

Diskussionsbeitrag Nr. 2010

BWL/Produktion
Prämierte Diplomarbeiten

**Heuristiken zur Losgrößenplanung
in PPS-Systemen**

Christian Ortmann und Ingo Siebeking

Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
Universität Osnabrück
Katharinenstraße 3
49069 Osnabrück

Juni 2000

Vorwort

Am Fachgebiet BWL/Produktion der Universität Osnabrück sind in den letzten Jahren viele Diplomarbeiten mit Förderpreisen ausgezeichnet worden. Da es sich bei den Arbeiten um Prüfungsunterlagen handelt, stehen sie leider einem interessierten Publikum nicht zur Verfügung. Daher werden prämierte Arbeiten in verkürzter Form in einer kleinen Reihe veröffentlicht. Christian Ortmann und Ingo Siebeking haben gemeinsam den Förderpreis der Wilhelm Karmann GmbH des akademischen Jahres 1999/2000 erhalten.

Die Autoren haben sich mit dem Thema "Modellierung einer mehrstufigen kapazitätsorientierten Losgrößenplanung" im Rahmen ihrer Diplomarbeiten an eine sehr komplexe Thematik gewagt. Die Literatur zu dem Thema ist ausgezeichnet aufgearbeitet worden. Das Literaturverzeichnis stellt beinahe ein Kompletverzeichnis für die Produktionsplanung dar. In der Losgrößenplanung werden zur Zeit in der Praxis einfach zu handhabende Heuristiken eingesetzt. Die Autoren arbeiten die Schwächen dieser Ansätze sehr anschaulich heraus. Als Ausweg schlagen sie ein Verfahren von HELBER vor. Der HELBER-Ansatz ist im Rahmen einer Dissertation veröffentlicht und mit einer Programmiersprache der 3. Generation umgesetzt worden. Die Autoren haben diesen sehr komplexen Ansatz aufgearbeitet und in das Ausbildungskonzept des Fachgebietes BWL/Produktion integriert. Die Lösung liegt in Form eines Datenbankansatzes vor und kann nun leichter an vorhandene PPS-Systeme angebunden werden. Mehrere Beispielrechnungen zeigen die Überlegenheit des Verfahrens gegenüber herkömmlichen Ansätzen. Das Ergebnis der Arbeiten überzeugt, zumal die Literatur zu dem HELBER-Verfahren sehr spärlich ist.

Der Umfang der Diplomarbeiten erfordert eine Aufteilung. In diesem Beitrag werden zunächst herkömmliche Verfahren zur Losgrößenplanung diskutiert. Die Implementierung des datenbankgestützten mehrstufigen kapazitätsorientierten Ansatzes wird in einem weiteren Beitrag erörtert.

Osnabrück, Juni 2000

Prof. Dr. Th. Witte

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
Abkürzungsverzeichnis.....	III
Symbolverzeichnis	V
1. Einleitung	1
2. Aufbau „konventioneller“ PPS-Systeme	3
2.1. Produktionsprogrammplanung	3
2.2. Mengenplanung	4
2.3. Termin- und Kapazitätsplanung	7
2.4. Produktionssteuerung	10
3. Eingesetzte Verfahren zur Losgrößenplanung	11
3.1. Beschreibung des dynamischen, einstufigen, unkapazitierten Einprodukt- Losgrößenproblems	11
3.2. Heuristische Lösungsverfahren.....	13
3.2.1. Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße.....	13
3.2.2. Das Stückperiodenausgleichsverfahren	15
3.2.3. Das <i>Silver-Meal</i> Verfahren	17
3.2.4. Das Grenzkostenverfahren von <i>Groff</i>	19
3.3. Bestimmung der optimalen Lösung mittels dynamischer Programmierung ..	21
4. Schwächen der eingesetzten Verfahren zur Losgrößenplanung	25
4.1. Fehlende Berücksichtigung der sich aus der Mehrstufigkeit der Erzeugnis- struktur ergebenden kostenmäßigen Interdependenzen.....	25
4.2. Fehlende Berücksichtigung beschränkter Kapazitäten.....	26
5. Kapazitätsorientierte Losgrößenplanung	30
6. Schlußbetrachtung	33
Literaturverzeichnis	34

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Grundstruktur eines „konventionellen“ PPS-Systems	3
Abb. 2:	Erzeugnisstruktur	5
Abb. 3:	Datensituation des Beispiels	13
Abb. 4:	Ablaufdiagramm des Verfahrens der gleitenden wirtschaftliche Losgröße	14
Abb. 5:	Zahlenbeispiel zum Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße	15
Abb. 6:	Ablaufdiagramm des Stückperiodenausgleichsverfahrens	16
Abb. 7:	Zahlenbeispiel zum Stückperiodenausgleichsverfahren.....	17
Abb. 8:	Ablaufdiagramm des <i>Silver-Meal</i> Verfahrens	18
Abb. 9:	Zahlenbeispiel zum <i>Silver-Meal</i> Verfahren.....	18
Abb. 10:	Ablaufdiagramm des Grenzkostenverfahrens von <i>Groff</i>	20
Abb. 11:	Zahlenbeispiel zum Grenzkostenverfahren von <i>Groff</i>	21
Abb. 12:	Auswertungsschema für die Vorwärtsrekursion.....	22
Abb. 13:	Ablaufdiagramm zur Vorwärtsrekursion.....	23
Abb. 14:	Ablaufdiagramm zur Rückwärtsrechnung.....	24
Abb. 15:	Zahlenbeispiel zum <i>Wagner-Whitin</i> Verfahren.....	24
Abb. 16:	Kostengünstigerer Produktionsplan unter Berücksichtigung der Mehrstufigkeit.....	26
Abb. 17:	Kapazitätsbelastung bei bedarfssynchroner Produktion.....	27
Abb. 18:	Kapazitätsbelastung bei Einsatz des <i>Wagner-Whitin</i> Verfahrens.....	27
Abb. 19:	Grundstruktur der Heuristik von <i>Helber</i>	31
Abb. 20:	Beispiel für die stufenweise Lösung einer Folge von CLSPs.....	32

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Aufl.	Auflage
bearb.	bearbeitet
Bd.	Band
bzw.	beziehungsweise
CLSP	Capacitated-Lotsizing-Problem
d.h.	das heißt
EDV	elektronische Datenverarbeitung
erw.	erweitert
etc.	et cetera
evtl.	eventuell
f.	folgende
ff.	ferner folgende
GE	Geldeinheiten
ggf.	gegebenenfalls
H.	Heft
Hrsg.	Herausgeber
i.a.	im allgemeinen
i.d.R.	in der Regel
Jg.	Jahrgang
ME	Mengeneinheiten
neubearb.	neubearbeitet
Nr.	Nummer
OR	Operations Research
PE	Periodeneinheiten
PPS	Produktionsplanung und –steuerung
Q-z	vorläufiger zulässiger Losgrößenplan
S.	Seite
Sp.	Spalte
sog.	sogenannt
überarb.	überarbeitet
u.U.	unter Umständen
veränd.	verändert
verb.	verbessert

vgl.	vergleiche
vollst.	vollständig
z.B.	zum Beispiel
ZE	Zeiteinheiten

Symbolverzeichnis

a_t	binäre Rüstvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn in Periode t ein Los aufgelegt wird, d.h. $q_t > 0$ ist
b_t	binäre Variable, die den Wert 1 annimmt, wenn in Periode t ein positiver Nettobedarf vorliegt, d.h. $d_t > 0$ ist
c_{g_j}	Gesamtkosten für ein in Periode γ aufgelegtes Los, das die Nettobedarfe bis einschließlich der Periode j deckt
$c_{g_j}^{\text{Stück}}$	Gesamtkosten pro Stück für ein in Periode γ aufgelegtes Los, das die Nettobedarfe bis einschließlich der Periode j deckt
$c_{g_j}^{\text{Per}}$	Gesamtkosten pro Bedarfsperiode für ein in Periode γ aufgelegtes Los, das die Nettobedarfe bis einschließlich der Periode j deckt
$c_{g_j}^{\text{R}}$	Rüstkosten pro Periode für ein in Periode γ aufgelegtes Los, das die Nettobedarfe bis einschließlich der Periode j deckt
c_T^{min}	minimale Gesamtkosten des Planungszeitraums
c_j^{min}	minimale Gesamtkosten, die mit der Befriedigung der Nettobedarfe von Periode 1 bis einschließlich der Periode j verbunden sind
c_L	Lagerkostensatz
$c(\mathbf{q})$	Gesamtkostenfunktion
c_R	Rüstkostensatz
d_t	Nettobedarf in Periode t
d_{it}	Nettobedarf von Artikel i in Periode t
Δc^L	marginale Erhöhung der Lagerkosten pro Periode
Δc^R	marginale Verringerung der Rüstkosten pro Periode
g	Periodenindex (Produktions- bzw. Losauflageperiode)
i	Artikelindex ($i = 1, 2, \dots, I$)
j	Periodenindex
l	Dispositionsstufenindex ($l = 0, 1, \dots, L$)
p_j^{opt}	(kosten-) optimale Produktionsperiode für den Nettobedarf der Periode j
\mathbf{q}	Losgrößenvektor (q_1, q_2, \dots, q_T)

q_t	Losgröße in Periode t
T	Planungshorizont (Anzahl der Perioden $t = 1, 2, \dots, T$ im Planungszeitraum)
t	Periodenindex ($t = 1, 2, \dots, T$)
$x_{g j}$	Anzahl der zwischen γ und j liegenden Perioden, für die ein positiver Nettobedarf vorliegt
y_t	Lagerbestand am Ende von Periode t

1. Einleitung

Die Aufgabe der operativen Produktionsplanung und –steuerung (PPS) besteht darin, aufgrund erwarteter und/oder vorliegender Kundenaufträge den mengenmäßigen und zeitlichen Produktionsablauf unter Berücksichtigung unternehmensrelevanter Restriktionen¹ durch Planvorgaben festzulegen, diese zu veranlassen sowie zu überwachen und bei Abweichungen Maßnahmen zu ergreifen, so daß bestimmte betriebliche Ziele² erreicht werden.³ Im Rahmen der PPS werden mithin Problemstellungen behandelt, die sich auf folgende Planungsbereiche beziehen:

- Produktionsprogrammplanung
- Mengenplanung
- Termin- und Kapazitätsplanung
- Produktionssteuerung

In der betrieblichen Praxis werden die Aufgaben der PPS i.d.R. EDV-gestützt, d.h. unter Einsatz von computergestützten Produktionsplanungs- und –steuerungssystemen (PPS-Systemen) bearbeitet. Die Güte der mit diesen Systemen erhaltenen Planungsergebnisse wird allerdings häufig als unbefriedigend betrachtet. So wird von Praktikern fast ausnahmslos über hohe Bestände an Halb- und Fertigerzeugnissen, lange und unvorhersehbare Durchlaufzeiten sowie geringe Termintreue berichtet.⁴

Diese Probleme werden unter anderem auf die in den PPS-Systemen zur Losgrößenplanung herangezogenen Modelle und Verfahren zurückgeführt. Im Rahmen dieser Arbeit wird untersucht, inwieweit diese Aussage zutrifft.

Hierzu ist es zunächst einmal erforderlich, die grundlegende Vorgehensweise dieser in der betrieblichen Praxis weit verbreiteten PPS-Systeme zu skizzieren (Kapitel 2).

Danach wird im 3. Kapitel das innerhalb der Mengenplanung auftretende Losgrößenproblem näher erläutert und es werden die zur Losgrößenplanung üblicherweise eingesetzten Lösungsverfahren dargestellt.

Im Anschluß an die Darstellung der Planungsverfahren wird in Kapitel 4 anhand eines kleinen Zahlenbeispiels demonstriert, daß deren Anwendung bei Vorliegen mehrstufiger Produktionsprozesse mit mehrfachen Kapazitätsrestriktionen nicht angebracht ist. Aus dieser Kritik erwächst die Erkenntnis, daß für die Losgrößen-

¹ Derartige Restriktionen können z.B. aus nur beschränkt verfügbaren produktiven Ressourcen resultieren.

² Zu Zielsetzungen der PPS siehe Zäpfel (1994), S. 72 sowie Kahle (1996), Sp. 2318 ff.

³ Vgl. Zäpfel (1996a), S. 56. Zu den Aufgaben des strategischen und taktischen Produktionsmanagement siehe Corsten (1994), S. 7-13.

⁴ Vgl. Fleischmann (1988), S. 351, Zäpfel/Missbauer (1988b), S. 127, Drexl/Fleischmann/Günther/Stadtler/Tempelmeier (1994), S. 1026, Drexl/Haase/Kimms (1995), S. 268, Helber (1995), S. 5, Kimms (1996), S. 12, Kimms (1997), S. 231 sowie Tempelmeier (1997), S. 452.

planung in PPS-Systemen Verfahren erforderlich sind, die sowohl die Kapazitätsrestriktionen der Ressourcen als auch die sich aus der Mehrstufigkeit der Erzeugnisstruktur ergebenden kostenmäßigen Interdependenzen berücksichtigen.

Im 5. Kapitel wird daher ein heuristisches Lösungsverfahren vorgestellt, das diesen Anforderungen gerecht wird und sich sowohl hinsichtlich der Lösungsgüte als auch der Rechenzeit als sehr vielversprechend erwiesen hat.

Den Abschluß der Arbeit bildet eine Zusammenfassung der aufgezeigten Untersuchungsergebnisse (Kapitel 6).

2. Aufbau „konventioneller“ PPS-Systeme

Die einzelnen Teilbereiche der Produktionsplanung und -steuerung wären idealerweise in einer simultanen Planung zu lösen, so daß die Interdependenzen zwischen den Teilbereichen berücksichtigt werden. Da sich derartige Modelle aufgrund ihrer hohen Komplexität in der Praxis nicht verwirklichen lassen, hat sich für „konventionelle“ PPS-Systeme das in Abb. 1 dargestellte Konzept der stufenweisen Sukzessivplanung mit zunehmenden zeitlichen Detaillierungsgrad herausgebildet.⁵ Die Ergebnisse der vorgelagerten Teilbereiche gehen als Vorgabe in die nachgelagerten Bereiche ein. Eine Rückkopplung von nachgelagerten zu früheren Teilbereichen findet nur in sehr schwachem Ausmaß statt, da lediglich bestimmte Strukturdaten der nachgelagerten Bereiche, nicht jedoch deren Planungen berücksichtigt werden.

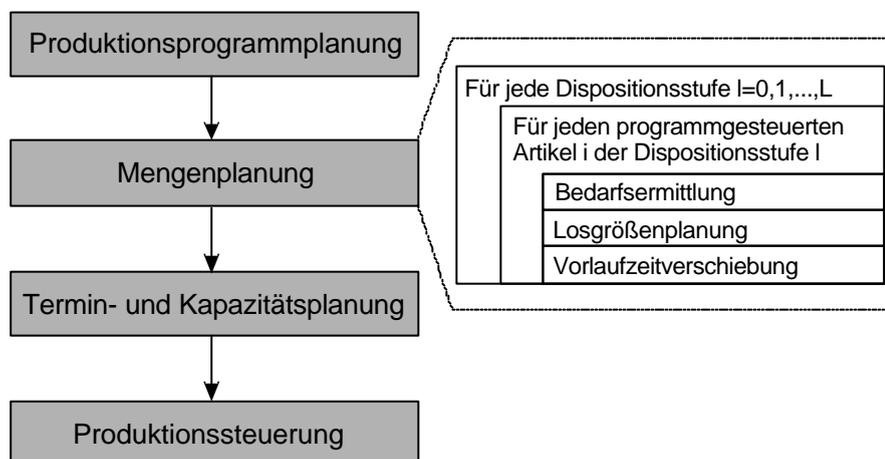


Abb. 1: Grundstruktur eines „konventionellen“ PPS-Systems

Zur Realisierung der Planungsaufgaben werden umfangreiche Datenbestände über Stammdaten (z. B. Stücklisten, Arbeitspläne, Maschinendaten) und Bewegungsdaten (z. B. Kundenaufträge, Lagerbestände) benötigt. Die Daten werden in einer zentralen Datenbank gespeichert, so daß sie für sämtliche Teilbereiche der Produktionsplanung und auch für andere Unternehmensbereiche zugänglich sind.⁶

2.1. Produktionsprogrammplanung

Gegenstand der operativen Produktionsprogrammplanung ist die Festlegung der im Planungszeitraum herzustellenden Enderzeugnisse und verkaufsfähigen Zwischenprodukte nach Art, Menge und Termin unter Berücksichtigung der Absatzmöglichkeiten und der verfügbaren Ressourcen.⁷ Die Genauigkeit mit der diese sog. Primärbedarfe bestimmt werden, entscheidet bereits maßgeblich über die Qualität der

⁵ Vgl. Hahn (1998), S. 1.

