

Drexl, Andreas; Haase, Knut

Working Paper — Digitized Version

Vorbeugende Instandhaltung und Eilaufträge in der Produktionsplanung

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 450

Provided in Cooperation with:

Christian-Albrechts-University of Kiel, Institute of Business Administration

Suggested Citation: Drexl, Andreas; Haase, Knut (1997) : Vorbeugende Instandhaltung und Eilaufträge in der Produktionsplanung, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 450, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:

<https://hdl.handle.net/10419/177311>

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

Nr. 450

**Vorbeugende Instandhaltung und Eilaufträge
in der Produktionsplanung**

Andreas Drexl, Knut Haase

August 1997

Professor. Dr. *Andreas Drexl*, Dr. *Knut Haase*, Institut für Betriebswirtschaftslehre,
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Olshausenstr. 40, 24118 Kiel
eMail: Drexl@bwl.uni-kiel.de, Haase@bwl.uni-kiel.de

1 Einleitung

Der vorliegende Beitrag wendet sich einer Problematik zu, die in der Literatur bislang kaum Beachtung gefunden hat. Zwar gibt es ein reichhaltiges Schrifttum zu den Themenbereichen (vorbeugende) Instandhaltung bzw. Produktionsplanung. Die Problematik der Behandlung von Eilaufträgen hat bislang kein sonderliches Interesse der Wissenschaft geweckt, dafür ist jedoch das Vorziehen nicht vorhergesehener Aufträge mit großer Dringlichkeit ("Chefaufträge") für Praktiker besonders relevant. Jeder der drei Aspekte hat damit - wenn auch für sich genommen und für unterschiedliche Adressatenkreise - eine große Bedeutung. Der Behandlung der vorbeugenden Instandhaltung und von Eilaufträgen im Kontext der Produktionsplanung wurde jedoch bislang kaum Aufmerksamkeit geschenkt. Die vorliegende Arbeit soll diese Lücke schließen.

Das angesprochene Literaturdefizit wiegt umso schwerer, als derzeit mit der Einführung von *Lean Production-Konzepten* in großem Stile indirekte Bereiche aufgelöst werden. Die Integration des Instandhaltungsbereichs in die Produktion ist hierfür ein wichtiges Beispiel. Wenn dann der Anlagenbediener die Betriebsbereitschaft eigenverantwortlich sicherzustellen hat, ergibt sich für ihn die Notwendigkeit, grundlegende Instandhaltungsmaßnahmen selbst zu planen und durchzuführen. Der vorliegende Beitrag soll und kann an dieser Stelle Hilfestellung bieten.

Die Arbeit ist wie folgt aufgebaut: In Abschnitt 2 werden die Aufgaben und Charakteristika der Produktionsplanung dargestellt. Auf Begriff, Bedeutung und Daten der Instandhaltung wird in Abschnitt 3 eingegangen. Abschnitt 4 befaßt sich mit den Wechselwirkungen von Produktion und Instandhaltung. Abschnitt 5 geht auf die bislang in der Literatur vernachlässigte Behandlung von Eilaufträgen ein. Die Modellierung von Eilaufträgen und vorbeugender Instandhaltung für das Produktionssegment Fließfertigung ist Gegenstand von Abschnitt 6. Beispielhafte Ergebnisse werden in Abschnitt 7 dargestellt. In Abschnitt 8 folgen Hinweise auf die Übertragung der in der vorliegenden Arbeit für das Segment Fließfertigung dargestellten Konzepte auf weitere Produktionssegmente.

2 Aufgaben und Charakteristika der Produktionsplanung

In der Produktionsplanung und Produktionssteuerung lassen sich die Planungsebenen aggregierte Gesamtplanung, kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung, detaillierte Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung und segmentspezifische Feinplanung unterscheiden. Eine knappe Kennzeichnung und Abgrenzung der einzelnen Ebenen läßt sich wie folgt vornehmen:¹

¹ Eine ausführliche Darstellung findet sich in Drexl et al. (1994); vgl. auch Drexl (1996).

- *Aggregierte Gesamtplanung* (aggregate production planning): Sie umfaßt das gesamte Produktionsprogramm und die jeweiligen Produktionsstätten des Unternehmens mit ihrer wechselseitigen logistischen Verflechtung. Sie hat die Aufgabe einer mittelfristigen funktionsübergreifenden Koordination. Absatz-, Beschaffungs- und Personalbereich sind mit den Möglichkeiten und Erfordernissen der Produktion abzustimmen; ferner ist der erforderliche Ausgleich von saisonalen Beschäftigungsschwankungen vorzunehmen. Als Ergebnis erhält man produktionsstättenbezogene Produktionsvorgaben für die Produkttypen sowie eine Vorausschau der zu erwartenden Transportströme zwischen den einzelnen Produktionsstandorten.
- *Kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung* (master production scheduling): Die in gängigen PPS-Systemen implementierten Module zur Produktionsprogramm- bzw. Primärbedarfsplanung stellen häufig nur ein Instrument zum Sammeln kundenauftrags- und absatzbezogener Daten dar, ohne daß eine echte Entscheidungsunterstützung geleistet wird. Im Gegensatz hierzu hat die kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung die zentrale Aufgabe, alle Produktionssegmente innerhalb eines Werkes horizontal mit ihren Hauptezeugnissen und ihren aggregierten Kapazitätsbeanspruchungen zu erfassen und die jeweiligen dezentralen Produktionsprogramme aufzustellen und zu koordinieren. Potentielle Engpaßbereiche und -faktoren werden so rechtzeitig sichtbar, und notwendige Kapazitätsanpassungen können eingeleitet werden. Im Gegensatz zur aggregierten Gesamtplanung geht man hierbei nicht von langfristigen Markttrends und mittelfristigen Trendprognosen aus, sondern von bereits vorhandenen Kundenaufträgen und kurzfristigen Absatzprognosen des Vertriebs. Als Ergebnis werden die Fertigungsaufträge für alle Produktionssegmente bzw. die entsprechenden Steuerbereiche gewonnen. Gleichzeitig können hieraus Ecktermine für den Übergang der Fertigungsaufträge zwischen den einzelnen Produktionssegmenten abgeleitet werden.
- *Detaillierte Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung*: Sie ist die erste dezentral auszuführende Planungsebene. Hier wird eine gemeinsame Planung der Losgrößen und der Fertigungstermine angestrebt.² Während durch die vorgelagerte kapazitierte Hauptproduktionsprogrammplanung eine umfassende segmentübergreifende Abstimmung der Produktionsmengen der Endprodukte vorgenommen wird, geht es nun darum, für jedes Produktionssegment die übernommenen Fertigungsaufträge der Endprodukte in Auftrags- und Losgrößen der jeweils benötigten Baugruppen, Komponenten, Teile usw. umzusetzen. Als Ergebnis erhält man terminierte Fertigungsaufträge und Beschaffungsmengen für alle Produkte, die auf den jeweiligen Maschinen bzw. Maschinengruppen des betrachteten Produktionssegments zu bearbeiten sind. Infolge des Übergangs von einer Produktionsstätten- zu einer

