

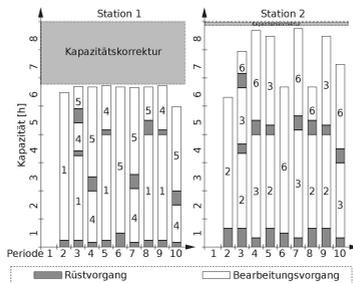


Maximilian Munniger (Autor)

Betrachtung der inhärenten Stochastizität durch das Scheduling in Verbindung mit der mehrstufigen Losbildung in einem hierarchischen Planungskonzept

Maximilian Munniger

Betrachtung der inhärenten Stochastizität durch das Scheduling in Verbindung mit der mehrstufigen Losbildung in einem hierarchischen Planungskonzept



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/8619>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentzsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Problemstellung

„Unter Produktionsplanung und -steuerung versteht man die räumliche, zeitliche und mengenmäßige Planung, Steuerung und Kontrolle des gesamten Geschehens im Produktionsbereich.“¹ Diese Planungen umfassen operative Entscheidungen, die in einem Produktionsbetrieb getroffen werden müssen, um einen möglichst effizienten Einsatz aller Ressourcen sicherzustellen. Das 1994 von Drexl et al. beschriebene Konzept der *Hierarchischen Produktionsplanung* stellt eine Systemarchitektur von aufeinanderfolgenden Entscheidungen dar, die einen Umgang mit extrem großen, betriebswirtschaftlich entscheidungsrelevanten Datenmengen ermöglicht.² Ein zentraler Bestandteil des Konzepts ist eine vertikale Schichtung der Planungsebenen, bei der die Entscheidung einer obenliegenden, aggregierten Entscheidungsebene die Restriktionen für darunterliegende, detailliertere Entscheidungen ergeben.³ In der Werkstattfertigung werden verschiedenste Erzeugnisse mit unterschiedlichen Arbeitsgangfolgen bearbeitet, die sowohl über komplexe Erzeugnisstrukturen miteinander verknüpft sein können, als auch um gemeinsame begrenzte Ressourcen konkurrieren können. Hier wird in der Planungsebene der *detaillierten Losgrößen- und Ressourceneinsatzplanung* eine gemeinsame Planung von Losgrößen und Fertigungsterminen unter Berücksichtigung der beschränkten Kapazitäten angestrebt.⁴

Dabei ist eine Minimierung von Rüst- und Lagerkosten über die gesamte, eventuell mehrstufige Erzeugnisstruktur das Ziel. Die Einhaltung der Kapazitätsbe-

¹Drexl et al., 1994, Seite 1022.

²vgl. ebenda.

³vgl. Hax und Meal, 1973.

⁴vgl. Drexl et al., 1994, Seite 1034.

schränkungen wird mit einem Abgleich des Kapazitätsangebotes und der addierten Bearbeitungs- und Rüstzeiten der einzelnen Erzeugnisse für die jeweiligen Produktionsressourcen sichergestellt. Dieses sogenannte *mehrstufige dynamische Mehrprodukt-Losgrößenproblem bei beschränkten Kapazitäten* hat periodenweise terminierte Fertigungsaufträge und -mengen für alle Erzeugnisse zum Ergebnis. Bei der Lösung dieser Probleme mit Modellen der linearen Optimierung – insbesondere sogenannten *Makroperiodenmodellen* – impliziert die Zuordnung der Fertigungsaufträge zu den Makroperioden keine genaue Produktionsreihenfolge, sondern lediglich eine Fertigung zu einem *beliebigen Zeitpunkt im Rahmen der Makroperiode*. Erst im folgenden Planungsschritt, dem *Scheduling*, werden die technisch vorgegebenen Reihenfolgebeziehungen zwischen den Produktionsschritten aufgelöst, um eine genaue Auftragsreihenfolge und damit einen präzisen Produktionsplan zu erhalten.⁵

