p} + mt_m * bMe_{t,m} \\
= & \left(1 * wte_m^{sf}\right) * tCy_{t,m}^1 + \left(2 * wte_m^{sf}\right) * tCy_{t,m}^2 + \left(3 * wte_m^{sf}\right) * tCy_{t,m}^3 \\
& \quad - tCyDelta_{t,m} , \forall m \in M, t \in T
\end{aligned}
\text{P1-12}$$

Relevante Entscheidungsvariablen und Parameter sind, soweit diese noch nicht einführend vorgestellt wurden:

$ct_{m,p}$	Parameter: Stückbearbeitungszeit des Teils p auf Maschine m
$st_{m,p}$	Parameter: Rüstzeit bei Rüsten der Maschine m für Teil p
$rt_{m,p}$	Parameter: Nacharbeitszeit, die für ein Teil p auf Maschine m veranschlagt wird
avl_m^{loee}	Parameter: Verfügbarkeitsfaktor der Maschine m , welcher Bestandteil der Kennzahl der Gesamtanlageneffektivität ist
prf_m^{oee}	Parameter: Leistungsfaktor der Maschine m , welcher Bestandteil der Kennzahl der Gesamtanlageneffektivität ist
ql_m^{loee}	Parameter: Qualitätsfaktor der Maschine m , welcher Bestandteil der Kennzahl der Gesamtanlageneffektivität ist
mt_m	Parameter: Instandhaltungszeit der Maschine m
$bMe_{t,m}$	Variable: Binärindikator, welcher das Durchführen einer Instandhaltung von Maschine m in Periode t kennzeichnet
wte_m^{sf}	Parameter: Gesamtdauer der verfügbaren Arbeitszeit in einer Schicht für Maschine m

sfs_t	Parameter: Anzahl der nutzbaren Schichten in Periode t
$tCy_{t,m}^0$	Variable: Binärindikator zur Kennzeichnung verplanter Schichten in Periode t auf Maschine m : Verplanung von 0 Schichten
$tCy_{t,m}^1$	Variable: Binärindikator zur Kennzeichnung verplanter Schichten in Periode t auf Maschine m : Verplanung von 1 Schichten
$tCy_{t,m}^2$	Variable: Binärindikator zur Kennzeichnung verplanter Schichten in Periode t auf Maschine m : Verplanung von 2 Schichten
$tCy_{t,m}^3$	Variable: Binärindikator zur Kennzeichnung verplanter Schichten in Periode t auf Maschine m : Verplanung von 3 Schichten
$tCyDelta_{t,m}$	Variable: Restliche verfügbare Zeit der letzten angebrochenen Schicht an einer Maschine m in Periode t

Die Restriktion P1-8 beschreibt die allgemeine Gegenüberstellung von der verplanten Zeitkapazität und der insgesamt verfügbaren Zeitkapazität einer Maschine m in Planungsperiode t . Die Restriktionen P1-8 bis P1-12 beschreiben Kapazitätsrestriktionen ohne Anwendung alternativer Leistungsgrade. Die folgenden Restriktionen erläutern Kapazitätsformulierungen bei Anwendung alternativer Leistungsgrade.

$$\begin{aligned}
 & \sum_{p,g}^{P,G} ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} + st_{m,p} * stp_{t,m,p} && \text{Kapazität m. alt.} \\
 & + (1 - avl_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} && \text{Leistungsgraden:} \\
 & + avl_m^{oee} * (1 - prf_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} && \text{P1-13} \\
 & + avl_m^{oee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} \\
 & + mt_m * bMe_{t,m} \leq wte_m^{sf} * sfs_t , \forall m \in M, t \in T
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_{p,g}^{P,G} ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} + st_{m,p} * stp_{t,m,p} && \text{Kapazität m. alt.} \\
 & + (1 - avl_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} && \text{Leistungsgraden:} \\
 & + avl_m^{oee} * (1 - prf_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} && \text{P1-14} \\
 & + avl_m^{oee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} \\
 & + mt_m * bMe_{t,m} \leq (1 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^1 + (2 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^2 \\
 & \quad + (3 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^3 , \forall m \in M, t \in T
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (1 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^1 + (2 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^2 + (3 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^3 \quad \text{Kapazität m. alt.} \\
& - \sum_{p,g}^{P,G} ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} + st_{m,p} * stp_{t,m,p} \quad \text{Leistungsgraden:} \\
& \quad + (1 - avl_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} \\
& \quad + avl_m^{oee} * (1 - prf_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} \\
& \quad + avl_m^{oee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} \\
& \quad + mt_m * bMe_{t,m} \leq wte_m^{sf} - 1 \quad , \forall m \in M, t \in T
\end{aligned} \tag{P1-15}$$

$$tCy_{t,m}^0 + tCy_{t,m}^1 + tCy_{t,m}^2 + tCy_{t,m}^3 = 1 \quad , \forall m \in M, t \in T \quad \text{Kapazität m. alt.} \\
\text{Leistungsgraden:} \\
\tag{P1-16}$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{p,g}^{P,G} ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} + st_{m,p} * stp_{t,m,p} \quad \text{Kapazität m. alt.} \\
& \quad + (1 - avl_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} \\
& \quad + avl_m^{oee} * (1 - prf_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} \\
& \quad + avl_m^{oee} * prf_m^{oee} * (1 - ql_m^{oee}) * ct_{m,p,g} * pRe_{t,m,p,g} \\
& + mt_m * bMe_{t,m} = (1 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^1 + (2 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^2 \\
& \quad + (3 * wte_m^{sf}) * tCy_{t,m}^3 - tCyDelta_{t,m} \quad , \forall m \in M, t \in T
\end{aligned} \tag{P1-17}$$

$$pn_{t,m,p} = \sum_g^G pRe_{t,m,p,g} \quad , \forall m \in M, t \in T \quad \text{Kapazität m. alt.} \\
\text{Leistungsgraden:} \\
\tag{P1-18}$$

$$pRe_{t,m,p,g} \leq M * pRe_{t,m,p,g}^{BIN} \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P, g \in LG \quad \text{Kapazität m. alt.} \\
\text{Leistungsgraden:} \\
\tag{P1-19}$$

$$pRe_{t,m,p,g} \geq pRe_{t,m,p,g}^{BIN} \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P, g \in LG \quad \text{Kapazität m. alt.} \\
\text{Leistungsgraden:} \\
\tag{P1-20}$$

$$\sum_g^G pRe_{t,m,p,g}^{BIN} \leq 1 \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P, g \in LG \quad \text{Kapazität m. alt.} \\
\text{Leistungsgraden:} \\
\tag{P1-21}$$

6.1.1.4 Ladungsträger

Werden Ladungsträger in den Planungsgegenstand einbezogen, müssen diese in direkten Bezug zu den Produktionsgrößen gesetzt werden. Es ist darauf zu achten, ob alternative Verwendung von Ladungsträgern zulässig ist bzw. ob Ausweichverpackungen bei unzureichendem Ladungsträgerbestand genutzt werden sollen.

$$\sum_l^{LT} cSe_{p,l} * cDd_{t,p,l} = pn_{t,m,p} \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{Ladungsträger: P1-22}$$

$$cDd_{t,p,l} - M * bCDd_{t,p,l} \leq 0 \quad , \forall t \in T, l \in LT, p \in P \quad \text{Ladungsträger: P1-23}$$

$$\sum_l^{LT} bCDd_{t,p,l} \leq 1 \quad , \forall t \in T, p \in P \quad \text{Ladungsträger: P1-24}$$

$$\sum_p^P cDd_{t,p,l} \leq cSk_{t,l} \quad , \forall t \in T, l \in LT \quad \text{Ladungsträger: P1-25}$$

Die genutzten Entscheidungsvariablen und Parameter lauten:

$cSe_{p,l}$	Parameter: Die Kapazität des Ladungsträger l bei Verwendung für das Produkt p
M	Parameter: Eine sehr große Zahl
$cSk_{t,l}$	Parameter: Bestand an Ladungsträger l in Periode t
$cDd_{t,p,l}$	Variable: Der Bedarf an Ladungsträger l für die Produktion von p in Periode t
$pn_{t,m,p}$	Variable: Die Produktionsmengen von Produkt p auf Maschine m in Periode t
$bCDd_{t,p,l}$	Variable: Binärindikator für die Auswahl eines Ladungsträgers

Die Restriktion P1-22 koppelt die Produktionsausbringung mit der Ladungsträgerkapazität derart, dass bei Produktion bestimmt werden muss, welcher Ladungsträger zu nutzen ist. Dieses resultiert in Produktionsmengen, welche immer ein Vielfaches der ausgewählten Ladungsträgerkapazität darstellen, da ausschließlich volle Ladungsträger

zulässig sind. Die Restriktionen P1-23 und P1-24 gewährleisten, dass keine beliebige Mischung von Ladungsträgern möglich ist, sondern immer nur ein Ladungsträgertyp zulässig ist. Außerdem können nur so viele Ladungsträger verplant werden, wie sich zum Zeitpunkt t im Bestand befinden (P1-25).

6.1.1.5 Instandhaltung

Die Auswirkungen von Instandhaltungsentscheidungen auf die verfügbaren Kapazitäten wurden in Abschnitt 5.2.1.2 beschrieben. Im Folgenden werden die Restriktionen vorgestellt, welche zur Entscheidungsfindung verwendet werden. Es gilt zu beachten, dass das betrachtete Produktionsumfeld derart flexibel gestaltet ist, dass Produkte in einzelnen Fällen auch auf alternativen Maschinen hergestellt werden können, weshalb die Instandhaltung ein Optimierungspotential beschreibt, da Instandhaltungsentscheidungen durch Ausweichen auf andere Maschinen herausgezögert werden können.

$$\sum_p^P pn_{t,m,p} + cPn_{t-1,m} = cPn_{t,m} \quad , \forall t \in T, m \in M \quad \text{Instandhaltung: P1-25}$$

$$mQty_m * mCntr_{t,m} + mSlk_{t,m} = cPn_{t,m} \quad , \forall t \in T, m \in M \quad \text{Instandhaltung: P1-26}$$

$$mCntr_{t,m} - mCntr_{t-1,m} = mntce_{t,m} \quad , \forall t \in T, m \in M \quad \text{Instandhaltung: P1-27}$$

Die dafür genutzten Variablen und Parameter lauten:

$mQty_m$	Parameter: Die Leistungsgrenze einer Maschine m , ab welcher eine Instandhaltung durchzuführen ist
$pn_{t,m,p}$	Variable: Die Produktionsmengen von Produkt p auf Maschine m in Periode t
$cPn_{t,m}$	Variable: Die kumulierte Produktionsmenge auf Maschine m bis zur Periode t
$mCntr_{t,m}$	Variable: Die Anzahl der bis zur Periode t durchgeföhrten Instandhaltungen
$mSlk_{t,m}$	Variable: Hilfsvariable

$mntce_{t,m}$ Variable: Binärindikator der eine Instandhaltung in Periode t an Maschine m signalisiert

Da die Instandhaltung einer Maschine von der erbrachten Produktionsleistung abhängig ist, sind die im Planungshorizont geplanten Produktionsmengen zusammenzufassen, was durch die Restriktion P1-25 gewährleistet wird. Die Produktionsleistung ist in jeder Planungsperiode mit den maschinenbezogenen Leistungsintervallen abzugleichen um zu prüfen, ob eine Instandhaltung durchzuführen ist (Restriktion P1-26). Als signalisierender Instandhaltungsindikator dient die Variable $mntce_{t,m}$ (Restriktion P1-27).

6.1.1.6 Verletzung von Lagerkapazitäten

Grenzen der Lagerfähigkeit sollen bei der Lösungsfindung beachtet und unter keinen Umständen überschritten werden, weshalb eine Formulierung der relevanten Restriktionen strikter Art ist. Aufgrund der Komplexität des Planungsgegenstands und der damit einhergehenden sehr zeitintensiven Lösungsfindung, werden im Folgenden zwei Varianten vorgestellt, um Lagerreichweiten einzubeziehen. Die erste Variante basiert auf einer vollständigen Einbeziehung der Planungsaufgabe durch Restriktionen, wohingegen die zweite Variante an die Notwendigkeit eines Dekompositionsverfahrens angepasst ist und nicht immer ein optimales Planungsergebnis hinsichtlich der Lagerreichweiten darstellt.

$$iy_{t,p} \leq \frac{\sum_{t'=t+1}^{t+r} d_{t',p}}{r} * rrange^{MAX} \quad , \forall t \in T, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Lagerreichweite:} \\ \text{P1-28} \end{matrix}$$

$$iy_{t,p} \leq \frac{\sum_{t'=t+1}^{t+r} \sum_m^M \sum_{q:q \neq p}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * pn_{t,m,q}}{r} * rrange^{MAX} \quad , \forall t \in T, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Lagerreichweite:} \\ \text{P1-29} \end{matrix}$$

Die verwendeten Entscheidungsvariablen und Parameter lauten:

r Parameter: Größe des Betrachtungshorizonts, welcher für die Ermittlung der Reichweiten verwendet wird

$d_{t',p}$ Parameter: Kundenbedarf an Produkt p in Periode t

$range^{MAX}$ Parameter: Zulässige Reichweite in Tagen

a_{pq} Parameter: Anzahl der Teile p , welche nach Stückliste für die Produktion vom Produkt q gebraucht werden

\mathbb{P}_p Parameter: Menge der Teile, welche als Nachfolgeprodukt von p dieses in ihrer Stückliste aufweisen

$i y_{t,p}$	Variable: Lagerbestand von Produkt p
$p n_{t,m,q}$	Variable: Produktionsmenge von Produkt p auf Maschine m in Periode t

Die Restriktionen P1-28 und P1-29 sorgen für eine Begrenzung des Lagerbestands auf Basis der zulässigen Reichweite. P1-28 bezieht sich auf Endprodukte, wohingegen P1-29 die Einhaltung der Reichweiten für Zwischenprodukte regelt. Um eine Einbeziehung der Lagerreichweiten auch bei Dekomposition zu ermöglichen, werden im Folgenden die relevanten Restriktionen vorgestellt. Die entsprechenden Formulierungen können allerdings nur eine Annäherung der resultierenden Ergebnisse an eine optimale Einbeziehung, wie in den Restriktionen P1-28 und P1-29, erreichen. Die Grundannahme beruht auf einer vorhergehenden Berechnung der Reichweiten, so dass dieses nicht mehr während der Lösungsfindung erfolgen muss.

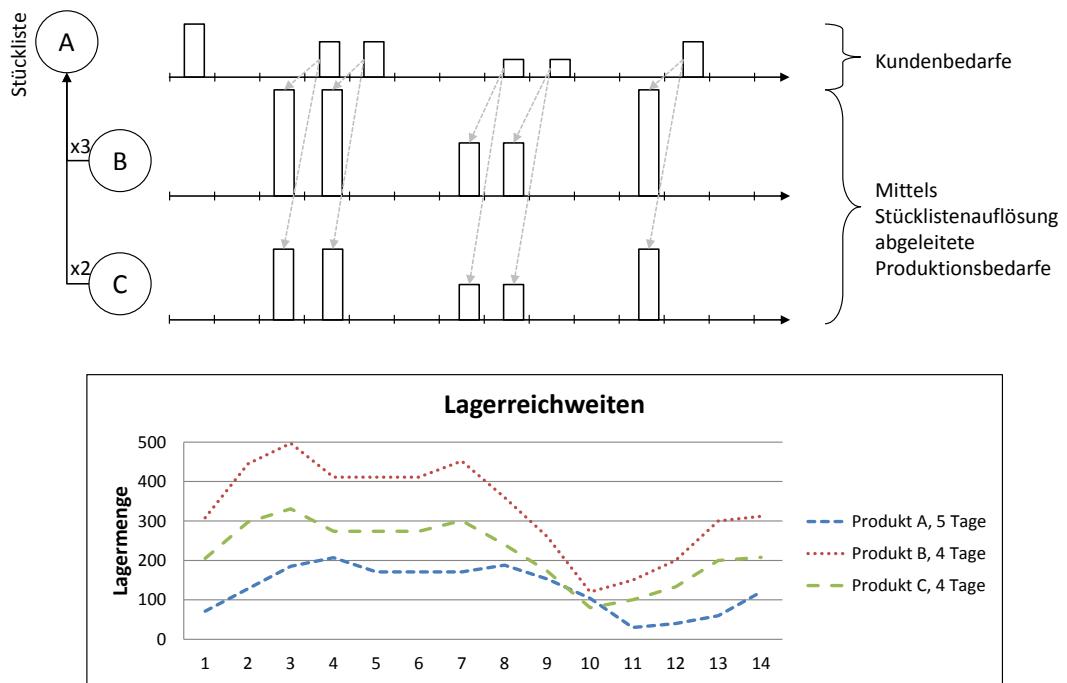


Abbildung 29 Ermittlung der Produktionsbedarfe bei mehrstufiger Fertigung

Dabei ist als problematisch zu erachten, dass die Produktionsmengen $p n_{t,m,p}$ im Voraus nicht bekannt sein können, was insbesondere die Formulierung von Restriktionen, welche äquivalent zu P1-33 sein sollen, unmöglich macht. Eine Annäherung an die produktionsabhängigen Reichweiten kann im Voraus nur durch Bezugnahme auf die bekannten Kundenbedarfe erfolgen. Diese können für sämtliche Endprodukte zur Ermittlung der tatsächlichen Reichweiten genutzt werden. Schwieriger wird es bei Zwischenprodukten, da deren Reichweiten abhängig von den Produktionsentscheidungen der nachfolgenden

Produktionsstufen sind. Diese Entscheidungen sind Bestandteil der Lösungsfindung und nicht im Voraus abschätzbar. Daher werden sämtliche Reichweiten über alle Produktionsstufen hinweg durch Stücklistenauflösung von den Kundenbedarfen abhängig gemacht (vgl. Abbildung 29, oben), indem eine Vorlaufverschiebung von einem Tag vorausgesetzt wird.

Mit der in Kapitel 5.2.4.1 vorgestellten Berechnung von Lagerreichweiten können dann für die End- und Zwischenprodukte Lagergrenzen ermittelt werden (vgl. Abbildung 29, unten). Diese werden als Parameter bei der Formulierung der Restriktionen verwendet, um die maximal zulässige Lagermenge zu definieren. Eine Anwendung des Planungskonzeptes in einer operativen Umgebung hat besondere Anforderungen an die relevanten Reichweitenrestriktionen, da Mengenabweichungen im Produktionsbetrieb auftreten können. Ein sich daraus ergebender Konflikt kann nur zu Beginn der ersten Planungsperiode auftreten²³⁷, weshalb ausschließlich diese gesondert überprüft werden muss. Sollte die Überprüfung positiv ausfallen, was eine Verletzung der Lagerkapazitäten bedeutet, hat dieses Auswirkungen auf die nachfolgenden Planungsperioden.

$$bSAIr_{0,p} = sAd_p \quad , \forall p \in P \quad \begin{matrix} \text{Lagerkapazität:} \\ \text{P1-30} \end{matrix}$$

$$iy_{t,p} - delta * bSAIr_{t,p} \leq mDIy_{t,p} \quad , \forall t \in T, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Lagerkapazität:} \\ \text{P1-31} \end{matrix}$$

$$iy_{t,p} - delta * bSAIr_{t,p} - iy0w_{t,p} \leq dIy_{t,p} \quad , \forall t \in T, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Lagerkapazität:} \\ \text{P1-32} \end{matrix}$$

$$iy_{t,p} - (iv_p + id_p) * bSAIr_{t,p} + mDIy_{t,p} * bSAIr_{t,p} \leq mDIy_{t,p} \quad \begin{matrix} \text{Lagerkapazität:} \\ , \forall t \in T, p \in P \quad \text{P1-33} \end{matrix}$$

$$bSAIr_{t,p} - bSAIr_{t-1,p} \leq 0 \quad , \forall t \in T, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Lagerkapazität:} \\ \text{P1-34} \end{matrix}$$

Die in den Restriktionen genutzten Parameter und Variablen lauten:

sAd_p Parameter: Das Ergebnis der Prüfung einer durch Initiallagerbestand gegebenen Lagerkapazitätsverletzung

²³⁷ Der Konflikt besteht darin, dass die Produktion nicht planmäßig umgesetzt wurde und mengenmäßig die Planmengen übersteigt, was zu einer Verletzung der Lagerreichweiten führen kann.

iv_p	Parameter: Anfangslagerbestand
id_p	Parameter: Produktionsausbringung, welche noch nicht im Lagerbestand verbucht wurde
$delta$	Parameter: Differenz zwischen Lagerbestand und maximal zulässiger Lagerkapazitätsgrenze:
	$delta = iy - mDIy$
$mDIy_{t,p}$	Parameter: Maximal zulässige Lagerkapazitätsgrenze in Planungsperiode t für Produkt p
$dIy_{t,p}$	Parameter: Variable Lagerkapazitätsgrenze in Planungsperiode t für Produkt p , für welche gilt:
	$dIy_{t,p} \leq mDIy_{t,p}$
$bSAIr_{t,p}$	Variable: Binärindikator, welcher über die Zulässigkeit der Einlagerung von Produkten entscheidet
$iy_{t,p}$	Variable: Lagerbestand von Produkt p in Periode t
$iyOw_{t,p}$	Variable: Hilfsvariable

Die Restriktion P1-30 beschreibt die Konsequenz der Überprüfung in der ersten Planungsperiode, indem bei Kapazitätsverletzung das weitere Einlagern vom jeweiligen Produkt untersagt wird. Die Restriktionen P1-31 bis P1-33 gewährleisten die Einhaltung dieser Entscheidung in den Folgeperioden sowie die kontinuierliche Überprüfung dieser Entscheidung, so dass bei Unterschreiten der Grenze erneut eingelagert werden darf. Restriktion P1-34 sorgt dafür, dass die entsprechende binäre Indikatorvariable im Planungshorizont nicht wieder umgesetzt werden kann, so dass planerisch keine Verletzung der Lagerkapazitätsgrenzen zulässig ist.

6.1.1.7 Vorziehen von Planungsentscheidungen

In Abschnitt 6.1.1.1 wurde ein Dekompositionsverfahren vorgestellt, welches das Gesamtproblem in kleinere Teilprobleme unterteilt um die Laufzeit der Lösungsfindung zu verringern, sowie die Qualität der daraus resultierenden, ersten gültigen Gesamtlösung zu verbessern. Letzteres erfolgt durch ein überlappendes Planungsvorgehen, welches Erkenntnisse zukünftiger Planungsergebnisse für eine Neuplanung des ursprünglichen Teilproblems verwendet. Dazu sind Restriktionen den Teilproblemen hinzuzufügen, welche die entsprechenden Maßnahmen umsetzen.

$$iy_{PH,p} \geq iyCy_p^{PH} , \forall p \in P \quad \begin{matrix} \text{Vorziehen:} \\ \text{P1-35} \end{matrix}$$

$$\sum_m^M pn_{PH,m,p} \geq pnCy_p^{PH} , \forall p \in P \quad \begin{matrix} \text{Vorziehen:} \\ \text{P1-36} \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} iy_{PH,p} + \sum_m^M pn_{PH,m,p} - iyBg_{PH,p} + iyFBg_p - \sum_{(q:q \neq p)}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * iyFBg_q \\ \geq iyCy_p^{PH} + pnCy_p^{PH} + fBg_p , \forall p \in P \end{aligned} \quad \begin{matrix} \text{Vorziehen:} \\ \text{P1-37} \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} - \sum_{q:q \neq p}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * iyFBg_q + size_{p,lt}^{MIN} * cFLbz_p \geq iyCy_p^{PH} \\ + pnCy_p^{PH} + fBg_p , \forall p \in P \end{aligned} \quad \begin{matrix} \text{Vorziehen:} \\ \text{P1-38} \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} - \sum_{q:q \neq p}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * iyFBg_q + size_{p,lt}^{MIN} * cFLbz_p \leq iyCy_p^{PH} \\ + pnCy_p^{PH} + fBg_p + size_{p,lt}^{MIN} , \forall p \in P \end{aligned} \quad \begin{matrix} \text{Vorziehen:} \\ \text{P1-39} \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} size_{p,lt}^{MIN} * cFLbz_p \geq iy_{PH,p} + \sum_m^M pn_{PH,m,p} - iyBg_{PH,p} + iyFBg_p \\ - \sum_{(q:q \neq p)}^{\mathbb{P}_p} a_{pq} * iyFBg_q , \forall p \in P \end{aligned} \quad \begin{matrix} \text{Vorziehen:} \\ \text{P1-40} \end{matrix}$$

$$iy_{PH,p} + \sum_m^M pn_{PH,m,p} \leq nPHCy_p , \forall p \in P \quad \begin{matrix} \text{Vorziehen:} \\ \text{P1-41} \end{matrix}$$

Die zur Umsetzung der Restriktionen genutzten Variablen und Parameter lauten:

Parameter: Lagerbestand von Produkt p in Planungsperiode PH
 $iyCy_p^{PH}$ des ursprünglichen Teilproblems, nachdem sämtliche überlappenden Planungen durchlaufen sind

$pnCy_p^{PH}$	Parameter: Produktion von Produkt p in Planungsperiode PH des ursprünglichen Teilproblems, nachdem sämtliche überlappenden Planungen durchlaufen sind
fBg_p	Parameter: Lieferverzug von Produkt p im nachfolgenden Planungsbereich des ursprünglichen Teilproblems, nachdem sämtliche überlappenden Planungen durchlaufen sind
$size_{p,lt}^{MIN}$	Parameter: Kleinste Ladungsträgergröße, welche für Produkt p genutzt werden kann
	Parameter: Zulässige Lagerkapazität der Folgeperioden des ursprünglichen Teilproblems.
$nPHCy_p$	$nPHCy_p = \min(\{maxInventoryCapacity_j + \sum_{i=0}^j primaryDemand_{i,p} \mid \forall j \in F(T)\})$ <p>$F(T)$ beschreibt eine Nachfolgerfunktion und liefert das Teilproblem, welches auf das aktuelle Teilproblem T folgt</p>
a_{pq}	Parameter: Anzahl der Teile p , welche nach Stückliste für die Produktion vom Produkt q gebraucht werden
$iy_{PH,p}$	Variable: Lagerbestand von Produkt p in Planungsperiode PH des ursprünglichen Teilproblems
$pn_{PH,m,p}$	Variable: Produktion von Produkt p in Planungsperiode PH des ursprünglichen Teilproblems
$iyB_{g_{PH,p}}$	Variable: Lieferverzug von Produkt p in Planungsperiode PH des ursprünglichen Teilproblems
$iyFB_{g_p}$	Variable: Zu erwartender Lieferverzug von Produkt p in der nachfolgenden Planungsperiode des ursprünglichen Teilproblems
$cFLbz_p$	Variable: Notwendiger Ladungsträgerbestand zur Erfüllung der zukünftigen Bedarfe von Produkt p

Durch das Verschieben des Planungsbereichs findet eine überlappende Planung statt, welche getroffene Entscheidungen im Überlappungsbereich aufgrund der Hinzunahme weiterer Ereignisse im fortschreitenden Planungshorizont revidieren kann. Die Verschiebung des Planungsbereichs erfolgt solange, wie Planungsperioden des ursprünglichen Planungsbereichs noch Bestandteil der Überlappung sind (s. Abbildung 30).

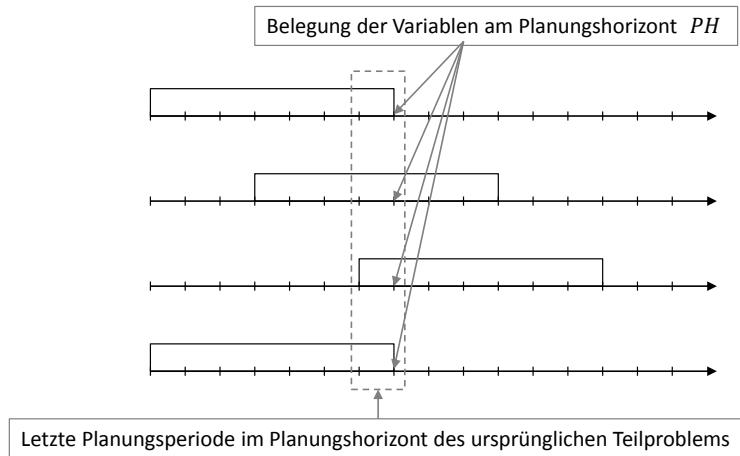


Abbildung 30 Abbildungsäquivalente Planungsperioden bei Verschieben des Planungsbereichs

Die Restriktionen P1-35 und P1-36 koppeln den ursprünglichen Planungsbereich mit den Ergebnissen der Überlappungsbereiche, indem die Belegung der Variablen des Lagers und der Produktionsmengen der letzten überlappenden Planung, welche mit der letzten Planungsperiode im ursprünglichen Planungsbereich äquivalent sind, als Untergrenze für Lager und Produktion am Planungshorizont gesetzt werden. Dadurch wird gewährleistet, dass die vergangenen Entscheidungen nur soweit revidiert werden, dass die einmal erreichten Variablenwerte mindestens erneut erreicht werden. Die Restriktion P1-37 beschreibt eine modifizierte Lagerbilanzgleichung, welche ausschließlich in der letzten Periode des Planungshorizonts Anwendung findet. Sie ist durch die Lager- und Produktionsvariablen mit den restlichen Lagerbilanzgleichungen verbunden und hat die Aufgabe, Produktionsentscheidungen durch die Informationen zu zukünftigem Lieferverzug zu beeinflussen. Dazu werden die Werte der Verzugsvariablen aus der überlappenden Planung als Bedarfe interpretiert, welche durch eine Produktion im ursprünglichen Planungsbereich erfüllt werden können. Des Weiteren werden Lieferverzugsvariablen von nachfolgenden Produkten in dieser Lagerbilanzgleichung beachtet, da diese im nachfolgenden Teilproblem nachzuholen sind und dementsprechend eine Materialversorgung gewährleistet werden muss, so dass bereits Entscheidungen hinsichtlich einer vorgezogenen Produktion von Zwischenprodukten getroffen werden können. Bei ausreichender Kapazität könnte die Entscheidung, soviel wie möglich zu produzieren, genügen, um Lieferfähigkeit zu erreichen, wobei der Aspekt begrenzter Lagerreichweiten und Kostenoptimalität eine entscheidende Rolle spielt. Daher ist es notwendig, die Reichweiten von Lager und Produktion derart zu begrenzen, dass die Forderungen nach Lieferfähigkeit bestmöglich erfüllt werden ohne weitere Kosten zu verursachen oder Reichweiten zu verletzen. Die Restriktionen P1-38 bis P1-41 sorgen für das Einhalten

der Reichweiten und regeln zudem eine Einschränkung der verursachten Kosten. In den Restriktionen P1-38 und P1-39 wird die minimale Teilemenge in Abhängigkeit von Ladungsträgern bestimmt, welche notwendig ist um sämtliche Bedarfe aus den Vorgaben der Überlappung sowie des Lieferverzugs zu erfüllen. Dieser Wert wird in Restriktion P1-40 als Obergrenze verwendet, um die gesamte Lagerbilanz zu beschränken und somit unnötige Kosten zu vermeiden. Ergänzend dazu sind die Reichweiten des folgenden Teilproblems zu beachten, welche aufgrund des begrenzten Planungshorizonts nicht Bestandteil des Planungsgegenstands sind. Dieses erfolgt in der Restriktion P1-41, wobei die Reichweiten bereits im Vorfeld berechnet und zur Parametrisierung genutzt werden können. Somit ist die Teilemenge am Ende des Planungshorizonts durch zwei Obergrenzen beschränkt. Die Begrenzung in Restriktion P1-40 basiert auf der minimalsten Teilemenge, die zur Erfüllung sämtlicher Bedarfe notwendig ist, wohingegen P1-41 eine Verletzung zukünftiger Reichweiten vermeidet. Dazu wird für jede Periode des nachfolgenden Teilproblems der kumulierte Kundenbedarf mit der zulässigen maximalen Lagerkapazität der Periode zusammengefasst, wobei der minimalste dieser Werte als zulässige Obergrenze des aktuellen Planungshorizonts gewählt wird.

$maxInventoryCapacity$	160	130	110	90	90	100	110
$primaryDemand$	60	25	35	0	0	25	0
$\sum_{i=0}^j primaryDemand_{i,p}$	60	85	120	120	120	145	145
$maxInventoryCapacity_j + \sum_{i=0}^j primaryDemand_{i,p}$	220	215	230	210	210	245	255

Minimum sämtlicher berechneter Werte des nachfolgenden Teilproblems
 

Abbildung 31 Berechnung einer minimalen, zulässigen Reichweite

Dadurch kann garantiert werden, selbst wenn die Lagerkapazität maximal ausgenutzt wird, dass im nachfolgenden Teilproblem bis zum Erreichen des gewählten Minimums keine Verletzung der Lagerkapazitäten auftreten kann, da sämtliche Bedarfe aus dem Lager erfüllt werden (vgl. Abbildung 31 u. Abbildung 32).

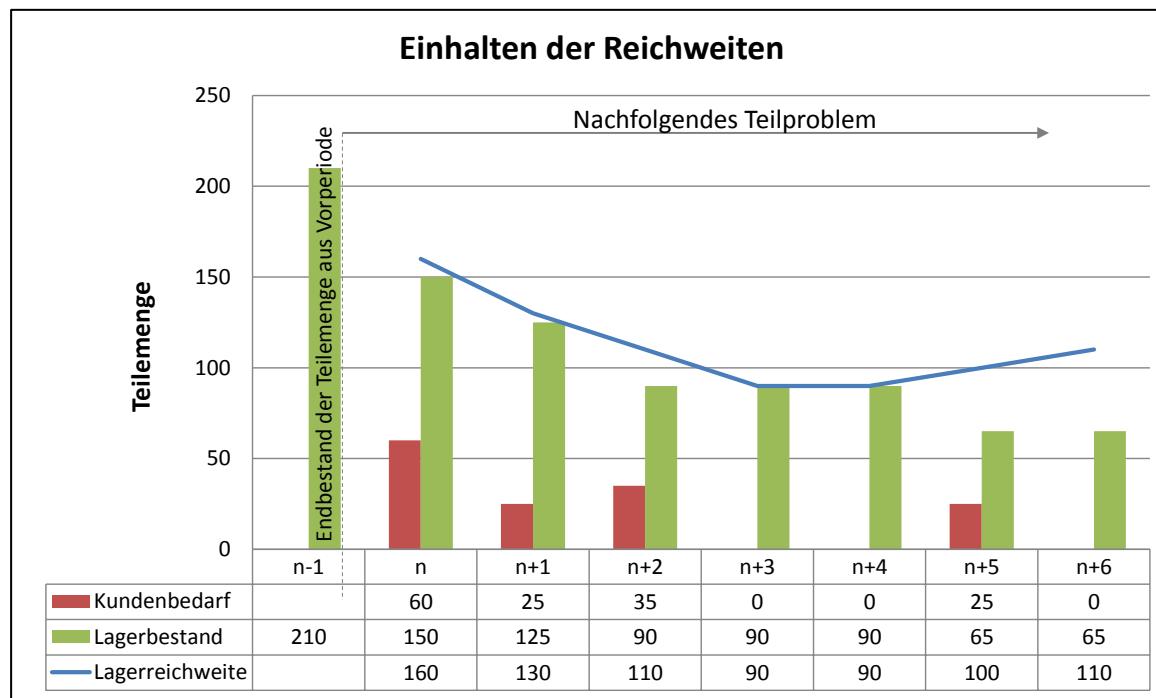


Abbildung 32 Beispiel zur Einhaltung von Reichweiten bei aufeinanderfolgenden Teilproblemen

6.1.1.8 Angleichen der Produktionsmengen

Im folgenden Abschnitt werden Formulierungen für die Angleichung der Produktionsmengen innerhalb eines festen Horizonts vorgestellt. Eine allgemeine Beschreibung dieses Planungsgegenstands kann in Abschnitt 5.2.1.2 nachgelesen werden.

Die Formulierung erfolgt derart, dass die Differenz zwischen den Produktionsvariablen ermittelt und diese in die Zielfunktion aufgenommen wird, um eine Angleichung der Produktionsmengen durch eine Verbesserung des Zielfunktionswerts zu erhalten. Für jede Periode u im Intervall T ist zu bestimmen, ob die Produktionsvariable $pn_{u,m,p}$ die minimale oder maximale Produktionsmenge darstellt:

$$\min(u_1, \dots, u_n) = \min Production_{T,p}$$

$$\max(u_1, \dots, u_n) = \max Production_{T,p}$$

Die folgenden Restriktionen beziehen sich auf einen Planungsintervall von 7 Tagen, von denen 5 Arbeitstage zur Angleichung herangezogen werden. Insgesamt sind bei 5 Arbeitstagen 4 Vergleiche durchzuführen (vgl. Abbildung 33), um das Minimum bzw. Maximum zu ermitteln. Zur anschaulicherer Beschreibung werden die jeweiligen Restriktionen im Folgenden in zwei Gruppen aufgeteilt.