² Vgl. hierzu auch Domschke et al. (1997) sowie Tempelmeier (1995).

dezentralen, jeweils nur ein Produktionssegment erfassenden Betrachtungsweise, muß in dieser Planungsebene auf segmentspezifische Gegebenheiten Rücksicht genommen werden.

- *Segmentspezifische Feinplanung*: Die unterste Ebene ist die Feinplanung, die auf das jeweilige Organisationsprinzip innerhalb eines Produktionssegments zugeschnitten ist. Sie spiegelt die jeweiligen Organisations-, Layout-, Materialfluß- und technischen Bedingungen des betrachteten Fertigungsausschnitts wider. Einzelne Arbeitsgänge, die zur Erledigung eines Fertigungsauftrags auszuführen sind, werden unmittelbar vorbereitet und veranlaßt. Das erfordert u.a. die genaue Bereitstellungsplanung für Material, Transporter, Werkzeuge, Personal usw. sowie bei produktionssynchroner Beschaffung Lieferabrufe an angeschlossene Zulieferer. Der Planungshorizont umfaßt i.a. nur wenige Tage, allenfalls Wochen. Ökonomische Zielsetzungen (Kostenminimierung usw.) sind hier zumeist nicht zu verfolgen, so daß nichtmonetäre Ziele (Minimierung der Durchlaufzeiten, Minimierung der Eckterminabweichungen usw.) hilfsweise heranzuziehen sind. Unmittelbar mit der Terminfeinplanung ist die Systemsteuerung verbunden; sie ist je nach Automatisierungsgrad der Produktion auszulegen. Es ist sicherzustellen, daß die erforderlichen Rückmeldungen durch die Betriebsdatenerfassung über den Produktionsfortschritt und die Kapazitätsverfügbarkeiten zeitgerecht und verläßlich bereitstehen.

In Abschnitt 6 formulieren wir ein Modell zur Integration der vorbeugenden Instandhaltung und von Eilaufträgen in die detaillierte Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung für das Produktionssegment Fließfertigung. Eine Diskussion der Übertragbarkeit dieser Modellierungsidee für weitere Produktionssegmente findet sich in Abschnitt 8.

3 Begriff, Bedeutung und Daten der Instandhaltung

Unter Instandhaltung³ subsummiert man die Gesamtheit aller Planungs-, Durchführungs- und Kontrollmaßnahmen zur Wiederherstellung, Sicherung und Verbesserung der Funktionsfähigkeit von Anlagen(-teilen).⁴ Dazu gehört neben der Wartung auch die Inspektion in Form regelmäßiger Überprüfung und schließlich die störungsbedingte oder geplante Instandsetzung durch Erneuerung bei Ausfall.

Da sich alle Maßnahmen in ihrer Wirkung gegenseitig beeinflussen, müßte prinzipiell eine simultane Optimierung vorgenommen werden. Angesichts der Komplexität potentieller Entscheidungsmodelle,⁵ der Unsicherheit der Daten usw. werden meist jedoch nur

³ Vgl. hierzu insbesondere Herzig (1979), Männel (1971), Scheer (1979), Schwinn (1996), Warnecke/Sihn (1996), Dekker et al. (1992) sowie Dekker (1995).

⁴ Zur (industriellen) Anlagenwirtschaft vgl. z.B. Seicht (1994) und Männel (1996).

⁵ Ein Überblick über Instandhaltungsmodelle ist z.B. in Bosch/Jensen (1983) zu finden.

einzelne Maßnahmen untersucht. Häufig führt man, unter Verwendung geeigneter Softwarepakete, Simulationsstudien durch.⁶

Moderne Fertigungsanlagen sind durch einen zunehmend komplizierter werdenden technologischen Aufbau gekennzeichnet. Gleichzeitig sind sie - von der Beschaffung über die Produktion bis zur Distribution - i.d.R. Bestandteil eines größeren Anlagenverbundes. Der Ausfall einer Anlagenkomponente kann den Stillstand eines gesamten Komplexes von Fertigungseinheiten zur Folge haben, mit unerwünschten Folgen für Durchlaufzeiten, Liefertermine usw.⁷ Angesichts der in den letzten Jahren drastisch reduzierten Kapazitäten wächst die Bedeutung dieses Tatbestandes.