⁶ Vgl. Kistner/Steven (1993), S. 258 f.

⁷ Vgl. Jacob (1996), Sp. 1468 sowie Zäpfel (1996a), S. 73.

Planungsergebnisse eines PPS-Systems, da sie für die nachgelagerten Planungsstufen Ausgangsdaten darstellen.⁸

Dennoch sieht die Mehrzahl der „konventionellen“ PPS-Systeme in Verbindung mit der Programmplanung lediglich statistische Verfahren zur Prognose möglicher Absatzzahlen⁹ und/oder Programmroutinen zur Kundenauftragsverwaltung vor. Eine auf betriebswirtschaftlichen Planungsmodellen¹⁰ basierende Festlegung der gewinn- bzw. deckungsbeitragmaximalen Primärbedarfe, die hinsichtlich der zu berücksichtigenden Absatz- und Ressourcenrestriktionen auch zulässig bzw. realisierbar sind, wird von den PPS-Systemen hingegen nicht unterstützt.¹¹ Eine solche Vorgehensweise birgt allerdings die Gefahr in sich, daß die festgelegten Primärbedarfswerte nicht mit den Produktionsmöglichkeiten abgestimmt sind.¹²

2.2. Mengenplanung

Als nächste Stufe des sukzessiven Planungssystems schließt sich an die Produktionsprogrammplanung die Mengenplanung an. Da sich die industrielle Fertigung i.d.R. als mehrstufiger Prozeß¹³ vollzieht, müssen neben den aus der Programmplanung vorgegebenen Mengen an Enderzeugnissen und ggf. verkaufsfähigen Zwischenprodukten, dem sog. Primärbedarf, auch die Mengen der Baugruppen, Einzelteile und Rohmaterialien bekannt sein, die zur Herstellung der Primärbedarfe benötigt werden.¹⁴ Die Aufgabe der Mengenplanung besteht darin, diese sog. Sekundärbedarfe nach Art, Menge und Termin zu ermitteln und ggf. zu Fertigungsaufträgen bzw. Beschaffungsaufträgen zusammenzufassen, so daß eine wirtschaftliche Produktion resultiert.¹⁵

Ein Artikel kann wahlweise verbrauchsgesteuert oder programmgesteuert disponiert werden. Mit Hilfe einer ABC-Analyse kann entschieden werden, welches Verfahren für die einzelnen Artikel angewendet wird. Bei der für Artikel mit einem relativ

⁸ Vgl. Zäpfel (1996b), Sp. 1394, Melzer-Ridinger (1994), S. 50 f.

⁹ Gängige Prognoseverfahren sind z.B. das gleitende arithmetische Mittel sowie die exponentielle Glättung erster und zweiter Ordnung. Vgl. dazu Kurbel (1995), S. 121 ff., Tempelmeier (1995), S. 39 ff. sowie Melzer-Ridinger (1994), S. 59 ff.

¹⁰ Zu betriebswirtschaftlichen Modellen der operativen Programmplanung siehe Jacob (1986), S. 502 ff. sowie Schweitzer (1994), S. 666 ff.

¹¹ Vgl. Glaser/Peterson (1996), Sp. 1407, Küpper/Helber (1995), S. 284, Zäpfel (1996a), S. 58 sowie Adam (1992), S. 13.

¹² Vgl. Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 37 sowie Glaser/Peterson (1996), Sp. 1407. Einige „neuere“ PPS-Systeme beinhalten daher zumindest die Möglichkeit vorgegebene Primärbedarfe mittels einer deterministischen Simulation auf ihre Durchführbarkeit zu prüfen, d.h. eine grobe Abstimmung des Produktionsprogramms mit den verfügbaren Ressourcen vorzunehmen. Vgl. Zäpfel/Missbauer (1988a), S. 76 sowie Zäpfel (1996b), Sp. 1395.

¹³ Aus bestimmten Rohmaterialien werden Vor- und Zwischenprodukte gefertigt, die dann zu Enderzeugnissen weiterverarbeitet werden.

¹⁴ Vgl. Heinrich (1987), S. 16.

¹⁵ Vgl. Zäpfel (1996a), S. 122 sowie Scheer (1976), S. 21.

niedrigen Jahresverbrauchswert (C-Artikel) durchgeführten verbrauchsgesteuerten Disposition werden die Bedarfe aufgrund des Verbrauchs in der Vergangenheit geschätzt. Diese Vorgehensweise ist nicht sehr rechenaufwendig, jedoch ungenauer als die programmgesteuerte Disposition, die für höherwertige Artikel (A- und B-Artikel) durchgeführt wird¹⁶.

Im Rahmen dieser Arbeit wird ausschließlich die programmgesteuerte Disposition betrachtet. Bei ihr werden die Sekundärbedarfe mit Hilfe von Stücklisten exakt aus den Produktionsmengen der übergeordneten Artikel berechnet. Dabei wird die Erzeugnisstruktur dispositionsstufenweise¹⁷, d.h. ausgehend von den Endprodukten bis hin zu den Materialien, abgearbeitet. Die stufenweise Vorgehensweise stellt sicher, daß die Bedarfe eines Artikels erst dann geplant werden, wenn die Produktionsmengen aller direkt übergeordneter Artikel bereits vorliegen.

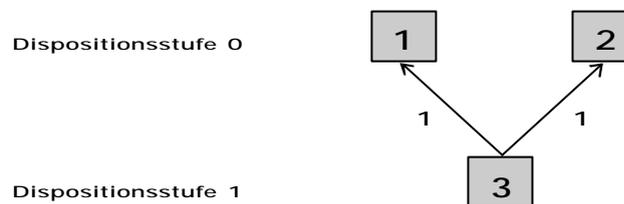


Abb. 2: Erzeugnisstruktur

In Abb. 2 ist beispielhaft eine Erzeugnisstruktur in Form eines Gozintographen dargestellt, in der die Endprodukte 1 und 2 aus dem Artikel 3 gefertigt werden. Jeder Artikel wird durch einen Knoten repräsentiert und jeder Bearbeitungsvorgang durch einen Pfeil. An den Pfeilen sind die Direktbedarfskoeffizienten abgetragen, die angeben, wieviel Mengeneinheiten des Unterartikels zur Fertigung einer Mengeneinheit des Oberartikels benötigt werden.¹⁸ Die Mengenplanung für den Unterartikel 3 kann erst dann erfolgen, wenn die Planung für die Oberartikel 1 und 2 bereits abgeschlossen ist. Für jeden Artikel sind die drei Schritte Bedarfsermittlung, Losgrößenplanung und Vorlaufzeitverschiebung durchzuführen:

¹⁶ Zur ABC-Analyse und zu unterschiedlichen Verfahren der verbrauchsgesteuerten Disposition vgl. Witte (1995b).

¹⁷ Unter der Dispositionsstufe eines Artikels wird im folgenden die numerisch größte Fertigungsstufe verstanden, auf der dieser Artikel bearbeitet wird, wobei die Fertigungsstufen aufsteigend von den Enderzeugnissen hin zu den Rohmaterialien durchnummeriert werden. Mit anderen Worten: Die Dispositionsstufe eines Artikels gibt die Anzahl der Kanten des längsten Weges innerhalb der gesamten Erzeugnisstruktur an, der von dem Knoten des betreffenden Artikels zu einem Enderzeugnis-knoten führt. Alle Enderzeugnisse sind somit der gleichen Dispositionsstufe, der Dispositionsstufe Null zugeordnet. Vgl. Zäpfel (1996a), S. 124 f., Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 53 ff., Tempelmeier (1995), S. 125 f. sowie Kurbel (1995), S. 141 ff. Eine andere gebräuchliche Definition bezeichnet die Dispositionsstufe eines Artikels als die um Eins erhöhte Anzahl der Kanten, die auf dem längsten Weg innerhalb der gesamten Erzeugnisstruktur zu dem Knoten des betrachteten Artikels liegen. Vgl. Scheer (1995), S. 129 f. sowie Witte (1995a), S. 27 und S. 33 f. Wesentlich ist, daß jedem Artikel eindeutig eine Dispositionsstufe zugewiesen wird.

¹⁸ Vgl. Rieper/Witte (1993), S. 57.

- (1) *Bedarfsermittlung*: Zunächst sind für den Artikel die terminierten Bruttobedarfe zu ermitteln. Bei den Endprodukten entsprechen diese den Primärbedarfen. Dagegen berechnet sich der Bruttobedarf der übrigen Artikel aus den Produktionsmengen der direkten Oberartikel und den jeweiligen Direktbedarfskoeffizienten. Ein eventuell vorliegender Ersatzteilbedarf wird hinzugerechnet. Anschließend wird der Nettobedarf berechnet, indem der Bruttobedarf um die verfügbaren Lagerbestände reduziert wird.¹⁹
- (2) *Losgrößenplanung*: Sind die terminierten Nettobedarfe eines Artikels bekannt, dann stellt sich die Frage, ob in jeder Periode genau die Nettobedarfsmenge des Artikels beschafft bzw. produziert werden soll oder ob es nicht wirtschaftlicher ist, mehrere Nettobedarfsmengen des Artikels aus (im Extremfall allen) aufeinanderfolgenden Perioden des Planungszeitraums zu Losgrößen²⁰ zusammenzufassen.²¹

Ein Entscheidungsproblem entsteht nun dadurch, daß bestimmte Kostenarten von der Losgröße in unterschiedlicher Weise abhängen. Jeder Umrüst- bzw. Beschaffungsvorgang verursacht i.d.R. los- bzw. auftragsfixe Kosten in Form von Rüst- bzw. Bestellkosten²² Je größer nun die Beschaffungs- bzw. Fertigungslose bei gegebenen Nettobedarfen im Planungszeitraum sind, desto weniger Beschaffungs- bzw. Umrüstvorgänge sind erforderlich und um so niedriger sind damit auch die im Planungszeitraum anfallenden Rüst- bzw. Bestellkosten, so daß unter diesem Aspekt möglichst umfangreiche Losgrößen erstrebenswert erscheinen.²³

Durch die Zusammenfassung der periodenspezifischen Nettobedarfe zu Losgrößen fallen allerdings die Zeitpunkte der Produktion bzw. der Beschaffung und des Bedarfs auseinander, so daß die verfrüht produzierten bzw. beschafften Mengen bis zu ihrem Bedarfszeitpunkt gelagert werden müssen.²⁴ Dieser Lagerungsvorgang verursacht i.d.R. variable Kosten in Form zeit- und mengenabhängiger Lagerungskosten.²⁵ Je größer nun die Beschaffungs- bzw.

¹⁹ Vgl. Kurbel (1995), S. 135.

²⁰ Unter einer Losgröße (Auftragsgröße) wird dabei diejenige Menge identischer Artikel verstanden, die entweder zwischen zwei Umrüstvorgängen auf einer Fertigungsanlage hergestellt (Fertigungslosgröße, -auftragsgröße) oder auf einmal fremdbeschafft (Beschaffungslosgröße, -auftragsgröße) und anschließend einem Eingangs-, Zwischen- oder Enderzeugnislager zugeführt wird. Vgl. Zwehl (1979), Sp. 1163 f., Hoitsch (1993c), S. 79, Glaser (1986), S. 3 sowie Domschke/Scholl/Voß (1993), S. 16 und S. 63.

²¹ Vgl. Zäpfel (1996a), S. 128, Tempelmeier (1995), S. 145 sowie Knolmayer (1985), S. 411.

²² Vgl. Zwehl (1979), Sp. 1164 sowie Hoitsch (1993c), S. 79.

²³ Vgl. Popp (1993), S. 42, Hechtischer (1991), S. 38 sowie Zwehl (1979), Sp. 1164.

²⁴ Vgl. Heinrich (1987), S. 30 f. sowie Kurbel (1983), S. 63.

²⁵ Vgl. Heinrich (1987), S. 31 sowie Kurbel (1983), S. 63.

Fertigungslosgrößen bei gegebenen Nettobedarfen im Planungszeitraum sind, desto mehr Nettobedarfmengen müssen bis zu ihrem Bedarfszeitpunkt gelagert werden und um so höher sind damit auch die im Planungszeitraum anfallenden Lagerungskosten. Aus dieser Sicht erscheinen mithin eher kleine Losgrößen von Vorteil.²⁶

Rüst- bzw. Bestellkosten und Lagerungskosten haben somit entgegengesetzte Wirkungen auf die Losgröße.²⁷ Die Aufgabe der Losgrößenplanung besteht nun darin, die periodenspezifischen Nettobedarfmengen eines Artikels in der Weise zu Beschaffungs- bzw. Fertigungsaufträgen zusammenzufassen, daß die Gesamtsumme aus Bestell- bzw. Rüstkosten und Lagerungskosten ein Minimum annimmt, wobei die vorgegebenen Nettobedarfe befriedigt werden müssen.²⁸

Auf die in „konventionellen“ PPS-Systemen implementierten Verfahren zur Bestimmung von wirtschaftlichen Losgrößen wird in Kapitel 3 detailliert eingegangen. An dieser Stelle soll lediglich festgehalten werden, daß die Losgrößenbildung, sofern diese überhaupt in „konventionellen“ PPS-Systemen vorgesehen ist, innerhalb der Mengenplanung stattfindet.

- (3) *Vorlaufzeitverschiebung*: Die gebildeten Fertigungsaufträge werden in der Mengenplanung grob terminiert. Die Sekundärbedarfe müssen um die Zeitspanne eher bereitstehen, die zur Durchführung des Fertigungsauftrags benötigt wird (die sogenannte Vorlaufzeit). Da die genauen Produktionstermine zu diesem Planungszeitpunkt noch nicht bekannt sind, werden als Vorlaufzeiten Erfahrungswerte oder grobe Schätzungen angesetzt.²⁹

2.3. Termin- und Kapazitätsplanung

Während in der Mengenplanung die einzelnen Artikel im Vordergrund standen, werden die Planungsdaten in der Termin- und Kapazitätsplanung insofern verfeinert, als daß nun auf die einzelnen Arbeitsgänge Bezug genommen wird, die zur Fertigung der Artikel durchzuführen sind.

In einem ersten Schritt werden bei der sogenannten Durchlaufterminierung unter Verwendung von Rüst- und Bearbeitungszeiten die Start- und Endtermine der einzelnen Arbeitsgänge errechnet, die zur Durchführung der Fertigungsaufträge abzarbeiten sind.³⁰ Wenn die Terminrestriktionen nicht eingehalten werden

²⁶ Vgl. Zwehl (1979), Sp. 1165, S. 72, Popp (1993), S. 42, Zäpfel/Attmann (1978), S. 530, Hechtfisher (1991), S. 40 sowie Overfeld (1990), S. 12.

²⁷ Vgl. Zäpfel/Attmann (1978), S. 530.

²⁸ Vgl. Tempelmeier (1995), S. 145 f., Zäpfel (1996a), S. 132 sowie Heinrich (1987), S. 32.

²⁹ Vgl. Kurbel (1995), S. 138 f.

³⁰ Vgl. Drexl/Fleischmann/Günther/Stadler/Tempelmeier (1994), S. 1024.

können,³¹ müssen Maßnahmen zur Durchlaufzeitverkürzung ergriffen werden, wie beispielsweise das Splitten von Fertigungsaufträgen.³²

Da bei den vorgelagerten Planungsschritten bisher keine Kapazitätsaspekte berücksichtigt wurden, kann allerdings noch nicht gesagt werden, ob sich die zeitliche Grobstruktur des geplanten Produktionsprozesses mit den zur Verfügung stehenden Kapazitäten realisieren läßt. Dies wird in einem zweiten Schritt, der Kapazitätsplanung, überprüft.³³

Hierzu ist zunächst für jede benötigte Ressourcengruppe, differenziert nach den einzelnen Teilperioden des Planungszeitraums, die Kapazitätsnachfrage zu ermitteln. Die in einer Teilperiode hinsichtlich einer Ressourcengruppe entstehende Kapazitätsnachfrage ergibt sich dabei durch Summation der relevanten Belegungszeiten (Rüst- und Bearbeitungszeiten) sämtlicher Fertigungsaufträge bzw. der mit diesen Aufträgen verbundenen Arbeitsgänge, deren auf die betrachtete Ressourcengruppe bezogenen Starttermine als Ergebnis der Durchlaufterminierung in die betrachtete Periode fallen.³⁴

Anschließend wird die Kapazitätsnachfrage jeder Ressourcengruppe periodengerecht dem entsprechenden Kapazitätsangebot gegenübergestellt (sog. Kapazitätsabgleich), wobei sich das in einer Teilperiode auszuweisende Kapazitätsangebot einer Ressourcengruppe durch Addition der bei „üblichem“ Schichtbetrieb in der betrachteten Periode möglichen Belegungszeiten sämtlicher Ressourcen bestimmt, welche die betreffende Ressourcengruppe umfaßt.³⁵

Zeigt sich nun, daß die Kapazitätsnachfrage in bestimmten Perioden das Kapazitätsangebot übersteigt, dann schließen sich Überlegungen zur Abstimmung von Kapazitätsnachfrage und –angebot an.³⁶ Hierzu kann die Kapazitätsnachfrage

³¹ Dieser Fall tritt z.B. ein, wenn bei der Rückwärtsterminierung Starttermine ermittelt werden, die vor den Verfügbarkeitsterminen der Rohmaterialien liegen, oder wenn bei der Vorwärtsterminierung Endtermine erzeugt werden, die hinter den spätest zulässigen Fertigstellungsterminen der Endprodukte liegen. Vgl. Kurbel (1983), S. 76 sowie Kurbel (1995), S. 153.