Die erste Gruppe beinhaltet folgende Restriktionen:

$$pn_{u_1,m,p} - pnDiffMax1_{\frac{t}{7},m,p} \leq 0 \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{Produktionsglättung: P1-42}$$

$$pn_{u_2,m,p} - pnDiffMax1_{\frac{t}{7},m,p} \leq 0 \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{Produktionsglättung: P1-43}$$

$$pn_{u_1,m,p} - pnDiffMax1_{\frac{t}{7},m,p} + M * pnDiffMax1_{\frac{t}{7},m,p}^{BIN1} \geq 0 \quad \text{Produktionsglättung: P1-44} \\ , \forall t \in T, m \in M, p \in P$$

$$pn_{u_2,m,p} - pnDiffMax1_{\frac{t}{7},m,p} + M * pnDiffMax1_{\frac{t}{7},m,p}^{BIN2} \geq 0 \quad \text{Produktionsglättung: P1-45} \\ , \forall t \in T, m \in M, p \in P$$

$$pnDiffMax1_{\frac{t}{7},m,p}^{BIN1} + pnDiffMax1_{\frac{t}{7},m,p}^{BIN2} \leq 1 \quad \text{Produktionsglättung: P1-46} \\ , \forall t \in T, m \in M, p \in P$$

Der Ergebniswert, das Maximum beider Zahlen, wird in der Variable $pnDiffMax1_{\frac{t}{7},m,p}$ gebildet und als Referenz für die weiteren Vergleiche genutzt. Die zweite Gruppe lautet:

$$pn_{u_i,m,p} - pnDiffMax[2,3,4]_{\frac{t}{7},m,p} \leq 0 \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{Produktionsglättung: P1-47}$$

$$pnDiffMax[1,2,3]_{\frac{t}{7},m,p} - pnDiffMax[2,3,4]_{\frac{t}{7},m,p} \leq 0 \quad \text{Produktionsglättung: P1-48} \\ , \forall t \in T, m \in M, p \in P$$

$$pn_{u_i,m,p} - pnDiffMax[2,3,4]_{\frac{t}{7},m,p} \quad \text{Produktionsglättung:} \\ + M * pnDiffMax[2,3,4]_{\frac{t}{7},m,p}^{BIN1} \geq 0, \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{P1-49}$$

$$pnDiffMax[1,2,3]_{\frac{t}{7},m,p} - pnDiffMax[2,3,4]_{\frac{t}{7},m,p} \quad \text{Produktionsglättung:} \\ + M * pnDiffMax[2,3,4]_{\frac{t}{7},m,p}^{BIN2} \geq 0, \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{P1-50}$$

$$pnDiffMax[2,3,4]_{\bar{t},m,p}^{BIN1} + pnDiffMax[2,3,4]_{\bar{t},m,p}^{BIN2} \leq 1 \quad \text{Produktionsglättung:} \\ , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{P1-51}$$

Diese Gruppe dient den restlichen verbleibenden drei Vergleichen, was durch Zusammenfassen der entsprechenden Vergleichsvariablen in Form von [1, 2, 3] bzw. [2, 3, 4] ausgedrückt wird. Die zusammengehörenden Vergleichspaare sind (1,2), (2,3) und (3,4). Analog dazu erfolgt die Formulierung der Bestimmung des Minimums:

$$pn_{u_1,m,p} - pnDiffMin1_{\bar{t},m,p} \geq 0 \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{Produktionsglättung:} \\ \text{P1-52}$$

$$pn_{u_2,m,p} - pnDiffMin1_{\bar{t},m,p} \geq 0 \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{Produktionsglättung:} \\ \text{P1-53}$$

$$pn_{u_1,m,p} - pnDiffMin1_{\bar{t},m,p} - M * pnDiffMin1_{\bar{t},m,p}^{BIN1} \leq 0 \quad \text{Produktionsglättung:} \\ , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{P1-54}$$

$$pn_{u_2,m,p} - pnDiffMin1_{\bar{t},m,p} - M * pnDiffMin1_{\bar{t},m,p}^{BIN2} \leq 0 \quad \text{Produktionsglättung:} \\ , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{P1-55}$$

$$pnDiffMin1_{\bar{t},m,p}^{BIN1} + pnDiffMin1_{\bar{t},m,p}^{BIN2} \leq 1 \quad \text{Produktionsglättung:} \\ , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{P1-56}$$

$$pn_{u_i,m,p} - pnDiffMin[2,3,4]_{\bar{t},m,p} \geq 0, \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{Produktionsglättung:} \\ \text{P1-57}$$

$$pnDiffMin[1,2,3]_{\bar{t},m,p} - pnDiffMin[2,3,4]_{\bar{t},m,p} \geq 0 \quad \text{Produktionsglättung:} \\ , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{P1-58}$$

$$pn_{u_i,m,p} - pnDiffMin[2,3,4]_{\bar{t},m,p} \quad \text{Produktionsglättung:} \\ - M * pnDiffMin[2,3,4]_{\bar{t},m,p}^{BIN1} \leq 0, \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{P1-59}$$

$$\begin{aligned} & pnDiffMin[1,2,3]_{\bar{t},m,p} - pnDiffMin[2,3,4]_{\bar{t},m,p} \quad \text{Produktionsglättung:} \\ & - M * pnDiffMin[2,3,4]_{\bar{t},m,p}^{BIN2} \leq 0, \forall t \in T, m \in M, p \in P \end{aligned} \quad \text{P1-60}$$

$$\begin{aligned} & pnDiffMin[2,3,4]_{\bar{t},m,p}^{BIN1} + pnDiffMin[2,3,4]_{\bar{t},m,p}^{BIN2} \leq 1 \quad \text{Produktionsglättung:} \\ & , \forall t \in T, m \in M, p \in P \end{aligned} \quad \text{P1-61}$$

Abschließend ist die Differenz zwischen Minimum und Maximum zu bestimmen:

$$\begin{aligned} & pnDiffet_{\bar{t},m,p} = pnDiffMax4_{\bar{t},m,p} - pnDiffMin4_{\bar{t},m,p} \quad \text{Produktionsglättung:} \\ & , \forall t \in T, m \in M, p \in P \end{aligned} \quad \text{P1-62}$$

Da Minimum und Maximum über sämtliche Werte in den Variablen $pnDiffMax4_{\bar{t},m,p}$ bzw. $pnDiffMin4_{\bar{t},m,p}$ gebildet werden, sind diese zur Ermittlung der Differenz heranzuziehen (P1-62). Die Variablen und Parameter lauten:

M	Parameter: Eine große Zahl
$pn_{u_n,m,p}$	Variable: Produktionsvariable in Planungsperiode u_n auf Maschine m für Produkt p
$pnDiffMax[1,2,3,4]_{\bar{t},m,p}$	Variable: Repräsentiert den Maximalwert des Vergleichs auf [1., 2., 3., 4.] Ebene
$pnDiffMax[1,2,3,4]_{\bar{t},m,p}^{BIN1}$	Variable: Hilfsvariable der ersten Vergleichsvariable des Vergleichs auf [1., 2., 3., 4.] Ebene
$pnDiffMax[1,2,3,4]_{\bar{t},m,p}^{BIN2}$	Variable: Hilfsvariable der zweiten Vergleichsvariable des Vergleichs auf [1., 2., 3., 4.] Ebene
$pnDiffMin[1,2,3,4]_{\bar{t},m,p}$	Variable: Repräsentiert den Minimalwert des Vergleichs auf [1., 2., 3., 4.] Ebene
$pnDiffMin[1,2,3,4]_{\bar{t},m,p}^{BIN1}$	Variable: Hilfsvariable der ersten Vergleichsvariable des Vergleichs auf [1., 2., 3., 4.] Ebene
$pnDiffMin[1,2,3,4]_{\bar{t},m,p}^{BIN2}$	Variable: Hilfsvariable der zweiten Vergleichsvariable des Vergleichs auf [1., 2., 3., 4.] Ebene
$pnDiffet_{\bar{t},m,p}$	Variable: Differenz zwischen Minimum und Maximum aller verglichener Werte

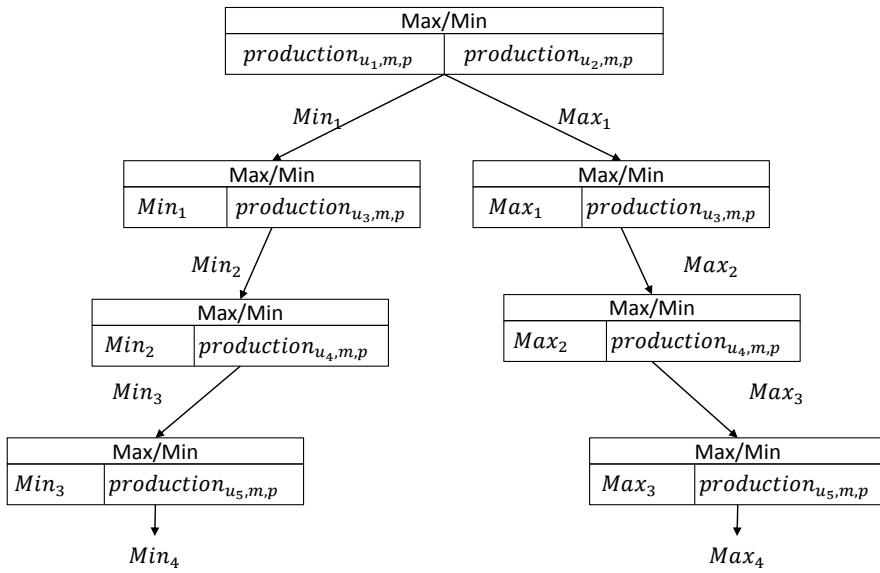


Abbildung 33 Vorgehen zur Ermittlung der minimalen und maximalen Produktionsmengen innerhalb eines fixierten Glättungsintervalls

Die gebildete Differenz wird in die Zielfunktion aufgenommen und mit Strafkosten bewertet, so dass eine Verbesserung des Zielfunktionswerts zu einer Angleichung der Produktionsmengen führen kann.

6.1.1.9 Sonstiges

Im Folgenden werden Restriktionen beschrieben, welche zum einen die Produktion direkt an einen Rüstvorgang koppeln und zum anderen, bei Auflegen eines Loses, eine minimale Produktionsmenge vorschreiben.

$$pn_{t,m,p} - M * stp_{t,m,p} \leq 0 \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{Rüsten: P1-63}$$

$$pn_{t,m,p} - stp_{t,m,p} \geq 0 \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \text{Rüsten: P1-64}$$

$$pn_{t,m,p} - minQty_p * stp_{t,m,p} \geq 0 \quad , \forall t \in T, m \in M, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Produktionsmenge:} \\ \text{P1-65} \end{matrix}$$

Die Restriktionen P1-63 und P1-64 koppeln Produktion und Rüsten miteinander, so dass eine Produktion immer nur erfolgen kann, wenn ein Rüstvorgang in der gleichen Planungsperiode eingeplant wird. Zudem wird durch die Restriktionen verhindert, dass Rüsten ohne eine Produktion stattfinden kann. Restriktion P1-65 sorgt, wenn eine Produktion stattfinden soll, für die Einhaltung von Mindestmengen in der Produktion.

M	Parameter: Eine große Zahl
$minQty_p$	Parameter: Die vorgeschriebene Mindestmenge
$pn_{t,m,p}$	Variable: Produktionsvariable
$stp_{t,m,p}$	Variable: Binäre Rüstvariable

6.1.1.10 Zielfunktion

Nachdem sämtliche Restriktionen des Modells der Produktionskapazitätsplanung vorgestellt wurden, ist noch die Zielfunktion zu formulieren.

Diese lautet:

$$\begin{aligned}
 Min Cost = & \sum_{t,m,p}^{T,M,P} (stpCost_{t,m,p} * stp_{t,m,p} + pnCost_{t,m,p} * pn_{t,m,p}) \\
 & + \sum_{t:(t \bmod 7=0),m,p}^{T,M,P} smPtyCost_{m,p} * pnDiffet_{\frac{t}{7},m,p} \\
 & + \sum_{t,p}^{T,P} (iyCost_p * iy_{t,p} + bgPtyCost_p * iyB_{g,t,p}) + \sum_p^P fBgPtyCost_p * iyFB_{g,p} \\
 & + \sum_{t,m}^{T,M} mntceCost_{t,m} * mntce_{t,m} \\
 & + \sum_{t,m}^{T,M} (eSftCost * tCy_{t,m}^1 + lSftCost * tCy_{t,m}^2 + nSftCost * tCy_{t,m}^3) \\
 & + \sum_{t,m}^{T,M} tCyPtyCost * tCyDelta_{t,m}
 \end{aligned}$$

Die Kostengrößen der Zielfunktion sind realem Ursprung, werden aber durch Strafkosten ergänzt, welche keiner realen Größe entsprechen. Die Variablen sowie Kostengrößen der Zielfunktion lauten:

$stpCost_{t,m,p}$	Kostengröße: Rüstkosten der Anlage m für Produkt p in Periode t
-------------------	---

$pnCost_{t,m,p}$	Kostengröße: Produktionskosten pro Stück p auf Anlage m in Periode t
$smPtyCost_{m,p}$	Kostengröße: Strafkosten zur Angleichung der Produktionsmengen
$iyCost_p$	Kostengröße: Lagerkosten des Produktes p
$bgPtyCost_p$	Kostengröße: Pönale für Lieferverzug von Produkt p
$fBgPtyCost_p$	Kostengröße: Pönale für Lieferverzug von Produkt p , bei Kopplung von Teilmodellen.
$mntceCost_{t,m}$	Kostengröße: Instandhaltungskosten von Anlage m in Periode t
$eSftCost$	Kostengröße: Fixe Schichtkosten einer Frühschicht
$lSftCost$	Kostengröße: Fixe Schichtkosten einer Spätschicht
$nSftCost$	Kostengröße: Fixe Schichtkosten einer Nachschicht
$tCyPtyCost$	Kostengröße: Strafkosten zur bei nicht voller Auslastung von Schichten
$stp_{t,m,p}$	Variable: Binäre Rüstvariable
$pn_{t,m,p}$	Variable: Produktionsmenge
$pnDiffet_{\frac{7}{7},m,p}$	Variable: Produktionsdifferenz innerhalb eines Angleichungsintervalls
$iy_{t,p}$	Variable: Lagerbestand
$iyBgg_{t,p}$	Variable: Lieferverzug
$iyFBg_p$	Variable: Erwarteter Lieferverzug bei Kopplung von Teilmodellen
$mntce_{t,m}$	Variable: Binäre Instandhaltungsvariable
$tCy_{t,m}^1$	Variable: Binärer Indikator für einen geplanten Einschichtbetrieb
$tCy_{t,m}^2$	Variable: Binärer Indikator für einen geplanten Zweischichtbetrieb

$tCy_{t,m}^3$	Variable: Binärer Indikator für einen geplanten Dreischichtbetrieb
$tCyDelta_{t,m}$	Variable: Freie, ungenutzte Kapazität innerhalb einer Schicht

6.1.2 Reihenfolgeplanung

Die Reihenfolgeplanung, welche im Folgenden beschrieben wird, knüpft direkt an die Planung der Produktionskapazitäten an und nutzt Planungsergebnisse des vorgelagerten Optimierungsmodells zur eigenen Parametrisierung. Das Planungsmodell wird ebenfalls als ein gemischt-ganzzahliges Optimierungsmodell formuliert, mit der Aufgabe sämtliche betrieblichen Aktivitäten in eine koordinierte Abfolge zu bringen.

6.1.2.1 Lagerbilanz

Ähnlich der Lagerbilanzgleichung im Modell der Produktionskapazitätsplanung, gilt es bei der Festlegung der Aktivitätsabfolge die Sicherstellung der Produktionsbedarfe zu gewährleisten. Da das Optimierungsmodell direkt an den Planungsabschluss der Kapazitätsplanung anknüpft, werden die Produktionsbedarfe aus dessen Planungsergebnissen abgeleitet.

$$\left\lfloor \frac{timeSlot_{t,s}}{ct_{m,p}} \right\rfloor * stpSte_{t,s,m,p} - iy_{t,s,p} = 0, \forall t \in T, s \in S, m \in M, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Lagerbilanz:} \\ \text{P2-1} \end{matrix}$$

$$iy_{t,s-1,p} + \left\lfloor \frac{timeSlot_{t,s}}{ct_{m,p}} \right\rfloor * stpSte_{t,s,m,p} - iy_{t,s,p} = 0 \quad \begin{matrix} \text{Lagerbilanz:} \\ \text{P2-2} \end{matrix}$$

$$, \forall t \in T, s \in S, m \in M, p \in P$$

$$iy_{t,s,p} \geq eOPCy_{t,p}, \forall s \in S^{end}, \forall t \in T, s \in S, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Lagerbilanz:} \\ \text{P2-3} \end{matrix}$$

Die Restriktion P2-3 beschreibt die Einbindung der Planungsergebnisse, indem der Lagerbestand der letzten Planungsperiode eines Arbeitstages durch eine Untergrenze beschränkt wird. Diese Untergrenze ist die Produktionsmenge, welche im Kapazitätsmodell bereits an diesen Arbeitstag verplant wurde und welche nun in einem detaillierten Zeitraster des Arbeitstages angeordnet werden muss. Dieses wiederum erfolgt durch die Restriktionen P2-1 und P2-2, welche die eigentliche Lagerbilanz ausdrücken. Dabei wird angenommen, dass eine Planungsperiode immer voll ausgenutzt und nur ein einzi-

ges Produkt hergestellt wird (all-or-nothing). Implizit wird in diesen beiden Restriktionen die Kopplung von Produktion und Rüsten gewährleistet.

Die Variablen und Parameter der Lagerbilanzgleichung lauten:

$timeSlot_{t,s}$	Parameter: Die verfügbare Zeit des Zeitabschnitts s am Arbeitstag t
$ct_{m,p}$	Parameter: Stückbearbeitungszeit des Produktes p auf Maschine m
$\left\lfloor \frac{timeSlot_{t,s}}{ct_{m,p}} \right\rfloor$	Parameter: In einem Zeitabschnitt herstellbare Menge des Produktes p
$eOPCy_{t,p}$	Parameter: Planungsergebnis der Kapazitätsplanung. Untergrenze des Endlagerbestands des Produktes p am Arbeitstag t
$iy_{t,s,p}$	Variable: Lagerbestand des Produktes p im Zeitabschnitt s des Arbeitstages t
$stpSte_{t,s,m,p}$	Variable: Binäre Indikatorvariable des Rüstzustands von Maschine m im Zeitraster s am Arbeitstag t für Produkt p

6.1.2.2 Rüsten

Die notwendigen Restriktionen zum Herstellen des Rüstzustands einer Maschine werden im Folgenden vorgestellt.

$$\sum_p^P stpSte_{t,s,m,p} \leq 1, \forall t \in T, s \in S, m \in M \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-4} \end{matrix}$$

$$\sum_p^P stp_{t,s,m,p} \leq 1, \forall t \in T, s \in S, m \in M \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-5} \end{matrix}$$

$$stpSte_{t,s,m,p} + stp_{t,s,m,p} \leq 1, \forall t \in T, s \in S, m \in M, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-6} \end{matrix}$$

$$stpSte_{t,s,m,p} = initStp_{t,m}, t = 0, s = 0, \forall m \in M, \forall p \in P \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-7} \end{matrix}$$

$$stpSte_{t,s,m,p} - stpSte_{t,s-1,m,p} - stpFnd_{t,s,m,p} \leq 0 \quad , \forall t > 0, \forall s > 0 \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-8} \end{matrix}$$

$$stp_{t,s,m,p} = 0 \quad , t = t^{MAX}, s = s^{MAX} \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-9} \end{matrix}$$

$$stp_{t,s,m,p} - stp_{t,s+1,m,p} - stpSte_{t,s+1,m,p} \leq 0 \quad , \forall t < t^{MAX}, \forall s < s^{MAX} \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-10} \end{matrix}$$

$$stp_{t,s,m,p} + \sum_{q:q \neq p}^P stpSte_{t,s,m,q} \leq 1, \forall t \in T, s \in S, m \in M, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-11} \end{matrix}$$

$$stpSte_{t,s,m,p} + stp_{t,s+1,m,p} \leq 1 \quad , \forall s < s^{MAX}, t \in T, m \in M, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-12} \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} stpCmld_{t,s-1,m,p} + stpCoef t_{t,s,m,p} * stp_{t,s,m,p} - stpCmld_{t,s,m,p} \\ - stpFnd_{t,s,m,p} = 0, \forall t \in T, s \in S, m \in M, p \in P \end{aligned} \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-13} \end{matrix}$$

$$stpOng_{t,s,m,p} \leq 0 \quad , t = t^{MAX}, s = s^{MAX} \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-14} \end{matrix}$$

$$stpOng_{t-1,s,m,p} - stp_{t,s,m,p} \leq 0, \forall t \in T, s \in S, m \in M, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-15} \end{matrix}$$

$$stpCmld_{t,s,m,p} - M * stpOng_{t,s,m,p} \leq 0, \forall t \in T, s \in S, m \in M, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-16} \end{matrix}$$

$$1 - stpFnd_{t,s,m,p} \geq stpOng_{t,s,m,p}, \forall t \in T, s \in S, m \in M, p \in P \quad \begin{matrix} \text{Rüsten:} \\ \text{P2-17} \end{matrix}$$

Da die Lagerbilanz und damit die Produktionsfähigkeit über die Variable des Rüstzustands mit den Rüstrestriktionen gekoppelt ist, muss durch Restriktion P2-4 gewährleistet werden, dass eine Maschine immer nur maximal einen Rüstzustand aufweisen kann. Aufgrund der detaillierten Unterteilung des Zeitrasters können Rüstzeiten größer sein,

als innerhalb eines Zeitfensters zur Verfügung gestellt werden. Daher sind mehrere Rüstperioden durchzuführen, bis der endgültige Rüstdzustand hergestellt ist. Restriktion P2-5 sorgt dafür, dass maximal ein Rüstdvorgang auf einer Maschine durchgeführt werden kann und Restriktion P2-6 verhindert, dass eine Maschine gleichzeitig gerüstet wird und bereits in einem produktionsfähigen Zustand ist. Die Restriktionen 2-7 bis 2-10 regeln das Fortschreiben der Rüst- bzw. Rüstdzustandsvariablen und beschreiben die möglichen Folgezustände. Auch Restriktion 2-12 dient der Regelung der Folgezustände, wobei verhindert wird, dass eine Maschine, die in einem produktionsfähigen Rüstdzustand ist, in der Folgeperiode erneut in den gleichen Rüstdzustand versetzt wird. Von besonderer Bedeutung ist die Restriktion P2-13, welche das mehrere Perioden andauernde Rüsten beschreibt. Dabei wird ein Rüstdkoeffizient ($stpCoef$) verwendet, welcher den Anteil des Zeitfensters am gesamten Rüstdprozess ausdrückt. Dieser wird über mehrere Perioden in einer Variable ($stpCml$) aufsummiert und erst im letzten Rüstdzeitfenster wird die, das Rüstdende beschreibende, Variable ($stpFnd$) entsprechend gesetzt. Die Restriktionen P2-14 bis P2-17 dienen der Feststellung, ob der Rüstdvorgang abgeschlossen ist oder noch fortgeführt werden muss.

Die Variablen und Parameter des Rüstens lauten:

$initStp_{t,m}$	Parameter: Initialer Rüstdzustand der Maschine
$stpCoef_{t,s,m,p}$	Parameter: Rüstdanteil des Zeitfensters s am gesamten Rüstdvorgang
M	Parameter: Eine große Zahl
$stpSte_{t,s,m,p}$	Variable: Binärer Rüstdindikator der Maschine m
$stp_{t,s,m,p}$	Variable: Binärer Rüstdindikator der Maschine m
$stpFnd_{t,s,m,p}$	Variable: Binärer Indikator des Rüstdabschlusses der Maschine m
$stpCml_{t,s,m,p}$	Variable: Kumulierter Wert der bisher umgesetzten Rüstdanteile. $0 \leq stpCml < 1$
$stpOng_{t,s,m,p}$	Variable: Binärer Indikator des Fortführens eines Rüstdvorgangs

6.1.2.3 Instandhaltung

Die Instandhaltung beschreibt eine weitere betriebliche Aktivität, welche es im detaillierteren Zeitraster zu organisieren gilt. Der Indikator, ob eine Instandhaltung durchzu-

führen ist, wird als Parameter beigesteuert und entstammt den Planungsergebnissen der Produktionskapazitätsplanung.

$$mmtce_{t,s,m} + \sum_p stp_{t,s,m,p} + \sum_p stpSte_{t,s,m,p} \leq 1 \quad \text{Instandhaltung: P2-18}$$

, $\forall t \in T, s \in S, m \in M, p \in P$

$$\sum_s^S mntceFnd_{t,s,m} = mntcePr_{t,m}, \forall t \in T, s \in S, m \in M \quad \text{Instandhaltung: P2-19}$$

$$mmtceCmld_{t,s-1,m} + mmtceCoef t_{t,s,m} * mmtce_{t,s,m} \quad \text{Instandhaltung:} \\ - mmtceCmld_{t,s,m} - mmtceFnd_{t,s,m} = 0, \forall t \in T, s \in S, m \in M \quad \text{P2-20}$$

$$m n t c e O n g_{t,s,m} \leq 0 \quad , t = t^{MAX}, s = s^{MAX} \quad \text{Instandhaltung: P2-21}$$

$$mmtceOn_{g_{t-1,s,m}} - mntce_{t,s,m} \leq 0 \quad , \forall t < t^{MAX}, \forall s < s^{MAX} \quad \text{Instandhaltung: P2-22}$$

$$mmtceCmld_{t,s,m} - M * mntceOng_{t,s,m} \leq 0, \forall t \in T, s \in S, m \in M$$

Instandhaltung:
P2-23

$$1 - mntceFnd_{t,s,m} \geq mntceOng_{t,s,m}, \forall t \in T, s \in S, m \in M$$

Instandhaltung:
P2-24

Restriktion P2-18 koordiniert sämtliche betrieblichen Aktivitäten, so dass zu einem Zeitpunkt höchstens eine ausgeführt wird. P2-19 beschreibt das Setzen des Instandhaltungsindikators, wobei lediglich im Zeitraster gewährleistet werden muss, dass bei positivem Indikator irgendwann eine Wartung durchgeführt wird. Ähnlich dem Rüsten kann eine Wartung über mehrere Zeitfenster durchgeführt werden, was die Restriktion P2-20 reguliert. Die Restriktionen P2-21 bis P2-24 beschreiben die Feststellung, ob ein Wartungsvorgang fortzusetzen ist. Die Parameter und Variablen der Instandhaltung lauten:

$mntcePr_{t,m}$

Parameter: Binärer Indikator der Instandhaltung.

Wird in der Produktionskapazitätsplanung bestimmt.

$mntceCoef_{t,s,m}$	Parameter: Anteil des Zeitfensters s am gesamten Instandhaltungsvorgang.
M	Parameter: Eine große Zahl.
$mntce_{t,s,m}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche das Durchführen einer Instandhaltung signalisiert.
$stp_{t,s,m,p}$	Variable: Binäre Rüstvariable.
$stpSte_{t,s,m,p}$	Variable: Binäre Rüstzustandsvariable.
$mntceFnd_{t,s,m}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche den Abschluss einer Instandhaltung signalisiert.
$mntceCmld_{t,s,m}$	Variable: Zusammengefasste Anteile, der bis zum Zeitfenster s durchgeführten Instandhaltung.
	$0 \leq mntceCmld < 1$
$mntceOng_{t,s,m}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche ausdrückt, dass eine Instandhaltung fortgesetzt wird.

6.1.2.4 Kopplung von Kapazitäts- und Reihenfolgeplanung

Aufgrund der grundlegenden Modelleigenschaften von Kapazitäts- und Reihenfolgeplanung, welche sich voneinander sehr unterscheiden, sind Maßnahmen der Kopplung vorzunehmen, welche beide Modelle einander angleichen. Die Problematik ergibt sich bei näherer Betrachtung der Zeitkomponenten beider Modelle. Die Produktionskapazitätsgleichung verallgemeinert sämtliche Zeitkomponenten, wobei grundsätzlich ein Kapazitätsabgleich der Komponenten mit der verfügbaren Kapazität vorgenommen wird. Die Reihenfolgeplanung verfolgt das Ziel, eine feingerasterte Aktivitätsabfolge vorzunehmen, wobei die Zeitkapazität, welche sich im Umfang nicht von der Kapazitätsplanung unterscheidet, in kleine Zeitfenster unterteilt wird. Da das Modell die Grundannahme voraussetzt, dass in einem Zeitfenster immer nur höchstens ein Ereignis²³⁸ stattfinden kann, ergibt sich die Problematik, dass Zeitfenster nicht immer vollständig ausgenutzt werden können (vgl. Abbildung 34). Problematisch ist in dem Zusammenhang, dass der Kapazitätsverlust, aufgrund ungenutzter Kapazität, nicht kompensiert werden kann und somit zu einer Verringerung der vollständigen Kapazität führt. Diese wurde bereits in der Produktionskapazitätsplanung als verfügbar vorausgesetzt und unter Umständen

²³⁸ Diese sind Rüsten, Produzieren oder Instandhalten

sogar verplant, so dass nun in der Reihenfolgeplanung unzureichende Kapazität verfügbar ist. Diesem Umstand kann begegnet werden, da bereits vor Erstellen des Optimierungsmodells der maximale zeitliche Verlust ermittelt und die Anzahl der zur Kompensation notwendigen zusätzlichen Zeitfenster berechnet werden kann (vgl. Abbildung 35).

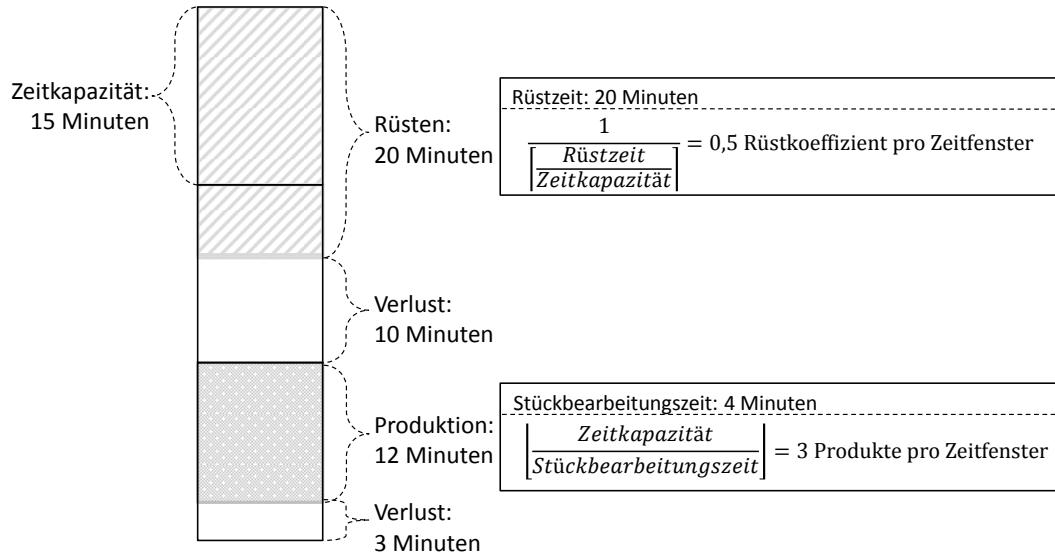


Abbildung 34 Kapazitätsverluste beim Einplanen betrieblicher Aktivitäten

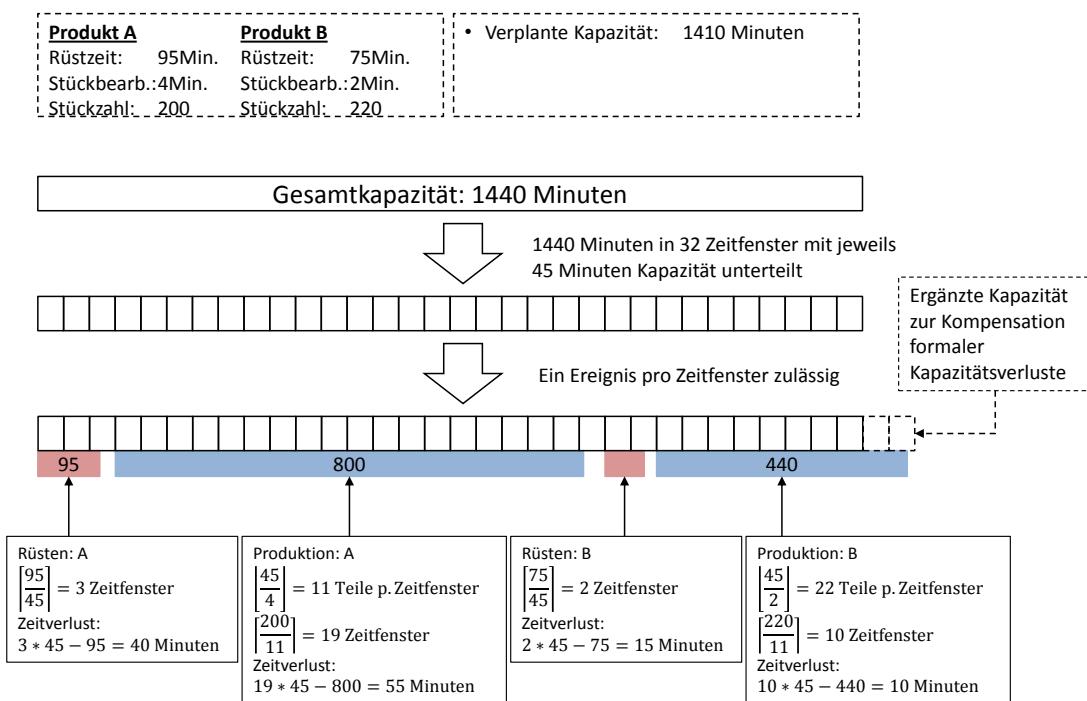


Abbildung 35: Ermittlung zusätzlicher Zeitfenster zur Kopplung von Kapazitäts- und Reihenfolgeplanung

Dieses ist notwendig, um den formalen Kapazitätsverlusten zu begegnen, welche allerdings keinen tatsächlichen Verlust repräsentieren, sondern ausschließlich ein Resultat der Modelleigenschaften darstellen, welche nicht geändert werden können. Ohne eine entsprechende Anpassung besteht keine Möglichkeit, eine gültige Lösung für das Modell zu bestimmen, da formal nicht ausreichend Zeitkapazität verfügbar ist. Durch die Ergänzung entsprechender Kapazitäten kann eine optimale Abfolge der Aktivitäten ermittelt werden, welche im Anschluss lediglich hinsichtlich der Zeitverluste angepasst werden müssen, sodass korrekte Anfangs- und Endzeiten den Aktivitäten zugeordnet werden können (vgl. Abbildung 36).

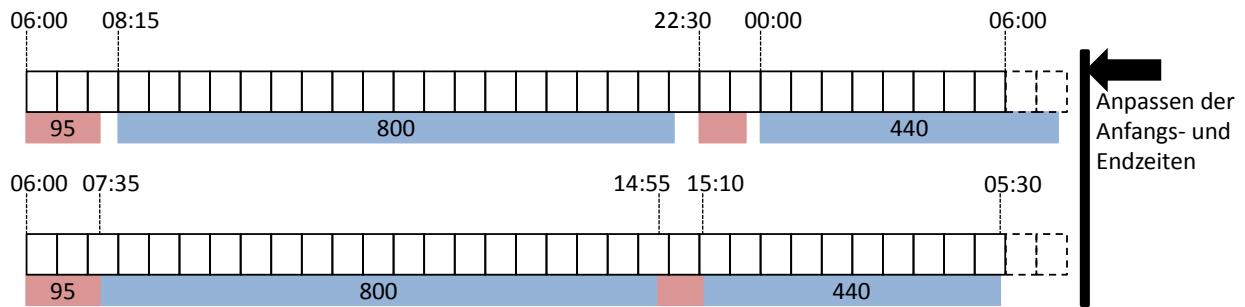


Abbildung 36 Anpassen von Anfangs- und Endzeiten der betrieblichen Aktivitäten

6.1.2.5 Zielfunktion

Die Zielfunktion der Reihenfolgeplanung basiert auf realen Kosten, welche hinsichtlich der anteiligen Verteilung auf mehrere Zeitfenster im Vorfeld angepasst werden müssen. Zudem sind die Kostengrößen dem Schichtsystem anzugeleichen, indem folgende Relationen der Kosten eingehalten werden:

$$cost_{Frühschicht} < cost_{Spätschicht} < cost_{Nachschicht}$$

$$cost_{reguläreKapazität} < cost_{zusätzlicheKapazität}$$

Die Zielfunktion lautet:

$$\begin{aligned} \text{Min Cost} = & \sum_{t,s,m,p}^{T,S,M,P} (stpCost_{t,s,m,p} * stp_{t,s,m,p} + mntceCost_{t,s,m} * mntce_{t,s,m} \\ & + iyCost_{t,s,p} * iy_{t,s,m,p} + pnCost_{t,s,m,p} * stpSte_{t,s,m,p}) \end{aligned}$$

Die Kostengrößen und Variablen der Zielfunktion beziehen sich auf die operativen Betriebsaktivitäten sowie den Lagerbestand.

$stpCost_{t,s,m,p}$	Kostengröße: Rüstkosten
$mntceCost_{t,s,m}$	Kostengröße: Instandhaltungskosten
$iyCost_{t,s,p}$	Kostengröße: Lagerkosten
$pnCost_{t,s,m,p}$	Kostengröße: Produktionskosten
$stp_{t,s,m,p}$	Variable: Binäre Rüstvariable
$mntce_{t,s,m}$	Variable: Binäre Instandhaltungsvariable
$iy_{t,s,m,p}$	Variable: Lagerbestand
$stpSte_{t,s,m,p}$	Variable: Binärer Rüstsitzstand

6.1.3 Materialbedarfsplanung

Im Folgenden wird das Modell der Materialbedarfsplanung vorgestellt, welches neben der Ermittlung des Materialbedarfs eine Zuweisung von Bestellmengen zu Lieferanten vornimmt und entsprechende Liefermengen auf Logistikdienstleister verteilt sowie die Bestellzeitpunkte festlegt. Aufgrund der resultierenden Modellgröße gestaltet sich das Finden einer gültigen Lösung als schwierig, weshalb hier eine Dekomposition des Modells angewandt wird. Zudem ist die Entscheidungsfindung der Bestellzeitpunkte in ein weiteres Modell ausgegliedert, welches einfacher zu lösen ist. Entsprechendes Vorgehen ist möglich, da der Entscheidungsinhalt losgelöst von Mengenverteilung und Auswahl der Logistikdienstleister ist.

6.1.3.1 Dekomposition

Die Dekomposition des Planungsmodells ähnelt dem Ansatz von Stadtler²³⁹, welcher eine zeitbasierte Dekomposition für große und schwer zu lösende Modelle vorschlägt. Dabei wird das ursprüngliche Problem, ähnlich dem Vorgehen in Abschnitt 6.1.1, in kleinere Teilprobleme unterteilt, welche aufgrund der reduzierten Größe in kürzerer Zeit gelöst werden können. Dabei sind die Übergänge zwischen den Teilproblem derart zu koppeln, dass die Ergebnisse des vorgelagerten Teilproblems zur initialen Parametrisierung des nachfolgenden Teilproblems genutzt werden. Sind alle Teilprobleme gelöst, können deren Ergebnisse zusammengefasst und als initiale, gültige Lösung des ursprünglichen Planungsmodells genutzt werden, welches es dann zu verbessern gilt.