Vor allem die vorbeugende Instandhaltung bietet die Möglichkeit, die skizzierten negativen Konsequenzen durch geeignete Maßnahmen zu vermeiden. Grundlegende Daten der vorbeugenden Instandhaltung sind Ausfall- und Reparaturzeitverteilungen der Verschleißteile von Anlagen. Zielsetzung vorbeugender Maßnahmen ist es, verschleißabhängige Komponenten vor ihrem technischen Ausfall zu ersetzen. Derartige Maßnahmen setzen voraus, daß Informationen über die technische Laufzeit von Anlagen verfügbar sind. Darüber hinaus werden Informationen über die mit der Instandhaltung verbundenen Kosten benötigt. Dazu gehören neben Material- und Arbeitskosten vor allem auch die durch einen Anlagenstillstand bedingten Opportunitätskosten.⁸

Durch Abwägung der mit einer bestimmten Instandhaltungsstrategie verbundenen Kosten (Opportunitätskosten etc.) mit dem dadurch erreichbaren Nutzen (Kundenzufriedenheit infolge Liefertermintreue usw.) läßt sich die durchschnittlich je Produktionsperiode ökonomisch sinnvoll anzusetzende Dauer für vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen ermitteln.

4 Produktion und Instandhaltung

Modelle der Instandhaltungsplanung verwenden u.a. einen Opportunitätskostensatz für die Stillstandszeiten während der Instandhaltungsmaßnahmen.⁹ Gleichzeitig steht erst als Ergebnis der Instandhaltungsplanung fest, in welchem zeitlichen Umfang die Anlagen produktiv genutzt werden können und inwieweit sie durch Maßnahmen der vorbeugenden Instandhaltung belegt sind. Davon hängt jedoch das Ergebnis der Produktionsprogrammplanung ganz wesentlich ab. Die Instandhaltungsplanung und die Produktionsplanung sind also an sich simultan durchzuführen. Für die Produktionsprogrammplanung bei gleichzeitiger Einbeziehung der Instandhaltung wurden einige Modelle entwickelt.¹⁰

⁶ Vgl. u.a. Bussmann/Mertens (1968), Männel (1990), Grabow (1986), Weingärtner (1988), Thomaßen et al. (1992) sowie Laczkovich (1996).

⁷ Zur wachsenden Bedeutung des "Entstörmanagements" vgl. Wildemann (1995).

⁸ Vgl. hierzu v.a. Scheer (1979).

⁹ Vgl. hierzu z.B. Scheer (1979) und Schwinn (1996).

¹⁰ Vgl. hierzu insbesondere Küpper (1974) und Scheer (1974).

Allerdings sind sie nicht dafür konzipiert, eine simultane Losgrößen- und Reihenfolgenplanung bei gleichzeitiger Berücksichtigung vorbeugender Instandhaltungsmaßnahmen durchzuführen, was vor allem bei Fließfertigung besonders wichtig ist. Ein hierfür geeignetes Modell wird in Abschnitt 6 vorgestellt.

Wie oben bereits angedeutet, werden derzeit mit der Einführung von *Lean Production* in großem Stile indirekte Bereiche wie z.B. der Instandhaltungsbereich aufgelöst.¹¹ Der Anlagenbediener hat dann die Betriebsbereitschaft eigenverantwortlich sicherzustellen und es ergibt sich für ihn die Notwendigkeit, grundlegende Instandhaltungsmaßnahmen selbst zu planen und durchzuführen. Das in der vorliegenden Arbeit vorgestellte Modell zur simultanen Instandhaltungs- und Produktionsplanung bei Fließfertigung liefert hierfür die erforderliche Unterstützung.

Weitere Beziehungen zwischen Instandhaltungs- und Produktionsplanung bestehen auch bei der Dimensionierung von Pufferlagern, vor allem im Rahmen verbundener Produktionssysteme. Auch durch die Bereitstellung von Reserveaggregaten wird ggf. die Zuverlässigkeit eines Produktionssystems erhöht. Auf beide Aspekte gehen wir im folgenden nicht weiter ein.

5 Eilaufträge und Produktionsplanung

Wie in der Einleitung bereits angedeutet, werden Eilaufträge bislang in der Literatur recht stiefmütterlich behandelt.¹² Im Gegensatz dazu ist es in der Praxis an der Tagesordnung, daß vom PPS-System¹³ vorgeschlagene, anschließend überarbeitete und schließlich als verbindliche Vorgabe verabschiedete Pläne zugunsten von "Chefaufträgen" in den Papierkorb geworfen werden.

Dies verwundert vor allem deshalb, weil zahlreiche Unternehmen derzeit große Summen in Standardsoftware investieren - mit dem Ziel einer maschinellen Unterstützung bei der Auftragsbearbeitung¹⁴ und bei der Abwicklung von Geschäftsprozessen. Die Mißachtung von Plänen beim Vorziehen von Eilaufträgen steht natürlich in einem gewissen Widerspruch zu der mit der softwaregestützten "Geschäftsprozessoptimierung" intendierten kostengünstigen Abwicklung von "Routineaufgaben".

¹¹ Vgl. hierzu etwa Laczkovich (1996).

¹² Zu den wenigen Autoren, bei denen das Stichwort "Eilauftrag" überhaupt vorkommt, gehören Günther/Tempelmeier (1995, S. 212). Sie weisen auf die Notwendigkeit und die Möglichkeit hin, Eilaufträge im Anschluß an die kapazitätsorientierte Losgrößenplanung bei der Ressourceneinsatzplanung einzubeziehen. Details, gar ein Modell zur Entscheidungsunterstützung, sucht man jedoch auch hier vergeblich.

¹³ Zu konventionellen ergebnisorientierten Systemen der Produktionsplanung und -steuerung (PPS-Systeme) vgl. z.B. Zäpfel (1982), Corsten (1990), Fandel et al. (1994), Hahn / Laßmann (1989), Hansmann (1992), Hoitsch (1993), Kistner/Steven (1993), Mertens (1991), Glaser et al. (1992), Kurbel (1995) sowie Schneeweiß (1997). Zur Kritik an konventionellen PPS-Systemen sowie zu den konzeptionellen Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme vgl. vor allem Drexel et al. (1994).

Nachdenklich stimmt auch, daß nach Praktikeraussagen der prozentuale Anteil nicht geplanter Aufträge an der Gesamtheit aller Aufträge häufig vergleichsweise konstant ist, mithin die durchschnittliche Inanspruchnahme der Kapazität der Produktionsanlagen durch Eilaufträge eigentlich bekannt und damit planerisch "in den Griff zu bekommen" ist.