Diese Reihenfolgebeziehungen können Wartezeiten verursachen, die spätere Fertigstellungszeitpunkte der Produktionsaufträge zur Folge haben, als in der Losgrößenplanung durch Addition der Bearbeitungs- und Rüstzeiten angenommen werden. Dies kann dazu führen, dass die Planungsebene der Losgrößenplanung der in der Hierarchie darunterliegenden Ebene des Scheduling einen Losgrößenplan mit unlösbaren Kapazitätsrestriktionen vorgibt.⁶

1.2 Zielsetzung und Abgrenzung der Arbeit

In der Werkstattfertigung wird das mehrstufige Mehrprodukt-Losgrößenproblem bei beschränkten Kapazitäten und genereller Erzeugnisstruktur aufgrund der Interdependenzen zwischen den Erzeugnissen zu einem komplexen Problem. Diese Losgrößenprobleme können mit Modellen der gemischt-ganzzahligen linearen Optimierung gelöst werden, um eine optimale Lösung zu erhalten. In der Literatur werden vor allem zwei Kategorien von Modellen unterschieden, mit denen das Losgrößenproblem beschrieben wird. Einer dieser zwei Ansätze ist die Verwendung sogenannter *Mikroperiodenmodelle*. Bei diesen Modellen wird der Planungszeitraum in Mikroperioden unterteilt, deren Periodenlänge so gewählt ist, dass höchstens ein Rüstvorgang und damit maximal die Produktion von zwei verschiedenen Erzeugnissen möglich ist. Durch die Vorverlagerung der Arbeitsgänge anhand ihrer technisch bedingten Reihenfolge um mindestens eine Mikroperiode wird in dieser Art Modell neben dem Losgrößenproblem simultan auch das Reihenfolgeproblem gelöst. Die Modellformu-

⁵vgl. zu diesem Absatz Tempelmeier, 2017, Kapitel A.

⁶vgl. zu diesem Absatz Almeder, Klabjan et al., 2015.

lierungen solcher Modelle enthalten typischerweise neben einer zusätzlichen Variablenmatrix zur Übertragung des Rüstzustandes auch durch die verkürzten Perioden insgesamt eine höhere Anzahl an Binärvariablen. Es entstehen zwar keine unlösbaren Scheduling-Probleme mehr, da dieser Planungsschritt bereits in dem Mikroperiodenmodell integriert gelöst wird. Aber aufgrund des zusätzlichen kombinatorischen Optimierungsproblems sind signifikant höhere Rechenzeiten für eine optimale Lösung zu erwarten, als dies bei der Kategorie der *Makroperiodenmodelle* der Fall ist. Diese zweite Modellkategorie ist durch eine größere Periodenlänge, in der mehr als ein Rüstvorgang und damit die Produktion von mehreren verschiedenen Erzeugnissen in einer Periode erlaubt ist, gekennzeichnet. Die Aufteilung des Problems in zwei Schritte, die Lösung des Losgrößenproblems und die anschließende Lösung des Reihenfolgeproblems sowie die geringere Anzahl an Makroperioden hat wesentlich geringere Rechenzeiten zur Folge.⁷ Da die tatsächliche Auftragsreihenfolge der einzelnen Lose innerhalb einer Makroperiode jedoch nicht festgelegt wird, ist hier der anschließende Planungsschritt des Scheduling nötig, bei dem das in Abschnitt 1.1 angeschnittene Abstimmungsproblem auftreten kann.^{8,9,10}

Das bedeutet zusammengefasst: Für eine simultane Lösung von Losgrößen- und Reihenfolgeproblemen können Mikroperiodenmodelle verwendet werden, wodurch keine unlösbaren Scheduling-Probleme mehr entstehen. Für eine praktische Anwendung sind die damit verbundenen sehr hohen Rechenzeiten bei praxisrelevanten Problemgrößen aber oftmals ein Ausschlusskriterium. Um die Berechnungsdauer geringer zu halten, können Makroperiodenmodelle mit einem anschließenden Scheduling verwendet werden, bei denen aber für das Scheduling unlösbare Kapazitätsrestriktionen entstehen können.