²³⁹ Vgl. [Stad03]

$$iy_{t-1,p} = iIy_p \quad , \forall t \text{ in } T: t = 0, p \text{ in } P \quad \text{Dekomposition: D3-1}$$

$$dr_{t,p,s} = drIl_{t,p,s} \quad , \forall t \text{ in } T: t \in PreRun, p \text{ in } P, s \text{ in } S \quad \text{Dekomposition: D3-2}$$

$$\begin{aligned} lsOn_{t,s}^{l,BIN} &= lsOnIl_{t,s}^{l,BIN} \quad \text{Dekomposition:} \\ , \forall t \text{ in } T: t &\in PreRun, \quad \text{D3-3} \\ s \text{ in } S: lsOnIl_{t,s}^{l,BIN} &> 0, l \text{ in } L \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} drLs_{t,p,s}^l &= drLsIl_{t,p,s}^l \quad \text{Dekomposition:} \\ , \forall s \text{ in } S, p \text{ in } P, l &\text{ in } L, \quad \text{D3-4} \\ t \text{ in } T: t &\in PreRun \& drLsIl_{t,p,s}^l > 0 \end{aligned}$$

Die Restriktionen D3-1 bis D3-4 dienen lediglich zur Kopplung der Teilprobleme und finden nur in den nachfolgenden Teilproblemen Anwendung.

6.1.3.2 Bestellmengenverteilung

Die Ermittlung der Bestellmengen knüpft an die Produktionskapazitätsplanung an und erfolgt durch eine Stücklistenauflösung über alle Produktionsstufen hinweg. Dieses Vorgehen resultiert in einem am Produktionsprogramm ausgerichteten Materialbedarf, welcher auf die verschiedenen Lieferanten verteilt werden muss.

$$\sum_{s,l}^{S,L} iy_{t-1,p} + drLs_{t,p,s}^l - iy_{t,p} = d_{t,p} \quad , \forall t \text{ in } T, p \text{ in } P \quad \text{Bestellmenge: P3-1}$$

$$iy_{t,p} = iIy_p \quad , t = 0, p \text{ in } P \quad \text{Bestellmenge: P3-2}$$

$$minOQty_{s,p} * or_{t-lte_{s,p},p,s} - dr_{t,p,s} \leq 0 \quad , \forall s \text{ in } S: lte_{s,p} \leq t \quad \text{Bestellmenge: P3-3}$$

$$M * or_{t-lte_{s,p},p,s} \geq dr_{t,p,s} , \forall s \text{ in } S \quad \begin{matrix} \text{Bestellmenge:} \\ \text{P3-4} \end{matrix}$$

$$dr_{t,p,s} = 0 , \forall s \text{ in } S: lte_{s,p} > t \quad \begin{matrix} \text{Bestellmenge:} \\ \text{P3-5} \end{matrix}$$

Die Restriktionen P3-1 und P3-2 beschreiben die Lagerbilanzierung der Materialien, indem der Lagerbestand sowie die aus dem Transit erwarteten Materialien zur Deckung des Bedarfs verwendet werden. Eine lieferantenabhängige Mindestbestellmenge wird durch Restriktion P3-3 gewährleistet. Für sämtliche Produkte, deren Vorlaufzeit außerhalb des Zeithorizonts liegt, muss gewährleistet werden, dass keine Bestellungen durchgeführt werden können, was in Restriktion P3-5 erfolgt.

$d_{t,p}$	Parameter: Bedarf an Produkt p zum Zeitpunkt t , abgeleitet aus der Materialbedarfsermittlung.
ilY_p	Parameter: Initialer Lagerbestand.
$lte_{s,p}$	Parameter: Vorlaufzeit des Lieferanten s bei Produkt p .
$minOQty_{s,p}$	Parameter: Mindestbestellmenge des Lieferanten s bei Produkt p .
$iy_{t,p}$	Variable: Lagerbestand.
$or_{t-lte_{s,p},p,s}$	Variable: Binärer Indikator einer Bestellung zum Zeitpunkt $t - lte$ bei Lieferant s für Produkt p . Variable beschreibt die späteste mögliche Bestellauslösung.
$dr_{t,p,s}$	Variable: Verfügbare Liefermenge von Produkt p bei Lieferant s zum Zeitpunkt t
$drLs_{t,p,s}^l$	Variable: Liefermenge der Produkte p von Lieferant s , welches mit Logistikoption l zum Zeitpunkt t geliefert werden soll.

6.1.3.3 Auswahl der logistischen Optionen

Neben der Bestellmengenverteilung ermittelt das Planungsmodell die optimale Auswahl des Logistikdienstleisters, um die Bestellmenge vom Lieferanten zum Unternehmen zu

transportieren. Dazu werden die Spezialisierungen der Dienstleister²⁴⁰ in die Planung einbezogen.

$$\sum_p^P pWt_p * dr_{t,p,s} \leq \sum_{l,w:t+lsTe_s^l < T_{max}}^{L,W} lsOn_{t+lsTe_s^l,s,w}^l * lsWt_w \quad \begin{array}{l} \text{Logistikdienstleister:} \\ \text{P3-6} \end{array}$$

, $\forall t$ in T, s in S

$$\sum_w^W lsOn_{t,s,w}^l \leq M * lsOn_{t,s}^{l,BIN} \quad , \forall t \text{ in } T, s \text{ in } S, l \text{ in } L \quad \begin{array}{l} \text{Logistikdienstleister:} \\ \text{P3-7} \end{array}$$

$$\sum_l^L lsOn_{t,s}^{l,BIN} \leq 1 \quad , \forall t \text{ in } T, s \text{ in } S \quad \begin{array}{l} \text{Logistikdienstleister:} \\ \text{P3-8} \end{array}$$

$$dr_{t-lsTe_s^l,p,s} - drLs_{t,p,s}^l - M * (1 - lsOn_{t,s}^{l,BIN}) \leq 0 \quad \begin{array}{l} \text{Logistikdienstleister:} \\ \text{P3-9} \end{array}$$

, $\forall s$ in S, p in P, l in L, t in $T: t \geq lsTe_s^l + lTe_{s,p}$

$$drLs_{t,p,s}^l \leq dr_{t-lsTe_s^l,p,s} \quad \begin{array}{l} \text{Logistikdienstleister:} \\ \text{P3-10} \end{array}$$

*, $\forall s$ in S, p in P, l in L
 $, t$ in $T: t \geq lsTe_s^l + lTe_{s,p}$*

$$M * lsOn_{t,s}^{l,BIN} \geq drLs_{t,p,s}^l \quad \begin{array}{l} \text{Logistikdienstleister:} \\ \text{P3-11} \end{array}$$

*, $\forall s$ in S, p in P, l in L
 $, t$ in $T: t \geq lsTe_s^l + lTe_{s,p}$*

Restriktion P3-6 koppelt die beim Lieferanten verfügbaren Liefermengen mit den Frachtoptionen eines Logistikdienstleisters, indem das Frachtgewicht der Liefermenge den angebotenen Frachtoptionen gegenübergestellt wird. Bereits in dieser Restriktion wird die Transitdauer mit einbezogen, da die Variable $lsOn_{t,s,w}^l$ die Verbindung zur Lagerbilanz darstellt. In Restriktion P3-8 wird dafür gesorgt, dass immer nur ein Logistikdienstleister pro Frachtauftrag gewählt wird, da es durchaus zulässig ist, eine Liefermenge auf mehrere Frachtoptionen aufzuteilen. Die Restriktionen P3-7 sowie P3-9 bis

²⁴⁰ Diese können beschrieben werden durch: Kurzstrecke, Langstrecke, hohe oder geringe Volumentransporte

P3-11 koppeln ausdrücklich Liefermengen an Transportmengen und Frachtoptionen, damit die Mengen immer aufeinander abgeglichen sind.

pWt_p	Parameter: Gewicht des Teils p .
$lsTe_s^l$	Parameter: Transitdauer von Lieferant s , bei Verwendung des Logistikdienstleisters l .
$lsWt_w$	Parameter: Frachtkapazität der Transportoption.
M	Parameter: Eine große Zahl.
$dr_{t,p,s}$	Variable: Verfügbare Liefermenge des Produktes p zum Zeitpunkt t beim Lieferanten s .
$lsOn_{t,s,w}^l$	Variable: Anzahl ausgewählter Frachtoption mit Kapazität w des Dienstleisters l von Lieferant s , die zum Zeitpunkt t ankommen.
$lsOn_{t,s}^{l,BIN}$	Variable: Binäre Indikatorvariable der Auswahl einer Frachtoption.
$drLs_{t,p,s}^l$	Variable: Liefermenge des Produktes p von Lieferant s , welche mit Logistikoption l zum Zeitpunkt t geliefert werden soll.

6.1.3.4 Warenvereinnahmung

Die Warenvereinnahmung ist ebenfalls mit den Lieferungen abzulegen, um das erwartete Lieferaufkommen im Wareneingang nicht überkapazitativ zu planen. Da das Eintreffen der Transporte dennoch nicht in den Planungsgegenstand einbezogen werden kann, werden durchschnittliche Kapazitätswerte vorausgesetzt, welche sowohl zeitlicher Art sind sowie die Anzahl und Größe der Transporte begrenzen.

$$\sum_{s,l}^{S,L} lsOn_{t,s,w}^l \leq rCyVs_{t,w} , \forall t \text{ in } T, \forall w \text{ in } W \quad \begin{matrix} \text{Wareneingang:} \\ \text{P3-12} \end{matrix}$$

$$\sum_{s,w,l}^{S,W,L} lsOn_{t,s,w}^l \leq rOCyVs_t , \forall t \text{ in } T \quad \begin{matrix} \text{Wareneingang:} \\ \text{P3-13} \end{matrix}$$

$$\sum_{s,w,l}^{S,W,L} lsOn_{t,s,w}^l * rgTe_w \leq rgCyTe_t , \forall t \text{ in } T \quad \begin{matrix} \text{Wareneingang:} \\ \text{P3-14} \end{matrix}$$

Restriktion P3-12 beschreibt die Begrenzung der Warenvereinnahmung durch die Anzahl der Transporte, wobei als Referenz das Ladungsgewicht der Lieferung genutzt wird. Eine Begrenzung bzgl. des vollständigen Transportaufkommens, durch die Anzahl der erwarteten Transporte, erfolgt in Restriktion P3-13. Als letzte Kapazitätsgrenze wird das eigentliche Arbeitsvolumen der Aktivitäten zur Warenvereinnahmung verwendet, welches die verfügbare Zeitkapazität im Wareneingang nicht überschreiten darf.

$rCyVs_{t,w}$	Parameter: Kapazität des Wareneingangs zum Zeitpunkt t , bzgl. der Transportkapazitäten w .
$rOCyVs_t$	Parameter: Kapazität des Wareneingangs zum Zeitpunkt t , bzgl. der Gesamtanzahl aller erwarteten Transporte.
$rgTe_w$	Parameter: Warenvereinnahmungsdauer eines Transportes mit Transportkapazität w .
$rgCyTe_t$	Parameter: Kapazität des Wareneingangs zum Zeitpunkt t , bzgl. der verfügbaren Arbeitszeit.
$lsOn_{t,s,w}^l$	Variable: Anzahl der ausgewählten Frachtoption mit Kapazität w des Dienstleisters l von Lieferant s , die zum Zeitpunkt t ankommen.

6.1.3.5 Produktions- und Lagergrenzen

Eine koordinierte Planung der Materialversorgung muss sowohl eigene wie fremde Kapazitäten beachten, um eine hohe Verfügbarkeit zu garantieren. Entsprechend sind Vorgaben bzgl. der eigenen Bevorratung von Materialien sowie Produktionskapazitäten der Lieferanten einzubeziehen, um nicht kurzfristig durch einen Versorgungsengpass das geplante Produktionsprogramm zu gefährden.

$$dr_{t,p,s} \leq srCy_{s,p} , \forall t \in T, p \in P, s \in S \quad \text{Kapazitäten:} \\ \text{P3-15}$$

$$iy_{t,p} \leq iyCy_{t,p} , \forall t \in T, p \in P \quad \text{Kapazitäten:} \\ \text{P3-16}$$

Restriktion P3-15 verhindert, dass die Bestellmenge in Planungsperiode t eine vorgegebene lieferantenseitige Kapazität überschreitet. Entsprechende Kapazitäten können in Rahmenverträgen vereinbart werden, indem fest zugesicherte Produktionskapazitäten

von Lieferanten garantiert werden. Die eigenen Lagerkapazitäten werden durch Restriktion P3-16 beachtet.

6.1.3.6 Bestellauslösung

Neben der Bestellmengenverteilung, Logistikdienstleisterauswahl und Warenverein nahm wurden bisher immer die spätestmöglichen Bestellzeitpunkte, beruhend auf den bekannten Vorlauf- und Transportzeiten, ermittelt, welche noch eine Versorgung der Produktion zulassen.

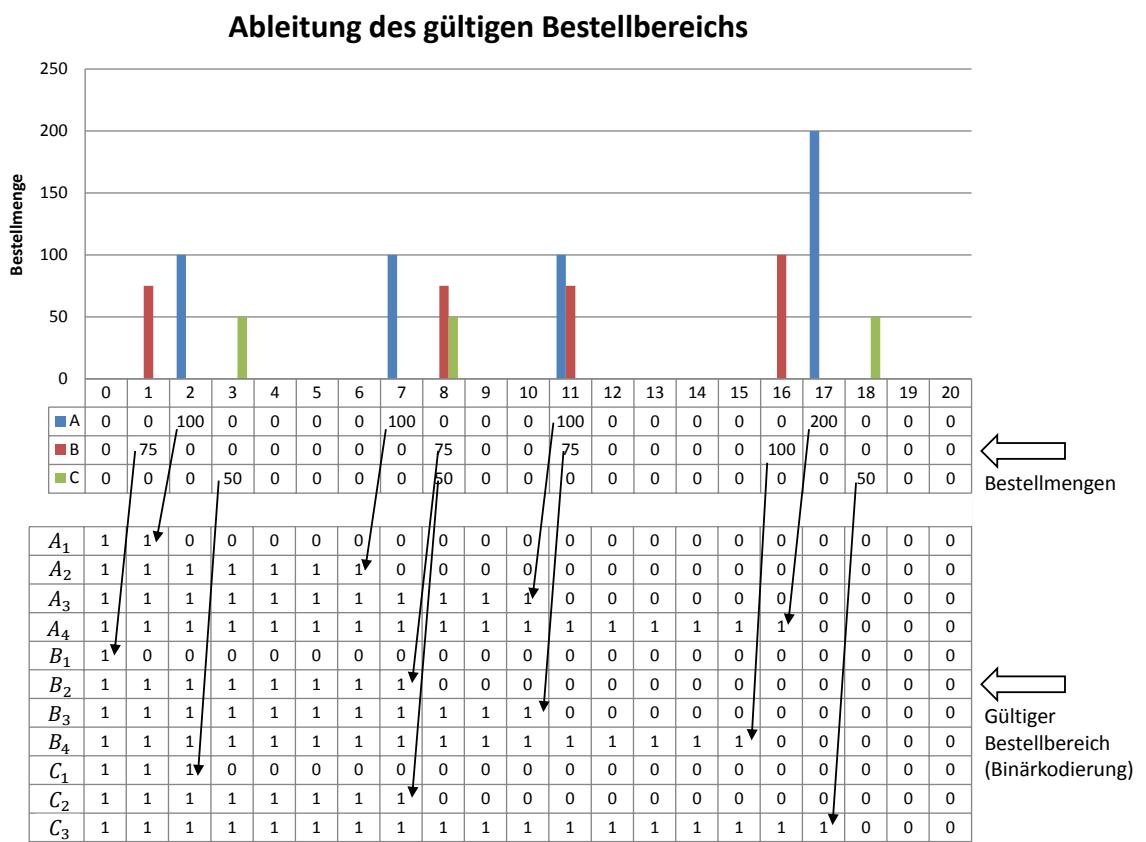


Abbildung 37 Herleitung der Binärmatrix des gültigen Bestellbereichs bei Vorlauf von einem Tag

Dabei wurden allerdings Aspekte der Bestellmengenzusammenfassung nicht weiter betrachtet, welche eine Verringerung der bestellfixen Kosten mit sich führen würden. Dieses soll durch ein weiteres Modell erfolgen, welches direkt im Anschluss an die Bestellmengenverteilung anknüpft und basierend auf den eingeplanten Bestellungen diese zusammenfasst und die Bestellauslösung dazu eventuell vorzieht. Dabei kann dem Lieferanten weiterhin der ursprüngliche Frachtermin mitgeteilt werden, damit Ergebnisbe-

standteile der vorgelagerten Planung ihre Gültigkeit behalten. Aus den Planungsergebnissen der Bestellmengenverteilung lässt sich eine binäre Bestellmatrix ableiten, die jede einzelne Materialbestellung beinhaltet und für diese den jeweils gültigen Bestellbereich markiert (vgl. Abbildung 37). Innerhalb dieses Bereichs kann die Bestellauslösung vorgezogen und mit anderen Bestellungen zusammengefasst werden.

$$\sum_t^T byOrVr_{o,t} = 1 \quad , \forall o \text{ in } O \quad \begin{array}{l} \text{Bestellauslösung:} \\ \text{P3-17} \end{array}$$

$$\sum_o^O byOrVr_{o,t} \leq M * orClVr_t \quad , \forall t \text{ in } T \quad \begin{array}{l} \text{Bestellauslösung:} \\ \text{P3-18} \end{array}$$

$$orClVr_t \leq byItVs_{o,t} \quad , \forall t \text{ in } T \quad \begin{array}{l} \text{Bestellauslösung:} \\ \text{P3-19} \end{array}$$

$$byOrVr_{o,t} \leq byItVs_{o,t} \quad , \forall o \text{ in } O, t \text{ in } T \quad \begin{array}{l} \text{Bestellauslösung:} \\ \text{P3-20} \end{array}$$

$$\begin{aligned} byOrVr_{o,t'} &= orFg_{o,t'} && \text{Bestellauslösung:} \\ , \forall o \text{ in } O, t \text{ in } T: byItVs_{o,t} &= 1 && \text{P3-21} \\ , t' \text{ in } T: t' &\leq t && \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} orFg_{o,t'} &= 0 && \text{Bestellauslösung:} \\ , \forall o \text{ in } O, t \text{ in } T: byItVs_{o,t} &= 1 && \text{P3-22} \\ , t' \text{ in } T: t' &> t && \end{aligned}$$

$$\sum_{t':t' \leq t}^T orFg_{o,t'} * (t - t') = dsFgVr_o \quad \begin{array}{l} \text{Bestellauslösung:} \\ \text{P3-23} \end{array}$$

$$, \forall o \text{ in } O, t \text{ in } T: last(byItVs_{o,t} = 1), t' \text{ in } T$$

$$dsFgVr_o \leq \sum_{pi}^{PI} mxBy_{pi} * fgPeIr_{o,pi}^{BIN} \quad , \forall o \text{ in } O \quad \begin{array}{l} \text{Bestellauslösung:} \\ \text{P3-24} \end{array}$$

$$dsFgVr_o \geq \sum_{pi}^{PI} mnBy_{pi} * fgPeIr_{o,pi}^{BIN} , \forall o \text{ in } O \quad \begin{array}{l} \text{Bestellauslösung:} \\ \text{P3-25} \end{array}$$

$$\sum_{pi}^{PI} fgPeIr_{o,pi}^{BIN} = 1 , \forall o \text{ in } O \quad \begin{array}{l} \text{Bestellauslösung:} \\ \text{P3-26} \end{array}$$

$$fgCtFrVr_o = \sum_{pi}^{PI} cFr_{pi} * fgPeIr_{o,pi}^{BIN} , \forall o \text{ in } O \quad \begin{array}{l} \text{Bestellauslösung:} \\ \text{P3-27} \end{array}$$

Die Restriktionen P3-17 bis P3-20 behandeln die formale Bestellauslösung, indem für jeden Bestellauflauf eine binäre Indikatorvariable existiert, welche den Zeitpunkt der Bestellauslösung beschreibt. Diese sind an eine Koppelvariable gebunden, welche das Zusammenfassen von Bestellungen ausdrückt. Mit dem Zusammenfassen von Bestellungen geht zwangsläufig das Vorziehen einzelner Bestellungen einher.

Gültiger Bestellbereich aller Bestellungen

A_1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A_4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
B_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B_2	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B_3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B_4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
C_1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C_3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

	Phase 3						Phase 2					Phase 1								
A_4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

Gültiger Bestellbereich A_4

Abbildung 38 Einteilung des gültigen Bestellbereichs in einzelne Bestellphasen

Dieses darf allerdings nur bedingt zulässig sein, da davon auszugehen ist, dass Bestellungen die einen großen Zeitraum vorgezogen wurden mit höherer Wahrscheinlichkeit nochmal angepasst werden müssen, da das Produktionsprogramm unter Umständen noch einmal angepasst werden muss. Das Vorziehen von Bestellungen wird durch die

Restriktionen P3-21 bis P3-27 umgesetzt und protokolliert. Dazu wird der gültige Bestellbereich jeder Bestellung in einzelne Bestellphasen eingeteilt (vgl. Abbildung 38), welche unterschiedlich bewertet und anhand der Bewertung in die Zielfunktion aufgenommen werden. Das Vorziehen ist somit immer zulässig, wobei die Größe des Zeitraums bestimmt, welche Strafkosten für das Vorziehen anzusetzen sind. Entsprechend werden hohe Strafkosten fällig, wenn eine Bestellung so weit vorgezogen wird, dass eine Bestellanpassung in Zukunft wahrscheinlicher ist. Die Restriktionen P3-21 und P3-22 dienen der Bestimmung, ob eine Bestellung vorgezogen wird und markieren eine entsprechende binäre Indikatorvariable. Anhand dieser wird in Restriktion P3-23 ermittelt, um wie viele Tage eine Bestellung vorgezogen wird, was die Bestimmung der Bestellphase ermöglicht (P3-24, P2-25).

Die Variablen und Parameter lauten:

M	Parameter: Eine große Zahl.
$byItVs_{o,t}$	Parameter: Binäre Kodierung.
$mxBy_{pi}$	Parameter: Obergrenze der Bestellphase pi .
$mnBy_{pi}$	Parameter: Untergrenze der Bestellphase pi .
cFr_{pi}	Parameter: Ein mit der Bestellphase pi assoziierter, fiktiver Kostenfaktor.
$byOrVr_{o,t}$	Variable: Binäre Bestellvariable.
$orClVr_t$	Variable: Binäre Indikatorvariable einer zusammengefassten Bestellmenge.
$orFg_{o,t'}$	Variable: Binärer Indikator des Vorziehens eines Auftrags.
$dsFgVr_o$	Variable: Anzahl vorgezogener Tage bei Auftrag o
$fgPeIr_{o,pi}^{BIN}$	Variable: Binärer Indikator der gewählten Bestellphase pi bei Auftrag o
$fgCtFrVr_o$	Variable: Mit Vorziehen des Auftrags o verursachte Strafkosten

6.1.3.7 Zielfunktion

Die Zielfunktionen der Materialbedarfsplanung beziehen sich auf zwei Modelle, die nacheinander zu lösen sind. Zur Ermittlung der Bestellmengenverteilung wird folgende Zielfunktion genutzt:

$$\begin{aligned} \text{MIN } & \sum_{t,p,s}^{T,P,S} \text{costParts}_{s,p} * dr_{t,p,s} + \sum_{t,p}^{T,P} (\text{costInventory}_p * \max(0, iy_{t,p} - iySy_{t,p})) \\ & + \text{costPenalty}_p * \max(0, iySy_{t,p} - iy_{t,p})) \\ & + \sum_{t,s,w,l}^{T,S,W,L} (\text{costsLogistics}_{s,w}^l + \text{costsReceiving}_w) * lsOn_{t,s,w}^l \end{aligned}$$

Die genutzten Kostengrößen setzen sich aus realen und fiktiven Anteilen zusammen. Sämtliche Variablen, Parameter und Kostengrößen lauten:

$\text{costParts}_{s,p}$	Kostengröße: Reale Stückkosten im Einkauf für das Material p bei Lieferant s
costInventory_p	Kostengröße: Reale Lagerkosten
$iySy_{t,p}$	Parameter: Sicherheitsbestandshöhe im Lager
costPenalty_p	Kostengröße: Fiktive Strafkosten bei Unterschreiten des Sicherheitsbestands
$\text{costsLogistics}_{s,w}^l$	Kostengröße: Logistikkosten des Dienstleisters
costsReceiving_w	Kostengröße: Warenvereinnahmungskosten einer Transportkapazität w
$dr_{t,p,s}$	Variable: Verfügbare Liefermenge des Produktes p zum Zeitpunkt t beim Lieferanten s .
$iy_{t,p}$	Variable: Lagerbestand.
$lsOn_{t,s,w}^l$	Variable: Anzahl der ausgewählten Frachtoption mit Kapazität w des Dienstleisters l von Lieferant s , die zum Zeitpunkt t ankommen.

Die zweite Zielfunktion dient der Ermittlung einer kostenoptimalen Bestellzusammenfassung, um fixe Bestellkosten einzusparen.

$$\text{Min Cost} = \sum_t^T \text{orClVr}_t * \text{fixOrderCost} + \sum_o^O \text{fgCtFrVr}_o * \text{fixOrderCost}$$

Die genutzten Variablen und Kostengrößen lauten:

$fixOrderCost$	Kostengröße: Fixe Bestellkosten, die auf die Auslösen einer Bestellung zu beziehen sind
$orClVr_t$	Variable: Binärer Indikator einer Bestellauslösung
$fgCtFrVr_o$	Variable: Kostenfaktor, abhängig von der Bestellphase

6.1.4 Personalbestandsplanung

Die Planung des Personalbestands orientiert sich an strategischen Größen und dient der Sicherstellung der Leistungsfähigkeit und des Knowhows, so dass das Unternehmen den gewandelten Marktanforderungen gerecht werden kann. Der Horizont des Planungsgegenstands umfasst mehrere Jahre und bedarf qualitativer Prognosen der zu erwartenden Entwicklung des Produktpportfolios sowie der damit verbundenen Absatzmengen.

6.1.4.1 Personalbedarf

Der Personalbestand ist dahingehend zu beeinflussen, dass der prognostizierte Personalbedarf gedeckt werden kann. Auf den Personalbedarf wirken auch Schwankungsgrößen, wie bspw. Krankheiten, ein. Die verfügbaren Entscheidungsgrößen umfassen das Stammpersonal sowie einen flexiblen Personalbestand, welcher in Form von Zeitarbeitsverträgen kurzfristig an das Unternehmen gebunden wird.

$$(Sf_{y,q} + VrSf_{y,w,q}) * wkWe - sFr * (Sf_{y,q} + VrSf_{y,w,q}) * wkWe \quad \text{Personalbedarf:} \\ + AlWkWk_{y,w,q} - RdWkWk_{y,w,q} = d_{y,w,q}, \forall y \in Y, w \in W, q \in Q \quad \text{P4-1}$$

Die Variablen und Parameter lauten:

$wkWe$	Parameter: Wöchentliche abrufbare Arbeitsleistung.
sFr	Parameter: Durchschnittlicher Krankheitsfaktor.
$d_{y,w,q}$	Parameter: Personalbedarf im Planungsjahr y , Kalenderwoche w bzgl. Qualifikation q .
$Sf_{y,q}$	Variable: Ermittelter Personalbestand im Planungsjahr y mit Qualifikation q .

$VrSf_{y,w,q}$	Variable: Flexibler Personalbestand im Planungsjahr y , Kalenderwoche w mit Qualifikation q .
$AlWkWk_{y,w,q}$	Variable: Mehrarbeit im Planungsjahr y , Kalenderwoche w mit Qualifikation q .
$RdWkWk_{y,w,q}$	Variable: Minderarbeit im Planungsjahr y , Kalenderwoche w mit Qualifikation q .

6.1.4.2 Personalbestandsentwicklung

Auf den Personalbestand kann auf unterschiedliche Weise eingewirkt werden. Dazu bedient man sich den Entscheidungsgrößen der Personaleinstellung, der Personalfreisetzung sowie der Personalweiterbildung.

$$Sf_{y-1,q} + he_{y-1,q} + \sum_{q':q \neq q'}^Q tn_{y-1,q',q} - fe_{y-1,q} - \sum_{q'':q \neq q''}^Q tn_{y-1,q,q''} = Sf_{y,q} \quad \text{Personalbestand: P4-2}, \quad \forall y \in Y, q \in Q$$

Die zur Personalbestandsentwicklung benötigten Variablen und Parameter lauten:

$Sf_{y,q}$	Variable: Ermittelter Personalbestand im Planungsjahr y mit Qualifikation q .
$he_{y,q}$	Variable: Entscheidungsgröße der Personaleinstellung im Jahr y bzgl. Qualifikation q .
$tn_{y,q,q''}$	Variable: Entscheidungsgröße der Personalweiterbildung im Jahr y . Weiterbildung von Personal mit Qualifikation q zu Qualifikation q'' .
$fe_{y,q}$	Variable: Entscheidungsgröße der Personalfreisetzung im Jahr y bzgl. Qualifikation q .

Die Entwicklung des Personalbestands bezieht sich hinsichtlich der Entscheidungsgrößen nur auf das Stammpersonal, da auf das flexible Personal hinsichtlich der Qualifikation und des Bestands über entsprechende Vertragsvereinbarungen eingewirkt werden kann.

6.1.4.3 Flexibilisierung der Leistungsfähigkeit

Die Flexibilisierungsmaßnahmen im Personalbestand ergeben sich durch Mehr- bzw. Minderarbeit in den einzelnen Kalenderwochen. Dabei ist darauf zu achten, dass betriebliche Vereinbarungen sowie gesetzliche Vorgaben einzuhalten sind und ein Ausgleich der Flexibilisierungsmaßnahmen durchgeführt wird.

$$AlWkWk_{y,w,q} \leq M * binAlWkWk_{y,w,q}, \forall y \in Y, w \in W, q \in Q \quad \begin{array}{l} \text{Flexibilisierung:} \\ \text{P4-3} \end{array}$$

$$RdWkWk_{y,w,q} \leq M * bRdWkWk_{y,w,q}, \forall y \in Y, w \in W, q \in Q \quad \begin{array}{l} \text{Flexibilisierung:} \\ \text{P4-4} \end{array}$$

$$binAlWkWk_{y,w,q} + bRdWkWk_{y,w,q} \leq 1, \forall y \in Y, w \in W, q \in Q \quad \begin{array}{l} \text{Flexibilisierung:} \\ \text{P4-5} \end{array}$$

$$AlWkWk_{y,w,q} \leq Sf_{y,q} * oeODy_{y,w,q}^{MAX} * wsIWkFr_{y,w,q} \quad \begin{array}{l} \text{Flexibilisierung:} \\ , \forall y \in Y, w \in W, q \in Q \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Flexibilisierung:} \\ \text{P4-6} \end{array}$$

$$\sum_w^{\omega_i} AlWkWk_{y,w,q} \leq Sf_{y,q} * oeIPd_{y,w,q}^{\omega_i} \quad \begin{array}{l} \text{Flexibilisierung:} \\ \text{P4-7} \end{array}$$

$$, \forall y \in Y, q \in Q: w \in \omega_i: \bigcup \omega_i = W$$

$$\sum_w^W AlWkWk_{y,w,q} - \sum_w^W RdWkWk_{y,w,q} = DeWk_{y,q}^+ - DeWk_{y,q}^- \quad \begin{array}{l} \text{Flexibilisierung:} \\ , \forall y \in Y, w \in W, q \in Q \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Flexibilisierung:} \\ \text{P4-8} \end{array}$$

$$\begin{aligned} & \sum_w^W (AlWkWk_{y,w,q} - RdWkWk_{y,w,q}) \\ & + \sum_w^W (AlWkWk_{y,w,q} - RdWkWk_{y,w,q}) \\ & = De_{y,q,W,W'}^+ - De_{y,q,W,W'}^-, \quad W' = succ(W) \end{aligned} \quad \begin{array}{l} \text{Flexibilisierung:} \\ \text{P4-9} \end{array}$$

Die Restriktionen P4-3 bis P4-7 regeln die Einhaltung der zulässigen Flexibilisierungsgrenzen und sorgen dafür, dass beide Flexibilisierungsmaßnahmen nie gleichzeitig an-

gewandt werden. Restriktion P4-8 leistet eine Regulierung der jährlich genutzten Flexibilisierungsmaßnahmen und versucht somit eine globale Angleichung der Flexibilisierungsgrößen, wohingegen Restriktion P4-9 einer lokalen Angleichung dient. Dazu werden mehrere aufeinanderfolgenden Kalenderwochen in Mengen \mathbb{W}, \mathbb{W}' zusammengefasst, welche zwei Angleichungsintervalle bilden. Innerhalb dieser lokalen Intervalle werden die Differenzen der Flexibilisierungsmaßnahmen ermittelt, um in die Zielfunktion aufgenommen zu werden. Die Variablen und Parameter lauten:

M	Parameter: Eine große Zahl.
$oeODy_{y,w,q}^{MAX}$	Parameter: Maximal zulässige Anzahl Mehrarbeitsstunden pro Arbeitstag.
$wsIWkFr_{y,w,q}$	Parameter: Anzahl regulärer Arbeitstage in einer Woche.
$oeIPd_{y,w,q}^{\omega_i}$	Parameter: Maximal zulässige Anzahl an Mehrarbeitsstunden pro Periode ω_i .
$AlWkWk_{y,w,q}$	Variable: Mehrarbeit im Planungsjahr y , Kalenderwoche w mit Qualifikation q .
$binAlWkWk_{y,w,q}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, dass Mehrarbeit in der Arbeitswoche w gewählt wurde.
$RdWkWk_{y,w,q}$	Variable: Minderarbeit im Planungsjahr y , Kalenderwoche w mit Qualifikation q .
$bRdWkWk_{y,w,q}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, dass Minderarbeit in der Arbeitswoche w gewählt wurde.
$Sf_{y,q}$	Variable: Ermittelter Personalbestand im Planungsjahr y mit Qualifikation q .
$DeWk_{y,q}^+$	Variable: Positiver Differenzwert bei Angleichen der Flexibilisierungsmaßnahmen im globalen Kontext. Positiv bedeutet einen Überschuss an Mehrarbeit.
$DeWk_{y,q}^-$	Variable: Negativer Differenzwert bei Angleichen der Flexibilisierungsmaßnahmen im globalen Kontext. Negativ bedeutet einen Überschuss an Minderarbeit.
$De_{y,q,\mathbb{W},\mathbb{W}'}^+$	Variable: Positiver Differenzwert bei Angleichen der Flexibilisierungsmaßnahmen im lokalen Kontext. Positiv bedeutet einen Überschuss an Mehrarbeit.

$De_{y,q,W,W'}^-$	Variable: Negativer Differenzwert bei Angleichen der Flexibilisierungsmaßnahmen im lokalen Kontext. Negativ bedeutet einen Überschuss an Minderarbeit.
-------------------	--

6.1.4.4 Variabler Personalbestand

Variabler Personalbestand ist aufgrund seiner flexiblen Anpassungsfähigkeit von hoher Bedeutung für die Deckung des Personalbedarfs, kann allerdings nicht beliebig genutzt werden sondern muss betriebliche Vorgaben einhalten.

$$VrSf_{y,w,q} \leq M * bVrSf_{y,w,q}, \forall y \in Y, w \in W, q \in Q$$

Variables Personal:
P4-10

$$bRdWkWk_{y,w,q} + bVrSf_{y,w,q} \leq 1, \forall y \in Y, w \in W, q \in Q$$

Variables Personal:
P4-11

$$VrSf_{y,w,q} \leq Sf_{y,q} * VrSfFactor_{y,w,q}, \forall y \in Y, w \in W, q \in Q$$

Variables Personal:
P4-12

$$VrSf_{y,w,q} = VrSf_{y,w+1,q}, \quad \forall w \in \mathbb{W}$$

Variables Personal:
P4-13

Restriktion P4-11 sorgt dafür, dass variabler Personalbestand nur dann genutzt werden darf, wenn dieses für das Stammpersonal keine Minderarbeit zur Folge hat. Ansonsten sind sämtliche Leistungen durch festangestelltes Personal zu erbringen. Zudem ist der Anteil des flexiblen Personalbestands durch feste Vorgaben begrenzt, was durch Restriktion P-12 geregelt wird. Entsprechender Anteil orientiert sich am Bestand des Stammpersonals. Außerdem sehen vertragliche Vereinbarungen vor, dass flexibles Personal für eine fest vereinbarte Periode angestellt wird. Dieses drückt die Restriktion P4-13 aus, welche den variablen Personalbestand für die Dauer \mathbb{W} konstant gleich hält.

$VrSfFactor_{y,w,q}$ Parameter: Zulässiger Anteil variabler Arbeitskräfte.
 $0 \leq factor \leq 1$

$VrSf_{y,w,q}$ Variable: Flexibler Personalbestand im Planungsjahr y , Kalenderwoche w mit Qualifikation q .

$bVrSf_{y,w,q}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, dass variabler Personalbestand in der Arbeitswoche w genutzt wird.
$bRdWkWk_{y,w,q}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, dass Minderarbeit in der Arbeitswoche w gewählt wurde.
$Sf_{y,q}$	Variable: Ermittelter Personalbestand im Planungsjahr y mit Qualifikation q .