An dieser Stelle setzen unsere weiteren Überlegungen an: Im folgenden Abschnitt wenden wir uns der Frage zu, wie sich geplante Maßnahmen der vorbeugenden Instandhaltung sowie die bekannte durchschnittliche Inanspruchnahme der Kapazität der Produktionsanlagen durch Eilaufträge bei der Produktionsplanung geeignet berücksichtigen bzw. antizipieren lassen.

6 Vorbeugende Instandhaltung und Eilaufträge bei Fließfertigung

Bei Fließfertigung werden zahlreiche Arbeitsgänge auf Produktionslinien zusammengefaßt. Jede Linie stellt eine als Ganzes zu verplanende Ressourceneinheit dar. Die Anzahl der Produktionsstufen ist daher in einem solchen Segment gering. Auf den Linien werden Standardprodukte gefertigt, wobei i.d.R. wenigen Linien eine große Zahl von Produktvarianten gegenübersteht. Auf einer Linie sind daher zahlreiche Produktwechsel notwendig, die erhebliche Rüstzeiten und -kosten verursachen können. Der Losgrößenplanung kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu.¹⁵ In dieser Situation ist die zentrale Frage die nach einer geeigneten Belegung der Linien. Die Terminfeinplanung muß daher einen Belegungsplan ermitteln, der für jede Linie die Produktreihenfolge, die jeweilige Produktionsmenge und die zeitliche Zuordnung enthält, also eine simultane Planung der Losgrößen und der Ressourcenbelegung bei gleichzeitiger Berücksichtigung vorbeugender Instandhaltung sowie von Eilaufträgen vornimmt. Dies erlauben Modelle mit zeitlichem Feinraster.

Ein derartiges Modell der Losgrößen- und Reihenfolgeplanung unter Einbeziehung von Eilaufträgen und vorbeugender Instandhaltung läßt sich auf der Basis folgender Annahmen und Bezeichnungen formulieren:

T : Menge von Produktionsperioden ($|T|$ = Planungshorizont)

J : Menge der auf einer Anlage zu fertigenden Produkte

d_{jt} : externe Nachfrage nach Produkt $j \in J$ in Periode $t \in T$

p_j : Bearbeitungszeit für die Herstellung einer Einheit von Produkt $j \in J$ (Umrüsten der Anlage nur zu Beginn einer Periode möglich)

h_j : Lagerhaltungskosten pro Periode für eine Einheit von Produkt $j \in J$

¹⁴ Siehe hierzu insbesondere Knolmayer (1996); vgl. auch Raufeisen (1997).

¹⁵ Fertigt eine Linie lediglich ein oder wenige "Renner-Produkte", so ist eine Steuerung nach dem JIT-Prinzip sinnvoll; vgl. hierzu auch Abschnitt 8.

s_j : Rüstkosten der Anlage für Produkt $j \in J$

Π : Menge an Periodenteilmengen

$\mathcal{P}(\pi)$: π -te Periodenteilmenge, in der die Anlage verfügbar ist, mit $\pi \in \Pi$ und $1 \leq |\mathcal{P}(\pi)| \leq |T|$

κ_π : Kapazität der Anlage innerhalb der Periodenteilmenge $\mathcal{P}(\pi)$

Als Zielsetzung werde verfolgt, die Summe aus Rüst- und Lagerhaltungskosten zu minimieren. Unter Verwendung der Entscheidungsvariablen

I_{jt} : Lagerbestand von Produkt $j \in J$ am Ende von Periode $t \in T$

q_{jt} : von Produkt $j \in J$ in Periode $t \in T$ hergestellte Menge

x_{jt} : kontinuierliche Rüstvariable; $x_{jt} > 0$ bedeutet, daß die Anlage für Produkt $j \in J$ in Periode $t \in T$ gerüstet wird ($x_{jt} = 0$, sonst)

y_{jt} : binäre Rüstzustandsvariable; $y_{jt} = 1$ bedeutet, daß die Anlage für Produkt $j \in J$ in Periode $t \in T$ gerüstet ist ($y_{jt} = 0$, sonst)

erhalten wir die Modellformulierung (1)-(6).

$$\min \quad \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} s_j x_{jt} + h_j I_{jt} \quad (1)$$

unter Beachtung der Nebenbedingungen

$$I_{jt} = I_{j,t-1} + y_{jt} p_j - d_{jt} \quad (j \in J, t \in T) \quad (2)$$

$$x_{jt} - y_{jt} + y_{j,t-1} \geq 0 \quad (j \in J, t \in T) \quad (3)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in \mathcal{P}(\pi)} y_{jt} \leq \kappa_\pi \quad (\pi \in \Pi) \quad (4)$$

$$y_{jt} \in \{0, 1\} \quad (j \in J, t \in T) \quad (5)$$

$$I_{jt}, q_{jt}, x_{jt} \geq 0 \quad (j \in J, t \in T) \quad (6)$$

Zur Erläuterung:¹⁶ Die Zielfunktion (1) minimiert die Summe aus Rüst- und Lagerhaltungskosten für alle Produkte während des Planungszeitraumes. Nebenbedingung (2) entspricht den Lagerbilanzgleichungen. Die Nebenbedingungen (3) koppeln die Rüstzustands- und die Rüstvorgangsvariablen. In (4) werden die Kapazitätsbeschränkungen formuliert. Der Initillagerbestand I_{j0} sei gleich Null, y_{j0} sei gleich Null und y_{jT} beliebig.

¹⁶ Die Wirkungsmechanismen des Modells, insbesondere die Funktionsweise der Restriktionen (4), werden in Abschnitt 7 mit Hilfe von Beispielen verdeutlicht.

Das Modell (1)-(6) gehört zur Klasse der dynamischen, kapazitätsbeschränkten Mehrprodukt-Losgrößen- und Reihenfolgeprobleme.¹⁷ Es ist eine Verallgemeinerung des Discrete Lotsizing and Scheduling Problem (DLSP),¹⁸ das wir im folgenden mit DLSP/ π bezeichnen werden.

