

# Einstellung von Losgrößenverfahren in der operativen Produktionsplanung und -steuerung

*Frank Herrmann*

## **Abstrakt**

Durch eine Zusammenfassung von Produktionsaufträgen zu Losen werden Rüstaufwände zu Lasten von Beständen reduziert. Für einen möglichst guten Ausgleich dieser Kosten existieren in kommerziell verfügbaren IT Systemen für die operativen Produktionsplanung und -steuerung eine Vielzahl von Losgrößenverfahren. Der Beitrag erläutert diese kurz und nennt Einstellhinweise unter industriellen Randbedingungen.

## **1 Einleitung**

In Enterprise Resource Planning-Systemen (ERP-Systemen) bilden Funktionen zur Produktionsplanung und -steuerung seit Jahrzehnten eine wichtige Komponente. Sie zerlegen das Gesamtproblem der Produktionsplanung und -steuerung in die nacheinander zu durchlaufenden Planungsphasen der Mengenplanung, durch den Materialbedarfsplanungsalgorithmus, der Terminplanung sowie der Produktionssteuerung, weswegen von einem Sukzessivplanungskonzept gesprochen wird. Bei diesen Planungsphasen handelt es sich um die zentralen planerischen Module in Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen (PPS-Systemen). Zu ihrer Anpassung an die spezifischen Gegebenheiten in einem konkreten Unternehmen existieren eine Vielzahl von Planungsparametern.

Gute Parametereinstellungen haben eine hohe wirtschaftliche Relevanz, wie z. B. in [DMHH09] belegt wurde. Allerdings werden die Parameter in der Praxis oftmals aufgrund von sehr groben Überlegungen und eher subjektiven Erfahrungen initialisiert und im laufenden Betrieb meist nicht mehr überprüft, obwohl sich die Produktionsprozesse fortlaufend ändern. Verantwortlich hierfür ist die Schwierigkeit, ungünstige Parametereinstellungen zu erkennen und diese zu beheben. Diese unbefriedigende Situation soll durch die Ergebnisse eines entsprechenden Forschungsprojekts am Innovationszentrum für Produktionslogistik und Fabrikplanung (IPF) der Hochschule Regensburg verbessert werden. Hier werden Ergebnisse zur Einstellung von einem Losgrößenverfahren vorgestellt.

## 2 Losgrößenverfahren in ERP- und PPS-Systemen

In den Realisierungen des Materialbedarfsplanungsalgorithmus in kommerziell verfügbaren ERP- und PPS-Systemen stehen viele Losgrößenheuristiken zur Verfügung. Vielfach verwenden sie Erkenntnisse aus dem klassischen Losgrößenproblem mit konstantem Bedarf ( $d$ ) und unendlicher Produktionsgeschwindigkeit (dies bedeutet einen unendlich schnellen Lagerzugang), welches durch  $q_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{2 \cdot K \cdot d}{h}}$  – mit Rüstkostensatz  $K$  und Lagerkostensatz  $h$  – ein optimales Los  $q_{\text{opt}}$  berechnet; für eine detaillierte Herleitung sei auf [Herr09] verwiesen. Dort befindet sich seine Erweiterung um eine endliche Produktionsgeschwindigkeit, sowohl bei einer offenen als auch bei einer geschlossenen Produktion, sowie um Rüstzeit und auch um das Auftreten von Fehlmengen (s. [Herr09]). Bei diesen Erweiterungen bleibt die Struktur der Lösung erhalten. Es sei daran erinnert, dass in ERP- und PPS-Systemen davon ausgegangen wird, dass ein Auftrag komplett beendet wird, bevor er eingelagert wird, so dass eine sogenannte geschlossene Produktion vorliegt. Bei der Bedarfsplanung sind einstufige Losgrößenprobleme zu lösen, bei denen die Annahmen des klassischen Losgrößenproblems nicht vorliegen. So liegt ein endlicher Planungshorizont vor, der in gleich langen Perioden unterteilt wird, und es existieren im Voraus bekannte Bedarfe in diesen einzelnen Planungsperioden, die üblicherweise unterschiedlich sind; in der Literatur wird von einem Losgrößenproblem mit einem deterministisch-dynamischen Bedarf gesprochen. Das sich daraus ergebende Optimierungsproblem wurde von Wagner und Whitin (s. [WaWi58]) 1958 formuliert und gelöst. Unter der Bezeichnung Single-Level Uncapacitated Lot Sizing Problem (SLULSP) (bzw. Wagner-Whitin-Modell) wird es in der Literatur diskutiert. In [Herr09] befinden sich eine Problembeschreibung und eine Lösung.