6.1.4.5 Zielfunktion

Die Zielfunktion der Personalbestandsentwicklung umfasst sowohl reale wie fiktive Kostengrößen und lautet:

$$\begin{aligned}
 Min Cost = & \sum_{y,q}^{Y,Q} fixCost^{s,q} * Sf_{y,q} * yyWs_{y,q} \\
 & + \sum_{y,w,q}^{Y,W,Q} addWorkCost_{y,q} * AlWkWk_{y,w,q} \\
 & + \sum_{y,w,q}^{Y,W,Q} redWorkCost_{y,q} * RdWkWk_{y,w,q} \\
 & + \sum_{y,q}^{Y,Q} penalty * (DeWk_{y,q}^+ + DeWk_{y,q}^-) \\
 & + \sum_{y,q,\omega}^{Y,Q,W} penalty * (De_{y,q,W,W'}^+ + De_{y,q,W,W'}^-) \\
 & + \sum_{y,w,q}^{Y,W,Q} fixCost^{t,q} * VrSf_{y,w,q} * wyWs_{y,w,q} \\
 & + \sum_{y,q}^{Y,Q} (fireCost * fe_{y-1,y,q} + (hireCost + trainCost) * he_{y-1,y,q} \\
 & + trainCost * \sum_{q':q \neq q'}^Q tn_{y-1,y,q',q})
 \end{aligned}$$

Die fiktiven Größen beschreiben Strafkosten und dienen der Steuerung der Lösungsfindung. Die Variablen, Parameter und Kostengrößen der Personalbestandsentwicklung lauten:

$fixCost^{s,q}$	Kostengröße: Durchschnittliche Lohnkosten eines Arbeitstages des Stammpersonals bei Qualifikation q .
$addWorkCost_{y,q}$	Kostengröße: Durchschnittliche Kosten der Mehrarbeit bei Qualifikation q .
$redWorkCost_{y,q}$	Kostengröße: Durchschnittliche Kosten der Minderarbeit bei Qualifikation q .
$penalty$	Kostengröße: Fiktive Strafkosten zur Angleichung der Flexibilisierungsmaßnahmen.
$fixCost^{t,q}$	Kostengröße: Durchschnittliche Lohnkosten eines Arbeitstages des variablen Personals bei Qualifikation q .
$fireCost$	Kostengröße: Kosten der Mitarbeiterfreisetzung.
$hireCost$	Kostengröße: Kosten der Mitarbeitereinstellung.
$trainCost$	Kostengröße: Kosten der Mitarbeiterweiterbildung.
$yyWs_{y,q}$	Parameter: Reguläre jährliche Arbeitstage.
$wyWs_{y,w,q}$	Parameter: Reguläre wöchentliche Arbeitstage.
$Sf_{y,q}$	Variable: Ermittelter Personalbestand im Planungsjahr y mit Qualifikation q .
$AlWkWk_{y,w,q}$	Variable: Mehrarbeit im Planungsjahr y , Kalenderwoche w mit Qualifikation q .
$RdWkWk_{y,w,q}$	Variable: Minderarbeit im Planungsjahr y , Kalenderwoche w mit Qualifikation q .
$DeWk_{y,q}^+$	Variable: Positiver Differenzwert bei Angleichen der Flexibilisierungsmaßnahmen im globalen Kontext.
$DeWk_{y,q}^-$	Variable: Negativer Differenzwert bei Angleichen der Flexibilisierungsmaßnahmen im globalen Kontext.

$De_{y,q,w,w'}^+$	Variable: Positiver Differenzwert bei Angleichen der Flexibilisierungsmaßnahmen im lokalen Kontext.
$De_{y,q,w,w'}^-$	Variable: Negativer Differenzwert bei Angleichen der Flexibilisierungsmaßnahmen im lokalen Kontext.
$VrSf_{y,w,q}$	Variable: Flexibler Personalbestand im Planungsjahr y , Kalenderwoche w mit Qualifikation q .
$fe_{y,y,q}$	Variable: Entscheidungsgröße der Personalfreisetzung im Jahr y bzgl. Qualifikation q .
$he_{y,y,q}$	Variable: Entscheidungsgröße der Personaleinstellung im Jahr y bzgl. Qualifikation q .
$tn_{y,y,q',q}$	Variable: Entscheidungsgröße der Personalweiterbildung im Jahr y . Weiterbildung von Personal mit Qualifikation q zu Qualifikation q'' .

6.1.5 Personalkapazitätsplanung

Die Planung der Personalkapazitäten erfolgt auf operativer Ebene und knüpft an die Planung der Produktionskapazitäten an, dessen Ergebnisse die Herleitung des Personalbedarfs ermöglichen. Die relevanten Entscheidungsgrößen basieren auf regulären und zusätzlichen Leistungskapazitäten, wobei Letztere durch Flexibilisierungsmaßnahmen angepasst werden können.

6.1.5.1 Personalbedarf

Der Personalbedarf leitet sich aus den Ergebnissen der Produktionskapazitätsplanung ab, indem produktive Schichten und geplante Leistungsgrade in einen gemeinsamen Zusammenhang gestellt werden. Dieses ist einem Leistungsbestand gegenüberzustellen, welcher sich aus der Leistungskapazität des Personals ergibt. Entsprechender Leistungsbestand kann in gesetzten Grenzen anhand von Flexibilisierungsmaßnahmen den lokalen Anforderungen angepasst werden.

$$tms * rgW yWkCy = \sum_{t:t \in W,s}^{T,S} d_{t,s} - wyEaHs_w + wyFrHs_w + wyAlCy_w \quad \begin{array}{l} \text{Personalbedarf:} \\ \text{P5-1} \end{array}$$

$, \forall w \text{ in } W$

$$tsODy_t * rgDyWkCy + olDyEaHs_t - olDyFrHs_t = \sum_s^S d_{t,s} \quad \begin{array}{l} \text{Personalbedarf:} \\ \text{P5-2} \end{array}$$

$, \forall t \text{ in } T: t = 0$

$$olDyFrHs_{t-1} - olDyEaHs_{t-1} + tsODy_t * rgDyWkCy + olDyEaHs_t = \sum_s^S d_{t,s} \quad \begin{array}{l} \text{Personalbedarf:} \\ \text{P5-3} \end{array}$$

$, \forall t \text{ in } T: t > 0$

$$tsODy_t * rgDyWkCy + dyEaHs_t - dyFrHs_t + alc_y_t = \sum_s^S d_{t,s} \quad \begin{array}{l} \text{Personalbedarf:} \\ \text{P5-4} \end{array}$$

$, \forall t \text{ in } T$

$$(tsODy_t - tsODyOfFrHs_t) * rgDyWe + tsODyOfFrHs_t * dyFrHs^{MAX} + tsODyOEaHs_t * dyEaHs^{MAX} \geq \sum_s^S d_{t,s} \quad \begin{array}{l} \text{Personalbedarf:} \\ \text{P5-5} \end{array}$$

$, \forall t \text{ in } T$

$$(tsODy_t - tsODyOnFrHs_t) \geq \sum_s^S sfIr_{t,s}^{BIN} - nFlStIr_{t,s}^{BIN} \quad \begin{array}{l} \text{Personalbedarf:} \\ \text{P5-6} \end{array}$$

$$tsODyOfFrHs_t + tsODyOEaHs_t \geq \sum_s^S nFlStIr_{t,s}^{BIN} \quad \begin{array}{l} \text{Personalbedarf:} \\ \text{P5-7} \end{array}$$

$$tsODy_t * rgDyWkCy + tsODy_t * dyEaHs^{MAX} \geq \sum_s^S d_{t,s} \quad \begin{array}{l} \text{Personalbedarf:} \\ \text{P5-8} \end{array}$$

$, \forall t \text{ in } T$

$$tsODy_t \leq tms \quad \begin{array}{l} \text{Personalbedarf:} \\ \text{P5-9} \end{array}$$

$, \forall t \text{ in } T$

Der Personalbedarf ist in zwei Dimensionen abzudecken, indem sowohl das tägliche wie auch das wöchentliche Arbeitsvolumen erfüllt werden. Entsprechend ergeben sich zwei Entscheidungsgrößen, welche das verfügbare Leistungspotential beschreiben, nämlich die Anzahl der einzusetzenden Teams, die eine ausreichende Kapazität leisten müssen um beide Bedarfsgrößen sicherzustellen. Die Restriktion P5-1 erfüllt diese Forderung auf Wochenebene und bezieht Maßnahmen der Flexibilisierung mit ein. Die Restriktionen P5-2 bis P5-4 leisten dieses auf Tagesebene, wobei ebenso eine Anglei-

chung der Flexibilisierungsmaßnahmen der beiden Ebenen angestrebt wird. Um Konsistenz der Planungsergebnisse zu erreichen, muss gewährleistet werden, dass das verfügbare Leistungspotential der beiden Entscheidungsgrößen aufeinander abgeglichen wird (P5-5).

rgW_{yWkCy}	Parameter: Reguläre Arbeitskapazität einer Arbeitswoche.
$rgDyWkCy$	Parameter: Reguläre Arbeitskapazität eines Arbeitstages.
$d_{t,s}$	Parameter: Personalbedarf in Planungsperiode t , Schicht s .
tms	Variable: Anzahl der Teams im Planungshorizont.
$wyEaHs_w$	Variable: Wöchentliche Mehrarbeit in Arbeitswoche w .
$wyFrHs_w$	Variable: Wöchentliche Minderarbeit in Arbeitswoche w .
$wyAlCy_w$	Variable: Hilfsvariable.
$tsODy_t$	Variable: Anzahl der Teams an Arbeitstag t .
$oldyEaHs_t$	Variable: Mehrarbeit an Arbeitstag t
$oldyFrHs_t$	Variable: Minderarbeit an Arbeitstag t .
$alCy_t$	Variable: Hilfsvariable.

6.1.5.2 Flexibilisierung der Leistungsfähigkeit

Die Flexibilisierung der Leistungskapazität wird bereits in den Personalbedarfsgleichungen einbezogen, unterliegen allerdings weiteren Einschränkungen, welche einzuhalten sind. Zum einen erfolgt die Flexibilisierung auf wöchentlicher Ebene, was durch die folgenden Restriktionen abgedeckt wird.

$$wyEaHs_w \leq M * wyEaHs_w^{BIN} , \forall w \text{ in } W \quad \begin{matrix} \text{Flexibilisierung:} \\ \text{P5-10} \end{matrix}$$

$$wyEaHs_w \geq wyEaHs_w^{BIN} , \forall w \text{ in } W \quad \begin{matrix} \text{Flexibilisierung:} \\ \text{P5-11} \end{matrix}$$

$$wyFrHs_w \leq M * wyFrHs_w^{BIN} , \forall w \text{ in } W \quad \begin{matrix} \text{Flexibilisierung:} \\ \text{P5-12} \end{matrix}$$

$$wyFrHs_w \geq wyFrHs_w^{BIN} , \forall w \text{ in } W$$

Flexibilisierung:
P5-13

$$wyEaHs_w^{BIN} + wyFrHs_w^{BIN} \leq 1 , \forall w \text{ in } W$$

Flexibilisierung:
P5-14

Zusätzlich dazu besteht Flexibilisierungspotential auf Tagesebene, was die folgenden Restriktionen abbilden:

$$dyEaHs_w \leq M * dyEaHs_w^{BIN} , \forall w \text{ in } W$$

Flexibilisierung:
P5-15

$$dyEaHs_t \geq dyEaHs_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-16

$$dyFrHs_t \leq M * dyFrHs_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-17

$$dyFrHs_t \geq dyFrHs_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-18

$$dyEaHs_t^{BIN} + dyFrHs_t^{BIN} \leq 1 , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-19

Eine Relaxation einzelner Restriktionen erfolgt durch zusätzliche Kapazitätsvariablen:

$$alCy_t \geq alCy_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-20

$$alCy_t \leq M * alCy_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-21

$$wyAlCy_t \geq wyAlCy_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-22

$$wyAlCy_t \leq M * wyAlCy_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-23

Die ausdrückliche Kopplung der Teamvariablen an das Flexibilisierungspotential wird in den folgenden Restriktionen umgesetzt:

$$tms * wyEaHs^{MAX} \geq wyEaHs_w , \forall w \text{ in } W$$

Flexibilisierung:
P5-24

$$tsODyOEaHs_t * dyEaHs^{MAX} \geq dyEaHs_t , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-25

$$tsODyOFrHs_t * dyFrHs^{MAX} \geq dyFrHs_t , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-26

$$(tsODyOFrHs_t - 1) * dyFrHs^{MAX} \leq dyFrHs_t , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-27

$$tsODyOEaHs_t \leq tsODy_t , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-28

$$tsODyOFrHs_t \leq tsODy_t , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-29

$$tsODyOFrHs_t \leq M * tsODyOFrHs_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-30

$$tsODyOFrHs_t \geq tsODyOFrHs_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-31

$$tsODyOEaHs_t \leq M * tsODyOEaHs_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-32

$$tsODyOEaHs_t \geq tsODyOEaHs_t^{BIN} , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-33

$$tsODyOEaHs_t^{BIN} + tsODyOFrHs_t^{BIN} \leq 1 , \forall t \text{ in } T$$

Flexibilisierung:
P5-34

$$\sum_t^{t+6} tsODy \leq (tms - 1) * rgDyWkCy , \forall t \leq |T| - 6$$

Flexibilisierung:
P5-35

Die Restriktionen P5-10 bis P5-14 koppeln auf Wochenebene die Mehr- und Minderarbeit miteinander, so dass in einem Arbeitsbereich höchstens eine der Flexibilisierungsmaßnahmen gewählt werden darf. Auf Tagesebene regeln die Restriktionen P5-15 bis P5-19 den gleichen Sachverhalt. Die Restriktionen P5-24 bis P5-35 beschreiben die Anforderungen, welche den Flexibilisierungsmaßnahmen Grenzen setzen und die einzuhalten sind. So dürfen nur begrenzt Mehrarbeit oder Minderarbeit angewandt werden.

M	Parameter: Eine große Zahl.
$wyEaHs^{MAX}$	Parameter: Maximal zulässige Obergrenze an Mehrarbeit in einer Woche.
$dyEaHs^{MAX}$	Parameter: Maximal zulässige Obergrenze an Mehrarbeit an einem Tag.
$dyFrHs^{MAX}$	Parameter: Maximal zulässige Obergrenze an Minderarbeit pro Tag.
$wyEaHs_w$	Variable: Wöchentliche Mehrarbeit in Arbeitswoche w .
$wyEaHs_w^{BIN}$	Variable: Binärer Indikator, dass Mehrarbeit gewählt wurde.
$wyFrHs_w$	Variable: Wöchentliche Minderarbeit in Arbeitswoche w .
$wyFrHs_w^{BIN}$	Variable: Binärer Indikator, dass Minderarbeit gewählt wurde.
$dyEaHs_w$	Variable: Mehrarbeit an Arbeitstag t .
$dyEaHs_w^{BIN}$	Variable: Binärer Indikator, dass Mehrarbeit gewählt wurde.
$dyFrHs_t$	Variable: Minderarbeit an Arbeitstag t .
$dyFrHs_t^{BIN}$	Variable: Binärer Indikator, dass Minderarbeit gewählt wurde.
$alCy_t$	Variable: Hilfsvariable.

$alCy_t^{BIN}$	Variable: Binärer Indikator der Hilfsvariablen.
$wyAlCy_t$	Variable: Hilfsvariable.
$wyAlCy_t^{BIN}$	Variable: Binärer Indikator der Hilfsvariablen.
tms	Variable: Anzahl sämtlicher Teams im Planungshorizont.
$tsODyOEaHs_t$	Variable: Anzahl der Teams, welche an Arbeitstag t Mehrarbeit leisten.
$tsODyOFrHs_t$	Variable: Anzahl der Teams, welche an Arbeitstag t Minderarbeit leisten.
$tsODy_t$	Variable: Anzahl der eingeplanten Teams an Arbeitstag t .
$tsODyOFrHs_t^{BIN}$	Variable: Binärer Indikator, dass Teams Minderarbeit leisten.
$tsODyOEaHs_t^{BIN}$	Variable: Binärer Indikator, dass Teams Mehrarbeit leisten.

6.1.5.3 Schichtbezogene Leistungsfähigkeit

Die Personalkapazitäten sind dem Schichtsystem einzuordnen, welches bereits bei der Produktionskapazitätsplanung bestimmt wurde.

$$d_{t,s} \leq M * sfIr_{t,s}^{BIN} , \forall t \text{ in } T, s \text{ in } S \quad \begin{matrix} \text{Schichtsystem:} \\ \text{P5-36} \end{matrix}$$

$$d_{t,s} \geq sfIr_{t,s}^{BIN} , \forall t \text{ in } T, s \text{ in } S \quad \begin{matrix} \text{Schichtsystem:} \\ \text{P5-37} \end{matrix}$$

$$(sfDn_s - d_{t,s}) \leq M * nFlStIr_{t,s}^{BIN} , \forall t \text{ in } T, s \text{ in } S \quad \begin{matrix} \text{Schichtsystem:} \\ \text{P5-38} \end{matrix}$$

$$(sfDn_s - d_{t,s}) \geq nFlStIr_{t,s}^{BIN} , \forall t \text{ in } T, s \text{ in } S \quad \begin{matrix} \text{Schichtsystem:} \\ \text{P5-39} \end{matrix}$$

$$\sum_s^S sfIr_{t,s}^{BIN} = tsODy_t + tsODyOEaHs_t + sfDeams_t , \forall t \text{ in } T \quad \begin{matrix} \text{Schichtsystem:} \\ \text{P5-40} \end{matrix}$$

$$\sum_s nFlStIr_{t,s}^{BIN} \geq tsODyOFrHs_t \quad , \forall t \text{ in } T \quad \begin{array}{l} \text{Schichtsystem:} \\ \text{P5-41} \end{array}$$

Da nicht immer sämtliche Schichten vollständig verplant werden können, gilt es bei der Personalkapazitätsplanung zu bestimmen, ob angefangene Schichten in Form von Überstunden oder als vollständige Schichtarbeit mit Minderarbeit abzuleisten sind. Die Anzahl der angefangenen Schichten leitet sich von den Personalbedarfen ab und wird durch die Restriktionen P5-36 und P5-37 ermittelt. Dabei dient eine binäre Indikatorvariable zur Kennzeichnung der Schichten. Für jede angefangene Schicht wird in den Restriktionen P5-38 und P5-39 geprüft, ob diese Schichten voll ausgenutzt werden oder nicht. Die Restriktionen P5-40 und P5-41 regelt die Zuteilung der Teams zur Leistung von Mehrarbeit oder Minderarbeit.

$d_{t,s}$	Parameter: Verplante Produktionskapazität auf Basis der zeitlichen Dimensionierung.
M	Parameter: Eine große Zahl.
$sfDn_s$	Parameter: Zeitliche Dimensionierung einer Schicht s .
$sfIr_{t,s}^{BIN}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, dass eine Schicht genutzt wird.
$nFlStIr_{t,s}^{BIN}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, die ausdrückt dass eine Schicht nicht voll ausgenutzt wird.
$tsODy_t$	Variable: Anzahl der eingeplanten Teams an Arbeitstag t .
$tsODyOEaHs_t$	Variable: Anzahl der Teams, welche an Arbeitstag t Mehrarbeit leisten.
$sfDeams_t$	Variable: Hilfsvariable.
$tsODyOFrHs_t$	Variable: Anzahl der Teams, welche an Arbeitstag t Minderarbeit leisten.

6.1.5.4 Zielfunktion

Die Zielfunktion der Personalkapazitätsplanung besteht auf realen sowie fiktiven Kostengrößen und lautet:

$$\begin{aligned} \text{Min Cost} = & \sum_w^W (eaHCosts * wyEaHs_w + frHCosts * wyFrHs_w \\ & + penaltyCost^1 * wyAlCy_w) + \sum_t^T penaltyCost^2 * alCy_t + fixTeamCosts * tms \end{aligned}$$

<i>eaHCosts</i>	Kostengröße: Die durchschnittlichen Kosten einer geleisteten Stunde Mehrarbeit.
<i>frHCosts</i>	Kostengröße: Eine fiktive Kostengröße, um Minderarbeit zu bestrafen.
<i>penaltyCost¹</i>	Kostengröße: Strafkosten, die mit einer Hilfsvariablen assoziiert sind.
<i>penaltyCost²</i>	Kostengröße: Strafkosten, die mit einer Hilfsvariablen assoziiert sind.
<i>fixTeamCosts</i>	Kostengröße: Fixkosten für die Administration eines Teams.
<i>wyEaHs_w</i>	Variable: Wöchentliche Mehrarbeit in Arbeitswoche <i>w</i> .
<i>wyFrHs_w</i>	Variable: Wöchentliche Minderarbeit in Arbeitswoche <i>w</i> .
<i>wyAlCy_w</i>	Variable: Hilfsvariable.
<i>alCy_t</i>	Variable: Hilfsvariable.
<i>tms</i>	Variable: Anzahl Teams im Planungshorizont.

6.1.6 Personaleinsatzplanung

Die Personaleinsatzplanung erfolgt im Anschluss an die Personalkapazitätsplanung, mit dem Ziel, die konkreten Teamkapazitäten auf die einzelnen Schichten zu verteilen. Dabei werden erneut Maßnahmen zur Flexibilisierung beachtet und bei Bedarf angewandt.

6.1.6.1 Schichtbedarf

Die Schichtbedarfsgleichungen stellen die Teams dem konkreten Schichtbedarf gegenüber, so dass eine vollständige Bedarfsdeckung erfolgt (P6-1 bis P6-3).

$$\sum_t^T tmOEySt_{p,t} = d_{p,0} \quad , \forall p \text{ in } P, s \text{ in } S \quad \begin{matrix} \text{Schichtbedarf:} \\ \text{P6-1} \end{matrix}$$

$$\sum_t^T tmOLeSt_{p,t} = d_{p,1} \quad , \forall p \text{ in } P, s \text{ in } S \quad \begin{matrix} \text{Schichtbedarf:} \\ \text{P6-2} \end{matrix}$$

$$\sum_t^T tmONtSt_{p,t} = d_{p,2} \quad , \forall p \text{ in } P, s \text{ in } S \quad \begin{matrix} \text{Schichtbedarf:} \\ \text{P6-3} \end{matrix}$$

$$tmOEySt_{p,t} + tmOLeSt_{p,t} + tmONtSt_{p,t} + tmONoSt_{p,t} = 1 \quad \begin{matrix} \text{Schichtbedarf:} \\ , \forall p \text{ in } P, t \text{ in } T \end{matrix} \quad \begin{matrix} \text{P6-4} \end{matrix}$$

Die genutzten Variablen und Parameter lauten:

$d_{p,s}$ Parameter: Binärer Bedarfsindikator, der das Besetzen einer Schicht s in Planungsperiode p ausdrückt.

$tmOEySt_{p,t}$ Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Frühschicht in Planungsperiode p markiert.

$tmOLeSt_{p,t}$ Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Spätschicht in Planungsperiode p markiert.

$tmONtSt_{p,t}$ Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Nachschicht in Planungsperiode p markiert.

$tmONoSt_{p,t}$ Variable: Binäre Indikatorvariable, welche ausdrückt dass ein Team t keiner Schicht in Planungsperiode p zugeordnet ist.

6.1.6.2 Leistungskapazitäten

Der Einsatz der verschiedenen Teams unterliegt konkreten Beschränkungen, die es bei der Verteilung der Leistungskapazitäten zu beachten gilt. Dazu zählen neben regulären auch zusätzliche Kapazitäten, welche anhand von Flexibilisierungsmaßnahmen angepasst werden können.

$$\sum_{p:p \in W}^P (tmOEySt_{p,t} + tmOLESt_{p,t} + tmONtSt_{p,t}) * dyWkTe \quad \text{Leistungskapazität: P6-5}$$

$$+ tmFrHs_{w,t} - tmEaHs_{w,t} = wyWkTe \quad , \forall w \text{ in } W, t \text{ in } T$$

$$tmEaHs_{w,t} \leq eaHs^{MAX} \quad , \forall w \text{ in } W, t \text{ in } T \quad \text{Leistungskapazität: P6-6}$$

$$tmFrHs_{w,t} \leq frHs^{MAX} \quad , \forall w \text{ in } W, t \text{ in } T \quad \text{Leistungskapazität: P6-7}$$

$$tmEaHs_{w,t} \leq M * tmEaHs_{w,t}^{BIN} \quad , \forall w \text{ in } W, t \text{ in } T \quad \text{Leistungskapazität: P6-8}$$

$$tmEaHs_{w,t} \geq tmEaHs_{w,t}^{BIN} \quad , \forall w \text{ in } W, t \text{ in } T \quad \text{Leistungskapazität: P6-9}$$

$$tmFrHs_{w,t} \leq M * tmFrHs_{w,t}^{BIN} \quad , \forall w \text{ in } W, t \text{ in } T \quad \text{Leistungskapazität: P6-10}$$

$$tmFrHs_{w,t} \geq tmFrHs_{w,t}^{BIN} \quad , \forall w \text{ in } W, t \text{ in } T \quad \text{Leistungskapazität: P6-11}$$

$$tmEaHs_{w,t}^{BIN} + tmFrHs_{w,t}^{BIN} \leq 1 \quad , \forall w \text{ in } W, t \text{ in } T \quad \text{Leistungskapazität: P6-12}$$

Die Restriktion P6-5 beschreibt für jedes Team t die Erfüllung der regulären wöchentlichen Arbeitskapazität, wobei bereits Flexibilisierungsmaßnahmen in Form von Mehr- oder Minderarbeit beachtet werden. Die Restriktionen P6-6 bis P6-12 sorgen für die

Einhaltung der vorgegebenen Grenzen, welche das Leisten von Mehr- bzw. Minderarbeit einschränken. Dabei genutzte Variablen und Parameter sind:

$dyWkTe$	Parameter: Tägliche Leistungskapazität.
$wyWkTe$	Parameter: Wöchentliche Leistungskapazität.
M	Parameter: Eine große Zahl.
$eaHs^{MAX}$	Parameter: Maximale Obergrenze zulässiger Mehrarbeit.
$frHs^{MAX}$	Parameter: Maximale Obergrenze zulässiger Minderarbeit.
$tmOEySt_{p,t}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Frühschicht in Planungsperiode p markiert.
$tmOLeSt_{p,t}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Spätschicht in Planungsperiode p markiert.
$tmONtSt_{p,t}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Nachschicht in Planungsperiode p markiert.
$tmFrHs_{w,t}$	Variable: Durch Team t in Arbeitswoche w geleistete Minderarbeit.
$tmEaHs_{w,t}$	Variable: Durch Team t in Arbeitswoche w geleistete Mehrarbeit.
$tmEaHs_{w,t}^{BIN}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, die markiert dass Mehrarbeit durch Team t in Woche w geleistet wird.
$tmFrHs_{w,t}^{BIN}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, die markiert dass Minderarbeit durch Team t in Woche w geleistet wird.

6.1.6.3 Schichtwechsel

Bei Einsatz eines Mehrschichtbetriebs ist zu gewährleisten, dass den Belastungen der Schichtarbeit, besonders das Arbeiten zu späten Stunden, entgegengewirkt wird, indem die Teams durch Rotation sich beim Leisten der Schichten abwechseln.

$$tmEyStCe_{p,t} = ilEyStCe \quad , \forall p \text{ in } P: p = 0, t \text{ in } T \quad \begin{matrix} \text{Schichtrotation:} \\ \text{P6-13} \end{matrix}$$

$$tmLeStCe_{p,t} = ilLeStCe \quad , \forall p \text{ in } P: p = 0, t \text{ in } T \quad \begin{matrix} \text{Schichtrotation:} \\ \text{P6-14} \end{matrix}$$

$$tmNtStCe_{p,t} = ilNtStCe \quad , \forall p \text{ in } P: p = 0, t \text{ in } T \quad \begin{matrix} \text{Schichtrotation:} \\ \text{P6-15} \end{matrix}$$

$$tmOEySt_{p,t} - tmOEySt_{p-1,t} = tmEyStCe_{p,t} \quad \text{Schichtrotation:} \\ , \forall p \text{ in } P: p > 0, t \text{ in } T \quad \text{P6-16}$$

$$tmOLeSt_{p,t} - tmOLeSt_{p-1,t} = tmLeStCe_{p,t} \quad \text{Schichtrotation:} \\ , \forall p \text{ in } P: p > 0, t \text{ in } T \quad \text{P6-17}$$

$$tmONtSt_{p,t} - tmONtSt_{p-1,t} = tmNtStCe_{p,t} \quad \text{Schichtrotation:} \\ , \forall p \text{ in } P: p > 0, t \text{ in } T \quad \text{P6-18}$$

$$\sum_{p:p \in w} (|tmEyStCe_{p,t}| + |tmLeStCe_{p,t}| + |tmNtStCe_{p,t}|) \geq 1 \quad , \forall w \text{ in } W, t \text{ in } T$$

Schichtrotation:
P6-19

$$tmOEySt_{p,t} + tmONtSt_{p-1,t} \leq 1 \quad , \forall p \text{ in } P: p \geq 1, t \text{ in } T \quad \begin{matrix} \text{Schichtrotation:} \\ \text{P6-20} \end{matrix}$$

Dazu wird für jedes Team der letzte Rotationszustand protokolliert (P6-13 bis P6-18), der in Form von drei Binärvariablen mitgeführt wird. Der Rotationszustand muss innerhalb einer Woche mindestens einmal gewechselt werden (P6-19), wobei darauf zu achten ist, dass auf eine Nachschicht nie direkt eine Frühschicht folgt (P6-20).

ilEyStCe Parameter: Initialer Parameter {-1,0,1}, welcher die letzte Schichtrotation in eine Frühschicht markiert.

ilLeStCe Parameter: Initialer Parameter {-1,0,1}, welcher die letzte Schichtrotation in eine Spätschicht markiert.

$ilNtStCe$	Parameter: Initialer Parameter {-1,0,1}, welcher die letzte Schichtrotation in eine Nachschicht markiert.
$tmEyStCe_{p,t}$	Variable: Drückt aus, dass die letzte Rotation in eine Frühschicht stattgefunden hat.
$tmLeStCe_{p,t}$	Variable: Drückt aus, dass die letzte Rotation in eine Spätschicht stattgefunden hat.
$tmNtStCe_{p,t}$	Variable: Drückt aus, dass die letzte Rotation in eine Nachschicht stattgefunden hat.
$tmOEySt_{p,t}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Frühschicht in Planungsperiode p markiert.
$tmOLeSt_{p,t}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Spätschicht in Planungsperiode p markiert.
$tmONtSt_{p,t}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Nachschicht in Planungsperiode p markiert.

6.1.6.4 Arbeitsfreie Tage

Neben der Bestimmung, welches Team in welcher Schicht einzusetzen ist, muss auch bestimmt werden, an welchen Tagen ein Team von der Arbeit freizustellen ist.

$$\sum_{p':p' \in \{p, \dots, p+6\}}^P (tmOEySt_{p',t} + tmOLeSt_{p',t} + tmONtSt_{p',t}) \leq wkDs^{MAX} \quad \begin{matrix} \text{Freizeit:} \\ \text{P6-21} \end{matrix}$$

$, \forall p \text{ in } P, t \text{ in } T$

$$\sum_{p':p' \in \{p, \dots, p+13\}}^P tmONoSt_{p',t} \geq feDs^{MIN} \quad , \forall p \text{ in } P, t \text{ in } T \quad \begin{matrix} \text{Freizeit:} \\ \text{P6-22} \end{matrix}$$

Um größtmögliche Flexibilität bei der Umsetzung dieser Anforderung zu haben, sind innerhalb von festen Intervallen entsprechende Grenzen einzuhalten, wobei auf die konkrete Ausgestaltung nicht weiter eingewirkt wird. Restriktion P6-21 beschreibt eine Obergrenze innerhalb eines Intervalls von 7 Arbeitstagen, die die maximal zulässige

Anzahl an Arbeitstagen ausdrückt. Dieses steht in Kombination mit Restriktion P6-22, welche innerhalb von 14 Arbeitstagen eine Mindestanzahl an arbeitsfreien Tagen fordert.

$wkDs^{MAX}$	Parameter: Maximal zulässige Arbeitstage innerhalb eines festen Intervalls.
$feDs^{MIN}$	Parameter: Minimal zulässige arbeitsfreie Tage innerhalb eines festen Intervalls.
$tmOEySt_{p,t}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Frühschicht in Planungsperiode p markiert.
$tmOLeSt_{p,t}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Spätschicht in Planungsperiode p markiert.
$tmONtSt_{p,t}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche die Zuordnung von einem Team t zur konkreten Nachschicht in Planungsperiode p markiert.
$tmONoSt_{p,t}$	Variable: Binäre Indikatorvariable, welche ausdrückt dass ein Team t keiner Schicht in Planungsperiode p zugeordnet ist.

6.1.6.5 Schichtausgleich

Um einen Ausgleich der unterschiedlichen Arbeitsbelastung zwischen den Teams zu erreichen, sind flexible Formulierungen notwendig, welche die restliche Modellierung des Planungsgegenstands nicht zu sehr beeinflussen.

$$\sum_{p,t}^{P,T} \frac{tmOEySt_{p,t}}{|T|} = avgEyStUeVr \quad \begin{array}{l} \text{Schichtausgleich:} \\ \text{P6-23} \end{array}$$

$$\sum_{p,t}^{P,T} \frac{tmOLeSt_{p,t}}{|T|} = avgLeStUeVr \quad \begin{array}{l} \text{Schichtausgleich:} \\ \text{P6-24} \end{array}$$

$$\sum_{p,t}^{P,T} \frac{tmONtSt_{p,t}}{|T|} = avgNtStUeVr \quad \begin{array}{l} \text{Schichtausgleich:} \\ \text{P6-25} \end{array}$$

$$\sum_p^P tmOEySt_{p,t} - avgEyStUeVr = dfEyStUeVr_t \quad , \forall t \text{ in } T \quad \begin{array}{l} \text{Schichtausgleich:} \\ \text{P6-26} \end{array}$$

$$\sum_p^P tmOLeSt_{p,t} - avgLeStUeVr = dfLeStUeVr_t \quad , \forall t \text{ in } T \quad \begin{array}{l} \text{Schichtausgleich:} \\ \text{P6-27} \end{array}$$

$$\sum_p^P tmONtSt_{p,t} - avgNtStUeVr = dfNtStUeVr_t \quad , \forall t \text{ in } T \quad \begin{array}{l} \text{Schichtausgleich:} \\ \text{P6-28} \end{array}$$

Die Restriktionen P6-23 bis P6-25 ermitteln die durchschnittliche Schichtnutzung, gemessen an allen Teams. Für sämtliche Teams wird in den Restriktionen P6-26 bis P6-28 die Abweichung vom Durchschnitt berechnet, welche zur Verringerung mit Strafkosten bewertet und in die Zielfunktion aufgenommen werden.

T Parameter: Menge der Teams. $|T|$ ist die Anzahl der Teams.

$tmOEySt_{p,t}$ Variable: Binäre Zuordnung von einem Team t zur Frühschicht in Periode p .

$tmOLeSt_{p,t}$ Variable: Binäre Zuordnung von einem Team t zur Spätschicht in Periode p .

$tmONtSt_{p,t}$ Variable: Binäre Zuordnung von einem Team t zur Nachschicht in Periode p .

$avgEyStUeVr$ Variable: Durchschnittliche Nutzung der Frühschicht im gesamten Horizont.

$avgLeStUeVr$ Variable: Durchschnittliche Nutzung der Spätschicht im gesamten Horizont.

$avgNtStUeVr$ Variable: Durchschnittliche Nutzung der Nachschicht im gesamten Horizont.

$dfEyStUeVr_t$ Variable: Vom Durchschnitt der Frühschichtnutzung abweichende Differenz des Teams t .

$dfLeStUeVr_t$	Variable: Vom Durchschnitt der Spätschichtnutzung abweichende Differenz des Teams t .
$dfNtStUeVr_t$	Variable: Vom Durchschnitt der Nachschichtnutzung abweichende Differenz des Teams t .

6.1.6.6 Zielfunktion

Die Zielfunktion der Personaleinsatzplanung verfolgt eine Minimierung der Kosten und setzt sich ausschließlich aus fiktiven Kostengrößen zusammen. Dies begründet sich in dem Umstand, dass sämtliche Entscheidungsgrößen, welche auf monetäre Größen einwirken, bereits in den vorgelagerten Modellen bestimmt wurden. Die Zielfunktion lautet:

$$\begin{aligned} \text{Min Cost} = & \sum_{p,t}^{P,T} (|tmEyStCe_{p,t}| * ShiftChangeCost \\ & + |tmLeStCe_{p,t}| * ShiftChangeCost + |tmNtStCe_{p,t}| * ShiftChangeCost) \\ & + \sum_t^T (|dfEyStUeVr_t| * penaltyCost^1 + |dfLeStUeVr_t| * penaltyCost^2 \\ & + |dfNtStUeVr_t| * penaltyCost^3) \end{aligned}$$

$ShiftChangeCost$	Kostengröße: Strafkostenmaß, welches das Wechseln der Schichten unterstützt.
$penaltyCost^{[1,2,3]}$	Kostengröße: Strafkostenmaß, welches das Abweichen vom Durchschnitt der [Früh-, Spät-, Nacht-] Schichtnutzung bestraft.
$tmEyStCe_{p,t}$	Variable: Drückt aus, dass die letzte Rotation in eine Frühschicht stattgefunden hat.
$tmLeStCe_{p,t}$	Variable: Drückt aus, dass die letzte Rotation in eine Spätschicht stattgefunden hat.
$tmNtStCe_{p,t}$	Variable: Drückt aus, dass die letzte Rotation in eine Nachschicht stattgefunden hat.
$dfEyStUeVr_t$	Variable: Vom Durchschnitt der Frühschichtnutzung abweichende Differenz des Teams t .

$dfLeStUeVr_t$	Variable: Vom Durchschnitt der Spätschichtnutzung abweichende Differenz des Teams t .
$dfNtStUeVr_t$	Variable: Vom Durchschnitt der Nachschichtnutzung abweichende Differenz des Teams t .

6.2 Validierung

Der folgende Abschnitt dient der Validierung der aus Kapitel 5 hergeleiteten Modelle, welche im vorherigen Abschnitt vorgestellt wurden. Es ist festzustellen, ob die Modellformulierungen die beabsichtigten Planungsgegenstände abbilden und durch ein geeignetes Lösungsverfahren zu den gewünschten Ergebnissen führen.

Bei den verwendeten Daten, die zur Parametrisierung genutzt werden, handelt es sich um Echtdaten eines Automobilzulieferers, welche anonymisiert und dahingehend verfremdet wurden, so dass keine Rückschlüsse zum Unternehmen gezogen werden können. Der Einsatz von Echtdaten soll die Anwendbarkeit in einem operativen Umfeld aufzeigen.