7 Beispielhafte Ergebnisse

Zur Verdeutlichung der vielseitigen Anwendbarkeit des DLSP/ π wollen wir nun ein einfaches Losgrößen- und Ablaufplanungsproblem betrachten. An einer Engpaßmaschine werden drei Produkte gefertigt, die wir mit $j = 1, \dots, 3$ bezeichnen. Es ist ein kostenminimaler Produktionsplan für die nächsten vier Wochen zu erstellen. Eine Woche ist in fünf Perioden (Arbeitstage) unterteilt, so daß wir als Planungshorizont $|T| = 20$ erhalten.

Um eine gezielte Abstimmung mit vor- und nachgelagerten Produktionsstufen zu gewährleisten, ist es erforderlich, daß ein einmal aufgelegtes Produkt innerhalb einer Periode durchgehend produziert wird. Zur Vereinfachung werden daher die Bedarfe in der Anzahl der erforderlichen Produktionsperioden gemessen. Somit gilt $p_j = 1$ für $j = 1, \dots, 3$. Die Produkte werden grundsätzlich am Wochenende ausgeliefert; d.h. am Ende der Perioden $t = 5, 10, 15$ bzw. 20 . Dieser Zusammenhang spiegelt sich in der Nachfrage-matrix der Tabelle 1 wieder. Die Lagerkosten pro Periode und die Rüstkosten der Produkte $j = 1, \dots, 3$ seien $h_j = (1, 1, 1)$ bzw. $s_j = (25, 30, 20)$.

Tabelle 1: Externe Nachfragen¹⁹

t	5	10	15	20
$j = 1$	2	1	1	2
$j = 2$	2	1	1	0
$j = 3$	0	1	1	1

Definieren wir die Verfügbarkeit der Anlage in (einelementigen) Periodenteilmengen $\pi = 1, \dots, 20$ wie in Tabelle 2,²⁰ so erhalten wir die Standardformulierung des DLSP. Die

¹⁷ Vgl. zur Losgrößen- und Reihenfolgeplanung (ohne Berücksichtigung von Eilaufträgen und vorbeugender Instandhaltung) auch Adam (1963), Cattrysse et al. (1993), Dinkelbach (1964), Drexl/Haase (1995, 1996), Drexl et al. (1995), Haase (1994), Haase/Kimms (1996), Jordan (1996), Jordan/Drexl (1997), Kimms (1997) sowie Salomon et al. (1991, 1994).

¹⁸ Vgl. hierzu vor allem Fleischmann (1990, 1994).

¹⁹ Die Nachfragen in den Perioden 1 bis 4, 6 bis 9, 11 bis 14 und 16 bis 19 seien gleich Null.

²⁰ Zur Vereinfachung der Notation lassen wir in Tabelle 2 die Mengenklammern bei den Periodenteilmengen weg.

zugehörige Optimallösung²¹ mit dem Zielfunktionswert von 162 Geldeinheiten zeigt Tabelle 3, und zwar durch Wiedergabe der binären Rüstzustandsvariablen y_{jt} .

Tabelle 2: Verfügbarkeit der Anlage

π	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\mathcal{P}(\pi)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
\mathcal{K}_π	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabelle 3: Optimallösung y_{jt} des DLSP

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$j = 1$	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
$j = 2$	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$j = 3$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Nehmen wir nun an, der Vertrieb teile kurzfristig mit, daß zur Sicherung eines bestimmten Kundenauftrages Produkt $j=3$ auf jeden Fall in der 1. Woche mit einer Tagesproduktionsmenge einzuplanen sei. Der optimale Produktionsplan aus Tabelle 3 ist dann nicht mehr umsetzbar, da die gesamte Kapazität der Perioden $t = 1$ bis $t = 5$ bereits vollständig verplant wurde.

Um derartige (in der Praxis häufig auftretende) Probleme künftig zu vermeiden, wird es als sinnvoll angesehen, grundsätzlich die Kapazität eine Periode (d.h. einen Tag) pro Woche freizuhalten. Um dies zu erreichen, könnte man beispielsweise $\mathcal{K}_\pi = 0$ für $\pi = 5, 10, 15$ und 20 fordern. Dies würde aber einer starren a priori Festlegung entsprechen, die einer flexiblen und ökonomisch sinnvollen Losbildung entgegensteht.

Ausreichend ist es, nur eine Periode pro Woche zu reservieren, ohne im voraus genau festzulegen, welcher Tag das genau sein soll. Hier kommt nun das Konzept partiell erneuerbaren Ressourcen zum Tragen. Ergänzen wir die Verfügbarkeit der Anlage wie in Tabelle 4 angegeben, so wird mindestens eine Periode pro Woche freigehalten.

Die zugehörige Optimallösung ist in Tabelle 5 wiedergegeben. Auch sie hat einen Zielfunktionswert von 162 Geldeinheiten. Dem optimalen Produktionsplan ist zu entnehmen, daß nunmehr die Kapazität der Periode $t = 1$, abweichend von Tabelle 3, für Eilaufträge reserviert ist.

²¹ Die folgenden Beispielinstanzen des Modells (1)-(6) wurden mit Hilfe der Standardsoftware CPLEX zur gemischt-ganzzahligen Programmierung gelöst.

Tabelle 4: Verfügbarkeit der Anlage – Eilauftrag

π	21	22	23	24
$\mathcal{P}(\pi)$	{1,...,5}	{6,...,10}	{11,...,15}	{16,...,20}
\mathcal{K}_π	4	4	4	4

Tabelle 5: Optimallösung y_{jt} des DLSP/ π – Eilauftrag

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$j = 1$	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
$j = 2$	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$j = 3$	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

Wir wollen nun annehmen, daß die Engpaßanlage im Durchschnitt alle 10 Perioden einmal zu warten ist. Durch eine Wartung geht der Rüstzustand verloren, so daß zur Vermeidung erheblicher zusätzlicher Rüst- und Lagerhaltungskosten die Wartung einen Tag früher durchgeführt werden darf. Dieser Sachverhalt kann durch die Definition der Verfügbarkeit der Anlage wie in Tabelle 6 angegeben berücksichtigt werden.²²

Die zugehörige Optimallösung ist Tabelle 7 zu entnehmen. Sie hat einen Zielfunktionswert von 164 Geldeinheiten. Abweichend von Tabelle 5 ist die Periode $t = 9$ nunmehr für Wartung reserviert.