Um Ergebnisse innerhalb praxisrelevanter Rechenzeiten zu erhalten, beschäftigt sich diese Arbeit damit, mögliche Methoden für Makroperiodenmodelle speziell für das MLCLSP, zu untersuchen, mit denen die Auftrittshäufigkeiten der unlösbaren Scheduling-Restriktionen verringert werden können. Da eine sofortige Ermittlung und iterative Rückmeldung des tatsächlichen, durch die Reihenfolgebeziehungen erzeugten Kapazitätsmehrbedarfs einer Simultanlösung durch Mikroperiodenmodelle gleichkame, ist der grundlegende Ansatz, der in der vorliegenden Arbeit genauer untersucht wird, die *Abschätzung des Mehrbedarfs* in der Losgrößenplanung durch ein

⁷siehe Unterabschnitt 2.3.3 zum Rechenzeitvergleich MLCLSP und MLPLSP

⁸vgl. zu diesem Absatz Tempelmeier, 2017, Kapitel C.2.1.

⁹vgl. Almeder und Traxler, 2015, Seite 90.

¹⁰vgl. Kimms, 1997, Seite 31.

erweitertes Makroperiodenmodell. Dieser mit verschiedenen Methoden geschätzte Mehrbedarf soll in der Losgrößenplanung als Puffer dienen, um dem anschließenden Scheduling mehr Kapazitätsspielraum für die reihenfolgebedingten Wartezeiten zu geben. Entscheidend ist hierbei auch ein entsprechender Ausgleich zwischen angemessener Robustheit des Losgrößenplans gegenüber Mehrbelastungseffekten durch Reihenfolgebeziehungen und effizienter Nutzung des Kapazitätsangebotes.

1.3 Gliederung der Untersuchungen

Im folgenden Kapitel 2 wird detaillierter auf die hierarchische Produktionsplanung eingegangen, in deren Kontext die eigentliche Forschungsfrage gestellt wird. Speziell werden die betrachteten Ebenen der hierarchischen Produktionsplanung und die Gegebenheiten bei der Weitergabe von Daten zwischen den Ebenen dargestellt. Da das Problem der reihenfolgebedingten Wartezeiten im Scheduling bei der simultanen Lösung mit Mikroperiodenmodellen nicht auftritt, werden diese hier den Makroperiodenmodellen gegenübergestellt. Mit einem Rechenzeitvergleich in Unterabschnitt 2.3.3 wird gezeigt, dass die Lösung des Problems mit Makroperiodenmodellen nach deutlich kürzeren Rechenzeiten erreicht werden kann. Im anschließenden Kapitel 3 wird das Problem der reihenfolgebedingten Wartezeiten anhand eines Beispiels ausgearbeitet und beschrieben. Im Weiteren werden bisher existierende, jedoch teilweise unzureichende Lösungswege angeschnitten und daraus der Ansatz entwickelt, Kapazitätskorrekturfaktoren im Makroperiodenmodell MLCLSP einzuführen.

Der erste Hauptteil in Kapitel 4 beschreibt Simulationsstudien, die in einer für diese Arbeit implementierten Simulationsumgebung durchgeführt wurden. Zunächst werden dazu in Abschnitt 4.1 Verzögerungswerte in dieser Simulation gemessen, die anschließend in einem erweiterten MLCLSP mit Kapazitätskorrekturfaktoren verwendet werden. Die Ergebnisse dieses Vorgehens werden anhand eines einfachen und nachvollziehbaren Beispiels dargestellt. Abgeschlossen wird der erste Hauptteil mit der Beschreibung eines iterativen Vorgehens, bei dem die ermittelten Kapazitätskorrekturfaktoren in mehreren Simulationsläufen sukzessive verbessert werden.