6.2.1 Produktionskapazitätsplanung

Das Modell der Produktionskapazitätsplanung stellt das umfangreichste aller Modelle dar. Es deckt Aspekte sämtlicher nachfolgenden Planungsmodelle ab und zieht bereits Entscheidungen vor, welche synchron zu Produktionsentscheidungen getroffen werden müssen.

Die Datenbasis beschreibt einen Produktionsbereich des Unternehmens und umfasst sämtliche Produktionsstufen, von der Rohteilebearbeitung bis zur Montage der Endprodukte. Es werden 20 Maschinen und 43 Produkte in einem Planungshorizont von 56 Tagen betrachtet.

6.2.1.1 Produktionsmengen, Lagerbestand und Lieferfähigkeit

Eine der primären Entscheidungsgrößen des Modells ist die Dimensionierung der zeitlichen und mengenmäßigen Leistungserbringung, so dass eine Sicherstellung der Kundenbedarfe gewährleistet werden kann. Entsprechend ist zu bestimmen, welche Produkte, an welchen Tagen, auf welchen Maschinen und in welcher Menge herzustellen sind (vgl. Abbildung 39).

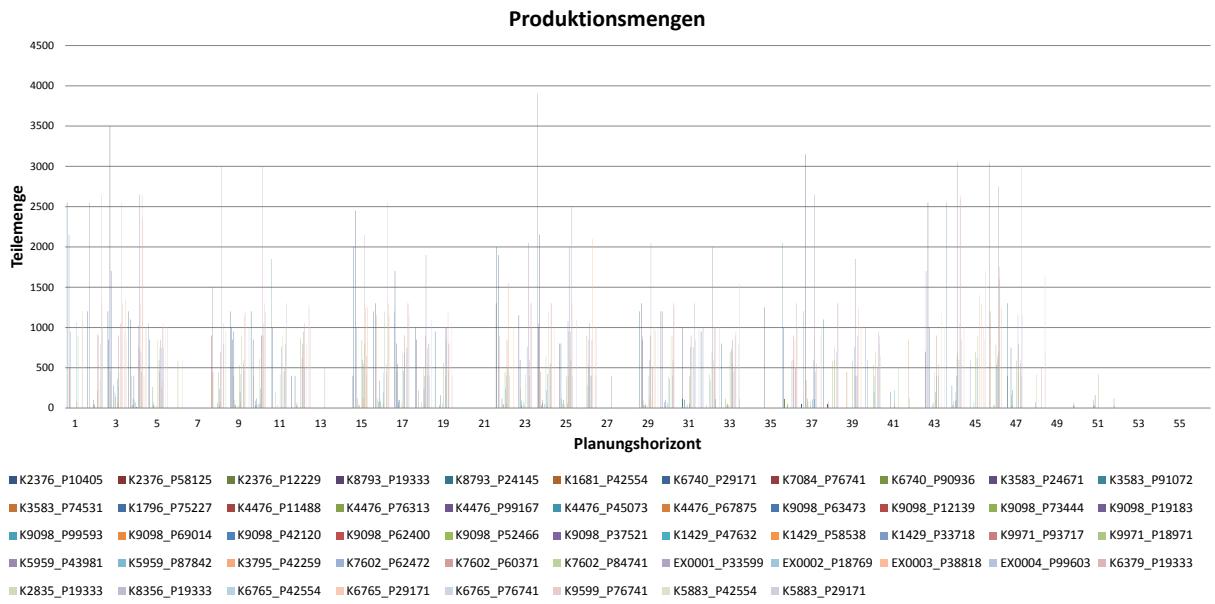


Abbildung 39 Produktionsmengen im Planungshorizont

Die Bestimmung dieser Werte ist eng verknüpft mit den Entscheidungen bzgl. der Lagerbestandsentwicklung (s. Abbildung 40), da beide Entscheidungsgrößen durch die Lagerbilanzgleichung miteinander gekoppelt sind. Im aktuellen Beispiel erreichen die Planungsergebnisse eine vollständige Lieferfähigkeit zum Kunden, so dass kein Lieferverzug im Planungshorizont auftritt.

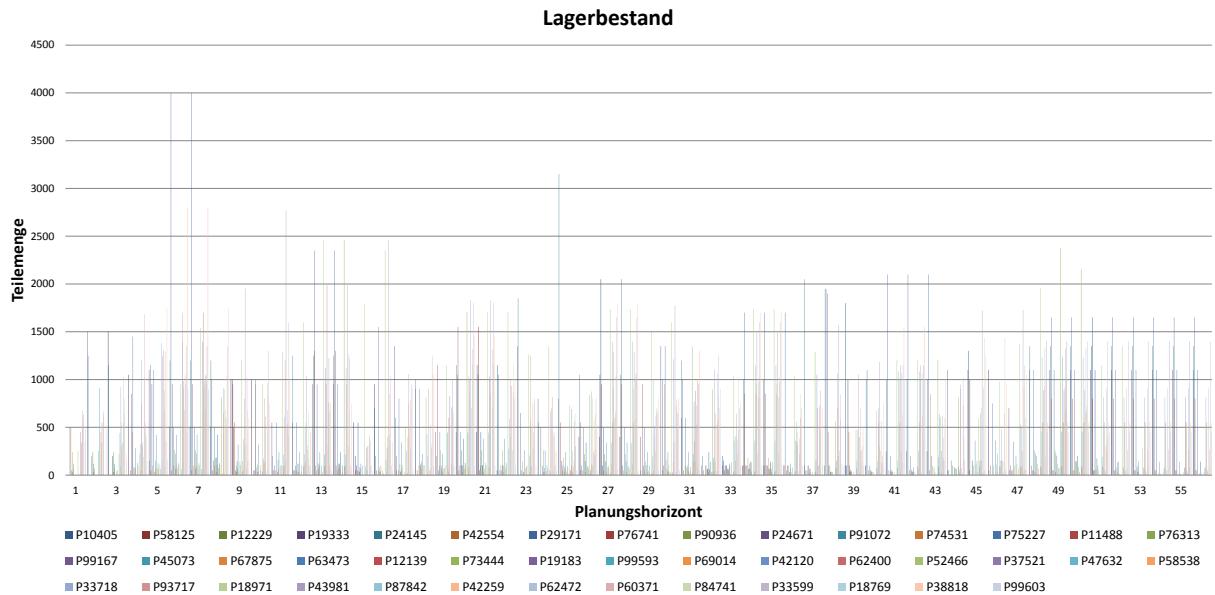


Abbildung 40 Lagerbestand im Planungshorizont

6.2.1.2 Lagerkapazitäten

Die Lagerkapazitäten werden durch eine Reichweitenvorgabe der Unternehmensleitung bestimmt und passen sich dynamisch der aktuellen Bedarfssituation an. Aufgrund der hohen Lösungskomplexität ist das Modell durch das Bilden von Teilmodellen zu lösen, was eine besondere Herausforderung für die Einhaltung der Lagerkapazitäten darstellt.

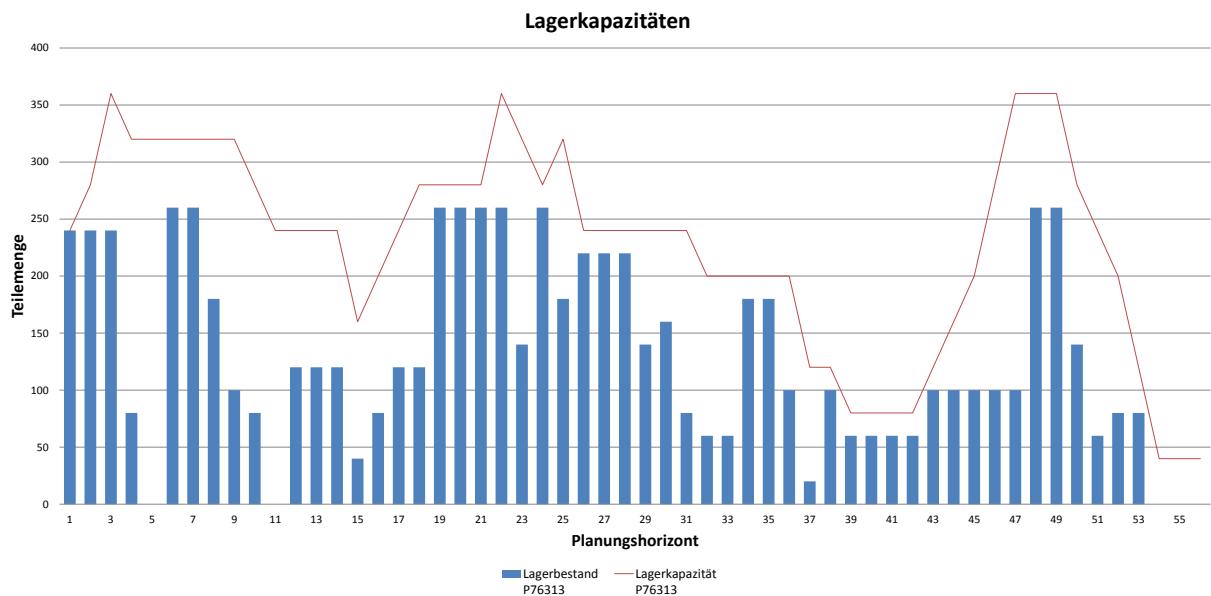


Abbildung 41 Einhalten der Lagerkapazitäten im Planungshorizont

Abbildung 41 stellt den Verlauf des Lagerbestands für ein ausgewähltes Produkt im Planungshorizont dar. Es ist klar zu erkennen, dass die zulässige Lagerkapazität permanent unterschritten wird, was eine Einhaltung der Vorgaben bedeutet.

6.2.1.3 Ladungsträger

Die zu bestimmenden Produktionsmengen sind an das Ladungsträgermanagement zu koppeln, so dass der am Produktionsprogramm ausgerichtete Ladungsträgerbedarf abgeleitet werden kann. Abbildung 42 stellt für ein ausgewähltes Produkt die Produktionsmengen sowie die damit einhergehenden Entscheidungen bzgl. der zu verwendenden Ladungsträger dar.

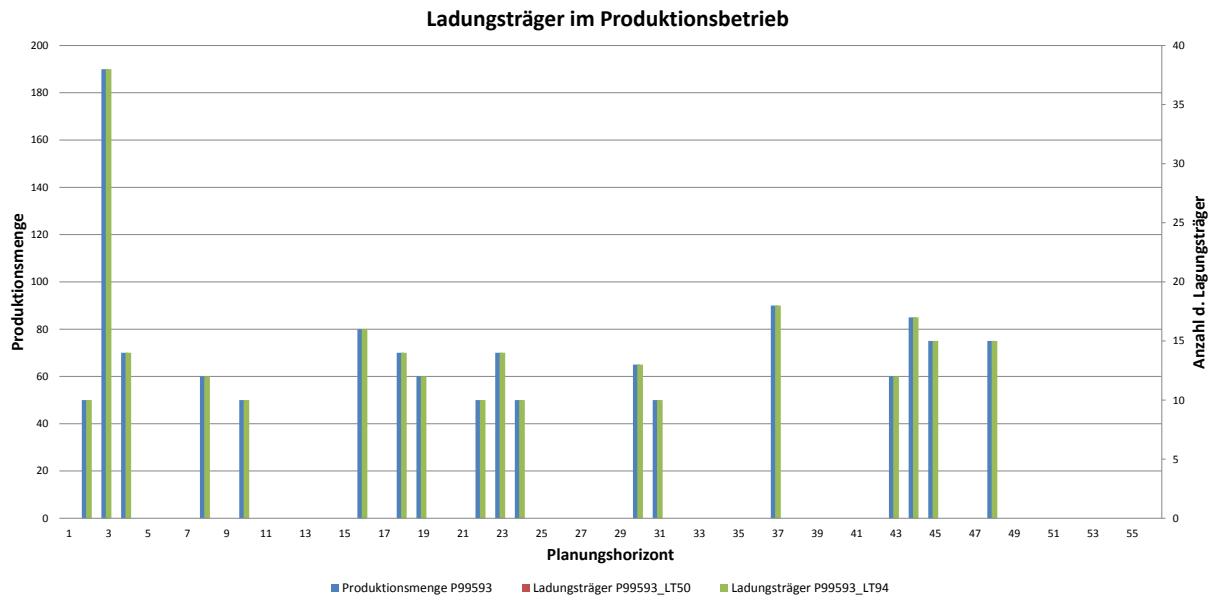


Abbildung 42 Am Ladungsträgerbestand ausgerichtetes Produktionsprogramm

6.2.1.4 Instandhaltung

Um durch eine präventive Instandhaltungsstrategie die Störungen des Produktionsbetriebs sowie die damit einhergehenden Produktionsausfallkosten und –Zeiten zu verringern, ist zu überprüfen ob die entsprechenden Instandhaltung korrekt in den Planungsergebnissen aufgezeigt werden.

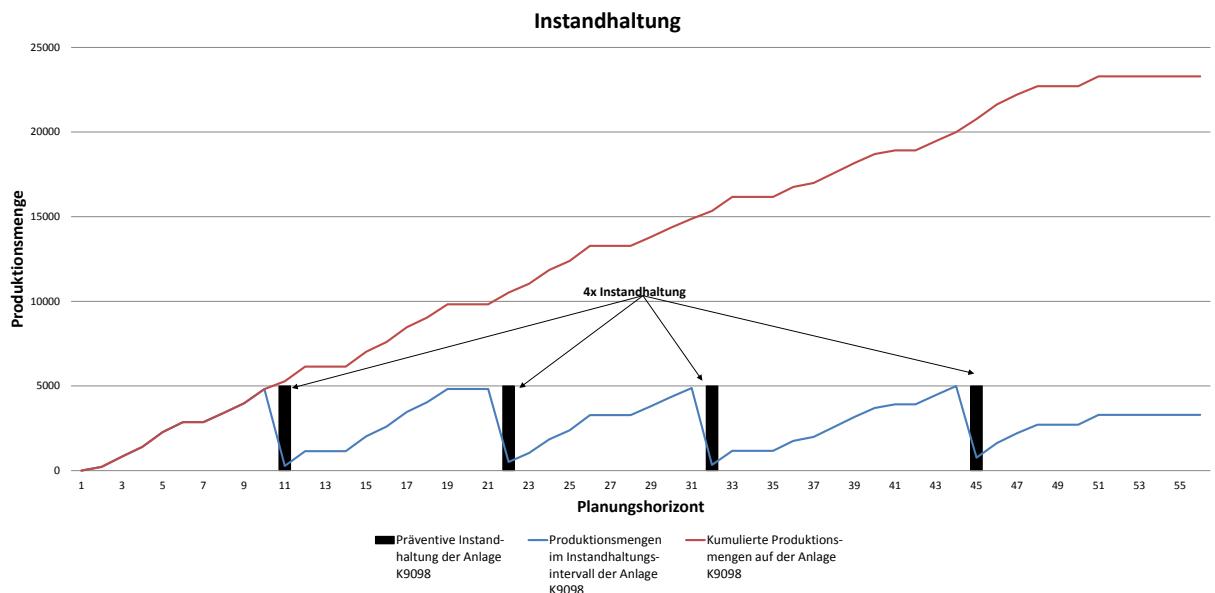


Abbildung 43 Einplanen einer präventiven Instandhaltung

Abbildung 43 stellt die entsprechenden Entscheidungsgrößen im Planungsmodell dar und verdeutlicht die Einplanung der Instandhaltungsaktivitäten bei Erreichen einer definierten Instandhaltungsgrenze.

6.2.1.5 Schichtsystem

Bei der Bestimmung der Produktionskapazitäten ist das betrieblich zulässige Schichtsystem von großer Bedeutung, da es die Menge der abrufbaren Leistung bestimmt. Daher beschreibt das Schichtsystem, bzw. die damit assoziierte zeitliche Dimension, das maßgebliche Kriterium bzgl. einer kapazitativen Einschränkung der Entscheidungsgrößen. Abbildung 44 stellt das Ergebnis der verplanten Schichten einer ausgewählten Produktionsanlage dar. Es ist gut zu erkennen, dass teure Nachschichten und zusätzliche Kapazitäten an Wochenenden nur selten abgerufen werden.

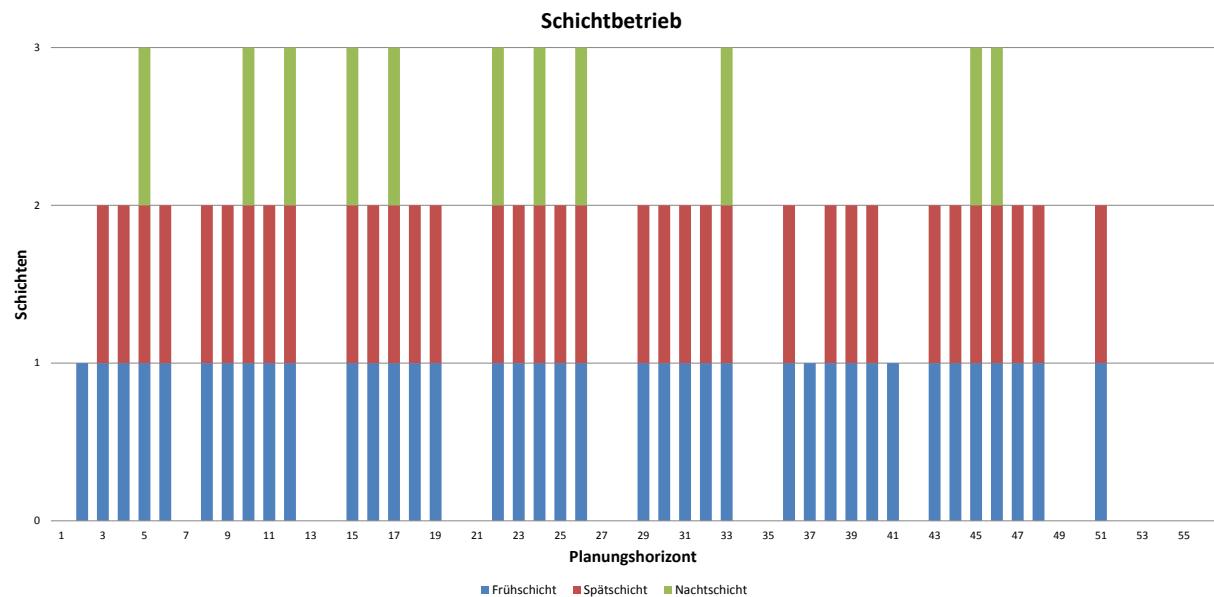


Abbildung 44 Verplanen von Schichten innerhalb zulässiger Grenzen

6.2.2 Reihenfolgeplanung

Die Reihenfolgeplanung knüpft an die Produktionskapazitätsplanung an und strukturiert die dort getroffenen Entscheidungen derart, dass eine feste und zeitbezogene Abfolge der betroffenen betrieblichen Aktivitäten ermittelt wird. Der Planungshorizont ist auf 14 Tage begrenzt, welche den ersten 2 Wochen der Produktionskapazitätsplanung entsprechen.

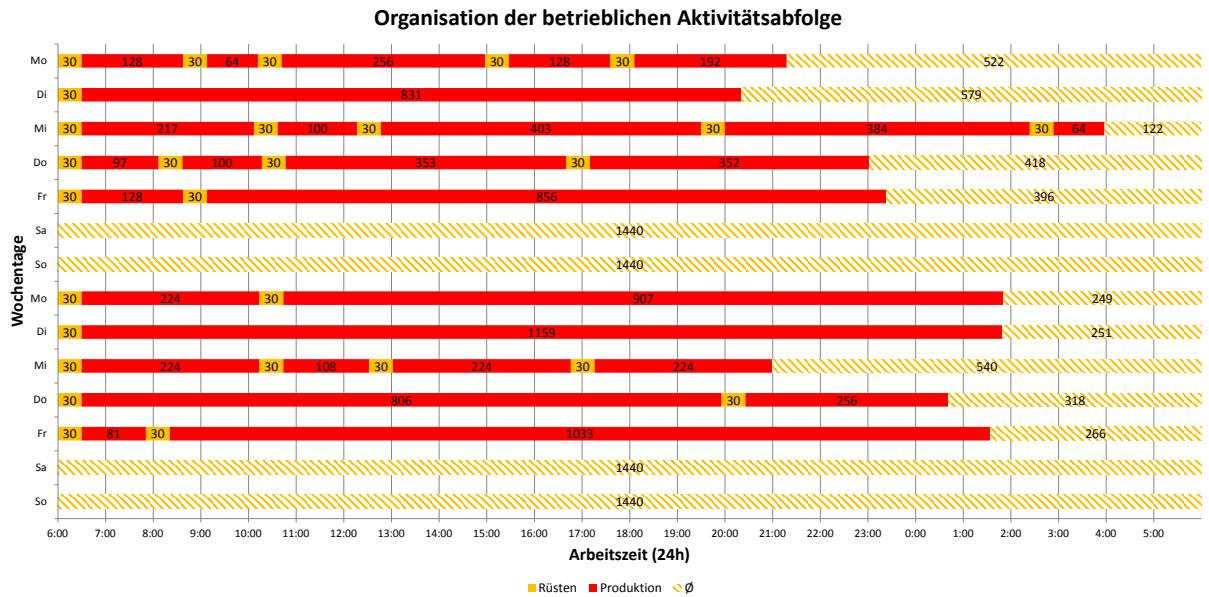


Abbildung 45 Abfolge der betrieblichen Aktivitäten in einem fixierten Planungshorizont von 14 Tagen

Abbildung 45 stellt das Ergebnis der Reihenfolgeplanung für eine Anlage dar, wobei die betrieblichen Aktivitäten der 14 Tage dem Rüsten und der Produktion entsprechen. Dieses Ergebnis kann noch differenziert werden, sodass die betriebliche Abfolge auf Tagesbasis in Form eines Gantt-Diagramms betrachtet wird (vgl. Abbildung 46).



Abbildung 46 Gantt-Diagramm der betrieblichen Aktivitäten

6.2.3 Materialbedarfsplanung

Ähnlich der Reihenfolgeplanung erfolgt die Materialbedarfsplanung im Anschluss an die Produktionskapazitätsplanung, wobei der vom Produktionsprogramm abgeleitete Materialbedarf als Eingabeparameter genutzt wird. Planungsgegenstand des Modells ist die Bestellmengenermittlung und –Verteilung über die verfügbaren Lieferanten, wobei gleichzeitig Kapazitäten des Transports sowie des eigenen Wareneingangs betrachtet werden. Ergänzend dazu findet eine Bestellzusammenfassung statt, welche die Bestellauslösung mehrerer Bestellungen bündelt und somit den fixen Kostenanteil der Bestellauslösung zu minimiert. Im Folgenden werden einzelne Ergebnisse des Modells vorgestellt, um die Funktionalität zu veranschaulichen. Die Datenbasis besteht wieder aus Echtdaten, welche verändert und unkenntlich gemacht wurden, so dass keine Rückschlüsse auf das Ursprungsunternehmen gezogen werden können. Die Daten umfassen 9 Lieferanten, von denen 50 Materialien bezogen werden, wobei nicht jeder Lieferant jedes Material liefern kann. Für jeden Lieferanten sind produktabhängige Vorlaufzeiten und vertraglich festgehaltene Kapazitäten gegeben. Hinsichtlich der Logistikdienstleister wurden Daten von vier Anbietern in die Planung einbezogen.

6.2.3.1 Bestellmengenverteilung

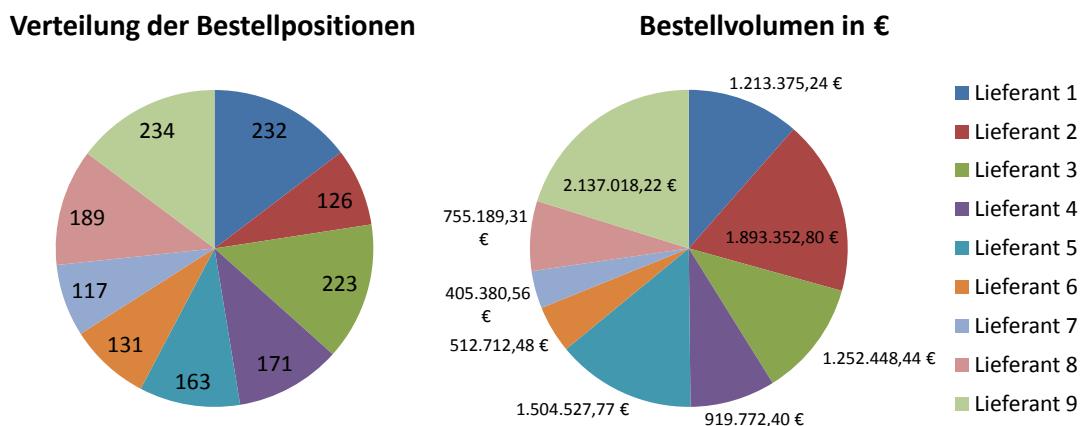


Abbildung 47 Bestellmengenverteilung über mehrere Lieferanten

Abbildung 47 stellt die Verteilung der Bestellmengen anhand der einzelnen Bestellpositionen sowie das damit verbundene Bestellvolumen in € dar. Es ist zu erkennen, dass jeder Lieferant für die Beschaffung genutzt wird und dass wenige ein besonders hohes Bestellaufkommen, gemessen an den Bestellpositionen, aufweisen. Insbesondere Lief-

rant 9 setzt sich von allen anderen ab, da dieser bei den Bestellpositionen sowie dem Bestellvolumen beide Messungen anführt.

Die Verteilung der Bestellmengen lässt sich auch detailliert betrachten (s. Abbildung 48). Es ist zu erkennen, dass die Materialnummer von fünf unterschiedlichen Lieferanten bezogen wird, wobei 75% der gesamten Bestellmenge auf Lieferant 1 verteilt wird.

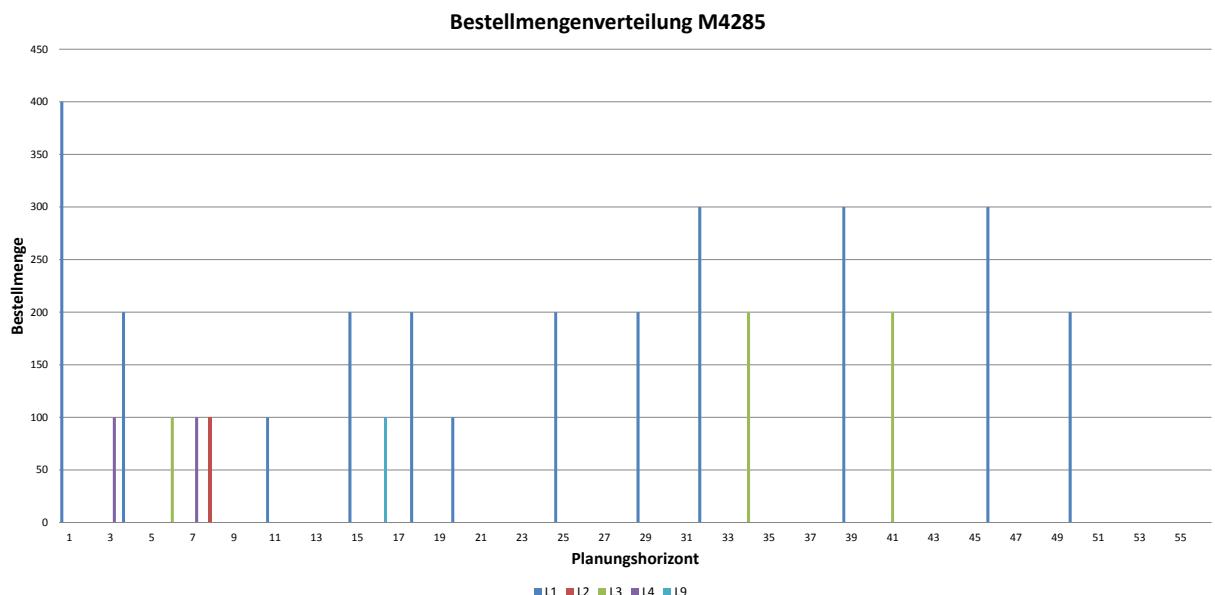


Abbildung 48 Detaillierte Betrachtung der Bestellmengenverteilung am Beispiel einer einzelnen Materialnummer

6.2.3.2 Versorgungssicherheit der Produktion

Die Materialbedarfe ergeben sich durch eine Stücklistenauflösung über alle Produktionsstufen, nachdem die Produktionskapazitätsplanung sämtliche Produktionsmengen bestimmt hat. Diese gilt es zu decken, so dass das Produktionsprogramm eingehalten werden kann. Dabei sind neben den lieferantenseitigen Kapazitätsgrenzen auch deren Vorlauf- sowie die Transportzeiten einzubeziehen.

Abbildung 49 verdeutlicht diesen Umstand für die Materialnummer M4285 bei Lieferant 1. Es sind mehrere Tupel von Ereignissen verzeichnet, die aus dem spätestmöglichen Produktionsbeginn (L1), dem Zeitpunkt des Transit (Abtransport) sowie der Ankunft im Unternehmen (Wareneingang) bestehen. Die Differenz zwischen den Ereignissen repräsentiert die jeweiligen Zeiten für Vorlauf und Transport.

Abbildung 50 stellt die Versorgung der eigenen Produktion dar, welche durch den eigenen Lagerbestand sowie die Warenvereinnahmung von Anlieferungen erfolgt. Es ist

deutlich zu erkennen, dass der Materialbedarf permanent durch die kumulierte Menge von Lagerbestand und Wareneingang überdeckt wird.

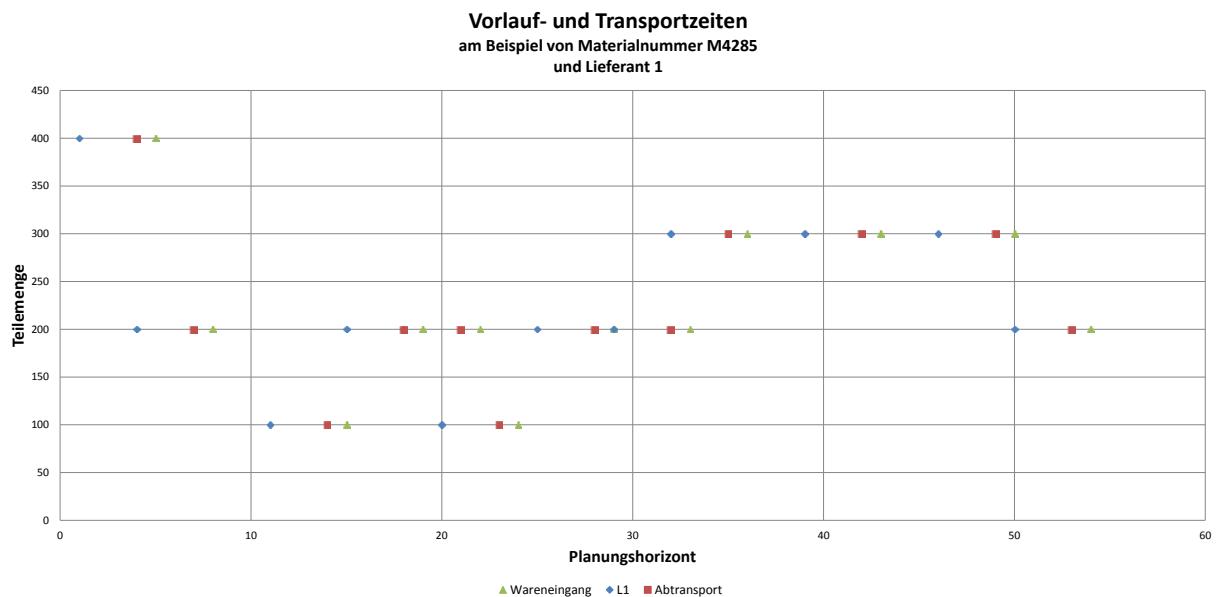


Abbildung 49 Einbeziehen von Vorlauf- und Transportzeiten in die Planung

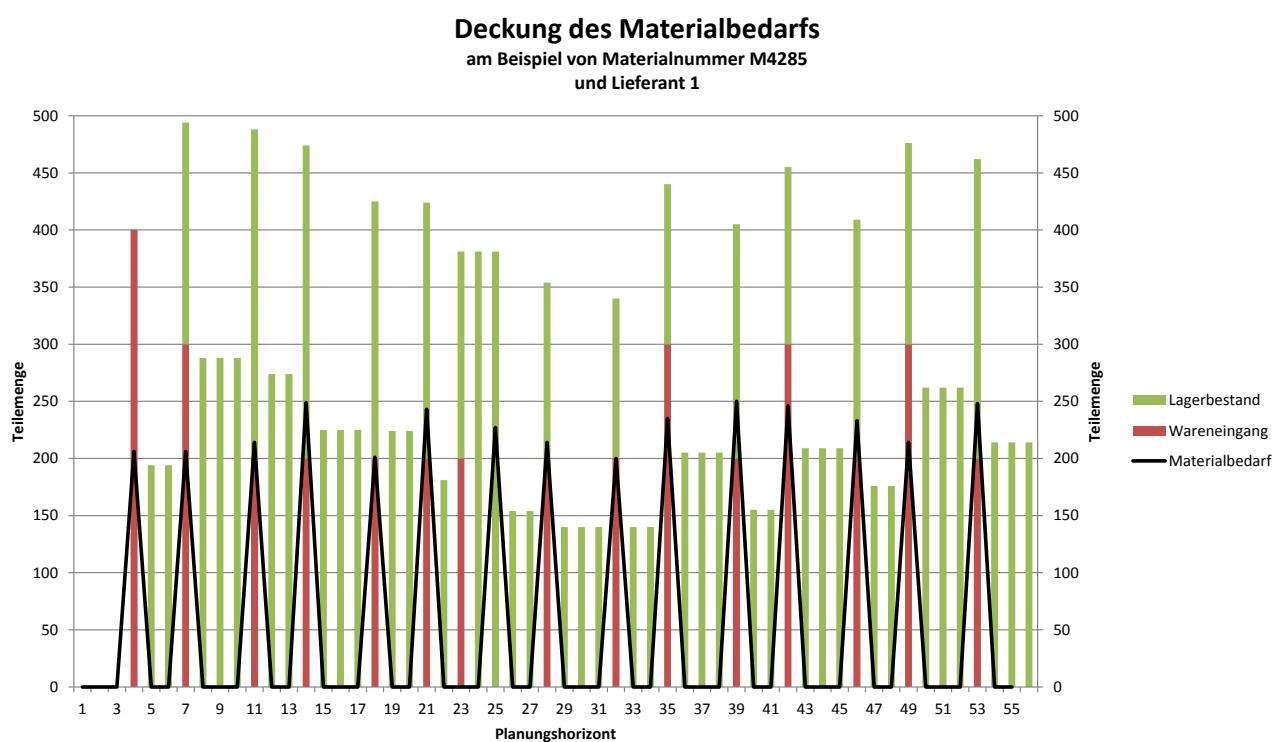


Abbildung 50 Sicherstellen des eigenen Materialbedarfs

6.2.3.3 Ober- und Untergrenzen des Lagerbestands

Die Bedeutung von Ober- und Untergrenzen im Lager wurden bereits in Kapitel 5 genannt. Diese sind auch bei der Materialbedarfsplanung zu beachten, wobei gilt, dass Obergrenzen niemals überschritten werden dürfen. Anders verhält es sich bei Untergrenzen, welche einen Sicherheitsbestand beschreiben, auf den nur zurückgegriffen werden darf, wenn Versorgungsgengässen den Produktionsbetrieb gefährden. Untergrenzen zu unterschreiten gilt es bei der Planung zu vermeiden, da dieses im Falle einer Versorgungsstörung zu großen Problemen führen kann. Abbildung 51 stellt beispielhaft die Einhaltung von Lagergrenzen dar. Es ist zu erkennen, dass die Lagerobergrenze (gestrichelt) nicht durch einen festen Wert begrenzt ist sondern sich dynamisch im Zeitverlauf an die vorherrschende Bedarfssituation anpasst. Dieses gilt auch für die Untergrenze (durchgezogen). Der Lagerbestand schwankt, sobald er einmal aufgebaut und die Untergrenze überschritten hat, permanent zwischen den beiden Grenzen, ohne die Obergrenze bzw. Untergrenze zu verletzen.

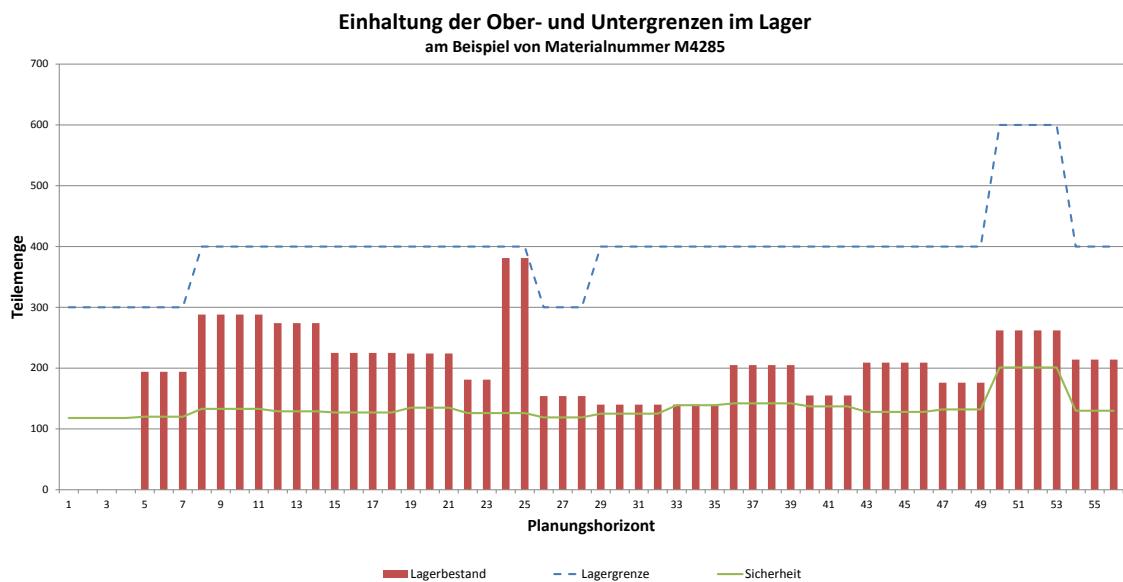


Abbildung 51 Ober- und Untergrenzen im Lager

6.2.3.4 Zusammenfassen von Bestellauslösungen

Die terminierten Bestellmengen der Lieferanten beschreiben den spätestmöglichen Termin, welcher für eine Bestellauslösung genutzt werden kann, unter der Annahme dass der Lieferant am gleichen Tag die Produktion aufnimmt. Da eine Bestellauslösung, ungeachtet der Bestellmenge bzw. der Bestellpositionen, immer fixe Kosten verursacht, existiert somit eine Entscheidungsgröße, die Auswirkungen auf den monetären Ziel-

funktionswert hat. Das bedeutet, dass die Bestellauslösung durchaus auf ein früheres Datum terminiert werden kann, wenn dadurch mehrere Bestellpositionen zusammengefasst werden können um Kosten zu sparen. Der Fertigstellungstermin bleibt davon unberührt. Eine Bestellauslösung bezieht sich immer auf einen Lieferanten.