Tabelle 6: Verfügbarkeit der Anlage – Eilauftrag und Instandhaltung

π	21	22	23	24	25	26
$\mathcal{P}(\pi)$	{1,...,5}	{6,...,9}	{10,...,15}	{16,...,19}	{9,10}	{19,20}
\mathcal{K}_π	4	3	4	3	1	1

Tabelle 7: Optimallösung y_{jt} des DLSP/ π – Eilauftrag und Instandhaltung

t	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$j = 1$	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
$j = 2$	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$j = 3$	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0

²² Dies Beispiel verdeutlicht, daß die Anlage in verschiedenen Periodenteilmengen mit unterschiedlichen Beschränkungen zur Verfügung steht. Die Anlage wird deshalb auch als "partiell erneuerbare Ressource" bezeichnet; vgl. Böttcher et al. (1996).

8 Übertragbarkeit auf weitere Produktionssegmente

Im folgenden diskutieren wir die Übertragbarkeit der in Abschnitt 6 vorgestellten Modellierungsidee und deren Relevanz auf die Produktionssegmente Einzelfertigung, Werkstattfertigung, Zentrenfertigung sowie JIT-Organisation.

- *Einzelfertigung*: Hier werden individuelle Produkte als Einzelstücke oder in geringen Stückzahlen nach kundenzpezifischen Anforderungen gefertigt. Ausgangspunkt sind die bereits vorliegenden sowie ggf. auch die kurzfristig erwarteten Kundenaufträge. Die detaillierte Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung und die segmentspezifische Terminfeinplanung werden hier zusammengefaßt zur detaillierten Belegungsplanung von Montageressourcen. Die Losgrößenplanung ist Bestandteil vorgelagerter Produktionsstufen. Ergebnis sind die Freigabetermine von Aufträgen. Von besonderer Bedeutung ist die starke (horizontale) Verflechtung²³ mit dem Modul Werkstattfertigung: Die für die Fertigung (Montage) von Kundenaufträgen benötigten Komponenten müssen im Hinblick auf die Ecktermine der Montage termingerecht in der Werkstatt gefertigt werden. Probleme der Losbildung betreffen diesbezüglich also die konventionelle Fertigung. Das Problem der Terminplanung für Aufträge kann als Multi-Projektplanungsproblem unter Berücksichtigung multipler Ressourcen betrachtet werden. Basis sind Modelle und Methoden der Kapazitätsplanung in Netzwerken.²⁴ Eine entsprechende Verallgemeinerung eines klassischen Modells der Netzplantechnik findet man in Böttcher et al. (1996).
- *Werkstattfertigung*: In einem Segment mit Werkstattorganisation sind i.d.R. zahlreiche Erzeugnisse mit unterschiedlichen mehrstufigen Arbeitsgangfolgen zu bearbeiten, die über komplexe Erzeugnisstrukturen voneinander abhängig sind. In dieser Situation lassen sich die Funktionen der detaillierten Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung (Sekundärbedarfsplanung, Planung der Fertigungsaufträge, Terminierung nach Arbeitsgängen, Terminfeinplanung und -steuerung) nach dem heutigen Stand nicht simultan durchführen. Die beiden ersten Funktionen sind aber in jedem Fall gemeinsam zu erfüllen.²⁵ Als Modelle kommen dafür grundsätzlich solche vom Typ des Capacitated Lot-Sizing Problem in Frage.²⁶ Entsprechende Verallgemeinerungen zur Einbeziehung vorbeugender Instandhaltung und von Eilaufträgen sind möglich und sollten durchgeführt werden.

²³ Vgl. zur vertikalen Integration z.B. Picot/Franck (1993).

²⁴ Vgl. z.B. Drexel (1991), Kolisch (1995), Kolisch/Drexel (1996), Kolisch et al. (1995), Sprecher (1994) sowie Sprecher/Drexel (1997).

²⁵ Vgl. Drexel et al. (1994).

²⁶ Vgl. z.B. Diaby et al. (1992), Helber (1994), Tempelmeier/Helber (1994) sowie Derstroff (1995).

- *Produktionszentren*: Sie sind - je nach Automatisierungsgrad - für die Komplettbearbeitung von Erzeugnissen einer Teilefamilie geeignet. Sie weisen daher im Vergleich zu anderen Produktionssegmenten einen höheren Autonomiegrad auf. Dabei liegt in der Praxis ggf. die Situation vor, daß eine weiterhin bestehende konventionelle Werkstattfertigung alternativ eingesetzt werden kann. Bereits in der übergeordneten Hauptproduktionsprogrammplanung ist i.d.R. zu berücksichtigen, daß aufgrund der größeren Ähnlichkeit der in einem Produktionszentrum gefertigten Erzeugnisse bei geeigneter Auftragseinlastung geringere Rüstzeitverluste entstehen. Dies gilt sowohl für nicht-automatisierte Fertigungsinseln als auch für automatisierte flexible Fertigungssysteme.²⁷ Entsprechende Verallgemeinerungen zur Einbeziehung vorbeugender Instandhaltung und von Eilaufträgen sind möglich und sollten durchgeführt werden.
- *JIT-Organisation*: Die Detailplanung und -steuerung eines Segments nach dem JIT-Prinzip ist unter folgenden Voraussetzungen sinnvoll:²⁸ Das Segment ist nach dem Fließprinzip organisiert, die Durchlaufzeiten durch das Segment sind gering. Es werden wenige Standard-Produkte in großer Stückzahl gefertigt, bei Produktwechsel treten kaum Rüstzeiten oder -kosten auf. Die Erzeugnisstruktur innerhalb des Segments ist linear oder konvergierend. Der Bedarf pro Produkt unterliegt nur geringen zeitlichen Schwankungen. Die Vorteile eines JIT-Segments kommen nur zum Tragen, wenn es sich bis zur Auslieferung erstreckt; es kann aber evtl. von vorgelegerten, anders gesteuerten Segmenten bedient werden. Entsprechende Verallgemeinerungen zur Einbeziehung vorbeugender Instandhaltung und von Eilaufträgen sind möglich und sollten durchgeführt werden.