Im zweiten Hauptteil in Kapitel 5 werden die Kapazitätskorrekturen zur robusteren Losgrößenplanung mit zwei verschiedenen Methoden *geschätzt*. Die erste Methode, in Abschnitt 5.1 beschrieben, ist hierbei eine Schätzung mit einem Ansatz aus der Warteschlangentheorie. Dabei wird eine Blockierwahrscheinlichkeit für Aufträge in stationären Warteschlangensystemen verwendet und auf das vorliegende deterministische Problem angewandt, um die benötigten Kapazitätskorrekturwer-

te zu ermitteln. In Abschnitt 5.2 wird ein Modell vorgestellt, in dem die Robustheit der Losgrößenplanung gegenüber reihenfolgebedingten Wartezeiten durch einen Modellparameter einstellbar ist, womit ein Ausgleich zwischen Kapazitätsnutzung und Verspätungen parametrierbar ist. Als zusätzliches Werkzeug wird eine Möglichkeit zur Berechnung der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Verspätungen in Abhängigkeit des Robustheitsparameters geboten. Eine Schlussbetrachtung in Kapitel 6 vergleicht alle diskutierten Methoden, grenzt die Lösungsvarianten von anderen Möglichkeiten ab und gibt einen Ausblick, wie die Forschung in diesem Bereich fortgeführt werden könnte.

Kapitel 2

Hierarchische Produktionsplanung

Die operative Produktionsplanung und -steuerung dient einer möglichst wirtschaftlichen Erreichung der produktpolitischen und strategischen Ziele eines produzierenden Unternehmens im Rahmen der verfügbaren Produktionssysteme. Mit Entscheidungen über das Produktionsprogramm für einen mittel- bis kurzfristigen Planungszeitraum wird der genaue Einsatz der vorhandenen Produktionsressourcen geplant. Die operativen Entscheidungen dienen der möglichst effizienten Verwendung der bereitgestellten Produktionsressourcen zur eigentlichen Produktion. Ergebnisse dieser Planungen sind der Ausgleich von saisonalen Schwankungen im Kapazitätsbedarf und -angebot, welche Produkte wann in welchen Mengen produziert werden sollen, welche Mengen an Verbrauchsfaktoren bereitzustellen sind und in welcher Form die Produktionsprozesse ablaufen sollen.¹¹

Von den Autoren Drexl et al. wurde 1994 in „Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme“ ein Konzept für die Strukturierung dieser operativen Produktionsplanung und -steuerung vorgeschlagen.¹² Darin wird der Ansatz von Hax und Meal (1973) weitergeführt, die Planungen in ein hierarchisches System einzelner Planungsschritte zu gliedern.¹³

2.1 Mehrstufige sukzessive Partialplanung

Totalplanungsmodelle, in denen ein großes Modell alle Fragen der operativen Produktionsplanung und -steuerung in einem Schritt lösen soll, wurden zwar immer wieder vorgeschlagen, jedoch wurde dieser Ansatz aufgrund der enormen Datenmengen

¹¹vgl. zu diesem Absatz Günther und Tempelmeier, 2014, Seiten 136 f.

¹²vgl. Drexl et al., 1994.

¹³vgl. Hax und Meal, 1973.

und der damit verbundenen unbeherrschbaren Rechenzeiten wieder verworfen. Neben den Rechenzeiten sind Totalmodelle aus einem weiteren Grund nicht praktikabel: Zum Zeitpunkt der Entscheidungen können nicht alle benötigten Informationen verfügbar sein, da weiter in der Zukunft liegende Daten immer ungenauer sind als solche, die in naher Zukunft liegen.^{14,15} So können langfristige Entscheidungen nicht simultan in einem Modell mit kurzfristigen Detailplanungen getroffen werden.