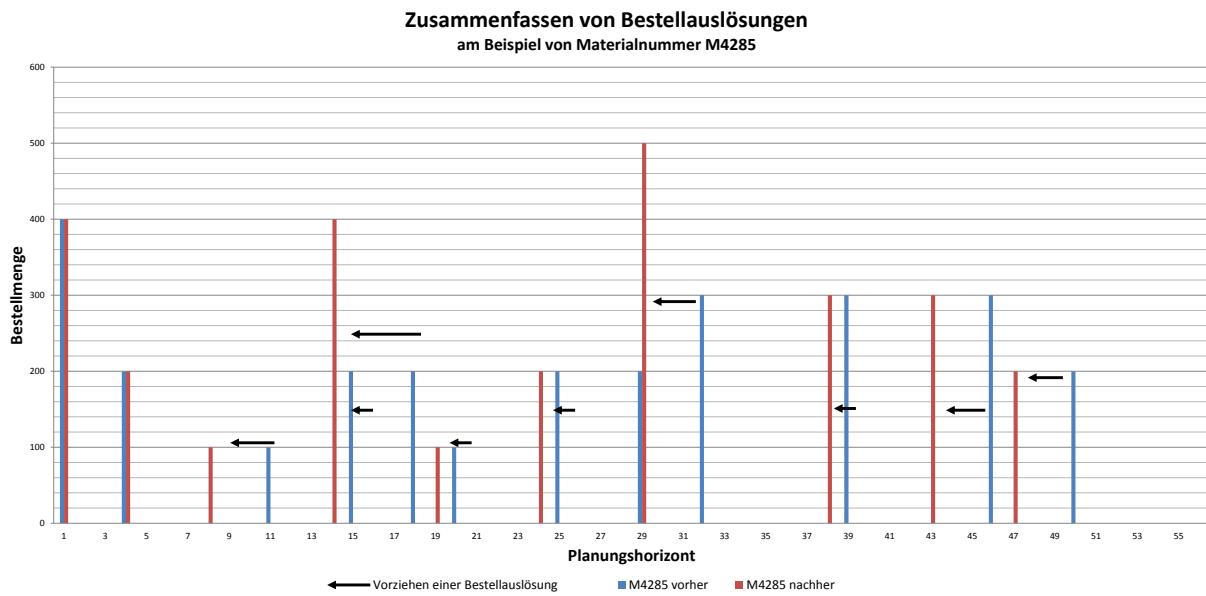


Abbildung 52 Vorziehen und Zusammenfassen von Bestellauslösungen

Abbildung 52 verdeutlicht den Sachverhalt des Zusammenfassens von Bestellauslösungen. Es ist zu erkennen, wie terminierte Bestellauslösungen im Planungshorizont vorgezogen bzw. mit anderen Bestellauslösungen zusammengefasst werden. Da nicht für alle Entscheidungen nachvollzogen werden kann, weshalb Bestellauslösungen vorgezogen werden sollen, müssen diese mit anderen Bestellpositionen in Bezug gebracht werden.

Abbildung 53 stellt diesen Bezug her, indem die Bestellpositionen unterschiedlicher Materialnummern im Planungshorizont genauer untersucht werden. Es ist zu erkennen, dass mehrere Bestellpositionen auf das gleiche Bestelldatum terminiert sind, was in diesem Fall bedeutet, dass die Bestellauslösungen der Positionen zusammengefasst werden können. Dieses ist der Grund, weshalb einzelne Entscheidungen in Abbildung 52 hinsichtlich des Vorziehens von Bestellungen getroffen wurden, da diese so mit anderen Bestellpositionen zusammengefasst werden konnten.

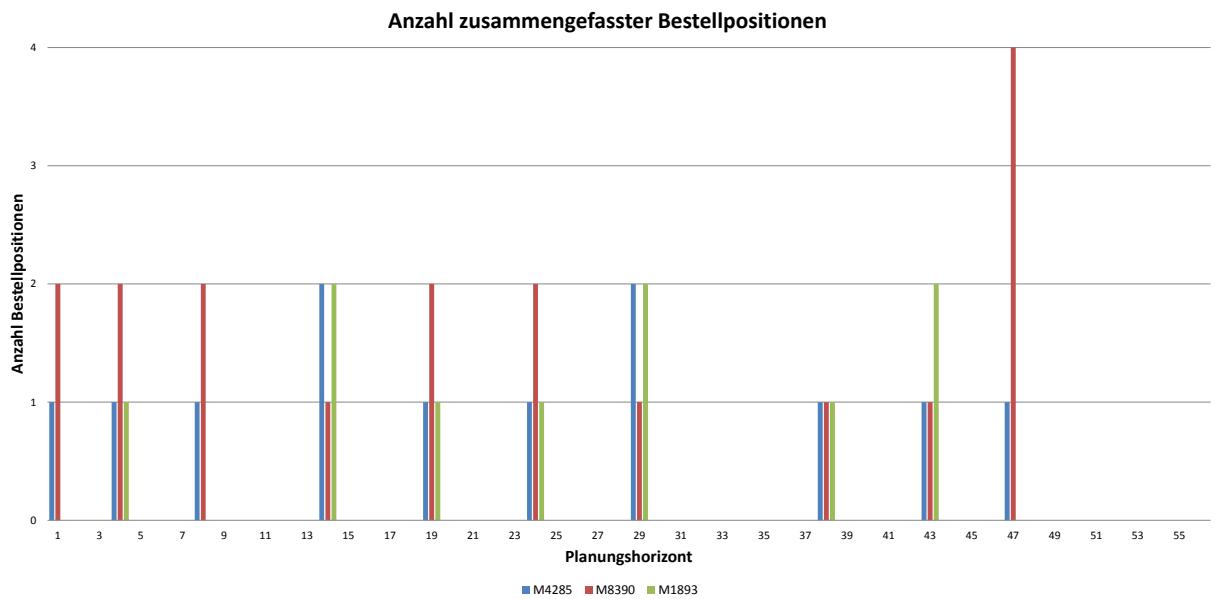


Abbildung 53 Zusammenfassen von Bestellpositionen unterschiedlicher Materialnummern

6.2.4 Personalbestandsplanung

Die Personalbestandsplanung erfolgt, aufgrund des strategischen Entscheidungsinhaltes, losgelöst von den operativen Planungen. Basierend auf einer Prognose der Marktveränderungen sind Anforderungen der zukünftigen Kundenbedarfe sowie des zukünftigen Produktpportfolios zu erstellen, anhand derer Entscheidungen bzgl. der Planung des Personalbestands vorzunehmen sind. Der Horizont dieses Planungsmodells umfasst mehrere Jahre, wobei die Kernaufgabe in der Sicherstellung des betrieblichen Knowhows angesiedelt ist. Im Folgenden werden Ergebnisse eines Planungsbeispiels vorgestellt, welche auf den prognostizierten Veränderungen von drei betrieblichen Produktionsbereichen aufbauen. Jeder einzelne Bereich ist unabhängig von den anderen und hat bzgl. der durchzuführenden Aktivitäten ein eigenes Qualifikationsprofil, welches das Personal erfüllen muss. Der Planungshorizont, für welchen eine Prognose vorliegt, umfasst vier Jahre. Die prognostizierte Veränderung der Kunden- und Produktionsbedarfe ist in Abbildung 54 abgebildet. Es ist zu erkennen, dass ein positives Wachstum der Kundenbedarfe erwartet wird, das Sekundär- und Gesamtvolume allerdings negativ verläuft. Dieses begründet sich durch eine Verringerung der Fertigungstiefe, da ein Teil der Rohteileverarbeitung ausgelagert werden soll.

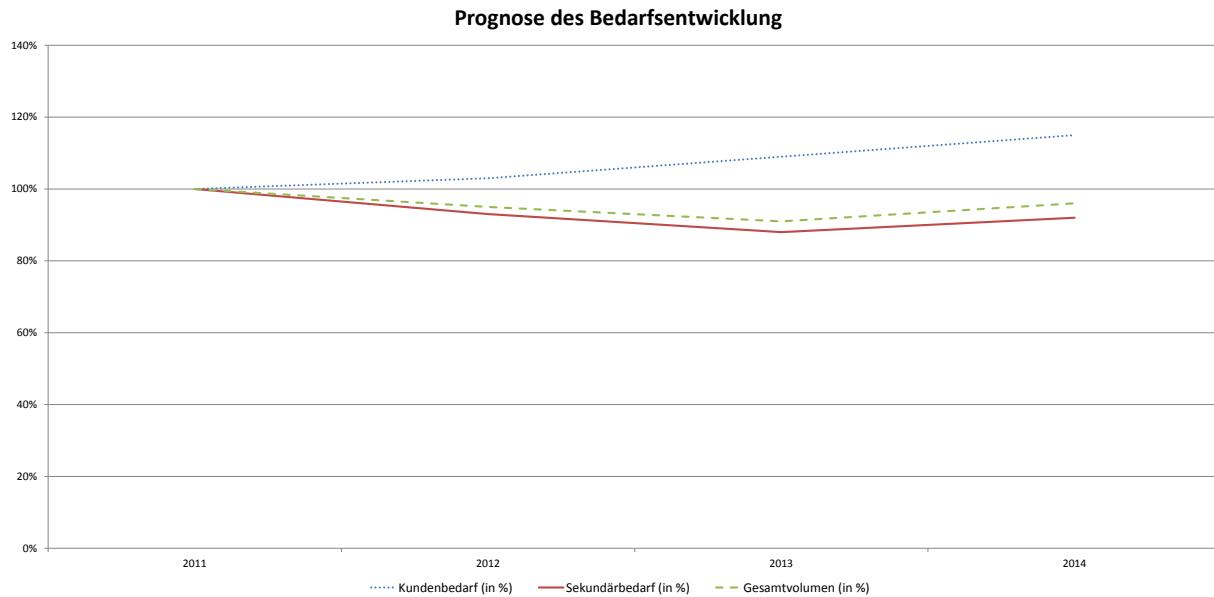


Abbildung 54 Prognose der Bedarfsentwicklung in einem Planungshorizont von vier Jahren

Zudem wird eine Verschiebung der Aktivitätsanteile im Produktpool erwartet, was zu einem positiven Zuwachs in der (Elektro-)Montage und einem Anteilsverlust der Rohteileverarbeitung führen wird (vgl. Abbildung 55).

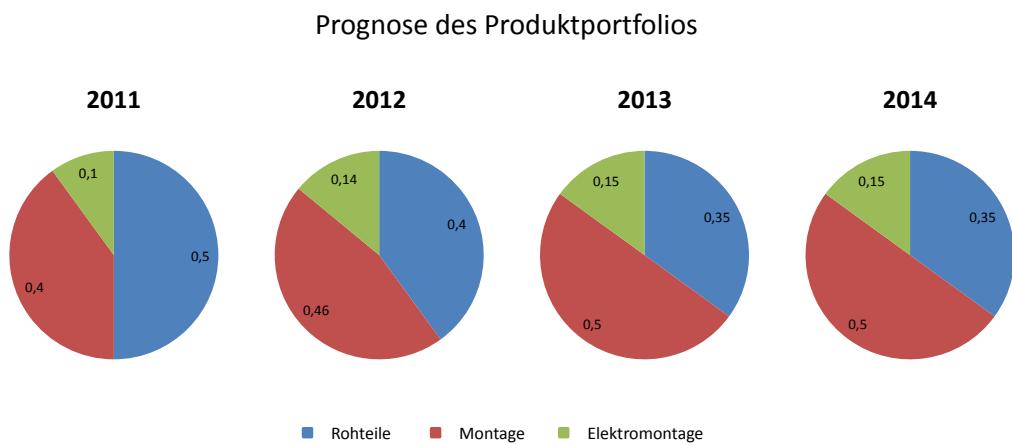


Abbildung 55 Verschiebung der Anteile am Produktpool

6.2.4.1 Entwicklung des Personalbestands

Planungsgegenstand ist die Bestimmung des notwendigen Personalbestands und dem damit verbundenen Qualifikationsportfolio. Die verfügbaren Entscheidungsgrößen, mit denen auf den Personalbestand eingewirkt werden kann, sind die Personaleinstellung,

die Personalfreisetzung sowie die Personalweiterbildung. Die Ergebnisse des vorliegenden Beispiels beschränken sich auf einen Ausschnitt der drei Produktionsbereiche Rohteileverarbeitung, Elektromontage und Montage. Abbildung 56 stellt die ermittelte Entwicklung des Personalbestands für die drei Produktionsbereiche dar. Gemäß den Wachstumsprognosen der Bereiche verändert sich auch der entsprechende Personalbestand mit gleicher Tendenz. So wird der Personalbestand in der Rohteileverarbeitung abgebaut, wohingegen die Bereiche der (Elektro-) Montage einen Personalzuwachs verzeichnen. Die zu ergreifenden Maßnahmen können der Abbildung 57 entnommen werden. Ausgehend von dem Ist-Personalbestand in 2010 wird der Personalbestand bis 2014 entwickelt, indem die Entscheidungen der Einstellung, Freisetzung und Weiterbildung getroffen werden. Es ist zu erkennen, dass keine Freisetzungsmassnahmen zu treffen sind. Stattdessen finden Weiterbildungsmaßnahmen statt, welche Personal aus dem Bereich der Rohteileverarbeitung für die Tätigkeiten der Montage qualifizieren. Zudem ist weiteres Personal einzustellen, welche in den Montagebereichen eingesetzt werden soll.

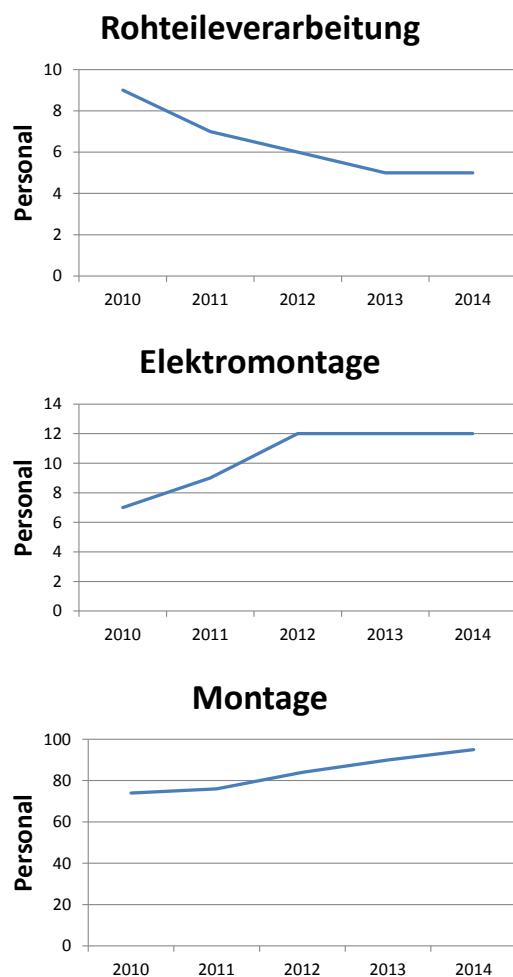


Abbildung 56 Entwicklung des Stammpersonalbestands

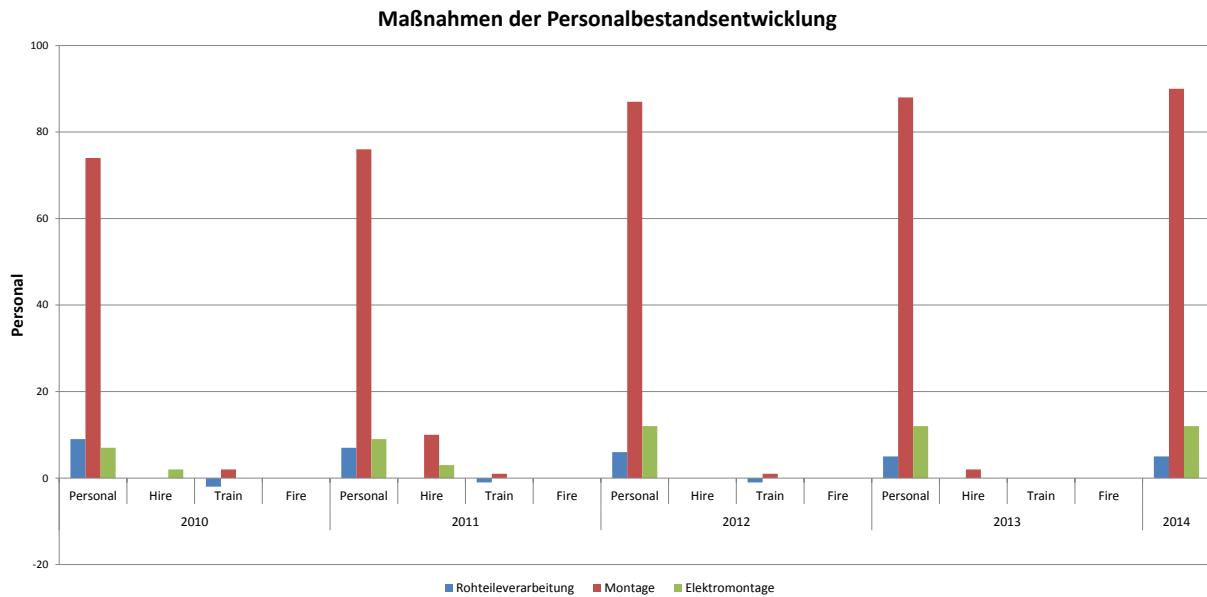


Abbildung 57 Entscheidungsgrößen der Personalbestandsentwicklung

6.2.4.2 Flexibler Personalbestand

Neben dem Stammpersonal kann auf einen flexiblen Personalbestand zurückgegriffen werden. Dieser unterliegt besonderen vertraglichen Vereinbarungen, kann aber bei Überkapazität schnell und einfach abgebaut werden. Abbildung 58 stellt den Verlauf des Einsatzes vom flexiblen Personalbestand für den Planungszeitraum 2011 dar. Es ist zu erkennen, dass im Bereich der Rohteileverarbeitung kein flexibler Personalbestand eingeplant wird, wohingegen im Bereich der Elektromontage lediglich im Zeitraum KW 5 bis KW 8 ein geringer Personalbestand eingesetzt wird. Für den Bereich der Montage, welcher den höchsten Produktionsbedarf aufweist, wird sehr umfangreich vom Einsatz flexibler Mitarbeiter Gebrauch gemacht. Dieser Personalbestand wird, wenn eingesetzt, für einen Zeitraum von mindestens 4 Wochen konstant gehalten, was sich durch Mindestlaufzeiten der Verträge erklären lässt. Bemerkenswert ist in diesem Bereich der Verzicht auf flexible Personalstärke im Zeitraum von KW 20 bis KW 37, welcher die Sommermonate abdeckt, in denen erfahrungsgemäß ein Rückgang der Kundenbedarfe zu erwarten ist.

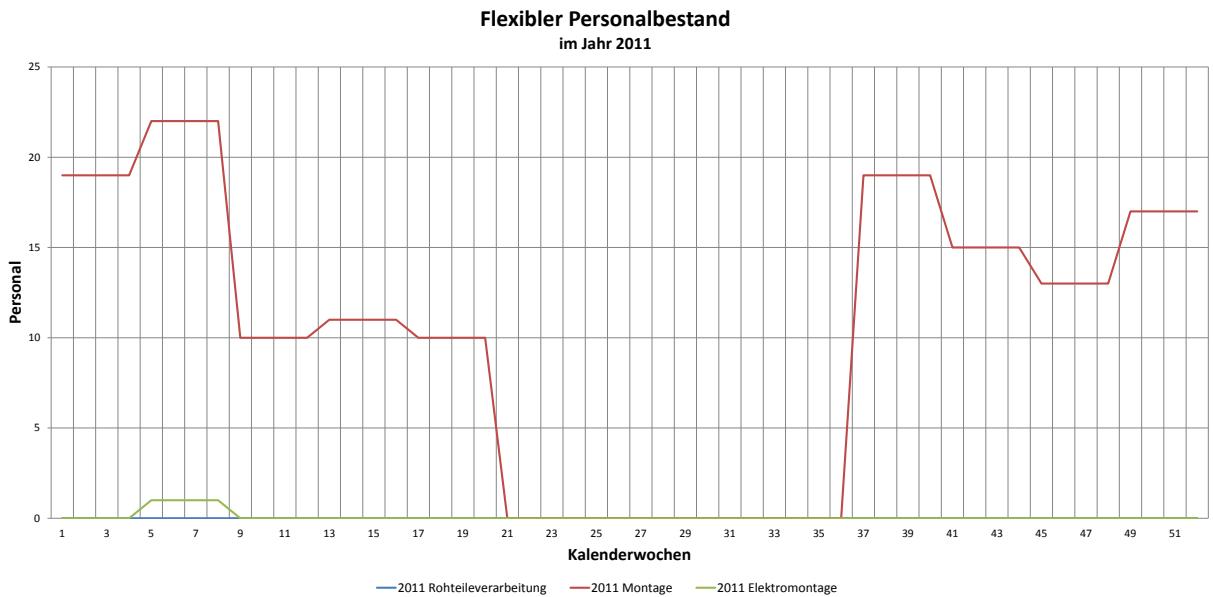


Abbildung 58 Einsatz des flexiblen Personalbestands

6.2.4.3 Flexibilisierung der Arbeitsleistung

Neben der regulär zu erbringenden Arbeitsleistung des Stammpersonals bestehen weitere Flexibilisierungsmöglichkeiten, welche genutzt werden können, um einen bestmöglichen Abgleich von Leistungsbedarf und Leistungskapazität zu erhalten. So besteht die Möglichkeit, Mehr- oder Minderarbeit in den einzelnen Planungsperioden zuzulassen, welche dann in einem Arbeitszeitkonto gebucht und verrechnet werden können, um entsprechende Kapazitätsreserven somit in andere Planungsperioden zu verschieben. Abbildung 59 stellt die Anwendung entsprechender Flexibilisierungsmöglichkeiten dar. Im oberen Diagramm werden die durchschnittlichen Mehr- und Minderarbeitsleistungen der einzelnen Arbeitswochen pro Person abgebildet. Der Jahresverlauf eines daraus resultierenden Arbeitszeitkontos wird durch das untere Diagramm der Abbildung 59 dargestellt. Das Arbeitszeitkonto weist in der Planung ein Defizit von 52h auf, was einer durchschnittlichen Minderarbeit von 1h pro Woche und pro Person entsprechen würde.

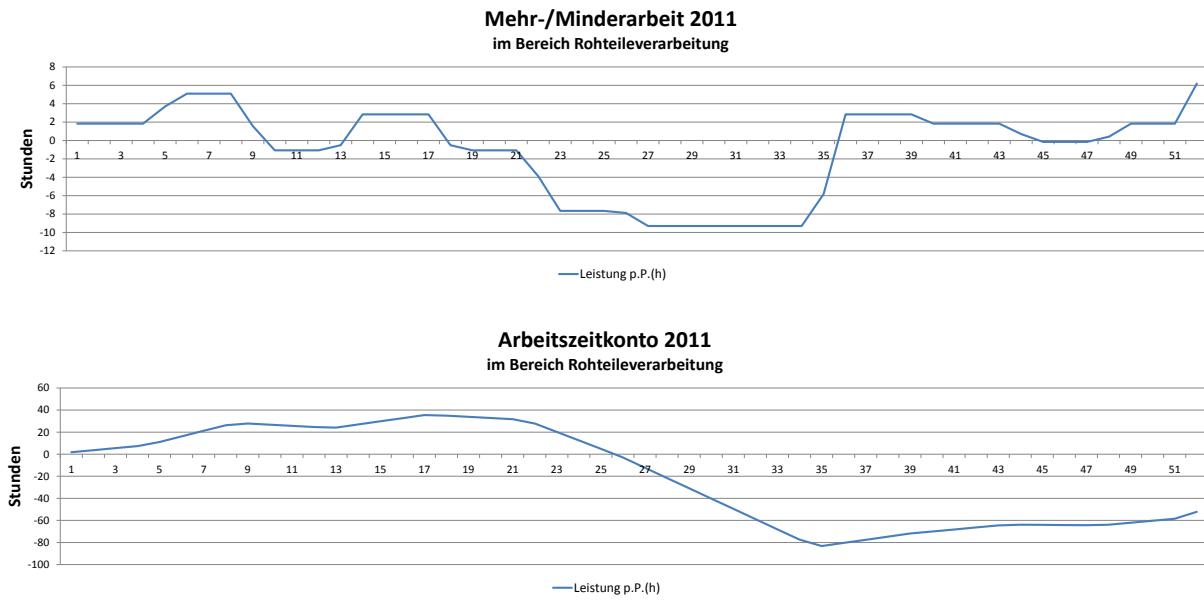


Abbildung 59 Flexibilisierungsmaßnahmen der Arbeitsleistung

6.2.5 Personalkapazitätsplanung

Die Personalkapazitätsplanung schließt sich der Produktionskapazitätsplanung an und betrachtet als Planungsgegenstand die kapazitative Deckung des Personalbedarfs, welcher sich aus dem geplanten Produktionsprogramm ableiten lässt. Entscheidungsgrößen dienen die Bestimmung der einzusetzenden Teams sowie bereits bekannte Flexibilisierungsmaßnahmen zur Abgleichung von Kapazitätsbedarf und Kapazitätsangebot, indem Mehr- oder Minderarbeit angewandt werden.

6.2.5.1 Teameinsatz

Die Planung des Team Einsatzes kann sich, abhängig vom Betrachtungsgegenstand, sowohl auf ganze Produktionsbereiche sowie auch auf einzelne Anlagen beschränken. Da innerhalb eines Produktionsbereichs, welcher mehrere Anlagen umfassen kann, grundsätzlich ein homogenes Qualifikationsprofil des Personals vorzufinden ist, bedeutet dieses eine flexiblere Einsatzmöglichkeit, so dass entsprechende Personalkapazitäten in solch einem Fall auch anlagenübergreifend geplant werden können.

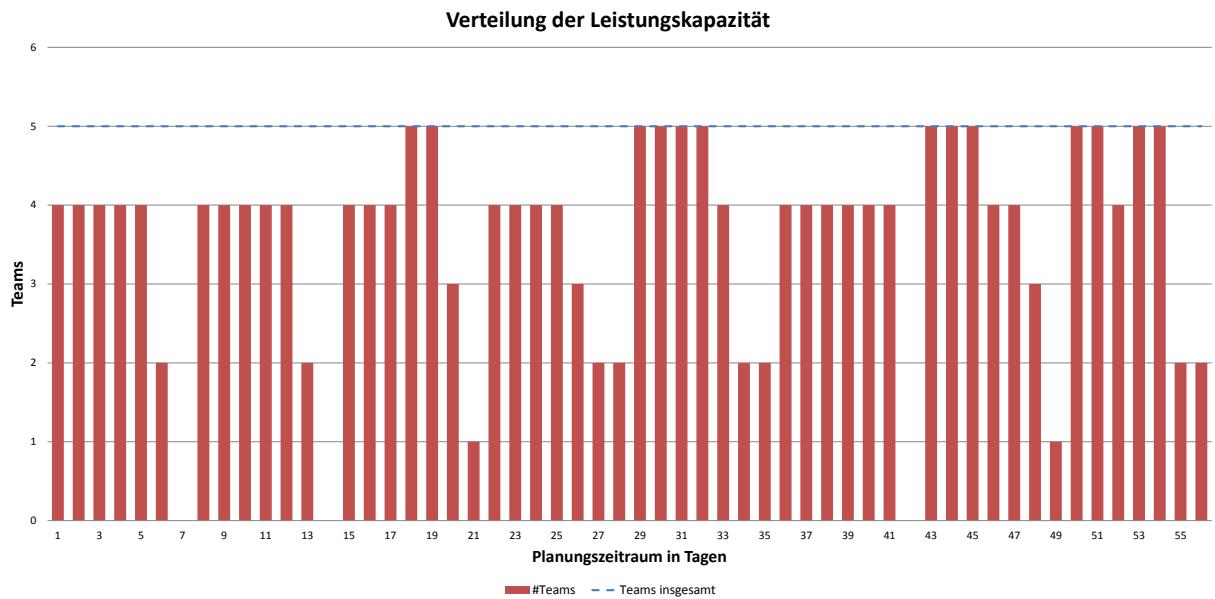


Abbildung 60 Verteilung der Teamkapazitäten

Abbildung 60 stellt das Ergebnis der Personaleinsatzplanung bzgl. Anzahl und Einsatz von Teams dar. Dabei ist der konkrete Teameinsatz vollständig vom ermittelten Personalbedarf abhängig, welcher im Modell nicht weiter beeinflusst werden kann. Allerdings beschreibt die Anzahl der Teams die relevante Entscheidungsgröße des Planungsgegenstands. Es ist zu erkennen, dass die insgesamt 5 Teams im Planungsbereich eingesetzt werden, wobei der tägliche Einsatz nur in wenigen Fällen die volle Teamanzahl erfordert. Da der Einsatz in erster Linie keine Aussage bzgl. der Art der Leistungserbringung liefert, sind noch die Entscheidungsgrößen der Flexibilisierungsmaßnahmen zu betrachten.

6.2.5.2 Flexibilisierung der Arbeitsleistung

Neben der regulären Leistungserbringung bestehen die Möglichkeiten der Mehr- und Minderarbeit, um den Kapazitätsbedarf zu erfüllen. Diese sind allerdings nicht beliebig anwendbar, weshalb erhebliches Entscheidungspotential gegeben ist. Abbildung 61 stellt, bezogen auf die geplante Leistungserbringung, die zu leistende Mehr- und Minderarbeit sowie den zugehörigen Verlauf des kumulierten Flexibilisierungspotentials dar.

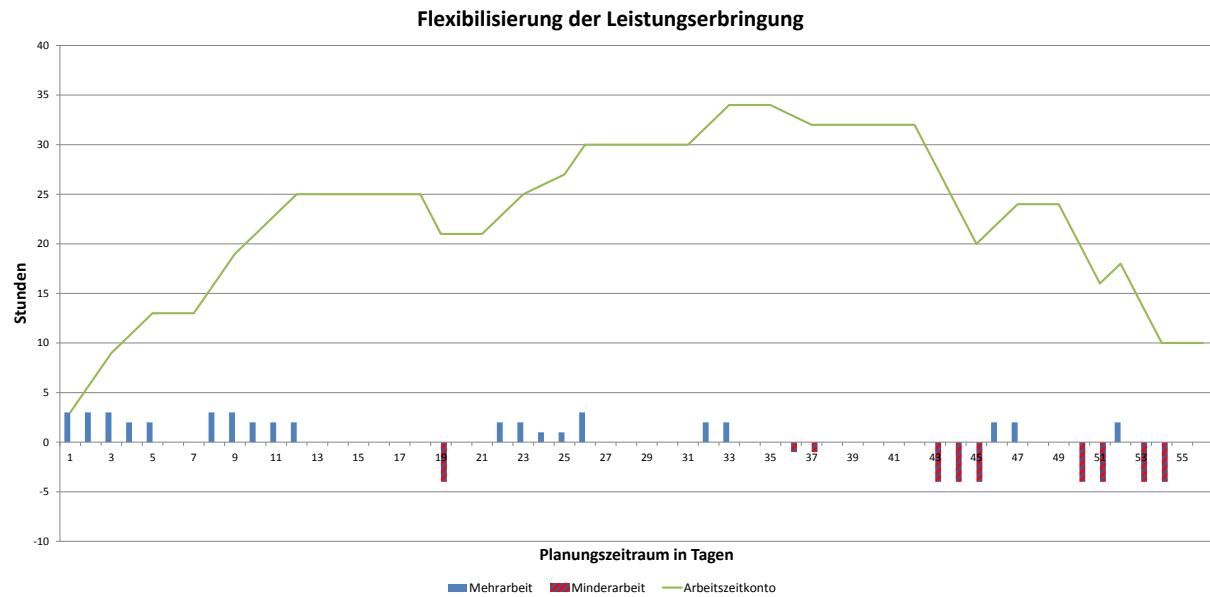


Abbildung 61 Flexibilisierung der Leistungserbringung

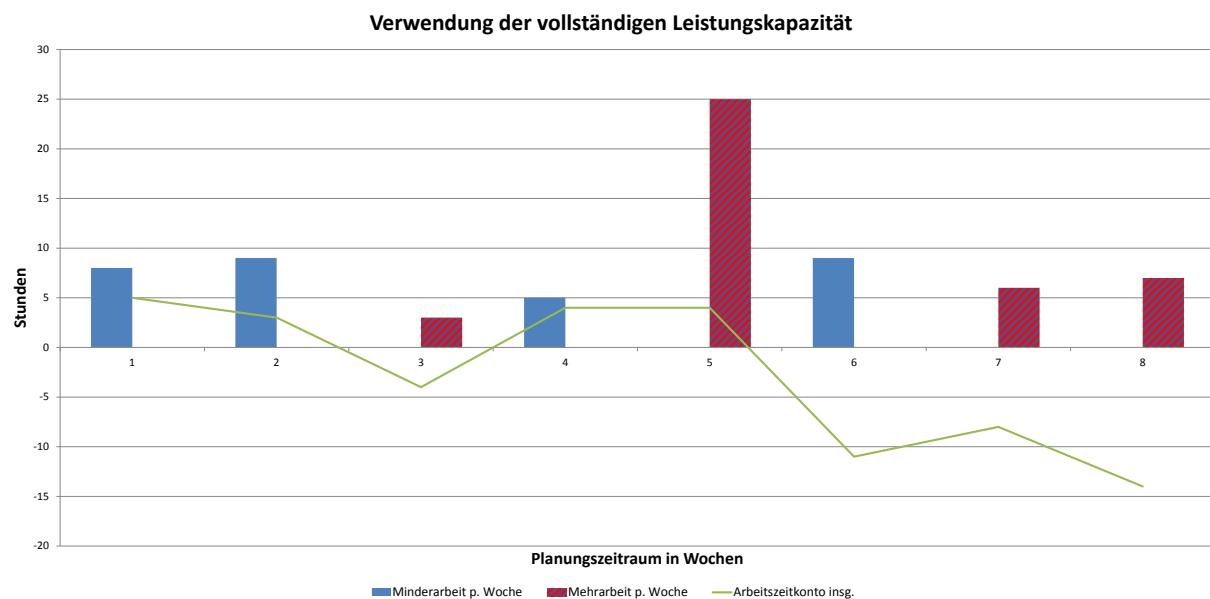


Abbildung 62 Darstellung des vollständigen Flexibilisierungspotentials

Bezogen auf sämtliche Teams besteht am Ende des Planungszeitraums ein positiver Wert der flexibel erbrachten Leistung, wobei dieses Ergebnis allerdings den Anteil der nicht erbrachten Leistung pro Woche, aufgrund unvollständigen Ausschöpfens der Teamkapazitäten, nicht mit einbezieht. Das Ergebnis in Abbildung 62 bezieht sämtliche Teamkapazitäten ein und stellt das vollständig genutzte Flexibilisierungspotential im Planungszeitraum dar. Aufgrund der Tatsache, dass die vollständigen Teamkapazitäten

nicht immer abgerufen werden, ist zu erwarten, dass am Ende des Planungszeitraums ein negatives Arbeitszeitkonto besteht. Im Durchschnitt wird jedes Team 2,8h an Minderarbeit ansammeln.

6.2.6 Personaleinsatzplanung

Auf unterster Planungsebene knüpft die Personaleinsatzplanung an die Personalkapazitätsplanung an, mit der Absicht die ermittelten Personalkapazitäten derart zu organisieren, dass eine produktionsbezogene Deckung des Personalbedarfs erreicht wird.

Die Entscheidungsgrößen dieser Planungsebene haben keinen Einfluss mehr auf die Personalstärke, können aber noch die teambezogenen Flexibilisierungsmöglichkeiten derart dimensionieren, dass diese kostenoptimal angewandt werden.

	Woche 1	Woche 2	Woche 3	Woche 4	Woche 5	Woche 6	Woche 7	Woche 8
Früh		Team1	Team1		Team1			
		Team2		Team2		Team2		
	Team3				Team3		Team3	
				Team4		Team4	Team4	Team4
	Team5		Team5			Team5		Team5
Spät				Team1			Team1	Team1
	Team1				Team2		Team2	
	Team2		Team3			Team3		Team3
		Team4	Team4		Team4			
		Team5		Team5		Team5		
Nacht				T1		Team1	T1	T1
			Team2					Team2
		Team3		Team3				
	Team4				T4			
					Team5		Team5	
Frei		Team1		T1	T1	Team1		Team1
		Team2				Team2		Team2
		T3		Team2				Team3
			Team3		Team3			Team3
		Team4		Team4	Team4		Team4	Team4
Früh				T4	Team4		Team4	
					Team5			
		Team5		Team5				
					Team5	T5	T5	
						Team5		T5
Spät								
Nacht								
Frei								

Abbildung 63 Planung des Personaleinsatzes bei fünf Teams innerhalb eines Planungszeitraums von 8 Wochen

Abbildung 63 stellt die konkrete Einsatzplanung bei gegebenem Personalbedarf dar. Es ist erkennbar, dass einzelne Teams innerhalb einer Woche über der regulären Leistung von fünf Schichten eingeplant werden, was im kurzfristigen Horizont dem Auffangen von Engpässen geschuldet sein kann. Abbildung 64 stellt, beispielhaft für eines der Teams, die Anwendung des Flexibilisierungspotentials im Planungshorizont dar. Im gesamten Planungszeitraum werden sowohl Mehr- als auch Minderarbeit genutzt, was zu einem negativen Arbeitszeitkonto von einer Schicht führt. Bei der Dimensionierung

dieser Entscheidungsgrößen werden die Leistungspotentiale aller zu verplanenden Teams einbezogen, so dass eine gleichmäßige Belastung des zur Verfügung stehenden Personals gewährleistet werden kann.