³² Auf die verschiedenen Maßnahmen zur Durchlaufzeitverkürzung soll hier nicht näher eingegangen werden. Siehe hierzu Adam (1992), S. 15, Adam (1997), S. 621 f., Mertens (1997), S. 162 ff., Vahrenkamp (1996), S. 122 ff., Zäpfel (1982), S. 229 ff., Zäpfel (1996a), S. 179 ff., Hoitsch (1993a), S. 449 ff., Kurbel (1983), S. 76 ff., Kurbel (1995), S. 153 ff. sowie Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 153 ff.

³³ Vgl. Delfmann (1996), Sp. 1253, Vahrenkamp (1996), S. 125, Heinrich (1987), S. 22 Kurbel (1983), S. 79, Adam (1992), S. 15, Adam (1997), S. 622 sowie Zäpfel (1996a), S. 168 und 182.

³⁴ Vgl. Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 178.

³⁵ Vgl. Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 178.

³⁶ Hierzu wird von meisten „konventionellen“ PPS-Systeme keine EDV-Unterstützung angeboten, so daß der Produktionsplaner von Hand eingreifen muß. Vgl. Adam (1997), S. 622, Adam (1992), S. 15 f., Zäpfel (1996a), S. 190 f. sowie Kurbel (1995), S. 161.

und/oder das Kapazitätsangebot verändert werden.³⁷

Bei der zeitlichen Verlagerung von Fertigungsaufträgen bzw. der mit diesen Aufträgen verbundenen Arbeitsgänge ist allerdings zu beachten, daß jedes Vorverlegen bzw. Hinausschieben eines Auftrags eine Korrektur von Startterminen derjenigen Aufträge erfordert, die technologische Vorgänger bzw. technologische Nachfolger des betreffenden Auftrags darstellen.³⁸ Eine Belastungsänderung auf einer Dispositionsstufe zieht somit Belastungsänderungen auf vor- bzw. nachgelagerten Dispositionsstufen nach sich, so daß isoliert, d.h. jeweils nur für eine Ressourcengruppe getroffene Abstimmungsmaßnahmen einen umfassenden Kapazitätsabgleich kaum sicherstellen.³⁹

Die Vorverlegung von Fertigungsaufträgen kann außerdem dazu führen, daß die im Rahmen der Mengenplanung unter periodengenaue Berücksichtigung von erwarteten Materialeingängen ermittelten Nettobedarfe nicht mehr zutreffen und folglich die Konsistenz der auf der Basis dieser Bedarfe festgesetzten Auftragsgrößen verloren geht.⁴⁰

Aus den genannten Gründen erfordert jede Änderung des Umfangs und der zeitlichen Verteilung der Kapazitätsnachfrage streng genommen die erneute Durchführung der Mengenplanung und darauf aufbauend eine Wiederholung der Durchlaufterminierung, die dann ggf. wiederum auf Kapazitätsüberschreitungen zu prüfen ist.⁴¹ Da diese Rückkopplungsrechnungen jedoch außerordentlich rechenintensiv sind, unterbleiben sie in den „konventionellen“ PPS-Systemen häufig,⁴² so daß durch eine zeitliche Verlagerung von Fertigungsauftragsterminen die in der Durchlaufterminierung erreichte zeitliche Koordination der Bearbeitungszeitpunkte der Aufträge verloren geht.⁴³

³⁷ Eine Veränderung des Umfangs und der zeitlichen Verteilung der Kapazitätsnachfrage kann z.B. durch eine zeitliche Verlagerung von Fertigungsaufträgen bzw. der mit diesen Aufträgen verbundenen Arbeitsgänge, durch Losteilung (Lossplitting) und/oder durch Auswärtsvergabe erreicht werden, während sich eine Erhöhung des Kapazitätsangebots z.B. durch Einplanung von Überstunden und/oder durch Heranziehen von Ersatzkapazitäten erreichen läßt. Vgl. Adam (1992), S. 16 f., Adam (1997), S. 622 f., Kurbel (1995), S. 161 ff., Kurbel (1983), S. 80 ff., Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 180 ff., Zäpfel (1996a), S. 190 ff. sowie Zäpfel (1982), S. 232 ff.

³⁸ Vgl. Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 181.

³⁹ Aufgrund der zwischen den Fertigungsaufträgen bzw. Arbeitsgängen existierenden Verflechtungen dürfte nämlich häufig die Situation auftreten, daß die für eine Ressourcengruppe erreichte Abstimmung von Kapazitätsnachfrage und –angebot neue Ungleichgewichte bei anderen Ressourcengruppen hervorruft. Vgl. Adam (1997), S. 623 und S. 629, Adam (1992), S. 16 und S. 21 sowie Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 181.

⁴⁰ Vgl. Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 181.

⁴¹ Vgl. Glaser (1986), S. 81 f., Helber (1994), S. 13 sowie Adam (1992), S. 16.

⁴² Vgl. Glaser (1986), S. 82, Adam (1997), S. 623 sowie Adam (1992), S. 16 und S. 21.

⁴³ Vgl. Adam (1997), S. 623 und 629 sowie Adam (1992), S. 16 und 21.

2.4. Produktionssteuerung

Nach der Kapazitätsplanung liegen nunmehr endgültig fixierte Grobstarttermine von Fertigungsaufträgen bzw. Arbeitsgängen vor. Diese Termine stellen jedoch noch keine definitive und bindende Vorgabe für den Fertigungsbereich dar, weil sich die bisherigen Planungsschritte meist auf einen Zeitraum von mehreren Wochen oder Monaten erstrecken und mithin bis zur Durchführung der einzelnen Fertigungsaufträge bzw. Arbeitsgänge noch zahlreiche unvorhergesehene Änderungen eintreten können. Verbindliche Vorgaben entstehen erst dann, wenn die in einen überschaubaren Freigabezeitraum (z.B. ein bis zwei Wochen) fallenden Fertigungsaufträge zur Produktion freigegeben werden (sog. Auftragsfreigabe).⁴⁴

Für die zur Produktion freigegebenen Fertigungsaufträge ist es nun erforderlich, den Fertigungsablauf unter Berücksichtigung neuester Entwicklungen bei Terminen, personellen und maschinellen Ressourcen definitiv festzulegen.⁴⁵ Die Hauptaufgabe dieser sog. Terminfeinplanung besteht darin, für jede Bearbeitungsstation festzulegen, in welcher Reihenfolge die vor dieser Station wartenden Fertigungsaufträge abgearbeitet werden sollen (Reihenfolgeplanung).⁴⁶ Hierzu werden in den „konventionellen“ PPS-Systemen üblicherweise Prioritätsregeln herangezogen.⁴⁷

Während des Fertigungsgeschehens muß laufend überwacht und ggf. an die zuständigen Planungsbereiche zurückgemeldet werden, ob die tatsächliche Durchführung der Fertigungsaufträge bzw. der damit verbundenen Arbeitsgänge auch in Einklang mit der Planung steht (sog. Auftragsfortschrittskontrolle).⁴⁸ Hierzu können sog. Betriebsdatenerfassungssysteme herangezogen werden.⁴⁹ Rückmeldungen über den aktuellen Zustand der Fertigung dienen vor allem dazu, die erforderlichen Aktualisierungen der Teilpläne vorzunehmen⁵⁰ sowie bei Störungen regelnd in das Fertigungsgeschehen einzugreifen, um den Fertigungsprozeß zu sichern.⁵¹

⁴⁴ Vgl. Scheer (1995), S. 90 ff. und 268 f., Kurbel (1983), S. 83 sowie Kurbel (1995), S. 170.

⁴⁵ Vgl. Mertens (1997), S. 173, Heinrich (1987), S. 23, Kurbel (1995), S. 172 sowie Kurbel (1983), S. 83.

⁴⁶ Vgl. Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 183, Adam (1997), S. 625 sowie Kurbel (1995), S. 172

⁴⁷ Vgl. Adam (1997), S. 625, Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 191 f., Kurbel (1995), S. 174. sowie Witte (1992), S. 265.

⁴⁸ Vgl. Kurbel (1995), S. 177 f.

⁴⁹ Vgl. Kurbel (1995), S. 178 und S. 291 ff.

⁵⁰ Fertiggestellte Aufträge bzw. Arbeitsgänge müssen aus der Planung genommen werden, gestörte Aufträge bzw. Arbeitsgänge müssen zurückgestellt bzw. neu geplant werden etc.

⁵¹ Vgl. Adam (1997), S. 627 sowie Kurbel (1995), S. 178.

3. Eingesetzte Verfahren zur Losgrößenplanung

Wie bereits in Kapitel 2.2. dargestellt, umfaßt die Mengenplanung programmgesteuerter Artikel die Teilaufgaben Bedarfsermittlung, Losgrößenplanung und Vorlaufzeitverschiebung. Die eigentlich dispositive Aufgabe liegt dabei jedoch bei der Losgrößenplanung, da die Lösung der anderen Teilaufgaben durch klar definierte Regeln vorgegeben ist.

In den „konventionellen“ PPS-Systemen werden dem Anwender zur Losgrößenplanung üblicherweise sog. einstufige, unkapazitierte Einprodukt-Losgrößenverfahren zur Auswahl angeboten.⁵² Kennzeichnend für diese Verfahren ist, daß die Losgrößenplanung für jeden Artikel isoliert vorgenommen wird, ohne die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den Artikeln zu berücksichtigen.

3.1. Beschreibung des dynamischen, einstufigen, unkapazitierten Einprodukt-Losgrößenproblems

Wird dabei dem Umstand Rechnung getragen, daß die periodenspezifischen Nettobedarfsmengen der Artikel i.d.R. Schwankungen unterliegen,⁵³ dann kann das innerhalb der Mengenplanung auftretende Losgrößenproblem wie folgt charakterisiert werden:⁵⁴

Für einen endlichen Planungszeitraum, der in T diskrete Teilperioden unterteilt ist, liegen die terminierten Nettobedarfsmengen d_t ($t = 1, 2, \dots, T$) eines isoliert betrachteten Artikels vor, die jeweils zum Beginn einer Teilperiode bereitzustellen sind. Der Lagerbestand des Artikels zum Beginn als auch am Ende des Planungszeitraums sei Null.⁵⁵ Das Auftreten von Fehlmengen ist nicht erlaubt, d.h. die vorgegebenen Nettobedarfe müssen vollständig und periodengerecht befriedigt werden. Kapazitätsbeschränkungen existieren nicht, d.h. es wird davon ausgegangen, daß alle Produktionsfaktoren in solchem Umfang zur Verfügung stehen, daß sie nicht zum Engpaß werden können. Bei jeder Auflage eines Fertigungsloses⁵⁶ fallen fixe Rüstkosten in Höhe von c_R Geldeinheiten an. Lagerkosten in Höhe von c_L Geldeinheiten je Mengeneinheit und Periode werden jeweils auf den Lagerbestand des Artikels am Ende einer Teilperiode, y_t , berechnet.

⁵² Vgl. Zoller/Robrade (1987), S. 219 ff., Glaser/Geiger/Rohde (1992), S. 61 ff., Tempelmeier (1995), S. 227, Günther/Tempelmeier (1995), S. 200 ff. sowie Kurbel (1995), S. 129 ff.

⁵³ Im Rahmen dieser Arbeit wird stets von dem Fall einer zeitvarianten Nachfrage ausgegangen. Zu statischen Verfahren der Losgrößenplanung siehe Domschke/Scholl/Voß (1993), S. 70 ff.

⁵⁴ Vgl. zu folgendem Tempelmeier (1995), S. 151 f., Domschke/Scholl/Voß (1993), S. 110, Hahn (1998), S. 14 f., Hechtfisher (1990), S. 50 sowie Popp (1993), S. 63.

⁵⁵ Wird am Ende des Planungszeitraums ein positiver Lagerbestand gefordert, so ist dieser in den Nettobedarfswert der letzten Periode einzurechnen. Vgl. Tempelmeier (1995), S. 151.

⁵⁶ Im folgenden wird nur noch auf die Bestimmung wirtschaftlicher Fertigungslosgrößen Bezug genommen.

Unter diesen Rahmenbedingungen ist nun darüber zu entscheiden, in welchen Teilperioden ein Fertigungslos aufgelegt werden soll, und wie groß der Umfang der jeweiligen Lose q_t ($t = 1, 2, \dots, T$) sein muß, damit die im Planungszeitraum anfallende Summe aus Rüst- und Lagerkosten minimiert wird. Gesucht ist demnach der Losgrößenvektor $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_T)$, für den die Gesamtkostenfunktion

$$c(\mathbf{q}) = \sum_{t=1}^T (c_R * \mathbf{a}_t + c_L * y_t) \quad \text{mit } \mathbf{a}_t = \begin{cases} 1, & \text{falls } q_t > 0 \\ 0, & \text{falls } q_t = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ein Minimum annimmt. Dabei ist der Lagerbestand des Artikels am Ende einer Teilperiode durch die folgende Lagerbilanzgleichung definiert:

$$y_t = y_{t-1} + q_t - d_t \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (2)$$

Zur Lösung dieses Problems wurden eine Reihe von Verfahren entwickelt, die die kostenoptimale Lösung entweder näherungsweise oder exakt bestimmen. Beide Verfahrenstypen machen sich die folgenden zwei Eigenschaften optimaler Lösungen zunutze. Die erste Eigenschaft besagt, daß in einer Periode t nur dann zu produzieren ist, wenn der Lagerbestand am Ende der Vorperiode, y_{t-1} , Null beträgt, dh. es muß gelten:

$$q_t * y_{t-1} = 0 \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (3)$$

Aus dieser Optimalitätsbedingung läßt sich folgern, daß ein Los, sofern es optimal sein soll, lediglich vollständige Periodenbedarfe umfassen darf.⁵⁷ Zur Bestimmung einer kostenoptimalen Losgrößenpolitik reicht es demnach aus, nur solche Losgrößen zu untersuchen, für die folgende Bedingung gilt:

$$q_t = 0 \quad \text{oder} \quad q_t = \sum_{\tau=t}^k d_{\tau}, \quad t \leq k \leq T, \quad t = 1, 2, \dots, T. \quad (4)$$

Mit dem Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße, dem Stückperiodenausgleichsverfahren, dem *Silver-Meal* Verfahren und dem Grenzkostenverfahren von *Groff* werden im folgenden die wohl vier bekanntesten und in den „konventionellen“ PPS-Systemen am häufigsten eingesetzten Näherungsverfahren diskutiert, ehe sich die Darstellung des exakten Ansatzes von *Wagner* und *Whitin* anschließt.

⁵⁷ Zu einer exakten Formulierung dieses dynamischen Grundmodells der Losgrößenplanung siehe Domschke/Scholl/Voß (1993), S. 110 f., Popp (1993), S. 64, Hahn (1998), S. 15 f. sowie Tempelmeier (1995), S. 152.

⁵⁸ Vgl. Wagner/Whitin (1958), S. 91, Kistner/Steven (1993), S. 54 f. sowie Tempelmeier (1995), S. 153.

⁵⁹ Andernfalls würden Lagerbestände am Ende einer Periode entstehen, die geringer sind als der Bedarf der nächsten Periode, so daß in dieser Periode trotz positiven Lagerendbestands in der Vorperiode produziert werden müßte. Damit wäre Gleichung (4) jedoch verletzt. Vgl. Kistner/Steven (1993), S. 55 f.