Aus diesen Gründen wurde der Ansatz von Hax und Meal (1973), die Planung in einzelne, gleichgestellte *Partialmodelle* aufzuteilen, aufgegriffen und durch verschiedenste Arbeiten, insbesondere die von Drexel et al. (1994), verfeinert und ausgearbeitet. Der Hauptgedanke ist hierbei die zeitliche und sachliche Aufspaltung des Problems in mehrere kleinere Teilprobleme. Die Lösung dieser einzelnen Partialprobleme ist mit wesentlich geringerem Aufwand zu erreichen als bei einem Totalplanungsansatz.¹⁶

Die Abstimmung der Partialmodelle untereinander findet durch *sukzessive Ausführung* statt. Dabei muss die nachfolgende Planung die Ergebnisse der vorher gelösten Modelle berücksichtigen. Das hat zur Folge, dass der Informationsfluss nur in eine Richtung stattfindet und Informationen aus nachfolgenden Partialmodellen unbeachtet bleiben oder nur grob geschätzt werden.¹⁷ Die untergeordnete Ebene hat demnach auch immer detailliertere Informationen zur Verfügung als die übergeordnete.¹⁸ In Buzacott et al. (2010) wird dieser Ansatz *sukzessive mehrstufige Partialplanung mit hierarchischer Koordination* genannt.

Die hierarchische Koordination der Partialmodelle findet in der Hierarchischen Produktionsplanung auf folgende drei verschiedene Arten statt:¹⁹

- Durch Aggregation. Jedes Modell kann die Realität nur in einem gewissen Umfang abbilden. In der Hierarchischen Produktionsplanung beschreibt jedes Planungsmodell auch nur einen gewissen, für die Entscheidung relevanten Ausschnitt. Je höher das Partialmodell in der Hierarchie liegt, desto aggregierter sind die betrachteten Daten und Entscheidungsvariablen.
- Durch zeitliche Strukturierung. Höhere Ebenen in der Hierarchie entscheiden eher über grundlegende Fragen in einem längeren Zeithorizont, während kurz-

¹⁴vgl. zu diesem Absatz Steven, 1994, Kapitel 1.2.1.2.

¹⁵vgl. zu diesem Absatz Buzacott et al., 2010.

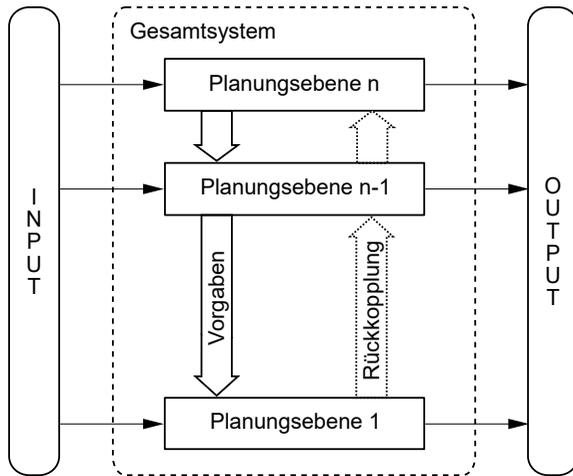
¹⁶vgl. Stadtler, 1988, Kapitel 2.4.

¹⁷vgl. zu diesem Absatz Steven, 1994, Kapitel 2.1.

¹⁸vgl. Buzacott et al., 2010.

¹⁹vgl. zu folgender Auflistung Steven, 1994, Seiten 25 f.

Abbildung 2.1 Grundstruktur eines hierarchischen Systems in Anlehnung an Steven (1994)



fristige Entscheidungen bezüglich der Planungsdetails in niedrigeren Ebenen der Hierarchie stattfinden.

- Nach Umfang der Entscheidung. In tieferen Hierarchieebenen sind die Entscheidungen im Umfang auf die Vorgaben der vorhergehenden Ebenen beschränkt, die einen gewissen Rahmen zur Entscheidungsfreiheit bereitstellen.