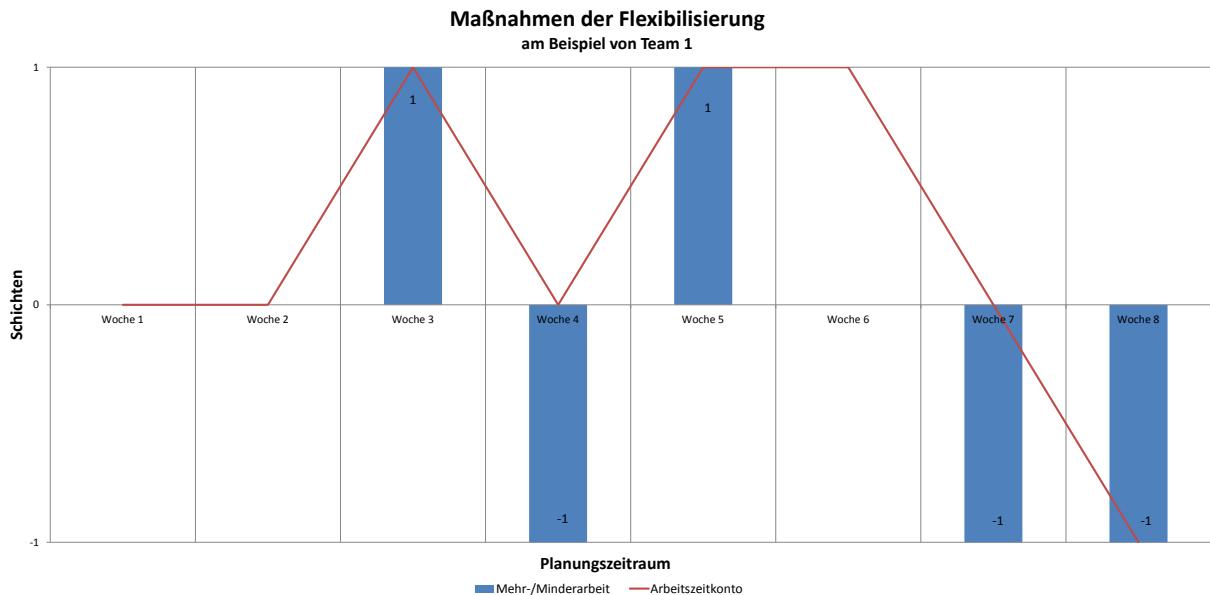


Abbildung 64 Anwendung des Flexibilisierungspotential

Anteile der Leistungsdimensionierung

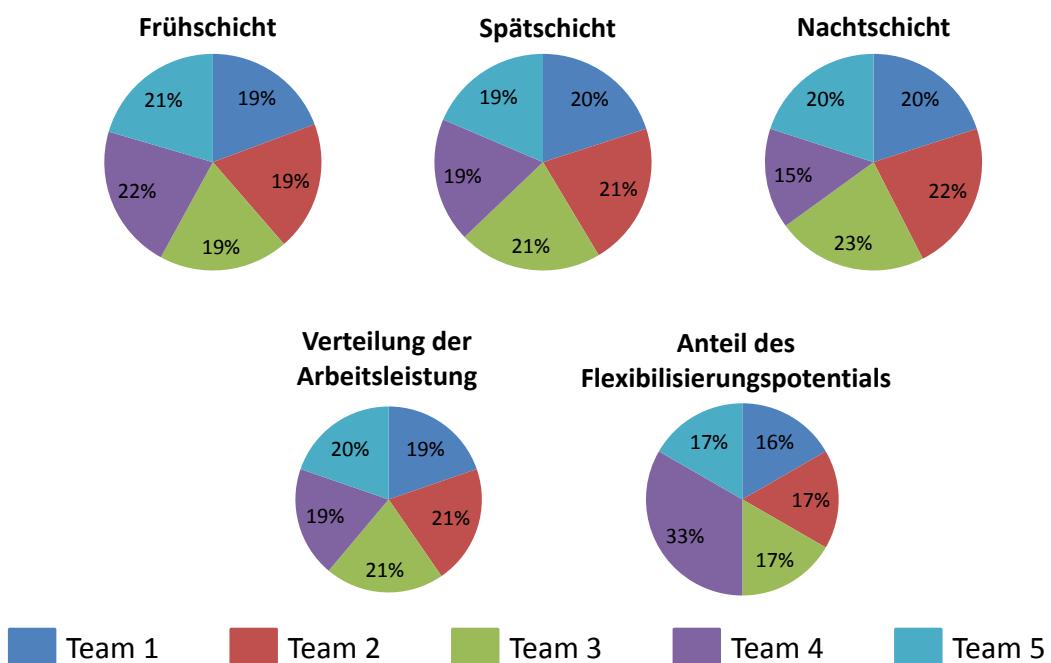


Abbildung 65 Verteilung der Leistungsdimensionierung über alle Teams

Abbildung 65 verdeutlicht die anteilige Verteilung der Leistungsdimensionierung, anhand derer die gleichmäßige Belastung aller Teams nachvollzogen werden kann. Der Personaleinsatz in Früh- und Spätschicht erfolgt nahezu gleichmäßig, lediglich der Einsatz in der Nachschicht hat eine größere Schwankung von maximal 8%. Dieses wird allerdings durch die anderen beiden Schichten kompensiert, so dass die vollständige Verteilung der Arbeitsleistung wieder nahezu gleichmäßig geplant wurde. Da diese sowohl reguläre wie auch zusätzliche Kapazitäten der Flexibilisierungsmaßnahmen zusammenfasst, sind Letztere zusätzlich aufgeführt. Die Grafik lässt erkennen, dass das Flexibilisierungspotential bei vier Teams nahezu identisch angewandt wurde. Lediglich ein Team weist einen doppelt so hohen Anteil an Flexibilisierungspotential auf, was sich in konkreten Werten allerdings wieder relativiert, da im Vergleich zu den anderen Teams nur eine weitere Schicht Minderarbeit aufgewandt wird.

7 Ausblick

Die vorliegende Arbeit hatte sich das Ziel gesetzt, eine Verknüpfung von strategischen und operativen Größen zu systematisieren, so dass ein koordiniertes Planen der operativen Unternehmensaktivitäten bei gleichzeitigem Verfolgen von strategischen Zielformulierungen ermöglicht wird. Betrachtungsgegenstand und zugleich Grundlage der entsprechenden Anforderungen war ein Automotive-Zulieferer. Von diesem wurden strategische Größen in Form von Erfolgsfaktoren abgeleitet, welche den operativen Planungsbereichen anhand einzuhaltender Nebenbedingungen einen Handlungsrahmen vorgaben.

7.1 Zusammenfassung der Arbeit

Unter Beachtung der operativen Ebenen der PPS sowie der strategischen Erfolgsfaktoren der Liquidität, der Beschäftigung, des Knowhows und der Informationstechnologie wurden in Kapitel 2.3 die Planungskomponenten identifiziert, welche den operativen Planungsgegenstand beschreiben. Anhand dieser erfolgte in Kapitel 5.1 die Herleitung von operativen Größen, welche in direktem Bezug zu den Nebenbedingungen stehen und somit eine Verknüpfung der beiden Ebenen ermöglichen. Die Bedeutung dieser Größen, sowie entsprechende Variablen und Parameter, welche für eine Entscheidungsfindung relevant sind, wurden eingehend erläutert und beschrieben. Die Ausgestaltung dieser Verknüpfungen erfolgte in Kapitel 5.2, indem formal Restriktionen formuliert wurden, welche der Eingrenzung der operativen Entscheidungsdimensionen dienen. In Kapitel 5.3 wurden Zielfunktionen vorgestellt, welche die operativen Größen einbeziehen und kostenmäßig verknüpfen, sodass eine Bewertung der Entscheidungsgrößen möglich ist.

Die sich durch Kapitel 5 ergebende Systematisierung beschreibt eine branchenbezogene anwendbare Ansammlung von Modellkomponenten, welche aufgrund ihrer Struktur für die Gestaltung mathematischer Entscheidungsprozesse geeignet ist. Eine konkrete Implementierung und Anwendung der Komponenten erfolgte in Kapitel 6. Diese orientiert sich am Betrachtungsgegenstand des Automotive-Zulieferers und beschreibt eine Umsetzung der Komponenten in Form von sechs unterschiedlichen und miteinander koordinierten Planungsmodellen, welche sowohl die Aufgaben der PPS, sowie die strategischen Erfolgsfaktoren in Form von Nebenbedingungen umsetzt. Das Planungsvorgehen erfolgt sukzessiv, beginnend mit einer umfassenden Planung der Produktionskapazitäten, welche bereits Entscheidungen der nachfolgenden Planungsmodelle, aufgrund der

Verfügbarkeit umfangreicher Informationen, vorweg nimmt. Die Ergebnisse dienen den nachfolgenden Planungsmodellen der Materialbedarfs- sowie der Personalplanung zur Parametrisierung des eigenen Planungsvorgehens. Parallel zu diesen operativ arbeitenden Modellen, ist die Planung des Personalbestands angeordnet, welche primär der langfristigen Entwicklung und Sicherung des Knowhows dient. Eine Validierung der Planungsmodelle erfolgte in Kapitel 6.2, wobei die Einhaltung der in Kapitel 5.2 erarbeiteten Ausgestaltung der Entscheidungsdimensionen im Vordergrund stand.

Die Vorteile einer praktischen Umsetzung der Modelle im betrieblichen Umfeld zeichnen sich in zwei Dimensionen ab. Zum einen verfügt das Unternehmen über ein Planungsverfahren, welches Entscheidungen kostenoptimal trifft und somit zusätzlich eine Bewertungs- und Argumentationsgrundlage für Alternativen schafft. Zum anderen leistet das Planungsverfahren eine Verbesserung der operativen Planungsprozesse, welche sich durch eine Steigerung der Planungseffizienz um 12.5% ausdrückt.

7.2 Grenzen der Arbeit

Diese Arbeit versucht eine Systematisierung und dadurch eine Angleichung von strategischen und operativen Größen zu erreichen, wobei der Ansatz sich auf die Einbeziehung von vier Erfolgsfaktoren in Form der Nebenbedingungen beschränkt. In Kapitel 2 wurde auf den Umstand hingewiesen, dass es weitaus mehr Erfolgsfaktoren gibt, welche branchen- und unternehmensspezifisch aufzufassen sind. Ergänzend dazu wird darauf hingewiesen, dass Wahrnehmung und Bedeutung dieser Erfolgsfaktoren sich im Lauf der Zeit wandeln und somit eine sehr dynamische Komponente aufweisen. Wechselt man den dieser Arbeit zugrunde gelegten Betrachtungsgegenstand, können sich ganz andere Anforderungen hinsichtlich der strategischen Zielformulierungen und den damit verbundenen Erfolgsfaktoren ergeben, so dass diese Arbeit eine Eingrenzung auf die Automotive-Zuliefererbranche voraussetzt.

Die in Kapitel 5 identifizierten Größen sowie deren Ausgestaltung und Bewertung sind vom gegebenen Betrachtungsgegenstand sowie dessen Anforderungen abgeleitet und können demzufolge keine vollständige Abdeckung sämtlicher Belange, auch wenn nur bezogen auf die Automotive-Zuliefererbranche, darstellen. Es ist davon auszugehen, dass die vorgestellten Inhalte für einen Großteil der Branchenvertreter zumindest teilweise deckungsgleich sind, so dass eine Anwendung, basierend auf den beschriebenen Größen und Komponenten, möglich sein sollte.

Die Umsetzung der Modellkomposition in Kapitel 6.1 weist einen durchweg kreativen Anteil auf. Daher ist die Ausgestaltung der Implementierung in jedem Fall als beliebig anzusehen und ebenfalls vom Betrachtungsgegenstand sowie den gegebenen Anforde-

rungen abhängig, weshalb die operativen Planungsmodelle in Detaillierung oder Abstraktion variieren können.

7.3 Weiterführende Arbeiten

Weiterführende Arbeiten sollten selbstverständlich zur Auflösung der in 7.2 aufgezeigten Grenzen dienen, um das Potential der Systematisierung auszuschöpfen. Erste Schritte wären die Erweiterung der Modellkomponenten, indem andere Unternehmen der Automotive-Zuliefererbranche eingebunden werden, um für die gegebenen Nebenbedingungen weitere Entscheidungsgrößen zu identifizieren. Damit einhergehend sollte untersucht werden, in wie weit andere strategische Faktoren eine Rolle spielen und welche Größen auf operativer Ebene beachtet werden müssen, um die Verknüpfung der Ebenen weiterzuführen. Ein erklärtes Ziel sollte sein, eine bestmögliche Abdeckung der Branche zu erhalten, so dass eine universale Ansammlung von Modell-Komponenten zusammengetragen werden kann.

Eine Abgrenzung auf eine spezifische Branche kann nicht zielführend sein, betrachtet man die Möglichkeit durch weitere Arbeiten den beschriebenen Ansatz fortzuführen. Demgemäß können andere Branchen in die Systematisierung einbezogen und bspw. auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede hinsichtlich der Entscheidungsgrößen sowie derer Ausgestaltung hin untersucht werden.

Solange sich der Wandel von strategischen Zielsystemen und damit der ableitbaren Erfolgsfaktoren weiter vollzieht, wären Untersuchungen, wie eine Systematisierung anzupassen oder umzugestalten ist, sinnvoll, um nicht in die Verlegenheit zu geraten, alle 10-15 Jahre die bis dahin aufgebaute Systematisierung zu verwerfen und von Neuem zu beginnen. Dieses trifft sicherlich nicht vollständig zu, da Erfolgsfaktoren sich wandeln, einige aber als sehr beständig anzusehen sind und langfristig von Bedeutung sein werden.

8 Literaturverzeichnis

- [ABHW73] ABERNATHY, W. J.; BALOFF, N.; HERSEY, J. C.; WANDEL, S.: A THREE-STAGE MANPOWER PLANNING AND SCHEDULING MODEL-A SERVICE-SECTOR EXAMPLE, OPERATIONS RESEARCH, VOL. 21, NO. 3, S.693-711, 1973
- [Adam01] ADAM, D.: PRODUKTIONS-MANAGEMENT. GABLER, WIESBADEN, 2001
- [Adam96] ADAM, D.: PLANUNG UND ENTSCHEIDUNG: MODELLE, ZIELE, METHODEN. MIT FALLSTUDIEN UND LÖSUNGEN. GABLER, 1996
- [AHW04] AZMAT, C. S.; HÜRLIMANN, T.; WIDMER, M.: MIXED INTEGER PROGRAMMING TO SCHEDULE A SINGLE-SHIFT WORKFORCE UNDER ANNUALIZED HOURS. IN ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH 128, S.199-215, 2004
- [Akin93] AKINC, U.: SELECTING A SET OF VENDORS IN A MANUFACTURING ENVIRONMENT, JOURNAL OF OPERATIONS MANAGEMENT, VOLUME 11, ISSUE 2, S.107-122, 1993
- [Alca00] ALCALDE RASCH, A.: ERFOLGSPOTENTIAL INSTANDHALTUNG. SCHMIDT, BERLIN, 2000
- [Alfa98] ALFARES, H. K.: AN EFFICIENT TWO-PHASE ALGORITHM FOR CYCLIC DAYS-OFF SCHEDULING, COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH, VOLUME 25, ISSUE 11, S.913-923, 1998
- [Alfa99] ALFARES, H. K.: AIRCRAFT MAINTENANCE WORKFORCE SCHEDULING - A CASE STUDY. JOURNAL OF QUALITY IN MAINTENANCE ENGINEERING 5(2), S.78-89, 1999
- [Alfa03] ALFARES, H. K.: FLEXIBLE 4-DAY WORKWEEK SCHEDULING WITH WEEKEND WORK FREQUENCY CONSTRAINTS. COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING, 44(3), S.325-338, 2003
- [Anth65] ANTHONY, R. N.: PLANNING AND CONTROL SYSTEMS: A FRAMEWORK FOR ANALYSIS. CAMBRIDGE, MA: HARVARD UNIVERSITY, GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS ADMINISTRATION, 1965
- [AOC08] ALMADA-LOBO, B; OLIVEIRA, J. F.; CARRAVILLA, M. A.: PRODUCTION PLANNING AND SCHEDULING IN THE GLASS CONTAINER INDUSTRY: A VNS APPROACH, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, VOLUME 114, ISSUE 1, SPECIAL SECTION ON COMPETITIVE ADVANTAGE THROUGH GLOBAL SUPPLY CHAINS, S.363-375, 2008
- [AuHo76] AUSTIN, L. M.; HOGAN, W. W.: OPTIMIZING THE PROCUREMENT OF AVIATION FUELS, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 22, NO. 5, S.515-527, 1976
- [Bach03] BACH, N.: GESCHÄFTSMODELLE FÜR WERTSCHÖPFUNGSNETZWERKE. WILFRIED KRÜGER ZUM 60. GEBURTSTAG. GABLER, WIESBADEN, 2003
- [BaEl98] BASNET, C.; ELLISON, P.: A MANPOWER PLANNING DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MQM MEAT SERVICES, COMPUTERS AND ELECTRONICS IN AGRICULTURE, VOLUME 21, ISSUE 3, S.181-194, 1998
- [BaFi85] BAILEY, J.; FIELD, J.: PERSONNEL SCHEDULING WITH FLEXSHIFT MODELS, JOURNAL OF OPERATIONS MANAGEMENT, VOLUME 5, ISSUE 3, S.327-338, 1985
- [Bail85] BAILEY, J.: INTEGRATED DAYS OFF AND SHIFT PERSONNEL SCHEDULING, COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING, VOLUME 9, ISSUE 4, S.395-404, 1985
- [BaLe05] BASNET, C.; LEUNG, J. M. Y.: INVENTORY LOT-SIZING WITH SUPPLIER SELECTION, COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH, VOLUME 32, ISSUE 1, S.1-14, 2005

- [Bard11] BARDMANN, M.: GRUNDLAGEN DER ALLGEMEINEN BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE, GABLER, WIESBADEN, 2011
- [BBD03] BARD, J.; BINICI, C.; deSILVA, A. H.: STAFF SCHEDULING AT THE UNITED STATES POSTAL SERVICE, COMPUTERS & OPERATIONS RESEARCH, VOLUME 30, ISSUE 5, S.745-771, 2003
- [BBISD85] BENDER, P. S.; BROWN, R. W.; ISAAC, M. H.; SHAPIRO, J. F.; DiMARCO, C. A.: IMPROVING PURCHASING PRODUCTIVITY AT IBM WITH A NORMATIVE DECISION SUPPORT SYSTEM, INTERFACES, VOL. 15, NO. 3, S.106-115, 1985
- [BDMS78] BAKER, K.R.; DIXON, P.; MAGAZINE, M.J.; SILVER, E.A.: AN ALGORITHM FOR THE DYNAMIC LOT-SIZE PROBLEM WITH TIME-VARYING PRODUCTION CAPACITY CONSTRAINTS, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 24, NO. 16, S.1710-1720, 1978
- [Beau97] BEAUMONT, N.: USING MIXED INTEGER PROGRAMMING TO DESIGN EMPLOYEE ROSTERS, THE JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY, VOL. 48, NO. 6, S.585-590, 1997
- [Bech81] BECHTOLD, S. E.: WORK FORCE SCHEDULING FOR ARBITRARY CYCLIC DEMANDS, JOURNAL OF OPERATIONS MANAGEMENT, VOLUME 1, ISSUE 4, S.205-214, 1981
- [Bech88] BECHTOLD, S. E.: IMPLICIT OPTIMAL AND HEURISTIC LABOR STAFFING IN A MULTI-OBJECTIVE, MULTILOCATION ENVIRONMENT. IN DECISION SCIENCES, S.353-372, 1988
- [BeJa90] BECHTOLD, S. E.; JACOBS, L. W.: IMPLICIT MODELING OF FLEXIBLE BREAK ASSIGNMENTS IN OPTIMAL SHIFT SCHEDULING, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 36, NO. 11, S.1339-1351, 1990
- [Bent86] BENTON, W.C.: PURCHASE LOT SIZING RESEARCH FOR MRP SYSTEMS, INTERNATIONAL JOURNAL OF OPERATIONS & PRODUCTION MANAGEMENT, VOL. 6 ISSUE 1, S.5-14, 1986
- [Betg06] BETGE, D.: KOORDINATION IN ADVANCED PLANNING AND SCHEDULING-SYSTEMEN. DEUTSCHER UNIVERSITÄTSVLG, 2006
- [Bich11] BICHLER, K.; KROHN, R.; PHILIPPI, P.: GABLER KOMPAKTEXIKON LOGISTIK. 1.900 BEGRIFFE NACHSCHLAGEN, VERSTEHEN, ANWENDEN. GABLER, WIESBADEN, 2011
- [Bill99] BILLIONNET, A.: INTEGER PROGRAMMING TO SCHEDULE A HIERARCHICAL WORKFORCE WITH VARIABLE DEMANDS, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 114, ISSUE 1, S.105-114, 1999
- [BiTi93] BITRAN, G. R.; TIRUPATI, D.: HIERARCHICAL PRODUCTION PLANNING, IN: S.C GRAVES, A.H.G. RINNOOY KAN, P.H. ZIPKIN, EDITOR(S), HANDBOOKS IN OPERATIONS RESEARCH AND MANAGEMENT SCIENCE, ELSEVIER, 1993, VOLUME 4, S. 523-568
- [BKH06] BLATZ, M.; KRAUS, K.-J.; HAGHANI, S.: GESTÄRKT AUS DER KRISE. UNTERNEHMENSFINANZIERUNG IN UND NACH DER RESTRUKTURIERUNG. SPRINGER, BERLIN, 2006
- [BLP97] BERMAN, O.; LARSON, R. C.; PINKER, E.: SCHEDULING WORKFORCE AND WORKFLOW IN A HIGH VOLUME FACTORY, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 43, NO. 2, S.158-172, 1997
- [BMG-ol] BUNDESMINISTERIUM FÜR GESELLSCHAFT (BMG): GESETZLICHE KRANKENVERSICHERUNG – KRANKENSTAND – 1970 BIS 2010 UND JANUAR BIS MÄRZ 2011, [HTTP://WWW.BMG.BUND.DE](http://WWW.BMG.BUND.DE), ABRUF: 08.11.2011
- [BMT83] BILLINGTON, P. J.; MCCLAIN, J. O.; THOMAS, L. J.: MATHEMATICAL PROGRAMMING APPROACHES TO CAPACITY-CONSTRAINED MRP SYSTEMS: REVIEW, FORMULATION AND PROBLEM REDUCTION, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 29, NO. 10, S.1126-1141, 1983

- [BMW07] BARD, J.; MORTON, D.; WANG, Y.: WORKFORCE PLANNING AT USPS MAIL PROCESSING AND DISTRIBUTION CENTERS USING STOCHASTIC OPTIMIZATION. IN ANNALS OF OPERATIONS RESEARCH 155, S.51–78, 2007
- [BMWi09-ol] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMWi), NACHHALTIGES WIRTSCHAFTSWACHSTUM SICHERN - WIRTSCHAFTSKRISE BEWÄLTIGEN - VERTRAUEN SCHAFFEN, BERICHT DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE ZUR INFORMATION DES STAATSSEKRETÄRSAUSSCHUSSES FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG AUF DER SITZUNG AM 09. FEBRUAR 2009, <HTTP://WWW.BMWI.DE>, ABRUF: 07.09.2011
- [Bode05] BODEN, M. HRSG.: HANDBUCH PERSONAL. PERSONALMANAGEMENT VON ARBEITSRECHT BIS ZEITARBEIT. MI, LANDSBERG AM LECH, 2005
- [Bokr03] BOKRANZ, R.: ORGANISATIONS-MANAGEMENT IN DIENSTLEISTUNG UND VERWALTUNG. GESTALTUNGSFELDER, INSTRUMENTE UND KONZEPTE. GABLER, WIESBADEN, 2003
- [BrDa10] BRODKORB, D.; DANGELMAIER, W.: A CONCEPT FOR AUTOMATED OPERATIVE PRODUCTION PLANNING UNDER PRACTICAL CONDITIONS, ASOR BULLETIN, VOLUME 29, NUMBER 3, S.19-33, 2010
- [BrJa93] BRÜGGEMANN, W.; JAHNKE, H.: DLSP FOR MULTI-ITEM BATCH PRODUCTION. OPERATIONS RESEARCH IN PRODUCTION PLANNING AND CONTROL: PROCEEDINGS OF A JOINT GERMAN/US CONFERENCE, EDS. GÜNTER FANDEL ET AL., BERLIN: SPRINGER, S.459-472, 1993
- [BrJa00] BRÜGGEMANN, W.; JAHNKE, H.: THE DISCRETE LOT-SIZING AND SCHEDULING PROBLEM: COMPLEXITY AND MODIFICATION FOR BATCH AVAILABILITY, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 124, ISSUE 3, S. 511-528, 2000
- [Brod-ol] BRODKORB, D.: TWO-LEVEL CAPACITATED LOT SIZING IN PRODUCTION CONTROL TO GUARANTEE AVAILABILITY, CONSIDERING MULTIDIMENSIONAL RESTRICTIONS, PADERBORN, UNIV., DISS. 2011 (ONLINE), URN:NBN:DE:HBZ:466:2-319, ABRUF: 28.07.2011
- [Burr03] BURR, W.: MARKT- UND UNTERNEHMENSSTRUKTUREN BEI TECHNISCHEN DIENSTLEISTUNGEN. DT. UNIV.-VERL., WIESBADEN, 2003
- [CCC97] COCHRAN, J.; CHU, D.; CHU, M.: OPTIMAL STAFFING FOR CYCLICALLY SCHEDULED PROCESSES. INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH 35(12), S.3393-3403, 1997
- [CFZ93] CHAUDHRY, S. S.; FORST, F. G.; ZYDIAK, J. L.: VENDOR SELECTION WITH PRICE BREAKS, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 70, ISSUE 1, S.52-66, 1993
- [CHK96] CHUNG, C.-S.; HUM, S.-H.; KIRCA, O.: THE COORDINATED REPLENISHMENT DYNAMIC LOT-SIZING PROBLEM WITH QUANTITY DISCOUNTS, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 94, ISSUE 1, S.122-133, 1996
- [CKL96] CANEL, C.; KHUMAWALA, B. M.; LAW, J. S.: AN EFFICIENT HEURISTIC PROCEDURE FOR THE SINGLE-ITEM, DISCRETE LOT SIZING PROBLEM, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, VOLUME 43, ISSUES 2-3, S.139-148, 1996
- [Cors98] CORSTEN, H.: GRUNDLAGEN DER WETTBEWERBSSTRATEGIE. TEUBNER, STUTTGART, 1998
- [Czaj09] CZAJA, L.: QUALITÄTSFRÜHWARNSYSTEME FÜR DIE AUTOMOBILINDUSTRIE. GABLER, WIESBADEN, 2009
- [Dahe03] DAHEL, N.-E.: VENDOR SELECTION AND ORDER QUANTITY ALLOCATION IN VOLUME DISCOUNT ENVIRONMENTS, SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: AN INTERNATIONAL JOURNAL, VOL. 8, ISSUE 4, S.335 - 342, 2003

- [Dang09] DANGELMAIER, W.: THEORIE DER PRODUKTIONSPLANUNG UND-STEUERUNG: IM SOMMER KEINE KIRSCHPRALINEN? SPRINGER, 2009
- [Dant54] DANTZIG, G. B.: A COMMENT ON EDIE'S "TRAFFIC DELAYS AT TOLL BOOTHS", JOURNAL OF THE OPERATIONS RESEARCH SOCIETY OF AMERICA, VOL. 2, NO.3, S.339-341, 1954
- [DeRo00] DEGRAEVE, Z.; ROODHOOFT, F.: A MATHEMATICAL PROGRAMMING APPROACH FOR PROCUREMENT USING ACTIVITY BASED COSTING. IN JOURNAL OF BUSINESS FINANCE & ACCOUNTING, VOL. 27, S.69-98, 2000
- [Ders95] DERSTROFF, M. C.: MEHRSTUFIGE LOSGRÖSSENPLANUNG MIT KAPAZITÄTSBESCHRÄNKUNGEN. PHYSICA-VERLAG, HEIDELBERG, 1995
- [Dick07] DICKMANN, P. (HRSG.): SCHLANKER MATERIALFLUSS. SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, 2007
- [DIN6789] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, DIN-NORM 6789: DOKUMENTATIONSSYSTEMATIK, 1990
- [DIN30781] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, DIN-NORM 30781: TRANSPORTKETTE, 1989
- [DIN31051] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG, DIN-NORM 31051: GRUNDLAGEN DER INSTANDHALTUNG, 2003
- [DrHa98] DREXL, A., HAASE, K.: VORBEUGENDE INSTANDHALTUNG UND EILAUFTRÄGE IN DER PRODUKTIONSPLANUNG, ZEITSCHRIFT FÜR PLANUNG, JG. 9, S. 417-431, 1998
- [DrMu08] DREXL, A.; MUNDSCHENK, M.: LONG-TERM STAFFING BASED ON QUALIFICATION PROFILES. IN MATHEMATICAL METHODS OF OPERATIONS RESEARCH, VOL.68, 68, S.21-47, 2008
- [Dyck94] DYCKHOFF, H.: BETRIEBLICHE PRODUKTION. THEORETISCHE GRUNDLAGEN EINER UMWELTORIENTIERTEN PRODUKTIONSWIRTSCHAFT. SPRINGER, BERLIN, 1994
- [Edie54] EDIE, L. C.: TRAFFIC DELAYS AT TOLL BOOTHS, JOURNAL OF THE OPERATIONS RESEARCH SOCIETY OF AMERICA, VOL. 2, NO. 2, S.107-138, 1954
- [Eise75] EISENHUT, P.S.: A DYNAMIC LOT SIZING ALGORITHM WITH CAPACITY COSTRAINTS, AIIE TRANSACTIONS, 7:2, S.170-176, 1975
- [EpMa87] EPPEN, G. D.; MARTIN, R. K.: SOLVING MULTI-ITEM CAPACITATED LOT-SIZING PROBLEMS USING VARIABLE REDEFINITION, OPERATIONS RESEARCH, VOL. 35, NO. 6, S.832-848, 1987
- [Erto08] ERTOGRAL, K.: MULTI-ITEM SINGLE SOURCE ORDERING PROBLEM WITH TRANSPORTATION COST: A LAGRANGIAN DECOMPOSITION APPROACH, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 191, ISSUE 1, S.156-165, 2008
- [FeSi06] FERSTL, O. K.; SINZ, E. J.: GRUNDLAGEN DER WIRTSCHAFTSINFORMATIK. OLDENBOURG, MÜNCHEN, WIEN, 2006
- [FHT06] FÖRSTER, A., HAASE, K., TÖNNIES, M.: EIN MODELLGESTÜTZTER ANSATZ ZUR MITTELFRISTIGEN PRODUKTIONS- UND ABLAUFPLANUNG FÜR EINE BRAUEREI, IN: ZEITSCHRIFT FÜR BETRIEBSWIRTSCHAFT, JG. 76, H. 12, S.1255-1274, 2006
- [Fisc99] FISCHER, J.: INFORMATIONSWIRTSCHAFT: ANWENDUNGSMANAGEMENT, OLDENBOURG, MÜNCHEN, WIEN, 1999
- [Fisc07] FISCHÄDER, H.: STÖRUNGSMANAGEMENT IN NETZWERKFÖRMIGEN PRODUKTIONSSYSTEMEN. DT. UNIV.-VERL, WIESBADEN, 2007
- [FL07] FORLOG – ABSCHLUSSBERICHT DES BAYERISCHEN FORSCHUNGSVERBUNDS: SUPRA-ADAPTIVE LOGISTIKSYSTEME, 2007
- [Flei90] FLEISCHMANN, B.: THE DISCRETE LOT-SIZING AND SCHEDULING PROBLEM, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH 44, S.337-348, 1990

- [Flei94] FLEISCHMANN, B.: THE DISCRETE LOT-SIZING AND SCHEDULING PROBLEM WITH SEQUENCE-DEPENDENT SETUP COSTS, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 75, ISSUE 2, S.395-404, 1994
- [Flei98] FLEISCHMANN, B.: DER UNTERSCHIED ZWISCHEN MRP UND PLANUNG. SAPELLEMENT (3/98), S.60-64, 1998
- [FlMe97] FLEISCHMANN, B.; MEYR, H.: THE GENERAL LOTSIZING AND SCHEDULING PROBLEM. IN: OR SPECTRUM, 1997, 19, S.11–21
- [Fueh06] FÜHRING, M.: RISIKOMANAGEMENT UND PERSONAL MANAGEMENT DES FLUKTUATIONSRISIKOS VON SCHLÜSSELPERSONEN AUS RESSOURCENORIENTIERTER PERSPEKTIFFE. DT. UNIV.-VERL, WIESBADEN, 2006
- [FWG08] FOWLER, J. W.; WIROJANAGUD, P.; GEL, E. S.: HEURISTICS FOR WORKFORCE PLANNING WITH WORKER DIFFERENCES, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 190, ISSUE 3, S.724-740, 2008
- [Gaba74] GABALLA, A. A.: MINIMUM COST ALLOCATION OF TENDERS, OPERATIONAL RESEARCH QUARTERLY (1970-1977), VOL. 25, NO. 3, S.389-398, 1974
- [GBS01] GRÄFER, H.; BEIKE, R.; SCHELD, G.: FINANZIERUNG. ERICH SCHMIDT, 2001
- [Gebh09] GEBHARD, M.: HIERARCHISCHE PRODUKTIONSPLANUNG BEI UNSICHERHEIT. GABLER, 2009
- [GeHe07] GEHR, F.; HELLINGRATH, B.: LOGISTIK IN DER AUTOMOBILZULIEFERINDUSTRIE. INNOVATIVES SUPPLY CHAIN MANAGEMENT FÜR WETTBEWERBSFÄHIGE ZULIEFERSTRUKTUREN. SPRINGER, BERLIN, 2007
- [GGR92] GLASER, H.; GEIGER, W.; ROHDE, V.: PPS PRODUKTIONSPLANUNG UND -STEUERUNG: GRUNDLAGEN-KONZEPTE-ANWENDUNGEN. GABLER, 1992
- [GhOB98] GHODSYPOUR, S. H.; O'BRIEN, C.: A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SUPPLIER SELECTION USING AN INTEGRATED ANALYTIC HIERARCHY PROCESS AND LINEAR PROGRAMMING, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, VOLUMES 56-57, PRODUCTION ECONOMICS: THE LINK BETWEEN TECHNOLOGY AND MANAGEMENT, S.199-212, 1998
- [Gien07] GIENKE, H.; KÄMPF, R.: HANDBUCH PRODUKTION. INNOVATIVES PRODUKTIONSMANAGEMENT: ORGANISATION, KONZEPTE, CONTROLLING. HANSER, MÜNCHEN, OP. 2007
- [GMDB09] GICQUEL, C.; MINOUX, M.; DALLERY, Y.; BLONDEAU, J.-M.: A TIGHT MIP FORMULATION FOR THE DISCRETE LOT-SIZING AND SCHEDULING PROBLEM WITH PARALLEL RESOURCES, COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING, CIE 2009, S.1-6, 2009
- [Gore70] GORENSTEIN, S.: PLANNING TIRE PRODUCTION, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 17, NO. 2, APPLICATION SERIES, EDUCATIONAL ISSUES IN THE MANAGEMENT SCIENCES AND OPERATIONAL RESEARCH, B72-B82, 1970
- [GrFe05] INFORMATIONSTECHNOLOGIE. IN (GROTE, K.-H.; FELDHUSEN, J. HRSG.): DUBBEL. SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, 2005, S. Y1-Y14
- [Gril08] GRILL, J.: DIE STRATEGISCHE BEDEUTUNG DES HUMAN CAPITAL UND SEINE BEWERTUNG. EIN BEZUGSRAHMEN ZUR EVALUATION AMBITIONIERTER MITTLERER UNTERNEHMEN, LANG, FRANKFURT AM MAIN [U.A.], 2008
- [Gute87] GUTENBERG, E.: EINFÜHRUNG IN DIE BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE, GABLER, 1990
- [Haas94] HAASE, K.: LOTSIZING AND SCHEDULING FOR PRODUCTION PLANNING. SPRINGER, BERLIN ET AL., 1994
- [Haas96] HAASE, K.: CAPACITATED LOT-SIZING WITH SEQUENCE DEPENDENT SETUP COSTS. OR SPEKTRUM 18, S.51-59, 1996