⁶⁰ Vgl. Domschke/Scholl/Voß (1993), S. 111, Zäpfel (1996a), S. 140 sowie Hahn (1998), S. 17.

Zur Verdeutlichung der unterschiedlichen Lösungswege wird dabei jeweils ein Zahlenbeispiel herangezogen, das auf der in Abb. 2 wiedergegebenen Erzeugnisstruktur basiert. Die Datensituation ist der Abb. 3 zu entnehmen.

Artikel	Vorlaufzeit	Rüstkostensatz C_R [GE/Losaufgabe]	Lagerkostensatz C_L [GE/(ME·PE)]	Primärbedarf [ME/PE]				
				d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{14}	d_{15}
1	0	300	3	160	120	110	130	105
2	0	300	5	20	30	40	60	20
3	0	800	2	-	-	-	-	-

Abbildung 3: Datensituation des Beispiels

3.2. Heuristische Lösungsverfahren

Den ausgewählten Näherungsverfahren liegt eine gemeinsame Grobstruktur zugrunde. Ausgehend von der ersten Periode des Planungszeitraums wird sukzessiv für jede folgende Periode überprüft, ob ein Los aufzulegen ist, und wenn ja, ob dieses lediglich den Bedarf dieser Periode oder auch zusätzlich den Bedarf der nächsten Teilperiode bzw. die Bedarfe mehrerer direkt aufeinanderfolgender Teilperioden umfassen soll. Die erste Losauflage bestimmt sich dabei anhand der ersten Periode, in der ein positiver Nettobedarf auftritt. Die nachfolgenden Periodenbedarfe werden schrittweise diesem Los zugeschlagen, so lange ein bestimmtes Kriterium die Vorteilhaftigkeit dieser Vorgehensweise angibt. Anderenfalls wird als nächste Produktionsperiode die erste Periode festgelegt, deren Bedarf nicht mehr dem zuletzt eingeplanten Los zugeordnet wurde. Diese Vorgehensweise wird so lange wiederholt, bis schließlich auch der Nettobedarf der letzten Bedarfsperiode von einem Los eingeschlossen ist. Die nachfolgenden Heuristiken unterscheiden sich mithin lediglich in dem zur Losbildung verwendeten Vorteilhaftigkeitskriterium.

3.2.1. Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße

Das Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße⁶¹ (Least Unit Cost Verfahren) basiert auf der Tatsache, daß im klassischen statischen Grundmodell der Losgrößenplanung⁶² die Stückkosten an der Stelle der optimalen Losgröße ihr Minimum annehmen.⁶³ Mit dem Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße wird nun versucht, dieses Ergebnis auch in der dynamischen Situation zu erreichen.

⁶¹ Zum Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße, das auf Gahse und Trux zurückgeht vgl. Gahse (1965), S. 7, Trux (1966), S. 103 sowie Ohse (1969), S. 316 ff.

⁶² Vgl. hierzu Harris (1913), S. 152, Andler (1929), S. 48 ff., Domschke/Scholl/Voß (1993), S. 71 ff. sowie Witte (1995b), S. 6 ff.

⁶³ Vgl. Ohse (1970), S. 84 f., Tempelmeier (1995), S. 165, Popp (1993), S. 68 sowie Zäpfel (1996a), S. 145.

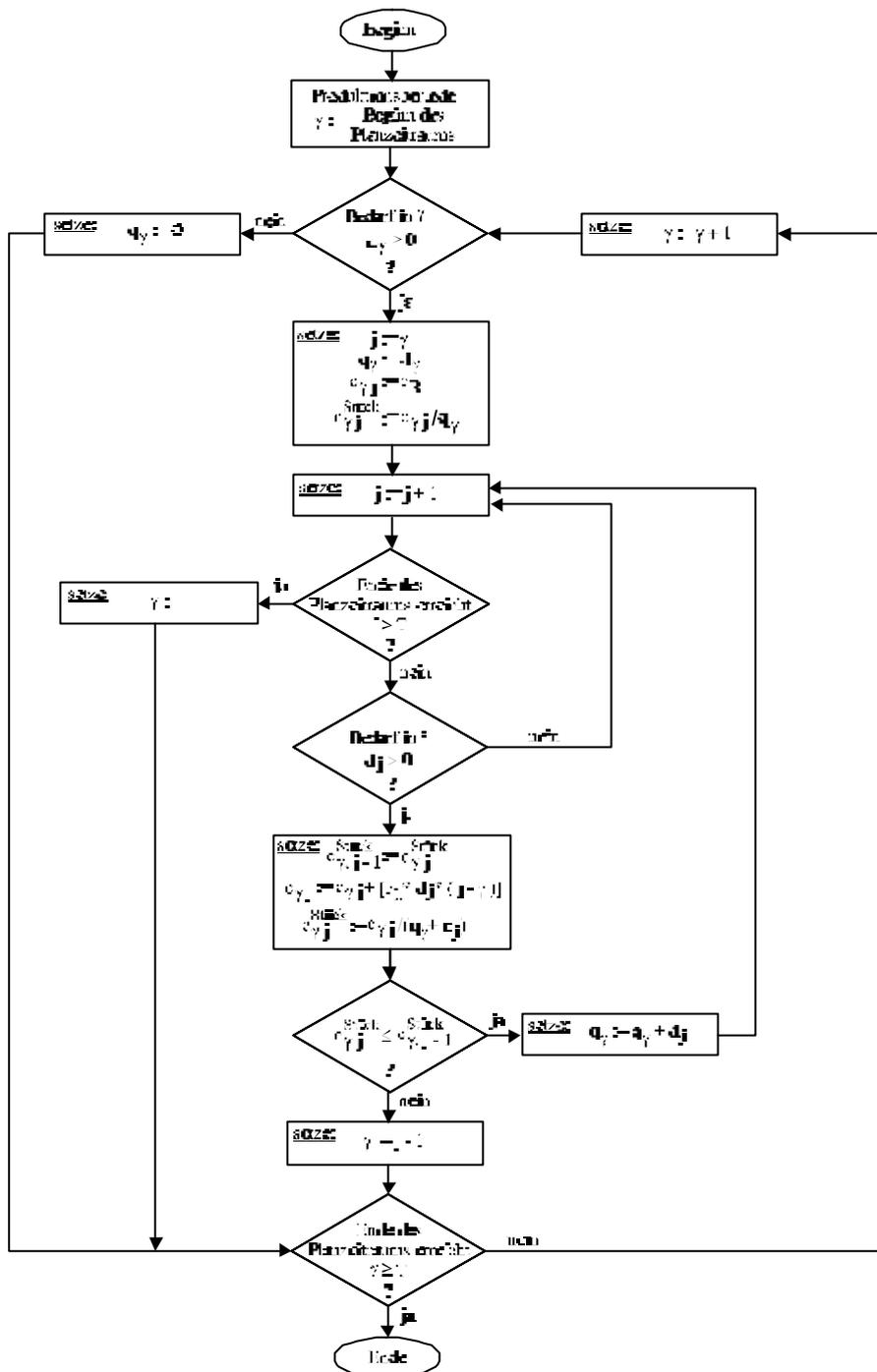


Abb. 4: Ablaufdiagramm des Verfahrens der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße⁶⁴

Falls in Periode γ ein Los aufgelegt wird, das die Bedarfe bis einschließlich der Periode j deckt, verursacht dies Stückkosten $c_{\gamma j}^{\text{Stück}}$ in Höhe von:

$$c_{\gamma j}^{\text{Stück}} = \frac{c_R + c_L * \sum_{t=\gamma}^j (t - \gamma) * d_t}{\sum_{t=\gamma}^j d_t} = \frac{c_{\gamma j}}{q_{\gamma j}} \quad \gamma \leq j. \quad (5)$$

⁶⁴ Zu einer datenbankgestützten Implementation des Verfahrens der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße siehe Ortman (1998), Anhang sowie Siebeking (1998), Anhang.

⁶⁵ Vgl. Tempelmeier (1995), S. 165, Kurbel (1983), S. 68 sowie Ohse (1970), S. 84.

Die Losgröße q_γ eines in Periode γ fertigzustellenden Loses wird demnach so lange um zeitlich aufeinanderfolgende Nettobedarfe erhöht, wie dadurch die Stückkosten sinken oder gleich bleiben, d.h. so lange

$$c_{g_j}^{\text{Stück}} \leq c_{g_{j-1}}^{\text{Stück}} \tag{6}$$

gilt. Andernfalls wird die Losbildung für Periode γ abgeschlossen. Als nächste Losauflageperiode wird dann die erste nachfolgende Periode bestimmt, deren Bedarf noch nicht dem Los der Periode γ zugeordnet worden ist. Der vollständige Ablauf des Verfahrens der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße kann somit durch das in Abb. 4 wiedergegebene Ablaufdiagramm beschrieben werden.

In Abb. 5 ist die Anwendung des Verfahrens der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße auf das in Kapitel 3.1 eingeführte Beispiel dargestellt.

Artikel		1	2	3	4	5	Rüst- kosten [GE]	Lager- kosten [GE]	Gesamt- kosten [GE]
1	Nettobedarf	160	120	110	130	105	1500	0	1500
	Losgröße	160	120	110	130	105			
	Lagerbestand	-	-	-	-	-			
2	Nettobedarf	20	30	40	60	20	900	450	1350
	Losgröße	50	-	100	-	20			
	Lagerbestand	30	-	60	-	-			
3	Nettobedarf	210	120	210	130	125	2400	500	2900
	Losgröße	330	-	340	-	125			
	Lagerbestand	120	-	130	-	-			
									5750

Abb.5: Zahlenbeispiel zum Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße

3.2.2. Das Stückperiodenausgleichsverfahren

Auch das Stückperiodenausgleichsverfahren⁶⁶ (Part-Period Verfahren; Kostenausgleichsverfahren) basiert auf einer Eigenschaft des klassischen Losgrößenmodells, und zwar darauf, daß bei der optimalen Losgröße die Rüstkosten gleich den Lagerkosten sind.⁶⁷

Die Vorgehensweise des Stückperiodenausgleichsverfahrens besteht demnach darin, ein in Periode γ aufgelegtes Los so lange um die Nettobedarfswerte der auf γ folgenden Teilperioden zu erhöhen, bis die mit der betreffenden Losgröße verbundenen Lagerkosten erstmals die Rüstkosten übersteigen, d.h. bis erstmals

$$c_R < c_L * \sum_{t=g}^j (t-g) * d_t \tag{7}$$

$$\text{oder } \frac{c_R}{c_L} < \sum_{t=g}^j (t-g) * d_t =: v_{g_j} \tag{8}$$

⁶⁶ Zum Part-Period Verfahren, das auf DeMatteis und Mendoza zurückgeht vgl. DeMatteis (1968), S. 31 f. sowie Mendoza (1968), S. 39 ff.

⁶⁷ Vgl. Ohse (1970), S. 85, Tempelmeier (1995), S. 166 f. sowie Knolmayer (1985), S. 413.

Artikel		1	2	3	4	5	Rüst- kosten [GE]	Lager- kosten [GE]	Gesamt- kosten [GE]
1	Nettobedarf	160	120	110	130	105	1500	0	1500
	Losgröße	160	120	110	130	105			
	Lagerbestand	-	-	-	-	-			
2	Nettobedarf	20	30	40	60	20	900	450	1350
	Losgröße	50	-	100	-	20			
	Lagerbestand	30	-	60	-	-			
3	Nettobedarf	210	120	210	130	125	1600	1000	2600
	Losgröße	330	-	465	-	-			
	Lagerbestand	120	-	255	125	-			
									5450

Abb. 7: Zahlenbeispiel zum Stückperiodenausgleichsverfahren

3.2.3. Das Silver-Meal Verfahren

Das Vorteilhaftigkeitskriterium des *Silver-Meal* Verfahrens⁷⁰ knüpft wiederum an einer Eigenschaft des statischen Grundmodells an, die besagt, daß die Kosten pro Zeiteinheit an der Stelle der optimalen Lösung ihr Minimum annehmen.⁷¹

Wird in Periode γ ein Los aufgelegt, daß die Bedarfe bis einschließlich der Periode j deckt, verursacht dies Periodenkosten $c_{\gamma j}^{\text{Per}}$ in Höhe von:

$$c_{\gamma j}^{\text{Per}} = \frac{c_R + c_L * \sum_{t=\gamma}^j (t - \gamma) * d_t}{\sum_{t=\gamma}^j b_t} = \frac{c_{\gamma j}}{a_{\gamma j}} \quad \text{mit } b_t = \begin{cases} 1, & \text{falls } d_t > 0 \\ 0, & \text{falls } d_t = 0 \end{cases} \quad \gamma \leq j. \quad (9)$$

Silver und *Meal* schlagen nun vor, die Losgröße q_γ eines in γ aufgelegten Loses so lange um zeitlich aufeinanderfolgende Nettobedarfsmengen zu vergrößern, wie dadurch die Rüst- und Lagerkosten je versorgter Periode sinken oder gleich bleiben, d.h. so lange

$$c_{\gamma j}^{\text{Per}} \leq c_{\gamma, j-1}^{\text{Per}} \quad (10)$$

gilt. Der vollständige Verfahrensablauf ist in dem folgenden Ablaufdiagramm zusammengefaßt.

⁷⁰ Zum *Silver-Meal* Verfahren vgl. Silver/Meal (1973), S. 64 ff.

⁷¹ Vgl. Domschke/Scholl/Voß (1993), S. 72, Kistner/Steven (1993), S. 68 sowie Tempelmeier (1995), S. 168.

⁷² Vgl. Tempelmeier (1995), S. 168, Günther/Tempelmeier (1995), S. 207 sowie Heinrich (1987), S. 41.

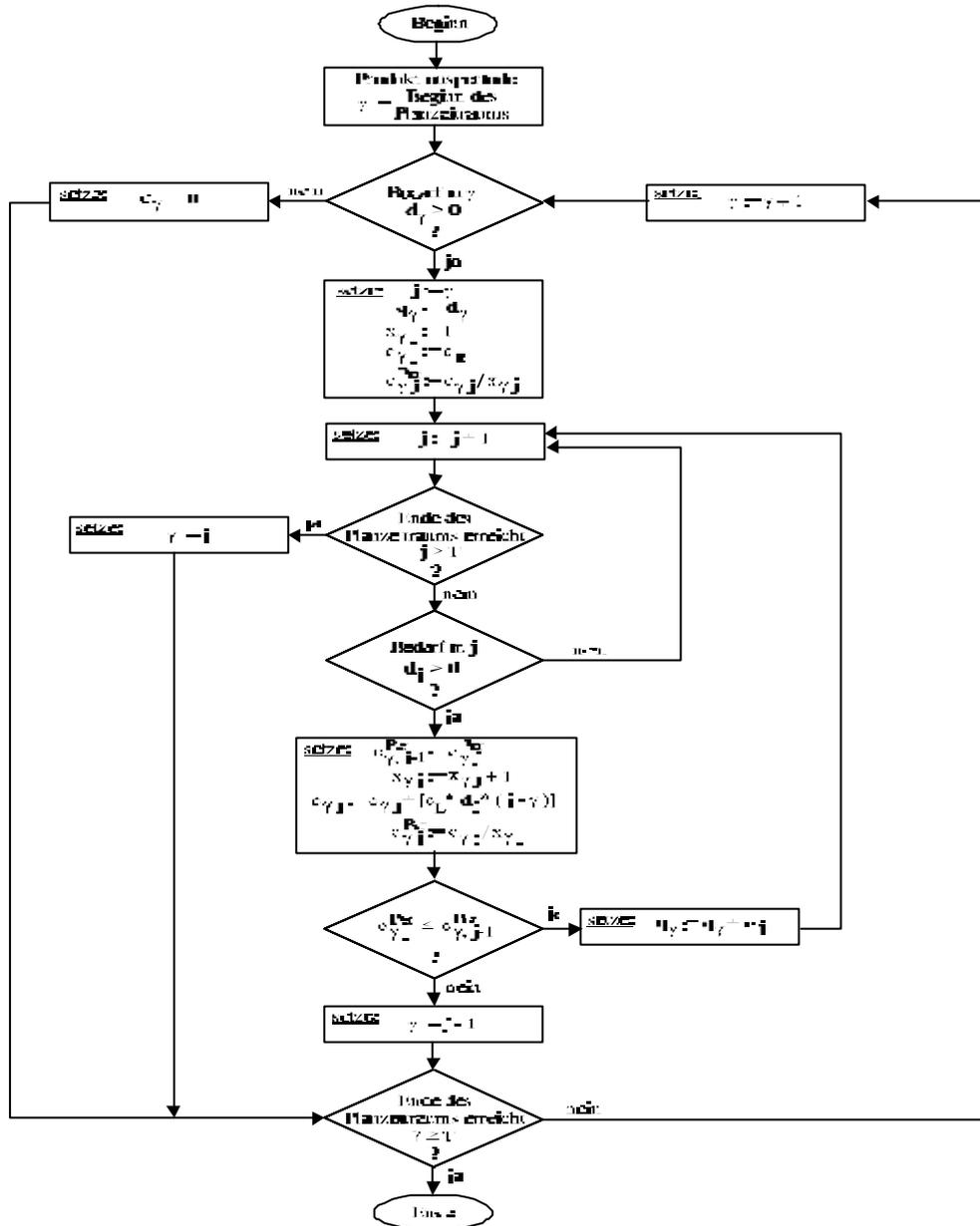


Abb. 8: Ablaufdiagramm des Silver-Meal Verfahrens⁷³

Auch der Ablauf des *Silver-Meal* Verfahrens ist in Abb. 9 anhand des bekannten Zahlenbeispiels veranschaulicht.