In jeder Form der Koordination müssen bei der Planung in einer unteren Planungsebene die Restriktionen, die durch die obere Ebene vorgegeben werden, aufgrund des *Weisungsrechts der oberen Ebene* unbedingt akzeptiert werden.²⁰

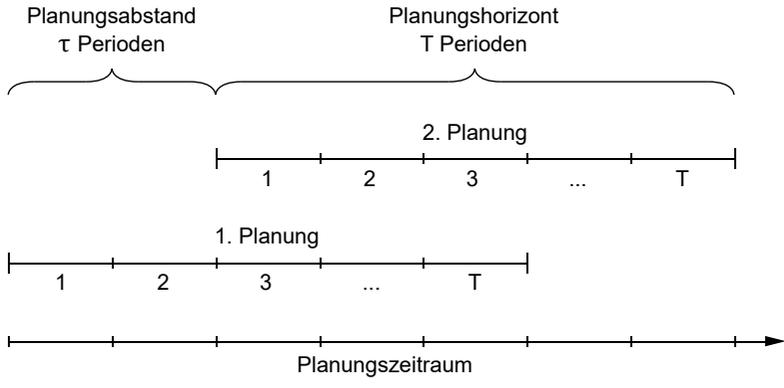
Ergebnisse der unteren Ebene können zwar *ex post* durch die Rückkopplung in der oberen Ebene einbezogen werden, jedoch muss die obere Ebene trotzdem im nächsten Planungsintervall wieder *ex ante* Annahmen über das Systemverhalten der unteren Ebene treffen.²¹ Das bedeutet: Eine Rückmeldung kann im besten Fall in einem nächsten Planungslauf mit in die Berechnungen einbezogen werden. Abbildung 2.1 nach Steven (1994) zeigt diesen Zusammenhang beispielhaft zwischen *n* Planungsebenen.

In Buzacott et al. (2010) wird bereits angeführt, dass dieser Ansatz nicht immer

²⁰vgl. ebenda, Seiten 25 f.

²¹vgl. ebenda, Seiten 26 f.

Abbildung 2.2 Schema der rollierenden Planung



optimal ist, da die obere Ebene zum Zeitpunkt der Lösung möglicherweise detaillierte Informationen benötigt, die erst in der untergeordneten Ebene generiert werden.²² Dennoch überwiegen die Vorteile der hierarchischen Unterteilung in Partialmodelle.²³

Der Einbezug der Ergebnisse einer untergeordneten Ebene in neue Entscheidungen einer oberen Ebene kann aufgrund der sukzessiven Planung nur in einem neuen Planungslauf stattfinden. Besonders im Bereich kurzfristiger Planungen sind die Änderungen von relevanten Informationen oft so signifikant, dass eine gute Vorhersage von Eingangsparametern kaum noch möglich ist. Da diese im Zeitablauf ständig neuen Eingangsparameter in den Planungsproblemen berücksichtigt werden müssen und abgearbeitete Produktionspläne nicht mehr benötigt werden, findet die Planung nach dem *Prinzip der rollierenden Planung* statt. Um die Pläne möglichst informiert erstellen zu können, werden laufend neue Informationen eingeholt und die Planung wird regelmäßig und vor Ablauf des Planungshorizontes wiederholt, um die genaueren Daten in die Neuplanung einzuarbeiten.²⁴

Wie in Abbildung 2.2 dargestellt, wird ein Plan für einen bestimmten Planungshorizont, bestehend aus T Perioden, aufgestellt. Nach Ablauf des Planungsabstandes von τ Perioden, in denen die geplanten Ereignisse für diese τ Perioden ausgeführt wurden, findet eine Neuplanung statt. Wenn τ kleiner als der Planungshorizont T ist, findet eine Überlappung statt und für alle Perioden im Intervall $[\tau + 1, T]$ werden

²²vgl. Buzacott et al., 2010.

²³vgl. Steven, 1994, Kapitel 1.2.

²⁴vgl. zu diesem Absatz Schneeweiß, 2002, Kapitel 3.3.2.