- [Hack89] HACKSTEIN, R.: PRODUKTIONSPLANUNG UND -STEUERUNG (PPS). EIN HANDBUCH FÜR DIE BETRIEBSPRAXIS. VDI-VERL, DÜSSELDORF, 1989
- [HaKi00] HAASE, K.; KIMMS, A.: LOT SIZING AND SCHEDULING WITH SEQUENCE-DEPENDENT SETUP COSTS AND TIMES AND EFFICIENT RESCHEDULING OPPORTUNITIES, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, VOLUME 66, ISSUE 2, S.159-169, 2000
- [Hahn06] HAHN, D.: STAND UND ENTWICKLUNGSTENDENZEN DER STRATEGISCHEN PLANUNG. IN (HAHN, D.; TAYLOR, B. HRSG.): STRATEGISCHE UNTERNEHMUNGSPLANUNG — STRATEGISCHE UNTERNEHMUNGSFÜHRUNG. SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, 2006, S. 3–28
- [HaLa93] HAHN, D.; LASSMANN, G.: PRODUKTIONSWIRTSCHAFT - CONTROLLING INDUSTRIELLER PRODUKTION. PHYSICA-VERLAG, HEIDELBERG, 1993
- [HaLe96] HARRISON, T. P.; LEWIS, H.S.: LOT SIZING IN SERIAL ASSEMBLY SYSTEMS WITH MULTIPLE CONSTRAINED RESOURCES, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 42, NO. 1, S.19-36, 1996
- [Hans06] HANSMANN, K.-W.: INDUSTRIELLES MANAGEMENT. OLDENBOURG, MÜNCHEN, 2006
- [Hass08] HASSINI, E.: ORDER LOT SIZING WITH MULTIPLE CAPACITATED SUPPLIERS OFFERING LEADTIME-DEPENDENT CAPACITY RESERVATION AND UNIT PRICE DISCOUNTS, PRODUCTION PLANNING & CONTROL, VOL. 19, ISS. 2, 2008
- [Hech06] HECHENBLAIKNER, A.: OPERATIONAL RISK IN BANKEN. EINE METHODENKRITISCHE ANALYSE DER MESSUNG VON IT-RISIKEN, DT. UNIV.-VERL., WIESBADEN, 2006
- [Helb96] HELBER, S.: LOT SIZING IN CAPACITATED PRODUCTION PLANNING AND CONTROL SYSTEMS, OR SPEKTRUM 17, S.5-18, 1995
- [HHP05] HIRSCH, B.; HUFSCHLAG, K.; PIEROTH, G.: DIE MITTELFIRSTPLANUNG ALS VERKNIPFENDES ELEMENT ZWISCHEN STRATEGIEFORMULIERUNG UND OPERATIVER UMSETZUNG VON ZIELEN. IN: ZEITSCHRIFT FÜR PLANUNG & UNTERNEHMENSSTEUERUNG, AUSGABE 16, S.249-266, 2005
- [HKSW94] VAN HOESEL, S.; KUIK, R.; SALOMON, M.; VAN WASSENHOVE, L. N.: THE SINGLE-ITEM DISCRETE LOTSIZING AND SCHEDULING PROBLEM: OPTIMIZATION BY LINEAR AND DYNAMIC PROGRAMMING, DISCRETE APPLIED MATHEMATICS, VOLUME 48, ISSUE 3, S. 289-303, 1994
- [HLW10] HERTZ, A.; LAHRICHI, N.; WIDMER, M.: A FLEXIBLE MILP MODEL FOR MULTIPLE-SHIFT WORKFORCE PLANNING UNDER ANNUALIZED HOURS, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 200, ISSUE 3, S.860-873, 2010
- [HoPo97] HOUGHTON, E.; PORTUGAL, V.: REENGINEERING THE PRODUCTION PLANNING PROCESS IN THE FOOD INDUSTRY, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, VOLUME 50, ISSUES 2-3, BUSINESS PROCESS REENGINEERING, S.105-116, 1997
- [Hors11] HORSTMANN, C.: INTEGRATION UND FLEXIBILITÄT DER ORGANISATION DURCH INFORMATIONSTECHNOLOGIE, GABLER, WIESBADEN, 2011
- [HuWu03] HUNGENBERG, H.; WULF, T.: GESTALTUNG DER SCHNITTSTELLE ZWISCHEN STRATEGISCHER UND OPERATIVER PLANUNG, IN: NEUGESTALTUNG DER UNTERNEHMENSPLANUNG, HRSRG. P. HORVATH, R. GLEICH, STUTTGART, 2003
- [IMF09-ol] INTERNATIONAL MONETARY FUNDS, WORLD ECONOMIC OUTLOOK – CRISIS AND RECOVERY, APRIL 2009, [HTTP://WWW.IMF.ORG](http://WWW.IMF.ORG), ABRUF: 06.08.2011
- [Isch90] ISKANDER, W. H.; CHOU, J.: UNBALANCED PRODUCTION LINE SCHEDULING WITH PARTIAL JOB SPECIALIZATION. IN NAVAL RESEARCH LOGISTICS (NRL) 37, S.789-805, 1990

- [JaBi99] JAHNKE, H.; BISKUP, D.: PLANUNG UND STEUERUNG DER PRODUKTION. MI, VERL. MODERNE INDUSTRIE, 1999
- [Jahr03] JAHRMANN, F.-U.: FINANZIERUNG, DARSTELLUNG, KONTROLLFRAGEN, FÄLLE UND LÖSUNGEN. VERLAG NEUE WIRTSCHAFTS-BRIEFE, HERNE, 2003
- [JCL07] JARUPHONGSA, W.; CETINKAYA, S.; LEE, C.-Y.: OUTBOUND SHIPMENT MODE CONSIDERATIONS FOR INTEGRATED INVENTORY AND DELIVERY LOT-SIZING DECISIONS, OPERATIONS RESEARCH LETTERS, VOLUME 35, ISSUE 6, S.813-822, 2007
- [JoDr98] JORDAN, C.; DREXL, A.: DISCRETE LOTSIZING AND SCHEDULING BY BATCH SEQUENCING, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 44, NO. 5, S.698-713, 1998
- [JoKo98] JORDAN, C.; KOPPELMANN, J.: MULTI-LEVEL LOTSIZING AND SCHEDULING BY BATCH SEQUENCING, THE JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY, VOL. 49, NO. 11, S.1212-1218, 1998
- [JSB99] JAYARAMAN, V.; SRIVASTAVA, R.; BENTON, W. C.: SUPPLIER SELECTION AND ORDER QUANTITY ALLOCATION: A COMPREHENSIVE MODEL. IN JOURNAL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, VOL. 35, S.50-58, 1999
- [Jung06] JUNG, H.: ALLGEMEINE BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE, OLDENBOURG, MÜNCHEN, WIEN, 2006
- [Jung07] JUNG, H.: CONTROLLING. OLDENBOURG, 2007
- [Kall02] KALLRATH, J.: COMBINED STRATEGIC AND OPERATIONAL PLANNING – AN MILP SUCCESS STORY IN CHEMICAL INDUSTRY. IN OR SPECTRUM 24, S.315–341, 2002
- [KaNo92] KAPLAN, R. S., NORTON, D. P.: THE BALANCED SCORECARD: MEASURES THAT DRIVE PERFORMANCE. IN: HARVARD BUSINESS REVIEW (1992), VOLUME: 70, ISSUE: 1, PUBLISHER: HARVARD BUSINESS SCHOOL PUBLICATION CORP., S.71-79, 1992
- [KaNo07] KAPLAN, R. S.; NORTON, D. P.: BALANCED SCORECARD. IN (BOERSCH, C.; ELSCHEN, R. HRSG.): DAS SUMMA SUMMARUM DES MANAGEMENT. GABLER, S.137–148, 2007
- [KAS09-ol] KONRAD-ADENAUER-STIFTUNG, WIE HOCH SIND DIE VOLKSWIRTSCHAFTLICHEN VERLUSTE, DIE DURCH DIE KRISE VERURSACHT WURDEN?, [HTTP://WWW.KAS.DE](http://WWW.KAS.DE), ABRUF: 12.08.2011
- [Kern62] KERN, W.: DIE MESSUNG INDUSTRIELLER FERTIGUNGSKAPAZITÄTEN UND IHRER AUSNUTZUNG, WESTDT. VERL., 1962
- [Kien09] KIENER, S.: PRODUKTIONS-MANAGEMENT: GRUNDLAGEN DER PRODUKTIONSPLANUNG UND-STEUERUNG. OLDENBOURG WISSENSCH. VLG, 2009
- [KiSt01] KISTNER, K.; STEVEN, M.: PRODUKTIONSPLANUNG. PHYSICA-VERLAG, 2001
- [KiZa07] KINKEL, S.; ZANKER, C.: GESAMTWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG DER AUTOMOBILZULIEFERER: GLOBALE PRODUKTIONSSTRATEGIEN IN DER AUTOMOBILZULIEFER-INDUSTRIE. SPRINGER, BERLIN, HEIDELBERG, 2007
- [Klau09] KLAUS, P.: MÄRKTE, ANWENDUNGSFELDER UND TECHNOLOGIEN IN DER LOGISTIK. ERGEBNISSE UND REFLEXION VON 20 JAHREN LOGISTIKFORSCHUNG ; FESTSCHRIFT FÜR PROFESSOR PETER KLAUS, DBA/BOSTON UNIV. GABLER, WIESBADEN, 2009
- [Knae02] KNAESE, B.: DAS MANAGEMENT VON KNOW-HOW-RISIKEN. EINE ANALYSE VON WISSENSVERLUSTEN IM INVESTMENT BANKING EINER GROßBANK, DT. UNIV.-VERL, WIESBADEN, 2002
- [KnMa98] KNAPP, G. M.; MAHAJAN, M.: OPTIMIZATION OF MAINTENANCE ORGANIZATION AND MANPOWER IN PROCESS INDUSTRIES, JOURNAL OF QUALITY IN MAINTENANCE ENGINEERING, VOL. 4 Iss: 3, S.168-183, 1998
- [Koch06] KOCH, W. J.: WERTSCHÖPFUNGSKETTE AUTOMOBILE. ZUR WERTSCHÖPFUNGSTIEFE VON UNTERNEHMEN. DUV, S.70–91, 2006

- [Koli00] KOLISCH, R.: INTEGRATION OF ASSEMBLY AND FABRICATION FOR MAKE-TO-ORDER PRODUCTION, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, VOLUME 68, ISSUE 3, S.287-306, 2000
- [Koss76] KOSSBIEL, H.: PERSONALBEREITSTELLUNG UND PERSONALFÜHRUNG. SONDERDR. AUS ALLGEMEINE BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE IN PROGRAMMIERTER FORM. BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHER VERLAG GABLER, WIESBADEN, 1976
- [Koss74] KOSSBIEL, H.: PROBLEME UND INSTRUMENTE DER BETRIEBLICHEN PERSONALPLAUNUNG. IN PERSONALPLANUNG, 1974
- [Krop09] KROPIK, M.: SYSTEMANFORDERUNGEN: PRODUKTIONSLITSYSTEME IN DER AUTOMOBILFERTIGUNG. SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, 2009
- [Kuep97] KÜPPER, H.-U.: CONTROLLING. KONZEPTION, AUFGABEN UND INSTRUMENTE. SCHÄFFER-POESCHEL, STUTTGART, 1997
- [Kuss08] KUSSMAUL, H.: BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE FÜR EXISTENZGRÜNDER. GRUNDLAGEN MIT FALLBEISPIelen UND FRAGEN DER EXISTENZGRÜNDUNGSPRAXIS. OLDENBOURG, MÜNCHEN, 2008
- [LaMi97] LAY, G.; MIES, C.: ERFOLGREICH REORGANISIEREN. UNTERNEHMENSKONZEPTE AUS DER PRAXIS. SPRINGER-VERLAG, BERLIN, NEW YORK, 1997
- [LaTe71] LASDON, L. S.; TERJUNG, R. C.: AN EFFICIENT ALGORITHM FOR MULTI-ITEM SCHEDULING, OPERATIONS RESEARCH, VOL. 19, NO. 4, S.946-969, 1971
- [Laux06] LAUX, H.: WERTORIENTIERTE UNTERNEHMENSSTEUERUNG UND KAPITALMARKT. SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, 2006
- [LCCT05] LI, Y.; CHEN, J.; CAI, X.; TU, F.: OPTIMAL MANPOWER PLANNING WITH TEMPORAL LABOR AND CONTRACT PERIOD CONSTRAINTS. IN (MEGIDDO, N.; XU, Y.; ZHU, B. HRSG.): ALGORITHMIC APPLICATIONS IN MANAGEMENT. SPRINGER BERLIN / HEIDELBERG, S. 775–777, 2005
- [LeBr84] LEIDECKER, J. K.; BRUNO, A. V.: IDENTIFYING AND USING CRITICAL SUCCESS FACTORS, LONG RANGE PLANNING, VOLUME 17, ISSUE 1, S.23-32, 1984
- [Ling94] LINGNAU, V.: VARIANTENMANAGEMENT. PRODUKTIONSPLANUNG IM RAHMEN EINER PRODUKTDIFFERENZIERUNGSSTRATEGIE. E. SCHMIDT, BERLIN, 1994
- [LiTa06] LIU, G.; TANG, L.: MODEL AND SOLUTION FOR THE MULTILEVEL PRODUCTION-INVENTORY SYSTEM BEFORE IRONMAKING IN SHANGHAI BAOSHAN IRON AND STEEL COMPLEX. IN (GAVRILOVA, M.; GERVASI, O.; KUMAR, V.; TAN, C.; TANIA, D.; LAGANÁ, A.; MUN, Y.; CHOO, H. HRSG.): COMPUTATIONAL SCIENCE AND ITS APPLICATIONS - ICCSA 2006. SPRINGER BERLIN / HEIDELBERG, S.659–667, 2006
- [LLS10] LAUDON, K. C.; LAUDON, J. P.; SCHODER, D.: WIRTSCHAFTSINFORMATIK. EINE EINFÜHRUNG, PEARSON STUDIUM, MÜNCHEN, BOSTON, MASS. [U.A.], 2010
- [MaBi09] MANZINI, R.; BINDI, F.: STRATEGIC DESIGN AND OPERATIONAL MANAGEMENT OPTIMIZATION OF A MULTI STAGE PHYSICAL DISTRIBUTION SYSTEM, TRANSPORTATION RESEARCH PART E: LOGISTICS AND TRANSPORTATION REVIEW, VOLUME 45, ISSUE 6, S.915-936, 2009
- [Maty08] MATYAS, K.: TASCHENBUCH INSTANDHALTUNGSLOGISTIK. QUALITÄT UND PRODUKTIVITÄT STEIGERN. HANSER, MÜNCHEN, WIEN, 2008
- [MaWa88] MAES, J.; VAN WASSENHOVE, L. N.: MULTI-ITEM SINGLE-LEVEL CAPACITATED DYNAMIC LOT-SIZING HEURISTICS: A GENERAL REVIEW, THE JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY VOL. 39, NO. 11, S.991-1004, 1988
- [MaWa91] MAES, J., VAN WASSENHOVE, L.N., CAPACITATED DYNAMIC LOTSIZING HEURISTICS FOR SERIAL SYSTEMS, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH 29, S.1235-1249, 1991

- [MeFo03] MERCE, C.; FONTAN, G.: MIP-BASED HEURISTICS FOR CAPACITATED LOTSIZING PROBLEMS, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, VOLUME 85, ISSUE 1, PLANNING AND CONTROL OF PRODUCTIVE SYSTEMS, S.97-111, 2003
- [Mert06] MERTENS, P.: INTEGRIERTE INFORMATIONSVERARBEITUNG 1 - OPERATIVE SYSTEME IN DER INDUSTRIE. 15. AUFL., GABLER, WIESBADEN 2005
- [MiYa94] MILLAR, H.H.; YANG, M.: LAGRANGIAN HEURISTICS FOR THE CAPACITATED MULTI-ITEM LOT-SIZING PROBLEM WITH BACKORDERING, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, VOLUME 34, ISSUE 1, S.1-15, 1994
- [MMW91] MAES, J.; MCCLAIN, J. O.; VAN WASSENHOVE, L. N.: MULTILEVEL CAPACITATED LOTSIZING COMPLEXITY AND LP-BASED HEURISTICS, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 53, ISSUE 2, S.131-148, 1991
- [MNS07] MARINELLI, F.; NENNI, M. E.; SFORZA, A. CAPACITATED LOT SIZING AND SCHEDULING WITH PARALLEL MACHINES AND SHARED BUFFERS: A CASE STUDY IN A PACKAGING COMPANY, ANN. OPER. RES. 2007, S.177–192, 2007
- [Moch10] MOCH, D.: STRATEGISCHER ERFOLGSFAKTOR INFORMATIONSTECHNOLOGIE. ANALYSE DES WERTBEITRAGS DER INFORMATIONSTECHNOLOGIE ZUR PRODUKTIVITÄTSSTEIGERUNG UND PRODUKTDIFFERENZIERUNG, IN STRATEGISCHER ERFOLGSFAKTOR INFORMATIONSTECHNOLOGIE, 2010
- [Mona11] MONAUNI, M.: FIXKOSTENMANAGEMENT. STRATEGISCHER ANSATZ ZUR FLEXIBILISIERUNG VON PRODUKTIONSKAPAZITÄTEN. EUL, LOHMAR ; KÖLN, 2011
- [Muna06] MUNARI, S.: STRATEGISCHE STEUERUNG — BEDEUTUNG IM RAHMEN DES STRATEGISCHEN MANagements. IN (HAHN, D.; TAYLOR, B. HRSG.): STRATEGISCHE UNTERNEHMUNGSPLANUNG — STRATEGISCHE UNTERNEHMUNGSFÜHRUNG. SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, S.435–450, 2006
- [Nage89] NAGEL, K.: DIE 6 ERFOLGSFAKTOREN DES UNTERNEHMENS: STRATEGIE, ORGANISATION, MITARbeiter, FÜHRUNGSSYSTEM, INFORMATIONSSYSTEM, KUNDENNÄHE. 3. AUFL. V. MOD. INDUSTRIE, LANDSBERG A. L. 1989
- [News75] NEWSON, E. F. P.: MULTI-ITEM LOT SIZE SCHEDULING BY HEURISTIC PART I: WITH FIXED RESOURCES, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 21, NO. 10, APPLICATION SERIES, S.1186-1193, 1975
- [Nieh95] R.J. NIEHAUS, EVOLUTION OF THE STRATEGY AND STRUCTURE OF A HUMAN RESOURCE PLANNING DSS APPLICATION, DECISION SUPPORT SYSTEMS, VOLUME 14, ISSUE 3, S.187-204, 1995
- [NoRo98] NOBERT, Y.; ROY, J.: FREIGHT HANDLING PERSONNEL SCHEDULING AT AIR CARGO TERMINALS, TRANSPORTATION SCIENCE 32: S.295-301, 1998
- [OBri05] O'BRIEN, J. A.: INTRODUCTION TO INFORMATION SYSTEMS. McGRAW-HILL/IRWIN, BOSTON, MASS. [U.A.], 2005
- [OeBo00] ÖZDAMAR, L.; BOZYEL, M. A.: THE CAPACITATED LOT SIZING PROBLEM WITH OVERTIME DECISIONS AND SETUP TIMES. IIE TRANSACTIONS. IN IIE TRANSACTIONS 32, S. 1043–1057, 2000
- [OECD10] ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT: OECD TRANSFER PRICING GUIDELINES FOR MULTINATIONAL ENTERPRISES AND TAX ADMINISTRATIONS, 2010
- [Pfoh10] PFOHL, H. C.: LOGISTIKSYSTEME. SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, 2010
- [PfSt96] PFOHL, H. C. ; STÖLZLE, W.: FUNKTIONEN UND PROZESSE DER PLANUNG. IN: WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTLICHES STUDIUM 25, NR. 5, S. 233-237, 1996
- [PPDT99] PRODUCTIVITY PRESS DEVELOPMENT TEAM: OEE FOR OPERATORS: OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS, PRODUCTIVITY PRESS, 2009

- [PrKh89] PRENTIS, E.L., KHUMAWALA, B.M.: MRP LOT SIZING WITH VARIABLE PRODUCTION/PURCHASING COSTS: FORMULATION AND SOLUTION. INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH, S.965-984, 1989
- [QuKu03] QUADT, D., AND H. KUHN.: PRODUCTION PLANNING IN SEMICONDUCTOR ASSEMBLY. IN PROCEEDINGS OF THE FOURTH AEGEAN INTERNATIONAL CONFERENCE ON ANALYSIS OF MANUFACTURING SYSTEMS, ED. C. T. PAPADOPOULOS, S.181-189, 2003
- [QuKu09] QUADT, D.; KUHN, H.: CAPACITATED LOT-SIZING AND SCHEDULING WITH PARALLEL MACHINES, BACK-ORDERS, AND SETUP CARRY-OVER. IN: NAVAL RESEARCH LOGISTICS (NRL) 56, S.366–384, 2009
- [Raps08] RAPS, A.: ERFOLGSFAKTOREN DER STRATEGIEIMPLEMENTIERUNG. KONZEPTION, INSTRUMENTE UND FALLBEISPIELE. GABLER, WIESBADEN, 2008
- [Reit02] REITH-AHLEMEIER, G.: RESSOURCENORIENTIERTER BESTELLMENGENPLANUNG UND LIEFERANTENAUSWAHL: MODELLE UND ALGORITHMEN FÜR SUPPLY CHAIN OPTIMIERUNG UND E-COMMERCE. BOOKS ON DEMAND, 2002
- [Resc09] RESCH, A.: UNTERNEHMENSGESCHICHTE, IN SCHÜLEIN, J.A. HRSG.: UNTERNEHMEN AUS SOZIALWISSENSCHAFTLICHER PERSPEKTIVE, FACULTAS.WUV, WIEN, 2009
- [RoLa04] ROBINSON, E. P.; LAWRENCE, F. B.: COORDINATED CAPACITATED LOT-SIZING PROBLEM WITH DYNAMIC DEMAND: A LAGRANGIAN HEURISTIC. IN DECISION SCIENCES, S.25-53, 2004
- [RZC95] ROSENTHAL, E. C.; ZYDIAK, J. L.; CHAUDHRY, S. S.: VENDOR SELECTION WITH BUNDLING, IN DECISION SCIENCES, VOL. 26, S. 35-48, 1995
- [SaBe00] SABRI, E. H.; BEAMON, B. M.: A MULTI-OBJECTIVE APPROACH TO SIMULTANEOUS STRATEGIC AND OPERATIONAL PLANNING IN SUPPLY CHAIN DESIGN, OMEGA, VOLUME 28, ISSUE 5, S.581-598, 2000
- [Sabi96] SABISCH, H.: PRODUKTE UND PRODUKTGESTALTUNG, IN: HANDWÖRTERBUCH DER PRODUKTIONSWIRTSCHAFT, SCHÄFFER-POESCHEL VERLAG, STUTTGART, 1996, S.1439-1451
- [SBTH09] SAHLING, F.; BUSCHKÜHL, L.; TEMPELMEIER, H.; HELBER, S.: SOLVING A MULTI-LEVEL CAPACITATED LOT SIZING PROBLEM WITH MULTI-PERIOD SETUP CARRY-OVER VIA A FIX-AND-OPTIMIZE HEURISTIC, OPERATIONS RESEARCH, VOLUME 36, ISSUE 9, S.2546-2553, 2009
- [Schi06] SCHIEFERDECKER, R.: PRODUKTIONSPLANUNG UND -STEUERUNG BEI FLEXIBLEN ARBEITSZEITEN. IN (SCHUH, G. HRSG.): PRODUKTIONSPLANUNG UND -STEUERUNG. SPRINGER BERLIN, HEIDELBERG, S.809–832, 2006
- [Schm05] SCHMÖLZER, T.; SCHÖFER, J.: BEDARFSORIENTIERTES BEHÄLTERMANAGEMENT ZUR KOSTENREDUZIERUNG IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE, IN: ZEITSCHRIFT FÜR DIE GESELLTE WERTSCHÖPFUNGSKETTE AUTOMOBILWIRTSCHAFT, AUSGABE 4, S. 56–60, 2005
- [Schn92] SCHNEEWEISS, C.: KAPAZITÄTSORIENTIERTES ARBEITSZEITMANAGEMENT. PHYSICA-VERL, HEIDELBERG, 1992
- [Schn94] SCHNEEWEISS, C.: ELEMENTE EINER THEORIE HIERARCHISCHER PLANUNG. IN OR SPECTRUM 16, S.161–168, 1994
- [Schn02] SCHNEEWEISS, C.: EINFÜHRUNG IN DIE PRODUKTIONSWIRTSCHAFT. SPRINGER, 2002
- [Schn08] SCHNEIDER, M.: LOGISTIKPLANUNG IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE. KONZEPTION EINES INSTRUMENTS ZUR UNTERSTÜTZUNG DER TAKTISCHEN LOGISTIKPLANUNG VOR "START-OF-PRODUCTION" IM RAHMEN DER DIGITALEN FABRIK. BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHER VERLAG GABLER, WIESBADEN, 2008

- [Scho11] SCHÖNSLEBEN, P.: GESCHÄFTSPROZESSE UND -METHODEN DES MRPII- / ERP-KONZEPTS: INTEGRALES LOGISTIKMANAGEMENT. SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, S.241–318, 2011
- [Scho07] SCHÖNSLEBEN, P.: INTEGRALES LOGISTIKMANAGEMENT: OPERATIONS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN UMFASSENDEN WERTSCHÖPFUNGSNETZWERKEN. SPRINGER, 2007
- [Schu06] SCHUH, G. (HRSG.): PRODUKTIONSPLANUNG UND -STEUERUNG. SPRINGER BERLIN HEIDELBERG, 2006
- [ScKo07a] SCHREYÖGG, G.; KOCH, J.: STRATEGISCHE PLANUNG UND KONTROLLE: GRUNDLAGEN DES MANAGEMENTS. GABLER, S.67–125, 2007
- [ScKo07b] SCHREYÖGG, G.; KOCH, J.: OPERATIVE PLANUNG UND KONTROLLE: GRUNDLAGEN DES MANAGEMENTS. GABLER, S.127–174, 2007
- [ScSe08] SCHMELZER, H. J.; SESELLEMAN, W.: GESCHÄFTSPROZESSMANAGEMENT IN DER PRAXIS. KUNDEN ZUFRIEDEN STELLEN - PRODUKTIVITÄT STEIGERN - WERT ERHÖHEN, HANSER, MÜNCHEN, 2008
- [SHG54] STANLEY, E. D.; HONIG, D. P.; GAINEN, L.: LINEAR PROGRAMMING IN BID EVALUATION. IN NAVAL RESEARCH LOGISTICS QUARTERLY 1, S.48-54, 1954
- [SiPe85] SILVER, E.; PETERSON, R.: DECISION SYSTEMS FOR INVENTORY MANAGEMENT AND PRODUCTION PLANNING. WILEY, 1985
- [SKK96] STEINLE, C./ KIRSCHBAUM, J./ KIRSCHBAUM, V.: ERFOLGREICH ÜBERLEGEN: ERFOLGSFAKTOREN UND IHRE GESTALTUNG IN DER PRAXIS. FAZ - VERLAGSBEREICH WIRTSCHAFTSBÜCHER, FRANKFURT A. M. 1996
- [SKK91] SALOMON, M.; KROON, L. G.; KUIK, R.; VAN WASSENHOVE, L. N.: SOME EXTENSIONS OF THE DISCRETE LOTSIZING AND SCHEDULING PROBLEM, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 37, NO. 7, S.801-812, 1991
- [SLM96] SCHNEEWEISS, C.; LOINJAK, S.; MÜLLER, G.: FESTLEGUNG EINER JAHRESARBEITS-ZEITVERTEILUNG DURCH OPTIMIERUNG VON SCHICHTPLÄNEN. IN OR SPECTRUM 18, S.15–27, 1996
- [SlSu05] SLOMP, J.; SURESH, N. C.: THE SHIFT TEAM FORMATION PROBLEM IN MULTI-SHIFT MANUFACTURING OPERATIONS, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 165, ISSUE 3, S.708-728, 2005
- [SMAM08] SANAYEI, A.; MOUSAVI, S. F.; ABDI, M.R. ; MOHAGHAR, A.: AN INTEGRATED GROUP DECISION-MAKING PROCESS FOR SUPPLIER SELECTION AND ORDER ALLOCATION USING MULTI-ATTRIBUTE UTILITY THEORY AND LINEAR PROGRAMMING, JOURNAL OF THE FRANKLIN INSTITUTE, VOLUME 345, ISSUE 7, S.731-747, 2008
- [SoGa99] SOX, C. R.; GAO, Y.: THE CAPACITATED LOT SIZING PROBLEM WITH SETUP CARRY-OVER. IN IIE TRANSACTIONS 31, S.173–181, 1999
- [Spen06] SPENGLER T.: MODELLGESTÜTZTE PERSONALPLANUNG. FEMM: FACULTY OF ECONOMICS AND MANAGEMENT MAGDEBURG, WORKING PAPER SERIES, 2006
- [SSWDD97] SALOMON, M.; SOLOMON, M. M.; VAN WASSENHOVE, L. N., DUMAS, Y., DAUZERE-PERES, S.: SOLVING THE DISCRETE LOTSIZING AND SCHEDULING PROBLEM WITH SEQUENCE DEPENDENT SET-UP COSTS AND SET-UP TIMES USING THE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM WITH TIME WINDOWS, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 100, ISSUE 3, S.494-513, 1997
- [Stad11] STADERMANN, S.: DER WERT DER RESSOURCE PERSONAL. DIE SAARBRÜCKER FORMEL ALS INSTRUMENT DER HUMANKAPITALBEWERTUNG, DIPLOMICA VERLAG, HAMBURG, 2011

- [Stad88] STADTLER, H.: HIERARCHISCHE PRODUKTIONSPLANUNG BEI LOSWEISER FERTIGUNG, PHYSICA-SCHRIFTEN ZUR BETRIEBSWIRTSCHAFT, BD. 23, HEIDELBERG, 1988
- [Stad96] STADTLER, H.: MIXED INTEGER PROGRAMMING MODEL FORMULATIONS FOR DYNAMIC MULTI-ITEM MULTI-LEVEL CAPACITATED LOTSIZING, EUROPEAN JOURNAL OF OPERATIONAL RESEARCH, VOLUME 94, ISSUE 3, S.561-581, 1996
- [Stad03] STADTLER, H.: MULTILEVEL LOT SIZING WITH SETUP TIMES AND MULTIPLE CONSTRAINED RESOURCES: INTERNALLY ROLLING SCHEDULES WITH LOT-SIZING WINDOWS, OPERATIONS RESEARCH, VOL. 51, NO. 3, S.487-502, 2003
- [Stad07] STADTLER, H.: A GENERAL QUANTITY DISCOUNT AND SUPPLIER SELECTION MIXED INTEGER PROGRAMMING MODEL. IN: OR SPECTRUM 29, S. 723–744, 2007
- [Stad08] STADTLER, H.; KILGER, C.: SUPPLY CHAIN MANAGEMENT AND ADVANCED PLANNING: CONCEPTS, MODELS, SOFTWARE, AND CASE STUDIES. SPRINGER, 2008
- [StatBa09-ol] STATISTISCHES BUNDESAMT, BRUTTOINLANDSPRODUKT 2009 FÜR DEUTSCHLAND – BEGLEITMATERIAL ZUR PRESSEKONFERENZ AM 13. JANUAR 2010 IN WIESBADEN, [HTTP://WWW.DESTATIS.DE](http://WWW.DESTATIS.DE), ABRUF: 06.08.2011
- [StWe07] STÖLZLE, W.; WEBER, J.; HOFMANN, E.; WALLENBURG, C. M.: HANDBUCH KONTAKTLOGISTIK - MANAGEMENT KOMPLEXER LOGISTIKDIENSTLEISTUNGEN. WEINHEIM: WILEY-VCH VERLAG, 2007
- [SuSt03] SUERIE, C.; STADTLER, H.: THE CAPACITATED LOT-SIZING PROBLEM WITH LINKED LOT SIZES, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 49, NO. 8, S.1039-1054, 2003
- [SwSa97] SWAMINATHAN, J. M., SADEH, N. M. AND SMITH, S. F.: EFFECT OF SHARING SUPPLIER CAPACITY INFORMATION, HAAS SCHOOL OF BUSINESS, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, BERKELEY, CA, 1997
- [Tata95] SINHA, G. P.; CHANDRASEKARAN, B. S.; MITTER, N.; DUTTA, G.; SINGH, S. B.; CHOUDHURY, A. R.; ROY, P. N.: STRATEGIC AND OPERATIONAL MANAGEMENT WITH OPTIMIZATION AT TATA STEEL, INTERFACES, VOL. 25, NO. 1, S.6-19, 1995
- [TeDe93] TEMPELMEIER, H., DERSTROFF, M.: MEHRSTUFIGE MEHRPRODUKT-LOSGRÖBENPLANUNG BEI BESCHRÄNKTEM RESSOURCEN UND GENERELLER ERZEUGNISSTRUKTUR. OR SPEKTRUM 15, S.63–73, 1993
- [TeDe96] TEMPELMEIER, H.; DERSTROFF, M.: A LAGRANGEAN-BASED HEURISTIC FOR DYNAMIC MULTILEVEL MULTIITEM CONSTRAINED LOTSIZING WITH SETUP TIMES, MANAGEMENT SCIENCE, VOL. 42, NO. 5, S.738-757, 1996
- [Temp01] TEMPELMEIER, H.: A SIMPLE HEURISTIC FOR DYNAMIC ORDER SIZING AND SUPPLIER SELECTION WITH TIME-VARYING DATA. IN PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT, S.499-515, 2001
- [Temp08] TEMPELMEIER, H.: MATERIAL-LOGISTIK. SPRINGER, 2008
- [Thal97] THALER, K.: LIEFERABRUF SYSTEM. IN: BLOECH, J.; IHDE, G. (HRSG.): VAHLENS GROSSES LOGISTIKLEXIKON, MÜNCHEN: BECK, 1997
- [UTT-ol] UNAL, A. T.; TEKSAN, Z. M.; TAŞKIN, Z. C.: INTEGRATED PRODUCTION PLANNING, SHIFT PLANNING AND DETAILED SCHEDULING IN A TISSUE PAPER MANUFACTURER. DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING, BOGAZİÇİ UNIVERSITY, TECH. REP, 1-6, 2010, [HTTP://WWW.IE.BOUN.EDU.TR/~TASKIN/PDF/TISSUE_SHORTPAPER.PDF](http://WWW.IE.BOUN.EDU.TR/~TASKIN/PDF/TISSUE_SHORTPAPER.PDF), ABRUF: 19.07.2011
- [VBS76] VIERTES BUCH SOZIALGESETZBUCH - GEMEINSAME VORSCHRIFTEN FÜR DIE SOZIALVERSICHERUNG - (ARTIKEL 1 DES GESETZES VOM 23. DEZEMBER 1976, BGBl. I S. 3845) IN DER FASSUNG DER BEKENNTMACHUNG VOM 12. NOVEMBER 2009 (BGBl. I S. 3710, 3973; 2011 I S. 363), DAS ZULETZT DURCH ARTIKEL 3 DES GESETZES VOM 22. JUNI 2011 (BGBl. I S. 1202) GEÄNDERT WORDEN IST

- [VDA83] VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE (VDA), VDA-EMPFEHLUNG: LIEFERABRUF - 4904, 1983
- [VDA91a] VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE (VDA), VDA-EMPFEHLUNG: DATEN-FERN-ÜBERTRAGUNG VON LIEFERABRUFEN - 4905, 1991
- [VDA91b] VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE (VDA), VDA-EMPFEHLUNG: DATEN-FERN-ÜBERTRAGUNG VON PRODUKTIONSSYNCHRONEN ABRUFEN - 4916, 1991
- [VDA96] VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE (VDA), VDA-EMPFEHLUNG: DATEN-FERN-ÜBERTRAGUNG VON FEINABRUFEN - 4915, 1996
- [VDA08-ol] VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE (VDA), „ALLE LÄNDER SPÜREN DIE AUSWIRKUNGEN DER FINANZ- UND WIRTSCHAFTSKRISE“, [HTTP://WWW.VDA.DE](http://WWW.VDA.DE), ABRUF: 12.08.2011
- [VDI08] ARNOLD, D.; ISERMANN, H.; KUHN, A.; TEMPELMEIER, H.; FURMANS, K.: HANDBUCH LOGISTIK, VDI-BUCH, SPRINGER BERLIN, HEIDELBERG, 2008
- [Voel08] VÖLKER, R.; NEU, J.: ENTWICKLUNG EINES KOLLABORATIVEN LOGISTIKKONZEPTS: SUPPLY CHAIN COLLABORATION. PHYSICA-VERLAG HD, 2008
- [WaBo83] VAN WASSENHOVE, L.N.; DE BODT, M. A.: CAPACITATED LOT SIZING FOR INJECTION MOULDING: A CASE STUDY, THE JOURNAL OF THE OPERATIONAL RESEARCH SOCIETY, VOL. 34, NO. 6, S.489-501, 1983
- [Wall99] WALL, F.: PLANUNGS- UND KONTROLLSYSTEME. INFORMATIONSTECHNISCHE PERSPEKTIVEN FÜR DAS CONTROLLING ; GRUNDLAGEN INSTRUMENTE - KONSEPTE. GABLER, WIESBADEN, 1999
- [WaSu67] WAGGENER, H. A.; SUZUKI, G.: BID EVALUATION FOR PROCUREMENT OF AVIATION FUEL AT DFSC: A CASE HISTORY. IN NAVAL RESEARCH LOGISTICS QUARTERLY 14, S.115-129, 1967
- [Webe80] WEBER, H. K.: ZUM SYSTEM PRODUKTIVER FAKTOREN. IN SCHMALENBACHS ZEITSCHRIFT FÜR BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE FORSCHUNG, 1980, AUSGABE 32, S. 1056–1071
- [Wern10] WERNER, H.: SUPPLY CHAIN MANAGEMENT: GRUNDLAGEN, STRATEGIEN, INSTRUMENTE UND CONTROLLING. GABLER, BETRIEBSWIRT.-VLG, 2010
- [WiSc93] WILD, B.; SCHNEEWIEß, C.: MANPOWER CAPACITY PLANNING — A HIERARCHICAL APPROACH, INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION ECONOMICS, VOLUMES 30-31, S.95-106, 1993
- [Witt07] WITTE, H.: ALLGEMEINE BETRIEBSWIRTSCHAFTSLEHRE. LEBENSPHASEN DES UNTERNEHMENS UND BETRIEBLICHE FUNKTION ; MIT AUFGABEN. OLDENBOURG, MÜNCHEN, 2007
- [Zaep00a] ZÄPFEL, G.: TAKTISCHES PRODUKTIONS-MANAGEMENT. OLDENBOURG, MÜNCHEN, WIEN, 2000
- [Zaep00b] ZÄPFEL, G.: STRATEGISCHES PRODUKTIONS-MANAGEMENT. OLDENBOURG, 2000
- [Zaep01] ZÄPFEL, G.: GRUNDZÜGE DES PRODUKTIONS- UND LOGISTIKMANAGEMENT. OLDENBOURG, 2001
- [Zobo09] ZOBOLSKI, A.: SUPPLY CHAIN MANAGEMENT IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE: KOOPERATIONSKOMPETENZ IM DYNAMISCHEN WETTBEWERB. GABLER, S.41–73, 2009