Artikel		1	2	3	4	5	Rüstkosten [GE]	Lagerkosten [GE]	Gesamtkosten [GE]
1	Nettobedarf	160	120	110	130	105	1500	0	1500
	Losgröße	160	120	110	130	105			
	Lagerbestand	-	-	-	-	-			
2	Nettobedarf	20	30	40	60	20	600	650	1250
	Losgröße	50	-	120	-	-			
	Lagerbestand	30	-	80	20	-			
3	Nettobedarf	210	120	230	130	105	1600	920	2520
	Losgröße	330	-	465	-	-			
	Lagerbestand	120	-	235	105	-			
									5270

Abb. 9: Zahlenbeispiel zum Silver-Meal Verfahren

⁷³ Zu einer datenbankgestützten Implementation des *Silver-Meal* Verfahrens siehe Ortman (1998), Anhang sowie Siebeking (1998), Anhang.

3.2.4. Das Grenzkostenverfahren von Groff

Auch das Vorteilhaftigkeitskriterium des Grenzkostenverfahrens von Groff⁷⁴ wird aus einer Optimalitätsbedingung des klassischen Losgrößenmodells abgeleitet. Diese Bedingung besagt, daß an der Stelle der optimalen Losgröße die marginale Verringerung der Rüstkosten pro Periode gleich der marginalen Erhöhung der Lagerkosten pro Periode ist.⁷⁵

Falls in Periode γ ein Los aufgelegt wird, das die Bedarfe bis einschließlich der Periode $j-1$ deckt, ergeben sich Rüstkosten pro Periode $c_{\mathbf{g}, j-1}^R$ in Höhe von:

$$c_{\mathbf{g}, j-1}^R = \frac{c_R}{j - \mathbf{g}} \quad (11)$$

Wird die Losgröße q_γ in Periode γ um die Bedarfsmenge der Periode j vergrößert, betragen die Rüstkosten pro Periode $c_{\mathbf{g}j}^R$ dagegen:

$$c_{\mathbf{g}j}^R = \frac{c_R}{j - \mathbf{g} + 1} \quad (12)$$

Die Rüstkosten pro Periode, die durch die Hinzunahme des Periodenbedarfs d_j eingespart werden, betragen mithin:⁷⁶

$$\Delta c^R = c_{\tilde{\mathbf{a}}, j-1}^R - c_{\tilde{\mathbf{a}}j}^R = \frac{c_R}{(j - \tilde{\mathbf{a}})(j - \tilde{\mathbf{a}} + 1)} \quad (13)$$

Dieser Ersparnis stehen erhöhte Lagerkosten gegenüber. Die zusätzlichen Lagerkosten pro Periode, die entstehen, wenn der Bedarf der Periode j noch mit dem Los in Periode γ produziert wird, können wie folgt approximiert werden:⁷⁷

$$\Delta c^L = \frac{d_j * c_L}{2} \quad (14)$$

Die Idee des Grenzkostenverfahrens von Groff besteht nun darin, ein in Periode γ aufgelegtes Los so lange um die Nettobedarfsmengen der auf γ folgenden Teilperioden zu vergrößern, bis die Erhöhung der Lagerkosten pro Periode größer ist als die Verringerung der Rüstkosten pro Periode, d.h. so lange, bis

$$\frac{c^R}{(j - \mathbf{g})(j - \mathbf{g} + 1)} < \frac{d_j * c_L}{2} \quad (15)$$

oder

$$\frac{2 * c_R}{c_L} < d_j * (j - \mathbf{g})(j - \mathbf{g} + 1) =: v \quad (16)$$

⁷⁴ Zum Grenzkostenverfahren von Groff vgl. Groff (1979), S. 47 ff.

⁷⁵ Vgl. Kistner/Steven (1993), S. 69 f. sowie Günther/Tempelmeier (1995), S. 208.

⁷⁶ Vgl. Heinrich (1987), S. 42 f. sowie Tempelmeier (1995), S. 176.

⁷⁷ Vgl. Groff (1979), S. 48. Diese Approximation leitet sich aus dem statischen Grundmodell der Losgrößenplanung ab. Der durchschnittliche Lagerbestand pro Periode beträgt hier immer die Hälfte der Losgröße. Vgl. Witte (1995b), S. 7 f., Kistner/Steven (1993), S. 48 sowie Hechtfisher (1991), S. 44.

gilt.⁷⁸ Der vollständige Ablauf des Grenzkostenverfahrens von *Groff* kann dem folgenden Ablaufdiagramm entnommen werden.

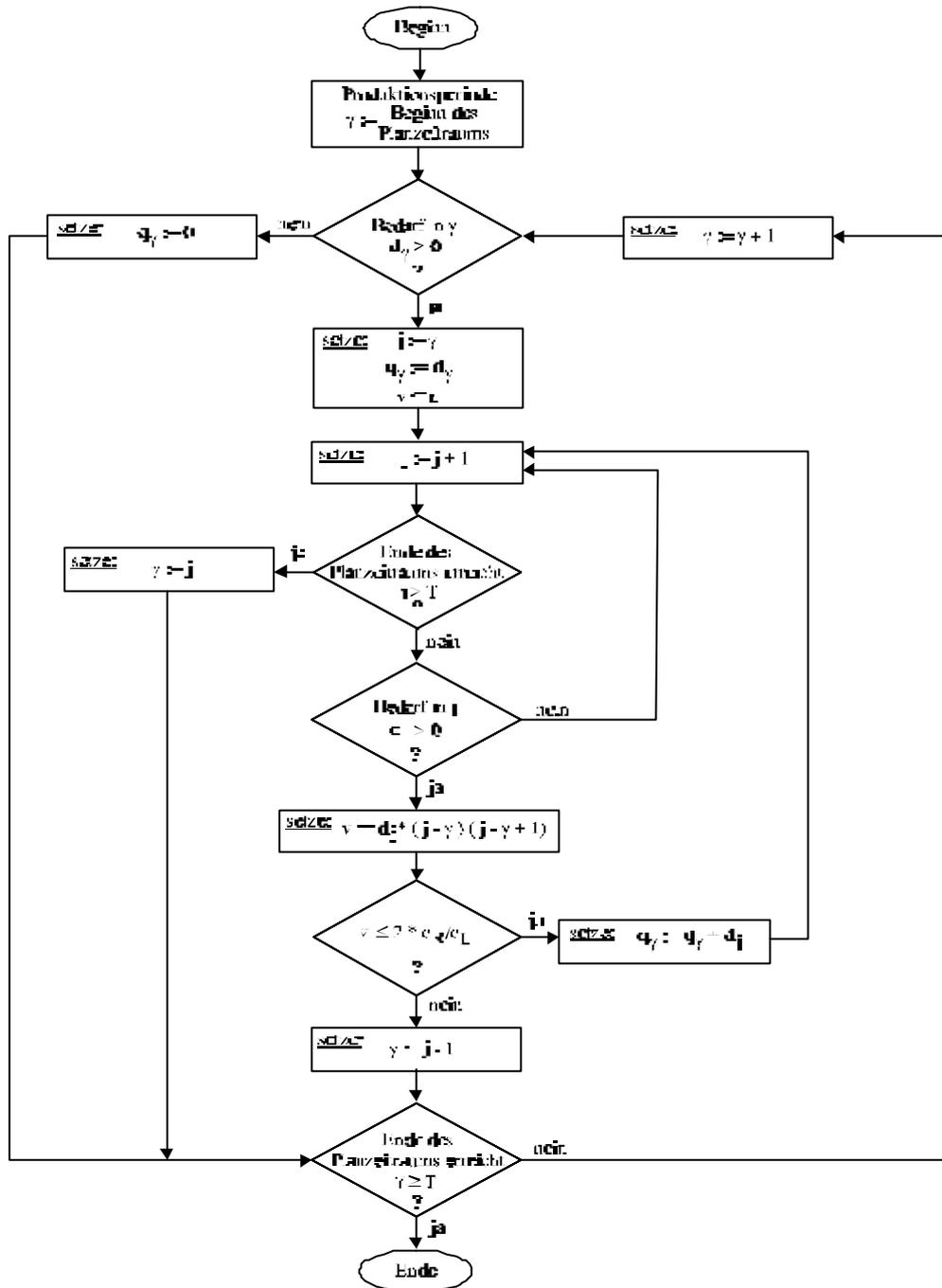


Abb.10: Ablaufdiagramm des Grenzkostenverfahrens von *Groff*⁷⁹

In Abb. 11 ist die Anwendung des Grenzkostenverfahrens von *Groff* auf das Beispiel wiedergegeben.

⁷⁸ Vgl. Günther/Tempelmeier (1995), S. 209 f. sowie Domschke/Scholl/Voß (1993), S. 122.

⁷⁹ Zu einer datenbankgestützten Implementation des Grenzkostenverfahrens von *Groff* siehe Ortmann (1998), Anhang sowie Siebeking (1998), Anhang.

Artikel		1	2	3	4	5	Rüst- kosten [GE]	Lager- kosten [GE]	Gesamt- kosten [GE]
1	Nettobedarf	160	120	110	130	105	1500	0	1500
	Losgröße	160	120	110	130	105			
	Lagerbestand	-	-	-	-	-			
2	Nettobedarf	20	30	40	60	20	600	650	1250
	Losgröße	50	-	120	-	-			
	Lagerbestand	30	-	80	20	-			
3	Nettobedarf	210	120	230	130	105	1600	920	2520
	Losgröße	330	-	465	-	-			
	Lagerbestand	120	-	235	105	-			
									5270

Abb. 11: Zahlenbeispiel zum Grenzkostenverfahren von Groff

3.3. Bestimmung der optimalen Lösung mittels dynamischer Programmierung

Zur optimalen Lösung des dynamischen, einstufigen, unkapazitierten Einprodukt-Losgrößenproblems entwickelten *Wagner* und *Whitin*⁸⁰ einen auf der dynamischen Programmierung⁸¹ basierenden Algorithmus, der sich aus zwei Teilschritten zusammensetzt.

Zunächst werden in einer Vorwärtsrekursion, ausgehend von der ersten Periode des Planungszeitraums, schrittweise die minimalen Gesamtkosten des Planungszeitraums c_T^{\min} ermittelt. Hierzu wird die folgende Rekursionsgleichung herangezogen:⁸²

$$c_j^{\min} = \begin{cases} \min_{1 \leq g \leq j} \{c_j(\mathbf{g}) := c_{\mathbf{g}1}^{\min} + c_{\mathbf{g}j}\}, & \text{falls } j \in \{1, \dots, T \mid d_j > 0\} \\ c_{j-1}^{\min}, & \text{sonst} \end{cases} \quad (17)$$

$$\text{mit } c_{\mathbf{g}j} = c_R + c_L \sum_{t=\mathbf{g}}^j (t - \mathbf{g}) * d_t \quad \text{und } c_0^{\min} = 0$$

c_j^{\min} gibt dabei die minimalen Kosten an, die mit der Befriedigung der Nettobedarfe von Periode 1 bis einschließlich der Periode j verbunden sind.

Die Gleichung (17) läßt sich vorteilhaft in einer Tabelle (Abb. 12) auswerten, indem der Reihe nach die minimalen Kosten c_1^{\min} , c_2^{\min} , ..., c_T^{\min} berechnet und die damit verbundenen Losauflagezeitpunkte p_1^{opt} , p_2^{opt} , ..., p_T^{opt} ermittelt werden.

⁸⁰ Vgl. dazu Wagner/Whitin (1958), S. 89 ff.

⁸¹ Zur dynamischen Programmierung vgl. z.B. Schneeweiß (1974), S. 24 f. sowie Hadley (1969), S. 422 ff.

⁸² Vgl. Wagner/Whitin (1958), S. 92. Die Gleichung wurde gegenüber der ursprünglichen Fassung etwas abgewandelt, da *Wagner* und *Whitin* keine Perioden ohne Bedarf zulassen.

Bedarfsperiode j Produktionsperiode γ	Bedarf in Periode 1 $d_1 > 0$	Bedarf in Periode 2 $d_2 > 0$	Bedarf in Periode 3 $d_3 > 0$...	Bedarf in Periode T $d_T > 0$
Produktion in Periode 1	$c_1(1) = c_0^{\min} + c_{11}$	$c_2(1) = c_0^{\min} + c_{12}$	$c_3(1) = c_0^{\min} + c_{13}$...	$c_T(1) = c_0^{\min} + c_{1T}$
Produktion in Periode 2		$c_2(2) = c_1^{\min} + c_{22}$	$c_3(2) = c_1^{\min} + c_{23}$...	$c_T(2) = c_1^{\min} + c_{2T}$
Produktion in Periode 3			$c_3(3) = c_2^{\min} + c_{33}$...	$c_T(3) = c_2^{\min} + c_{3T}$
⋮					⋮
Produktion in Periode T					$c_T(T) = c_{T-1}^{\min} + c_{TT}$
Minimale Kosten c_j^{\min} (Spaltenminimum)	c_1^{\min}	c_2^{\min}	c_3^{\min}	...	c_T^{\min}
Optimale Produktions- periode p_j^{opt}	p_1^{opt}	p_2^{opt}	p_3^{opt}	...	p_T^{opt}

Abb. 12: Auswertungsschema für die Vorwärtsrekursion⁸³

Falls in Periode j ein Bedarf vorliegt ($d_j > 0$), so muß dieser in irgendeiner Periode γ ($\gamma \leq j$) hergestellt werden. Um die Periode p_j^{opt} bestimmen zu können, in der es am kostengünstigsten ist, den Bedarf der Periode j zu produzieren, müssen zunächst die mit den alternativ möglichen Produktionsperioden γ ($\gamma \leq j$) verbundenen Kosten c_γ berechnet und einander gegenübergestellt werden. Diese Kosten setzen sich jeweils aus zwei Komponenten zusammen: zum einen den Kosten $c_{\gamma-1}^{\min}$, die entstehen, wenn für den Zeitraum bis einschließlich der Periode $\gamma-1$ die kostenminimale Losgrößenpolitik verfolgt wird⁸⁴ und zum anderen den Kosten c_γ , die durch ein in Periode γ aufgelegtes Los entstehen, das die Bedarfe der Perioden γ bis j abdeckt. Der für den Bedarf der Periode j optimale Produktionstermin p_j^{opt} ist dann diejenige Periode γ ($\gamma \leq j$), bei der die minimalen Kosten c_j^{\min} entstehen.

Falls in Periode j jedoch kein Bedarf vorliegt ($d_j = 0$), entstehen auch keine zusätzlichen Kosten, so daß die minimalen Kosten dieser Periode c_j^{\min} den minimalen Kosten der Vorperiode c_{j-1}^{\min} entsprechen. Der Ablauf der Vorwärtsrekursion läßt sich mithin wie folgt darstellen:

⁸³ Erstellt in Anlehnung an Zäpfel (1996a), S. 142.

⁸⁴ Nach dem Bellmann'schen Optimalitätsprinzip der dynamischen Programmierung kann eine Losauflage in Periode γ nur dann optimal sein, d.h. die geringsten Kosten verursachen, wenn für die vorausgehenden Perioden 1, ..., $\gamma-1$ ebenfalls die kostenminimale Losgrößenpolitik betrieben wird. Vgl. Bellmann (1957), S. 83.