Zusammenfassung

In der Literatur hat bislang die Behandlung von Eilaufträgen keine sonderliche Beachtung gefunden, dafür ist jedoch das Vorziehen nicht vorhergesehener Aufträge mit großer Dringlichkeit ("Chefaufträge") für Praktiker besonders relevant. Ähnlich "unterbelichtet" ist der Zusammenhang von vorbeugender Instandhaltung und kurzfristiger Produktionsplanung. Die vorliegende Arbeit soll diese Lücke schließen.

Summary

So far rush orders have not been the subject of interest in literature. In practice, however, rush orders are of high relevance. Similarly, the interferences of preventive maintenance and operational production scheduling have not been studied intensively in the past. The current paper closes this gap.

²⁷ Vgl. v.a. Tempelmeier/Kuhn (1992).

²⁸ Vgl. Wildemann (1990).

Literaturverzeichnis

- Adam, D. (1963): Simultane Ablauf- und Programmplanung bei Sortenfertigung mit ganzzahliger linearer Programmierung. Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 33, S. 233-245.
- Böttcher, J./Drexl, A./Kolisch, R./ Salewski, F. (1996): Project scheduling under partially renewable resource constraints. Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel Nr. 398.
- Bosch, K./Jensen, U. (1983): Instandhaltungsmodelle - Eine Übersicht. OR Spektrum, Bd. 5, S. 105-118, S. 129-148.
- Bussmann, K./Mertens, P. (Hrsg.)(1968): Operations Research und Datenverarbeitung bei der Instandhaltung. Stuttgart, S. 31-40.
- Cattrysse, D./Salomon, M./Kuik, R./Van Wassenhove, L.N. (1993): A dual ascent and column generation heuristic for the discrete lotsizing and scheduling problem with setup times. Management Science, Vol. 39, S. 477-486.
- Corsten, H. (1990): Produktionswirtschaft - Einführung in das industrielle Produktionsmanagement. München-Wien.
- Dekker, R. (1995): Integrating optimisation, priority setting, planning and combining of maintenance activities. European J. of Operational Research, Vol. 82, S. 225-240.
- Dekker, R./Smit, A./Losekoot, J. (1992): Combining maintenance activities in an operational planning phase: a set-partitioning approach. IMA J. of Mathematics Applied in Business & Industry, Vol. 3, S. 315-331.
- Derstroff, M.C. (1995): Mehrstufige Losgrößenplanung mit Kapazitätsbeschränkungen. Physica, Heidelberg.
- Diaby, M./Bahl, H.C./Karwan, M.H./Zionts, S. (1992): A Lagrangean relaxation approach for very-large-scale capacitated lot-sizing. Management Science, Vol. 38, S. 1329-1340.
- Dinkelbach, W. (1964): Zum Problem der Produktionsplanung in Ein- und Mehrproduktunternehmen. Würzburg-Wien.
- Domschke, W./Scholl, A./Voß, S. (1997): Produktionsplanung - Ablauforganisatorische Aspekte. 2. Aufl., Springer, Berlin.
- Drexl, A. (1991): Scheduling of project networks by job assignment. Management Science, Vol. 37, S. 1590-1602.
- Drexl, A. (1996): Stichwort "Terminfeinplanung". in: Kern, W. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Poeschel, Stuttgart, Sp. 2050-2060.
- Drexl, A./Fleischmann, B./Günther, H.-O./Stadtler, H./Tempelmeier, H. (1994): Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme. Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Jg. 46, S. 1022-1045.
- Drexl, A./Haase, K. (1995): Proportional lotsizing and scheduling. International J. of Production Economics, Vol. 40, S. 73-87.
- Drexl, A./Haase, K. (1996): Sequential-analysis-based randomized-regret-methods for lot-sizing and scheduling. J. of the Operational Research Society, Vol. 47, S. 251-265.
- Drexl, A./Haase, K./Kimms, A. (1995): Losgrößen- und Ablaufplanung in PPS-Systemen auf der Basis randomisierter Opportunitätskosten. Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 65, S. 267-285.
- Fandel, G./François, P./Gubitz, K.-M. (1994): PPS-Systeme. Springer, Berlin.
- Fleischmann, B. (1990): The discrete lot-sizing and scheduling problem. European J. of Operational Research, Vol. 44, S. 337-348.