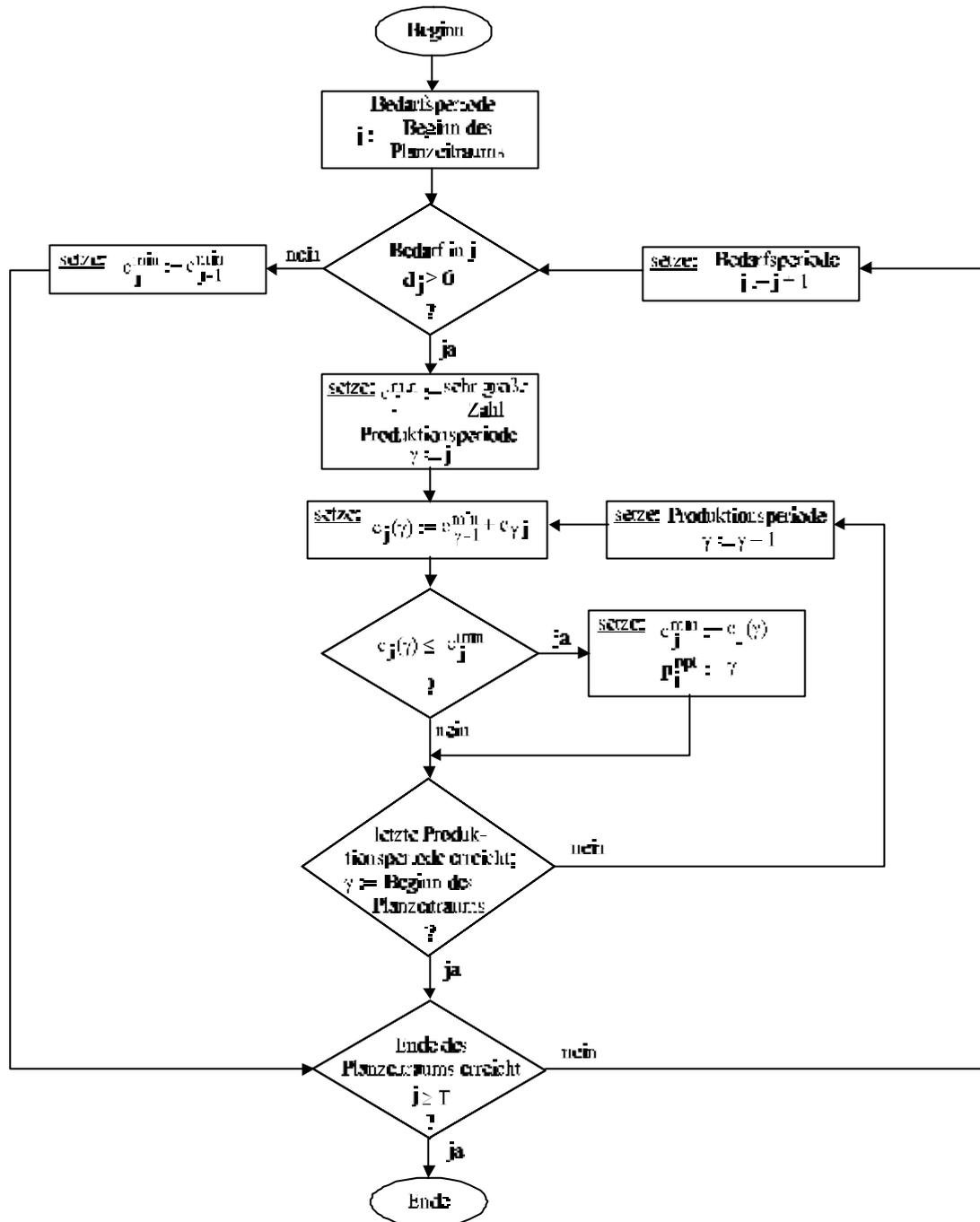


Abb. 13: Ablaufdiagramm zur Vorwärtsrekursion⁸⁵

Sind für alle Perioden des Planungszeitraums die minimalen Kosten c_j^{\min} mit den zugehörigen optimalen Losauflagezeitpunkten p_j^{opt} bekannt, dann können im zweiten Verfahrensschritt, ausgehend von der letzten Periode des Planungszeitraums rückwärtsschreitend die kostenoptimalen Losgrößen q_γ und Losauflagetermine γ bestimmt werden.⁸⁶ Die Vorgehensweise dieser Rückwärtsrechnung kann durch das Ablaufdiagramm in Abb. 14 beschrieben werden.

⁸⁵ Erstellt in Anlehnung an Witte (1995b), S. 61.

⁸⁶ Vgl. Heinrich (1987), S. 38, Hechtfisher (1991), S. 60 ff., Popp (1993), S. 66 f., Domschke/Scholl/Voß (1993), S. 115 ff., Kistner/Steven (1993), S. 59 ff., Witte (1995b), S. 65 ff., Zäpfel (1996a), S. 142 sowie Hahn (1998), S. 17 ff.

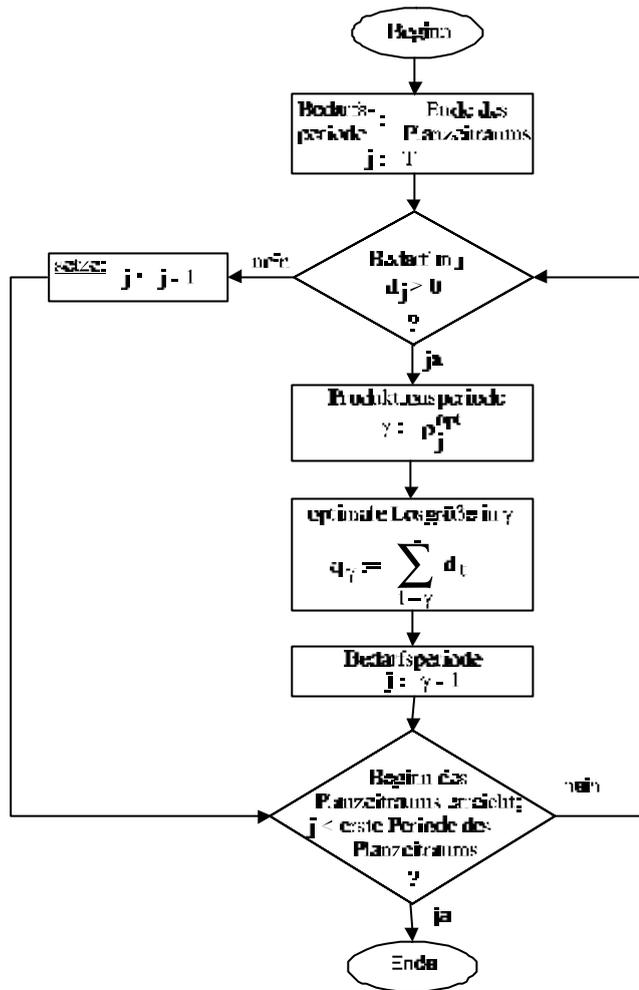


Abb. 14: Ablaufdiagramm zur Rückwärtsrechnung⁸⁷

Abb. 15 demonstriert die Anwendung des einstufig optimalen *Wagner-Whitin* Verfahrens auf die mehrstufige Erzeugnisstruktur des bekannten Beispiels.

Artikel		1	2	3	4	5	Rüst- kosten [GE]	Lager- kosten [GE]	Gesamt- kosten [GE]
1	Nettobedarf	160	120	110	130	105	1500	0	1500
	Losgröße	160	120	110	130	105			
	Lagerbestand	-	-	-	-	-			
2	Nettobedarf	20	30	40	60	20	900	250	1150
	Losgröße	50	-	40	80	-			
	Lagerbestand	30	-	-	20	-			
3	Nettobedarf	210	120	150	210	105	1600	1050	2650
	Losgröße	480	-	-	315	-			
	Lagerbestand	270	150	-	105	-			
									5300

Abb. 15: Zahlenbeispiel zum *Wagner-Whitin* Verfahren

⁸⁷ Erstellt in Anlehnung an Witte (1995b), S. 66. Zu einer datenbankgestützten Implementation des *Wagner-Whitin* Verfahrens siehe Ortmann (1998), Anhang sowie Siebeking (1998), Anhang.

4. Schwächen der eingesetzten Verfahren zur Losgrößenplanung

Das *Wagner-Whitin* Verfahren und die in dem Abschnitt 3.2 dargestellten Heuristiken gehen davon aus, daß die Losbildung jeweils isoliert für einen einzelnen Artikel vorgenommen werden kann und dabei keine Beschränkungen der Produktionskapazität zu berücksichtigen sind. Im folgenden wird verdeutlicht, daß diese Vorgehensweise mit gravierenden Problemen verbunden sein kann.

4.1. Fehlende Berücksichtigung der sich aus der Mehrstufigkeit der Erzeugnisstruktur ergebenden kostenmäßigen Interdependenzen

Bei Vorliegen mehrstufiger Erzeugnisstrukturen determiniert die Zusammenfassung mehrerer Nettobedarfsmengen eines übergeordneten Artikels zu einem Fertigungsauftrag und die damit verbundene frühzeitige Fertigstellung und Einlagerung dieser Bedarfsmengen nicht nur die Kosten für diesen Artikel, sondern bedingt auch, daß bestimmte Bedarfsmengen an untergeordneten Artikeln früher produziert und gelagert werden müssen. Dies führt wiederum zu Kosten, die bei der im Rahmen der Losgrößenplanung für einen übergeordneten Artikel vorzunehmenden Abwägung der Lagerkostenzuwächse gegenüber den Rüstkosteneinsparungen zu berücksichtigen sind, d.h. neben den "direkten" Kosten für den gerade einzuplanenden Artikel sind auch die Auswirkungen auf die Kosten aller diesem Artikel direkt und indirekt untergeordneten Artikel zu berücksichtigen.⁸⁸

Aus diesem Grund kann selbst bei sukzessiver Anwendung des einstufig optimalen *Wagner-Whitin* Verfahrens nicht die Minimierung der gesamten Rüst- und Lagerkosten des Produktionssystems gewährleistet werden. Dies wird im folgenden anhand des in Kapitel 3 eingeführten Zahlenbeispiels demonstriert.

Wie bereits gezeigt, führt die Anwendung des *Wagner-Whitin* Verfahrens zu Gesamtkosten von 5300 GE. In Abb.16 ist ein alternativer Produktionsplan dargestellt, der unter Berücksichtigung der sich aus der Mehrstufigkeit der Erzeugnisstruktur ergebenden kostenmäßigen Interdependenzen ermittelt wurde.

Dieser Produktionsplan führt mit 4785 GE zu erheblich niedrigeren Gesamtkosten. Im Gegensatz zu dem bei Anwendung des *Wagner-Whitin* Verfahrens ermittelten Produktionsplan werden nun für die Artikel 1 und 2 größere Lose aufgelegt. Hierdurch erhöhen sich zwar die Gesamtkosten für diese Artikel, für den Unterartikel 3 fallen jedoch keine Lagerkosten mehr an, da die aus den Losen der Oberartikel abgeleiteten Sekundärbedarfe jetzt gebündelt nur noch in den Perioden 1 und 4

⁸⁸ Vgl. Heinrich (1987), S. 2 und S. 32, Drexl/Fleischmann/Günther/Stadtler/Tempelmeier (1994), S. 1025 f., Tempelmeier (1995), S. 146 sowie Derstoffs (1995), S. 16.

auftreten. Insgesamt ergeben sich somit niedrigere Gesamtkosten, da die Kosteneinsparung bei Artikel 3 die erhöhten Kosten der Oberartikel überkompensiert.⁸⁹

Artikel		1	2	3	4	5	Rüst- kosten [GE]	Lager- kosten [GE]	Gesamt- kosten [GE]
1	Nettobedarf	160	120	110	130	105	600	1335	1935
	Losgröße	390	-	-	235	-			
	Lagerbestand	230	110	-	105	-			
2	Nettobedarf	20	30	40	60	20	600	650	1250
	Losgröße	90	-	-	80	-			
	Lagerbestand	70	40	-	20	-			
3	Nettobedarf	480	-	-	315	-	1600	-	1600
	Losgröße	480	-	-	315	-			
	Lagerbestand	-	-	-	-	-			
									4785

Abb. 16: Kostengünstigerer Produktionsplan unter Berücksichtigung der Mehrstufigkeit

Das angeführte Beispiel verdeutlicht, daß es bei der Losgrößenplanung in mehrstufigen Erzeugnisstrukturen, die in der Praxis vorherrschend sind, nicht ausreicht, nur die "direkten" Kosten des jeweils betrachteten Artikels zu berücksichtigen. Es müssen darüber hinaus auch die Kosten der direkt und indirekt untergeordneten Artikel erfaßt werden.

4.2. Fehlende Berücksichtigung beschränkter Kapazitäten

Ein weiterer, wesentlich gravierenderer Kritikpunkt resultiert jedoch aus der Tatsache, daß innerhalb der Losgrößenplanung nicht berücksichtigt wird, daß die für die Herstellung der einzelnen Artikel erforderlichen Ressourcen mit Potentialfaktorcharakter (z.B. Maschinen, Arbeitsplätze, Werkzeuge etc.) i.d.R. nur mit beschränkter Kapazität zur Verfügung stehen.⁹⁰ Dies kann dazu führen, daß durch die Kumulation der Nettobedarfe zu Losen in verschiedenen Perioden die verfügbaren Kapazitäten nicht ausreichen. Eine solche Situation ist dadurch gekennzeichnet, daß nicht mehr allein Kostengesichtspunkte für die Losgrößenpolitik maßgebend sind, sondern daß Kapazitätsrestriktionen dazu zwingen, von der kostenminimalen, aber kapazitätsmäßig nicht zulässigen Losgrößenpolitik abzuweichen. Bei Vorliegen mehrstufiger Erzeugnisstrukturen können derartige Kapazitätsbeschränkungen sowohl von den für die Herstellung des gerade einzuplanenden Artikels benötigten Ressourcen als auch von denjenigen Ressourcen ausgehen, die zur Produktion von direkt und/oder indirekt untergeordneten Artikeln in Anspruch genommen werden.

⁸⁹ Eine generelle Aussage darüber, ob mehrstufig ermittelte Lose größer oder kleiner sind als die einstufig geplanten Lose, kann nicht gemacht werden. Vgl. Heinrich (1987), S. 51.

⁹⁰ Vgl. Fleischmann (1988), S. 350 f., Drexl/Fleischmann/Günther/Stadtler/Tempelmeier (1994), S. 1025 f., Derstroff (1995), S. 16 ff., Helber (1994), S. 9 ff. sowie Zäpfel (1996a), S. 149.

Zur Veranschaulichung dieses Sachverhaltes wird das obige Beispiel derart erweitert, daß nun auch die Kapazitätsaspekte betrachtet werden. Es sei angenommen, daß alle drei Artikel die gleiche Maschinengruppe beanspruchen, deren Kapazität auf 400 ZE/PE begrenzt ist. Die Bearbeitungszeit beträgt einheitlich 1 ZE/ME für jeden Artikel. Rüstzeiten fallen nicht an.

Artikel		1	2	3	4	5
1	Losgröße	160	120	110	130	105
2	Losgröße	20	30	40	60	20
3	Losgröße	180	150	150	190	125
	Kapazitätsbedarf	360	300	300	380	250
	Kapazitätsangebot	400	400	400	400	400

Abbildung 17: Kapazitätsbelastung bei bedarfssynchroner Produktion

Abb. 17 zeigt zunächst die Kapazitätsbelastung, falls sämtliche Artikel bedarfssynchron (Losgröße = Nettobedarf) gefertigt werden. Die Kapazitätsrestriktionen werden in allen Perioden eingehalten, d.h. der Produktionsplan ist zulässig.

Artikel		1	2	3	4	5
1	Nettobedarf	160	120	110	130	105
	Losgröße	160	120	110	130	105
2	Nettobedarf	20	30	40	60	20
	Losgröße	50	-	40	80	-
3	Nettobedarf	210	120	150	210	105
	Losgröße	480	-	-	315	-
	Kapazitätsbedarf	690	120	150	525	105
	Kapazitätsangebot	400	400	400	400	400

Abbildung 18: Kapazitätsbelastung bei Einsatz des Wagner-Whitin Verfahrens

Abb. 18 zeigt noch einmal den Produktionsplan, der sich aus der Losbildung bei Einsatz des *Wagner-Whitin* Verfahrens ergibt, zusammen mit den sich daraus ergebenden Kapazitätsbelastungen. Hier treten nun viel stärkere Kapazitätsschwankungen auf, und die Perioden 1 und 4 sind überlastet. Die Mengenplanung führt also zu einem unzulässigen Produktionsplan, so daß Anpassungsmaßnahmen erforderlich sind.

Diese Anpassungen werden auf der Ebene der Termin- und Kapazitätsplanung durchgeführt. Hierbei handelt es sich um eine äußerst komplexe Problemstellung. Um eine Kapazitätsüberlastung zu beseitigen, bestehen zwei Möglichkeiten: Zum einen können Fertigungsmengen, die bei der Losgrößenplanung in die überlastete Periode vorgezogen wurden, wieder zurück verlagert werden. Zum anderen können Fertigungsaufträge aus der überlasteten Periode in frühere Perioden verschoben werden.

In beiden Fällen ist zu beachten, daß sich bei der Verschiebung von Produktionsmengen eines Artikels auch die Sekundärbedarfe sämtlicher direkt oder indirekt untergeordneter Artikel ändern. Werden beispielsweise die 130 ME des Artikels 1 in die Vorperiode 3 vorgezogen, so reduziert sich der Sekundärbedarf des

Unterartikels 3 in Periode 4 ebenfalls um 130 ME, die statt dessen zusätzlich in Periode 3 auftreten.

Werden nun im Rahmen der Mengenplanung die Kapazitätsrestriktionen der Ressourcen nicht berücksichtigt und damit Produktionspläne fixiert, die nicht zulässig sind, dann ist offensichtlich, daß auch in der nachgelagerten Kapazitätsplanung erhebliche Probleme auftreten werden.⁹¹ Sind bereits die aggregierten Ausgangsdaten einer Planungsphase nicht zulässig, dann steht in dieser detaillierteren Planungsphase i.d.R. kein Spielraum zur Generierung einer zulässigen Lösung mehr zur Verfügung.⁹² Da sich in den nachgelagerten Planungsphasen der Lösungsraum durch Betrachtung weiterer Nebenbedingungen verkleinert, wird der bereits auf aggregierter Ebene unzulässige Produktionsplan bei detaillierterer Betrachtung noch „unzulässiger“. Angesichts der Tatsache, daß die Erzeugung eines zulässigen Produktionsplans durch ein „konventionelles“ PPS-System aufgrund der systemimmanenten konzeptionellen Mängel praktisch nahezu nicht möglich ist,⁹³ muß das geringe Problembewußtsein erstaunen, das sowohl bei den Anwendern als auch bei den Anbietern von PPS-Systemen besteht.

Die aufgezeigten Probleme lassen sich u.U. vermeiden, wenn bereits in der Phase der Mengenplanung ein in Bezug auf die Kapazitätsbeschränkungen zulässiger Produktionsplan erzeugt wird. Anstelle der beschriebenen Vorgehensweise im Rahmen der Mengenplanung⁹⁴ ist ein dynamisches, mehrstufiges Mehrprodukt-Losgrößenproblem bei beschränkten Kapazitäten und genereller Erzeugnis- und Prozeßstruktur zu lösen.⁹⁵

Der Einsatz eines derartigen Modells scheiterte bislang daran, daß weder exakte noch heuristische Verfahren zur Lösung dieses Modells existierten.⁹⁶ In den letzten Jahren sind jedoch einige heuristische Lösungsverfahren entwickelt worden, die sich sowohl hinsichtlich der Lösungsgüte als auch der Rechenzeit als sehr vielversprechend

⁹¹ Vgl. Abschnitt 2.3 und die dort angegebene Literatur.

⁹² Zwar ist in den „konventionellen“ PPS-Systemen häufig die Möglichkeit vorgesehen, die unter Kostengesichtspunkten gebildeten Lose u.U. wieder in kleinere Einheiten zu zerlegen und damit die im Hinblick auf die Kapazitätsrestriktionen evtl. nicht zulässigen Ergebnisse der Mengenplanung zu modifizieren. Diese sog. Loseilung entbehrt aber jeglicher methodischer Grundlage und zeigt lediglich, daß die Produktionsplaner dem Ergebnis der Losgrößenplanung nur geringe Bedeutung beimessen. Vgl. Zäpfel (1982), S. 230.

⁹³ Vgl. Drexl/Fleischmann/Günther/Stadtler/Tempelmeier (1994), S. 1022 ff., Günther/Tempelmeier (1995), S. 290 ff., Helber (1994), S. 9 ff., Tempelmeier (1995), S. 293 ff. sowie Derstroff (1995), S. 16 ff.

⁹⁴ Vgl. Abschnitt 2.2.

⁹⁵ Vgl. Helber (1994), S. 14 ff., Tempelmeier (1995), S. 295 sowie Derstroff (1995), S. 19.

⁹⁶ Vgl. Helber (1994), S. 47 ff.

erwiesen haben.⁹⁷ Die Entwicklung auf dem Gebiet der dynamischen, mehrstufigen Mehrprodukt-Losgrößenplanung unter mehrfachen Kapazitätsrestriktionen ist bereits so weit fortgeschritten, daß derartige Planungsverfahren als Modul von PPS-Systemen grundsätzlich geeignet erscheinen.⁹⁸

⁹⁷ Vgl. dazu Tempelmeier/Derstroff (1993), S. 63 ff., Helber (1994), S. 57 ff., Tempelmeier/Helber (1994), S. 296 ff., Helber (1995), S. 5 ff., sowie Derstroff (1995), S. 64 ff.

⁹⁸ Vgl. Drexl/Fleischmann/Günther/Stadtler/Tempelmeier (1994), S. 1027, Helber (1994), S. 156 ff. sowie Tempelmeier (1997), S. 456 ff.

5. Kapazitätsorientierte Losgrößenplanung

Im folgenden wird die Grundstruktur eines dieser heuristischen Planungsverfahren zur Lösung des mehrstufigen dynamischen Mehrprodukt-Losgrößenproblems mit mehrfachen Kapazitätsrestriktionen (mehrstufiges CLSP⁹⁹) skizziert. Das Grundprinzip dieses von *Helber*¹⁰⁰ entwickelten Verfahrens besteht darin, das mehrstufige CLSP heuristisch in eine Folge von einstufigen dynamischen Mehrprodukt-Losgrößenproblemen mit jeweils einer beschränkten Ressource (einstufige CLSPs) zu zerlegen, die aufeinander aufbauen und nacheinander gelöst werden.¹⁰¹ Zur Lösung dieser einstufigen CLSPs greift *Helber* auf ein heuristisches Verfahren zurück, das von *Dixon* und *Silver*¹⁰² vorgeschlagen wurde¹⁰³ und i.d.R. zu guten Ergebnissen führt.¹⁰⁴ Die Losgrößenplanung wird mithin – beginnend bei den Enderzeugnissen – dispositionsstufenweise für die gesamte Erzeugnis- und Prozeßstruktur vorgenommen, d.h. es wird jeweils für alle Artikel einer Dispositionsstufe, die dieselbe Ressource beanspruchen, ein einstufiges CLSP in Anlehnung an die Heuristik von *Dixon* und *Silver* gelöst.¹⁰⁵

Diese Zerlegung des mehrstufigen Losgrößenproblems in eine Folge von einfacher zu lösenden einstufigen Losgrößenproblemen entspricht grundsätzlich dem dispositionsstufenweise sukzessiven Ansatz der „konventionellen“ PPS-Systeme.¹⁰⁶ Im Gegensatz zu der üblichen Vorgehensweise in „konventionellen“ PPS-Systemen werden jedoch sowohl die Kapazitätsrestriktionen der gerade betrachteten als auch die der vorgelagerten Ressourcen berücksichtigt.¹⁰⁷ Dadurch wird eine Integration der Planungsmodule „Mengenplanung“ und „Termin- und Kapazitätsplanung“ erreicht. Durch die Verwendung modifizierter Kostensätze wird darüber hinaus zumindest ansatzweise den aus der Mehrstufigkeit der Erzeugnisstruktur resultierenden kostenmäßigen Interdependenzen¹⁰⁸ Rechnung getragen.¹⁰⁹ Die Grundstruktur dieses Dekompositionsverfahrens ist in Abb. 19 wiedergegeben.

⁹⁹ Zu einer mathematisch exakten Formulierung des mehrstufigen **Capacitated-Lotsizing-Problem** siehe Tempelmeier/Derstroff (1993), S. 64 f., Helber (1994), S. 32 ff., Helber (1995), S. 9 f., Derstroff (1995), S. 26 ff., Tempelmeier (1995), S. 202 ff. sowie Tempelmeier (1997), S. 453 f.

¹⁰⁰ Vgl. Helber (1994), S. 57 ff., Tempelmeier/Helber (1994), S. 296 ff. sowie Helber (1995), S. 5 ff.

¹⁰¹ Vgl. Tempelmeier/Helber (1994), S. 301 sowie Helber (1995), S. 11.

¹⁰² Vgl. Dixon/Silver (1981), S. 23 ff.

¹⁰³ Vgl. Helber (1994), S. 56 und S. 79, Tempelmeier/Helber (1994), S. 300 sowie Helber (1995), S. 11.

¹⁰⁴ Vgl. Bahl/Ritzman/Gupta (1987), S. 334.

¹⁰⁵ Vgl. Helber (1994), S. 57 sowie Helber (1995), S. 11.

¹⁰⁶ Vgl. dazu Abschnitt 2.2.

¹⁰⁷ Vgl. dazu Abschnitt 4.2.

¹⁰⁸ Vgl. dazu Abschnitt 4.1.

¹⁰⁹ Vgl. Helber (1994), S. 57, Tempelmeier/Helber (1994), S. 300 sowie Helber (1995), S. 12.

Phase 0: Problemstrukturierung - Ermittlung von Dispositionsstufen und Kostensätzen	
Ermittle als Dispositionsstufen der Artikel die <ul style="list-style-type: none"> ◦ materialflußorientierten Dispositionsstufen oder die ◦ ressourcenorientierten Dispositionsstufen Ermittle als Rüst- und Lagerkostensätze der Artikel die <ul style="list-style-type: none"> ◦ unmodifizierten Kostensätze oder die ◦ modifizierten Kostensätze nach dem Verfahren von <i>Heinrich</i> 	
Phase 1: Ermittlung einer zulässigen Ausgangslösung für alle Artikel und Perioden	
Ermittle durch stufenübergreifende Zulässigkeitsprüfung einen vorläufigen zulässigen Losgrößenplan Q-z für alle Artikel und Perioden	
Phase 2: Sukzessive Verbesserung der Ausgangslösung	
Für alle Kombinationen der Berechnung materialflußorientierter / ressourcenorientierter Dispositionsstufen und unmodifizierter / modifizierter Kostensätze aus Phase 0	
	Löse – beginnend bei den Enderzeugnissen – eine Folge einstufiger CLSPs
	Ermittle dabei für jede Losgrößenentscheidung durch die stufenübergreifende Zulässigkeitsprüfung einen neuen vorläufigen zulässigen Losgrößenplan Q-z für alle Artikel und Perioden

Abb. 19: Grundstruktur der Heuristik von Helber¹¹⁰

Das Verfahren besteht aus drei Phasen. Die Phase 0 stellt einen Vorlauf dar, in dem die Problemdaten aufbereitet werden. Sie ist lediglich bei Veränderung der Nachfragedaten und/oder der Kostenparameter erforderlich und muß daher u.U. nicht für jede einzelne Planung durchlaufen werden.¹¹¹ Zunächst erfolgt eine Sortierung der Erzeugnis- und Prozeßstruktur. Hierbei kann alternativ auf die materialflußorientierte Sortierung nach Dispositionsstufen oder aber auf eine Strukturierung zurückgegriffen werden, die auch die Reihenfolge der Ressourcenbelegung durch die einzelnen Artikel (Arbeitsgänge¹¹²) berücksichtigt (modifizierte Dispositionsstufen).¹¹³ Außerdem ist eine Entscheidung darüber zu treffen, welche Kostensätze bei der Losgrößenplanung eingesetzt werden sollen. Hier bieten sich als Alternative die Verwendung unmodifizierter Kostensätze oder der Einsatz von modifizierten Kostensätzen an, mit deren Hilfe die aus der Mehrstufigkeit der Erzeugnisstruktur resultierenden kostenmäßigen Interdependenzen auch bei sukzessiver Anwendung einstufiger Losgrößenverfahren berücksichtigt werden können.¹¹⁴

Die in Phase 1 durchzuführende stufenübergreifende Zulässigkeitsprüfung stellt eine zentrale Komponente des Verfahrens dar. Mit ihrer Hilfe wird vor der eigentlichen

¹¹⁰ Erstellt in Anlehnung an Helber (1994), S. 58.

¹¹¹ Z.B. dann nicht, wenn die Losgrößenplanung lediglich für ein verändertes Kapazitätsangebot vorgenommen werden soll.

¹¹² Eine kapazitätsorientierte Losgrößenplanung kann nur für die nach den einzelnen Arbeitsgängen vorliegenden (Zwischen-) Produkte vorgenommen werden, weil sich nur Arbeitsgänge einzelnen Ressourcen bzw. Ressourcengruppen zuordnen lassen. Vgl. Tempelmeier (1995), S. 200 ff., Helber (1994), S. 15 und S. 18, Derstroff (1995), S. 24 f. sowie Scheer (1995), S. 147 und S. 204 ff. Im folgenden werden Arbeitsgänge und Artikel als synonym betrachtet, d.h. nach jedem Arbeitsgang liegt ein neuer identifizierbarer und lagerfähiger Artikel vor.

¹¹³ Vgl. Helber (1994), S. 64 ff., Tempelmeier/Helber (1994), S. 300 f. sowie Helber (1995), S. 12.

¹¹⁴ Vgl. Hahn (1998), S. 109 ff. und S. 132 ff., Helber (1994), S. 59 ff. sowie Helber (1995), S. 12.

Losgrößenplanung zunächst einmal der Versuch unternommen, einen vorläufigen zulässigen Losgrößenplan Q-z für alle Artikel und Perioden zu ermitteln. Wenn dies nicht gelingt, kann mit dem heuristischen Verfahren von *Helber* keine Lösung ermittelt werden und das Verfahren ist beendet.¹¹⁵

Anderenfalls wird in Phase 2 mit der eigentlichen Losgrößenplanung begonnen. Hier werden einstufige CLSPs unter Berücksichtigung unterschiedlicher Artikel, Ressourcen und Restkapazitäten in Anlehnung an das heuristische Verfahren von *Dixon* und *Silver* gelöst.¹¹⁶ Dabei wird für jede in Betracht gezogene Losgrößenentscheidung erneut eine stufenübergreifende Zulässigkeitsprüfung durchgeführt und so überprüft, ob ein neuer zulässiger Losgrößenplan Q-z für alle Artikel und Perioden erzeugt werden kann.¹¹⁷ Hierdurch wird sichergestellt, daß jede der sukzessiv durchgeführten Losgrößenentscheidungen zu einem zulässigen Losgrößenplan führt.¹¹⁸

Die grundsätzliche Vorgehensweise in Phase 2 wird im folgenden an einem Beispiel verdeutlicht. Hierzu wird die Erzeugnis- und Prozeßstruktur in Abb. 20 betrachtet, in der die Artikel 1 und 2 auf der Dispositionsstufe 0 die Ressource A beanspruchen.

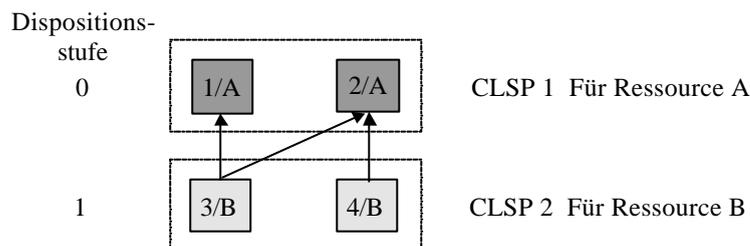


Abb. 20: Beispiel für die stufenweise Lösung einer Folge von CLSPs

Zunächst wird für die Artikel 1 und 2 ein CLSP hinsichtlich der Ressource A gelöst. Als Ergebnis erhält man die Fertigungsauftragsgrößen dieser bei den Artikel. Hieraus lassen sich die Bedarfsmengen für die Artikel 3 und 4 auf der Dispositionsstufe 1 ableiten. Anschließend wird für diese Artikel ein zweites CLSP hinsichtlich der Ressource B gelöst.

¹¹⁵ Vgl. Helber (1994), S. 70.

¹¹⁶ Vgl. Tempelmeier/Helber (1994), S. 300 sowie Helber (1995), S. 11.

¹¹⁷ Vgl. Helber (1994), S. 58 und S. 70 sowie Helber (1995), S. 12.

¹¹⁸ Zu einer datenbankgestützten Implementation der Heuristik von Helber siehe Ortmann/Siebeking (2000), S. 9 ff.