- Fleischmann, B. (1994): The discrete lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent setup costs. *European J. of Operational Research*, Vol. 75, S. 395-404.
- Glaser, H./Geiger, W./Rohde, V. (1992): PPS - Produktionsplanung und -steuerung: Grundlagen - Konzepte - Anwendungen. 2. Aufl., Wiesbaden.
- Grabow, B. (1986): Betriebliche Instandhaltung und Simulation. Hain, Meisenheim.
- Günther, H.-O./Tempelmeier, H. (1995): Produktion und Logistik. 2. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Haase, K. (1994): Lotsizing and scheduling for production planning. Springer, Berlin u.a.
- Haase, K./Kimms, A. (1996): Lot sizing and scheduling with sequence dependent setup costs and times and efficient rescheduling opportunities. Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel Nr. 393.
- Hahn, D./Laßmann, G. (Hrsg.) (1989): Produktionswirtschaft - Controlling industrieller Produktion, Band 2, Heidelberg.
- Hansmann, K.-W. (1992): Industrielles Management. 3. Aufl., München-Wien.
- Helber, S. (1994): Kapazitätsorientierte Losgrößenplanung in PPS-Systemen. Schäffer-Poeschel, Stuttgart.
- Herzig, N. (1979): Stichwort "Instandhaltung, Grundlagen der". In: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Poeschel, Stuttgart, Sp. 814-823.
- Hoitsch, H.-J. (1993): Produktionswirtschaft - Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre. 2. Aufl., Vahlen, München.
- Jordan, C. (1996): Batchung and scheduling - Models and methods for several problem classes. Springer, Berlin u.a.
- Jordan, C./Drexel, A. (1997): Discrete lotsizing and scheduling by batch sequencing. Erscheint in *Management Science*.
- Kimms, A. (1997): Multi-level lot sizing and scheduling - Methods for capacitated, dynamic, and deterministic models. Physica, Heidelberg.
- Kistner, K.-P./Steven, M. (1993): Produktionsplanung. 2. Aufl., Physica, Heidelberg.
- Knolmayer, G. (1996): Stichwort "Auftragsbearbeitung", in: Kern, W. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Poeschel, Stuttgart, Sp. 183-194.
- Kolisch, R. (1995): Project scheduling under resource constraints - Efficient heuristics for several problem classes. Physica, Heidelberg.
- Kolisch, R./Drexel, A. (1996): Adaptive search for solving hard project scheduling problems. *Naval Research Logistics*, Vol. 43, S. 23-40.
- Kolisch, R./Sprecher, A./Drexel, A. (1995): Characterization and generation of a general class of resource-constrained project scheduling problems. *Management Science*, Vol. 41, S. 1693-1703.
- Küpper, W. (1974): Planung der Instandhaltung. Gabler, Wiesbaden.
- Kuhn, H. (1996): Simultane Planung der Produktions- und Instandhaltungspotentiale, in: Kleinschmidt, P. et al. (Hrsg.): *Operations Research Proceedings 1995*, Springer, Berlin u.a., S. 382-387.
- Kurbel, K. (1995): Produktionsplanung und -steuerung. 2. Aufl., Oldenbourg, München-Wien.
- Laczkovich, R.R. (1996): Stichwort "Expertensysteme für die Instandhaltung", in: Kern, W. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Poeschel, Stuttgart, Sp. 407-416.
- Männel, W. (1971): Vorbeugende Instandhaltung. Frankfurt/M. u.a.
- Männel, W. (1990): Moderne Software-Lösungen für die Instandhaltung. Köln.

- Männel, W. (1996): Stichwort "Anlagenwirtschaft", in: Kern, W. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Poeschel, Stuttgart, Sp. 72-87.
- Mertens, P. (1991): Integrierte Informationsverarbeitung, Band 1: Administrations- und Dispositionssysteme in der Industrie. 8. Aufl., Wiesbaden.
- Picot, A./Franck, E. (1993): Vertikale Integration; in: Hauschildt, J./Grün, O. (Hrsg.): Ergebnisse empirischer betriebswirtschaftlicher Forschung. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, S. 179-219.
- Raufeisen, M. (1997): Komplexitätsreduktion in der Auftragsabwicklung. Zeitschrift für Betriebswirtschaft, Jg. 67, S. 125-149.
- Salomon, M./Kroon, L.G./Kuik, R./Van Wassenhove, L.N. (1991): Some extensions of the discrete lotsizing and scheduling problem. Management Science, Vol. 37, S. 801-812.
- Salomon, M./Solomon, M.M./Van Wassenhove, L.N./Dumas, Y./Dauzère-Pérès, S. (1994): Discrete lotsizing and scheduling with sequence dependent setup times and setup costs. Working Paper, Rotterdam School of Management 1994.
- Scheer, A.-W. (1974): Instandhaltungspolitik. Gabler, Wiesbaden.
- Scheer, A.-W. (1979): Stichwort "Instandhaltung, strategische Modelle zur". In: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Poeschel, Stuttgart, Sp. 823-838.
- Schneeweiß, Chr. (1997): Einführung in die Produktionswirtschaft. 6. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Schwinn, R. (1996): Stichwort "Instandhaltung, Modelle zur", in: Kern, W. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Poeschel, Stuttgart, Sp. 758-768.
- Seicht, G. (1994): Industrielle Anlagenwirtschaft, in: Schweitzer, M. (Hrsg.): Industriebetriebslehre, Vahlen, München, S. 327-445.
- Sprecher, A. (1994): Resource-constrained project scheduling - Exact methods for the multi-mode case. Springer, Berlin u.a.
- Sprecher, A./Drexl, A. (1997): Solving multi-mode resource-constrained project scheduling problems by a simple, general and powerful sequencing algorithm. Erscheint in European Journal of Operational Research.
- Tempelmeier, H. (1995): Material-Logistik - Grundlagen der Bedarfs- und Losgrößenplanung in PPS-Systemen. 3. Aufl., Springer, Berlin u.a.
- Tempelmeier, H./Helber, S. (1994): A heuristic for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing for general product structures. European J. of Operational Research, Vol. 75, S. 296-311.
- Tempelmeier, H./Kuhn, H. (1992): Flexible Fertigungssysteme. Springer, Berlin u.a.
- Thomaßen, V./Hammer, A./Kemmer, G.-A. et al. (1992): Marktspiegel Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssysteme. 2. Aufl., Köln.
- Warnecke, H.-J./Sihn, W. (1996): Stichwort "Instandhaltungsmanagement", in: Kern, W. et al. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Poeschel, Stuttgart, Sp. 768-785.
- Weingärtner, J. (1988): EDV-gestützte Instandhaltung. Berlin u.a.
- Wildemann, H. (1990): Das Just-In-Time-Konzept. 2. Aufl., gmft, München.
- Wildemann, H. (1995): Entstörmanagement in der Produktionsplanung und -steuerung. ZfB-Ergänzungsheft 2, S. 61-76.
- Zäpfel, G. (1982): Produktionswirtschaft - Operatives Produktions-Management. Berlin-New York.