6. Schlußbetrachtung

Die Überlegungen in der vorliegenden Arbeit haben gezeigt, daß eines der Hauptprobleme der derzeit in der Praxis eingesetzten „konventionellen“ PPS-Systeme darin besteht, daß es bislang nicht gelungen ist, ein praktikables Verfahren zur Lösung des mehrstufigen dynamischen Mehrprodukt-Losgrößenproblems bei mehrfachen beschränkten Kapazitäten und genereller Erzeugnis- und Prozeßstruktur zu entwickeln und dieses in ein sinnvolles Konzept der Produktionsplanung und –steuerung zu integrieren.

So werden für die Losgrößenbildung i.a. Verfahren eingesetzt, deren Prämissen in der Realität oft massiv verletzt werden. Hierbei ist vor allem auf die Vernachlässigung von Kapazitätsrestriktionen hinzuweisen. Da im Rahmen der Losgrößenplanung keine Kapazitätsbeschränkungen berücksichtigt werden, kann es zu Überlastungen an den zur Fertigung eingesetzten Ressourcen kommen. Infolge der Kapazitätsüberlastungen ergeben sich ungeplante Wartezeiten für Aufträge und damit erhöhte Umlaufbestände. Aufgrund der verlängerten Wartezeiten der Aufträge nehmen die Durchlaufzeiten zu und es kommt zu ungeplanten Terminüberschreitungen. Darüber hinaus werden bei der Losgrößenplanung regelmäßig die aus der Mehrstufigkeit der Erzeugnisstruktur resultierenden kostenmäßigen Interdependenzen vernachlässigt. Hierdurch ergeben sich im allgemeinen suboptimale Lösungen.

Mit den heute verfügbaren heuristischen Verfahren zur kapazitätsorientierten Losgrößenplanung haben sich jedoch völlig neue Perspektiven ergeben. Sie eröffnen die Möglichkeit, realisierbare und näherungsweise optimale Losgrößenpläne für realistische Fälle der mehrstufigen Fertigung unter Berücksichtigung von mehrfachen Kapazitätsrestriktionen zu ermitteln. In der Terminologie der PPS-Systeme wird also eine Integration der Planungsmodule „Mengenplanung“ und „Termin- und Kapazitätsplanung“ erreicht. Durch den Einsatz eines derartigen Verfahrens wird somit eine zentrale Schwäche der zur Zeit praktisch eingesetzten PPS-Systeme überwunden.

Literaturverzeichnis

- Adam, D. (1992):** Aufbau und Eignung klassischer PPS-Systeme, in: Adam, D. (Hrsg.): Fertigungssteuerung. Grundlagen und Systeme, Schriften zur Unternehmensführung, Bd. 38/39 (Doppelband), Wiesbaden 1992, S. 9-25.
- Adam, D. (1997):** Produktions-Management, 8., vollst. überarb. und erw. Aufl., Wiesbaden 1997.
- Andler, K. (1929):** Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße, München 1929.
- Bahl, H. C./Ritzman, L. P./Gupta, J. N. D. (1987):** Determining Lot Sizes and Resource Requirements: A Review, in: Operations Research, 35. Jg. (1987), H. 3, S. 329-345.
- Bellmann, R. (1957):** Dynamic Programming, Princeton 1957.
- Corsten, H. (1994):** Gestaltungsbereiche des Produktionsmanagement, in: Corsten, H. (Hrsg.): Handbuch Produktionsmanagement, Wiesbaden 1994, S. 5-21.
- Delfmann, W. (1996):** MRP (Material Requirements Planning), in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2., völlig neu gestaltete Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1248-1262.
- DeMatteis, J. J. (1968):** An Economic Lot-Sizing Technique – Part I. The Part-Period Algorithm, in: IBM Systems Journal, 7. Jg. (1968), H. 1, S. 30-38.
- Derstroff, M. C. (1995):** Mehrstufige Losgrößenplanung mit Kapazitätsbeschränkungen, Heidelberg 1995.
- Dixon, P. S./Silver, E. (1981):** A Heuristic Solution Procedure for the Multi-Item, Single-Level, Limited Capacity, Lot-Sizing Problem, in: Journal of Operations Management, Vol. 2 (1981), S. 23-39.
- Domschke, W./Scholl, A./Voß, S. (1993):** Produktionsplanung. Ablauforganisatorische Aspekte, Berlin 1993.
- Drexl, A./Fleischmann, B./Günther, H. O./Stadtler, H./Tempelmeier, H. (1994):** Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 46. Jg. (1994), S. 1022-1045.
- Drexl, A./Haase, K./Kimms, A. (1995):** Losgrößen- und Ablaufplanung in PPS-Systemen auf der Basis randomisierter Opportunitätskosten, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 65. Jg. (1995), H. 3, S. 267-285.

- Fleischmann, B. (1988):** Operations-Research-Modelle und -Verfahren in der Produktionsplanung, in: Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 58. Jg. (1988), H. 3, S. 347-372.
- Gahse, S. (1965):** Lagerdisposition mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen, in: Neue Betriebswirtschaft, 18. Jg. (1965), H. 1, S. 4-8.
- Glaser, H. (1986):** Material- und Produktionswirtschaft, 3., neubearb. Aufl., Düsseldorf 1986.
- Glaser, H./Geiger, W./Rohde, V. (1992):** PPS – Produktionsplanung und –steuerung. Grundlagen - Konzepte - Anwendungen, 2., überarb. Aufl., Wiesbaden 1992.
- Glaser, H./Petersen, L. (1996):** PPS (Produktionsplanungs- und steuerungs) – Systeme, in: Kern, W.(Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2., völlig neu gestaltete Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1405-1417.
- Groff, G. K. (1979):** A Lot Sizing Rule for Time-Phased Component Demand, in: Production & Inventory Management, 20. Jg. (1979), H. 1, S. 47-53.
- Günther, H. O./Tempelmeier, H.(1995):** Produktion und Logistik, 2., überarb. und erw. Aufl., Berlin 1995
- Hadley, G. (1969):** Nichtlineare und dynamische Programmierung, Würzburg 1969.
- Hahn, F. (1998):** Knappe Kapazitäten in der Losgrößenplanung, Wiesbaden 1998.
- Harris, F. W. (1913):** How many parts to make at once, in: Factory, The Magazine of Management, 10. Jg. (1913), H. 2, S. 135-136 und S. 152, nachgedruckt in: Operations Research, 38. Jg. (1990), H. 6, S. 947-950.
- Hechfischer, R. (1991):** Kapazitätsorientierte Verfahren der Losgrößenplanung, Wiesbaden 1991.
- Heinrich, C. E. (1987):** Mehrstufige Losgrößenplanung in hierarchisch strukturierten Produktionsplanungssystemen, Berlin 1987.
- Helber, S. (1994):** Kapazitätsorientierte Losgrößenplanung in PPS-Systemen, Stuttgart 1994.
- Helber, S. (1995):** Lot Sizing in Capacitated Production Planning and Control Systems, in: OR Spektrum, 17. Jg. (1995), S. 5-18.
- Hoitsch, H. J. (1993a):** Produktionswirtschaft: Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre, 2., völlig überarb. und erw. Aufl., München 1993.
- Hoitsch, H. J. (1993b):** Produktionsplanung, in: Wittmann, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Betriebswirtschaft, 5., völlig neu gestaltete Aufl., Stuttgart 1993, Sp. 3450-3467.

- Hoitsch, H. J. (1993c):** Auftragsplanung, in: Corsten, H. (Hrsg.): Lexikon der Betriebswirtschaftslehre, 2., unwesentlich veränd. Aufl., München 1993, S. 79-85.
- Jacob, H. (1986):** Die Planung des Produktions- und Absatzprogramms, in: Jacob, H. (Hrsg.): Industriebetriebslehre. Handbuch für Studium und Prüfung, 3., überarb. Aufl., Wiesbaden 1986, S. 401-590.
- Jacob, H. (1996):** Produktions- und Absatzprogrammplanung, in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2., völlig neu gestaltete Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1468-1483.
- Kahle, E. (1996):** Ziele, produktionswirtschaftliche, in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2., völlig neu gestaltete Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 2315-2324.
- Kimms, A. (1996):** Modelle der Losgrößenplanung und eine kritische Würdigung des MRP II Konzepts, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, Nr. 419, Kiel 1996.
- Kimms, A. (1997):** Modelle der Losgrößenplanung und das MRP II-Konzept, in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 26. Jg. (1997), H. 5, S. 227-231.
- Kistner, K.-P./Steven, M. (1993):** Produktionsplanung, 2. Aufl., Heidelberg 1993.
- Knolmayer, G. (1985):** Zur Bedeutung des Kostenausgleichsprinzips für die Bedarfsplanung mit PPS-Systemen, in: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, 37. Jg. (1985), H. 5, S. 411-427.
- Küpper, H. U./Helber, S. (1995):** Ablauforganisation in Produktion und Logistik, 2., völlig neu bearb. und erw. Aufl., Stuttgart 1995.
- Kurbel, K. (1983):** Software Engineering im Produktionsbereich, Wiesbaden 1983.
- Kurbel, K. (1995):** Produktionsplanung und -steuerung. Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen, Handbuch der Informatik, Bd. 13.2, 2., aktualisierte Aufl., München 1995.
- Melzer-Ridinger, R. (1994):** PPS. Systemgestützte Produktionsplanung: Konzeption und Anwendung, München 1994.
- Mendoza, A. G. (1968):** An Economic Lot-Sizing Technique – Part II. Mathematical Analysis of the Part-Period Algorithm, in: IBM Systems Journal, 7. Jg. (1968), H. 1, S. 39-46.
- Mertens, P. (1997):** Integrierte Informationsverarbeitung 1. Administrations- und Dispositionssysteme in der Industrie, 11., neubearb. Aufl., Wiesbaden 1997.
- Ohse, D. (1969):** Lagerhaltungsmodelle für deterministisch schwankenden Absatz, in: Ablauf- und Planungsforschung, 10. Jg. (1969), H. 2, S. 309-322.

- Ohse, D. (1970):** Näherungsverfahren zur Bestimmung der wirtschaftlichen Bestellmenge bei schwankendem Bedarf, in: Elektronische Datenverarbeitung, 12. Jg. (1970), H. 2, S. 83-88.
- Ortmann, Ch. (1998):** Datenbankgestützte Modellierung einer mehrstufigen kapazitätsorientierten Losgrößenplanung, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Informationsmanagement und Unternehmensführung, Fachgebiet Produktion, Universität Osnabrück, Osnabrück 1998.
- Ortmann, Ch./Siebeking, I. (2000):** Datenbankgestützte mehrstufige kapazitätsorientierte Losgrößenplanung, Diskussionsbeiträge des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Universität Osnabrück, Nr. ????, Osnabrück 2000.
- Overfeld, J. (1990):** Produktionsplanung bei mehrstufiger Kampagnenfertigung. Untersuchung zur Losgrößen- und Ablaufplanung bei divergierenden Fertigungsprozessen, Schriften zur Produktion, Bd. 3, 1990.
- Popp, Th. (1993):** Kapazitätsorientierte dynamische Losgrößen- und Ablaufplanung bei Sortenproduktion, Hamburg 1993.
- Rieper, B./Witte, Th. (1993):** Grundwissen Produktion: Produktions- und Kostentheorie, Schriften zur Produktion, Bd. 5, 2., veränd. Aufl. 1993.
- Scheer, A. W. (1976):** Produktionsplanung auf der Grundlage einer Datenbank des Fertigungsbereichs, München 1976.
- Scheer, A. W. (1995):** Wirtschaftsinformatik. Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse, 6., durchgesehene Aufl., Heidelberg 1995.
- Schneeweiß, Ch. (1974):** Dynamisches Programmieren, Würzburg 1974.
- Schweitzer, M. (1994):** Industriebetriebslehre, 2., völlig überarb. und erw. Aufl., München 1994.
- Siebeking, I. (1998):** Mehrstufige Losgrößenplanung mit Kapazitätsrestriktionen in PPS-Systemen – Datenbankgestützte Implementation der Heuristik von *HELBER*, unveröffentlichte Diplomarbeit, Institut für Informationsmanagement und Unternehmensführung, Fachgebiet Produktion, Universität Osnabrück, Osnabrück 1998.
- Silver, E. A./Meal, H. C. (1973):** A Heuristic for Selecting Lot Size Quantities for the Case of a Deterministic Time-Varying Demand and Discrete Opportunities for Replenishment, in: Production and Inventory Management, 14. Jg. (1973), H. 2, S. 64-74.

- Tempelmeier, H. (1995):** Material-Logistik - Grundlagen der Bedarfs- und Losgrößenplanung in PPS-Systemen, 3., vollst. überarb. und erw. Aufl., Berlin 1995.
- Tempelmeier, H. (1997):** Resource-constrained materials requirements planning – MRP rc, in: Production Planning & Control, Vol. 8 (1997), S. 451-461.
- Tempelmeier, H./Derstroff, M. (1993):** Mehrstufige Mehrprodukt-Losgrößenplanung bei beschränkten Ressourcen und genereller Erzeugnisstruktur, in: OR Spektrum, 15. Jg. (1993), S. 63-73.
- Tempelmeier, H./Helber, S. (1994):** A Heuristic for Dynamic Multi-Item Multi-Level Capacitated Lotsizing for General Product Structures, in: European Journal of Operational Research, Vol. 75 (1994), S. 296-311.
- Trux, W. (1966):** Elektronische Datenverarbeitung in der Materialwirtschaft eines Industriebetriebes, in: Zeitschrift für Datenverarbeitung, 4. Jg. (1966), H. 2, S. 94-106.
- Vahrenkamp, R. (1996):** Produktions- und Logistikmanagement, 2., verb. Aufl., München 1996.
- Vollmann, T. E./Berry, W. L./Whybark, D. C. (1992):** Manufacturing planning and control systems, 3., Aufl., Homewood, Illinois 1992.
- Wagner, H. M./Whitin, T. M. (1958):** Dynamic Version of the Economic Lot Size Model, in: Management Science, 5. Jg. (1958), H. 1, S. 89-96.
- Witte, Th. (1992):** Fallstudie zur Fertigungssteuerung mit Prioritätsregeln, in: Adam, D. (Hrsg.): Fertigungssteuerung. Grundlagen und Systeme, Schriften zur Unternehmensführung, Bd. 38/39 (Doppelband), Wiesbaden 1992, S. 263-276.
- Witte, Th. (1995a):** Die Lernfabrik I. Datenbankgestützte Materialbereitstellungs- und Kapazitätsplanung, Diskussionsbeiträge des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Universität Osnabrück, Nr. 9515, Osnabrück 1995.
- Witte, Th. (1995b):** Die Lernfabrik II. Die datenbankgestützte Planung von Beschaffungs- und Fertigungsaufträgen, Diskussionsbeiträge des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Universität Osnabrück, Nr. 9516, Osnabrück 1995.
- Zäpfel, G. (1982):** Produktionswirtschaft - Operatives Produktions-Management, Berlin 1982.
- Zäpfel, G. (1994):** Entwicklungsstand und –tendenzen von PPS-Systemen, in: Corsten, H. (Hrsg.): Handbuch Produktionsmanagement, Wiesbaden 1994, S. 719-745.

- Zäpfel, G. (1996a):** Grundzüge des Produktions- und Logistikmanagement, Berlin 1996.
- Zäpfel, G. (1996b):** PPS (Produktionsplanung und -steuerung), in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2., völlig neu gestaltete Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1391-1405.
- Zäpfel, G./Attmann, J. (1978):** Losgrößenplanung: Problemstellung und Problemklassen, in: Das Wirtschaftsstudium, 7. Jg. (1978), H. 11, S. 529-532.
- Zäpfel, G./Missbauer, H. (1988a):** Traditionelle Systeme der Produktionsplanung und -steuerung in der Fertigungsindustrie, in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 17. Jg. (1988), Heft 2, S. 73-77.
- Zäpfel, G./Missbauer, H. (1988b):** Neuere Konzepte der Produktionsplanung und -steuerung in der Fertigungsindustrie, in: Wirtschaftswissenschaftliches Studium, 17. Jg. (1988), Heft 3, S. 127-131.
- Zoller, K./Robrade, A. (1987):** Dynamische Bestellmengen- und Losgrößenplanung. Verfahrensübersicht und Vergleich, in: OR Spektrum, 9. Jg. (1987), S. 219-233.
- Zwehl, W. von (1979):** Losgrößen, wirtschaftliche, in: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, Stuttgart 1979, Sp. 1163-1182.