In kommerziell verfügbaren ERP- und PPS-Systemen existieren so genannte statische Losgrößenverfahren. Ihre Losbildung ist unabhängig von den vorliegenden Bedarfen im Planungsintervall. So hat bei dem Losgrößenverfahren der festen Losgröße jedes Los die gleiche, eben feste, Losgröße. In kommerziell verfügbaren ERP- und PPS-Systemen wird diese im Materialstamm angegeben. Sie lässt sich durch das klassische Losgrößenverfahren berechnen, in dem eine mittlere Bedarfsrate  $d$  unterstellt wird. Eine Variante von diesem Losgrößenverfahren ist das Losgrößenverfahren „Auffüllen bis zum Höchstbestand“, da dieser Höchstbestand gleich dem Bestellniveau beim Bestandsmanagement (zur Einführung in das Bestandsmanagement s. [Temp05] oder auch [Herr11]) sein könnte, der teilweise durch das klassische Losgrößenverfahren berechnet wird. Es sei betont, dass, wie beim Bestandsmanagement, zu Beginn einer Periode eine Entscheidung über das Aufsetzen von einem

solchen festen Los zu fällen ist. Da der Bestand von Null aber innerhalb einer Periode erreicht werden könnte (und in der Regel auch erreicht wird), ist das Vorgehen beim klassischen Losgrößenverfahren, nach dem ein Los erst aufgesetzt wird, wenn kein Bestand existiert, nicht anwendbar. Dann sind zu einem periodenspezifischen Nettobedarf  $d$  in einer Periode gerade so viele Planaufträge  $n$  über eine feste Losgröße von  $q$  zu erzeugen, so dass  $d \leq n \cdot q$  ist; es sei angemerkt, dass  $n$  die kleinste natürliche Zahl ist, für die diese Bedingung gilt. Es sei angemerkt, dass bei dem Losgrößenverfahren „Auffüllen bis zum Höchstbestand“ kein Nettobedarf den Höchstbestand übersteigen darf. Als Alternative könnte über  $\tau = \frac{q}{d}$  ein Zyklus berechnet werden. Es sei angenommen, dass  $\tau$  in Perioden angegeben ist (z. B.  $\tau = 2$  Perioden oder  $\tau = \pi$  Perioden). Dann tritt das oben genannte Problem nur auf, wenn  $\tau$  kein ganzzahliges Vielfaches der Periodenlänge ist; beispielsweise bei  $\tau = \pi$  Perioden. Deswegen wird er, sofern erforderlich, zur nächsten natürlichen Zahl ( $\tau'$ ) auf- oder abgerundet, wobei die bessere der beiden Alternativen gewählt wird. Dieser neue Zyklus  $\tau'$  bestimmt die Zeitpunkte, an denen ein Los aufgesetzt wird. Ein solches Los besteht dann aus den Bedarfen der nächsten  $\tau'$  Perioden; in der Literatur wird diese Zykluslänge  $\tau'$  auch als Reichweite bezeichnet und dieses Losgrößenverfahren heißt periodisches Losgrößenverfahren mit Reichweite  $\tau'$ . Wird  $\tau'$  durch das gerade beschriebene Vorgehen ermittelt, so wird von einer statisch bestimmten Reichweite gesprochen. Der Spezialfall einer Reichweite von einer Periode fällt als Losgrößenverfahren der exakten Losgröße, bei der es sich um eine bedarfssynchrone (just in time) Produktion handelt, auch unter den statischen Verfahren.

Eine Einschätzung über die Güte eines periodischen Losgrößenverfahrens erlaubt die Betrachtung der so genannten  $2^x$ -Losgrößenpolitik bei dem klassischen Losgrößenproblem, bei der ein Zyklus  $\tau$  stets die Form  $\tau = \tau_B \cdot 2^k$  für ein  $k \in \mathbb{N}_0$  und für einen festen Grundzyklus  $\tau_B$  hat. Ihre Gesamtkosten weichen maximal um 6 % von den optimalen Gesamtkosten ab; ein ausführlicher Beweis dazu findet sich in [Herr09]. Nun kann  $\tau_B$  gleich der Periodenlänge im Losgrößenproblem mit einem deterministisch-dynamischen Bedarf gesetzt werden. Dann ist Reichweite  $\tau'$  zu einem periodischen Losgrößenverfahren gleich  $\tau' = \tau_B \cdot n_{\text{opt}}$  und dies ist kleiner gleich  $\tau_B \cdot 2^{k_{\text{opt}}}$ . Liegt nun ein Losgrößenproblem mit einem deterministisch-dynamischen Bedarf vor, dessen Periodenbedarfe nahezu konstant sind, so dürfte das periodische Losgrößenverfahren mit der statisch bestimmten Reichweite sehr gute, oft sogar optimale Lösungen liefern. Ist der Bedarfsverlauf sogar konstant, so liefert das Verfahren eine optimale Lösung. Empirische Untersuchungen am IPF belegen, dass die Optimalität bei zufälligen Periodenbedarfen in einem kleinen Bereich um ihren Mittelwert erhalten bleibt; es sei angemerkt, dass die Breite dieses Bereichs von dem Rüst- und dem Lagerkostensatz sowie dem Mittelwert der Periodenbedarfe abhängt.

Durch die beliebige, aber (dann) feste Reichweite limitiert ein periodisches Losgrößenverfahren die auftretenden Losgrößen und damit die Kapazitätsbelastung durch ein einzelnes Los. Auf diese Weise ist eine Optimierung der Durchlaufzeit, primär bezogen auf einen Kapazitätsengpass, möglich. Dadurch entstehen viele kleine Lose, die die effektiv nutzbare Produktionskapazität aufgrund eines höheren Anteils an Rüstzeiten reduzieren und die den Anteil an Wartezeiten, vor allem an dem Kapazitätsengpass, erhöhen. Dadurch wird der Kapazitätsengpass noch ausgeprägter, was wiederum zu einer weiteren Reduktion der Losgrößen verleiten könnte, so dass ein Kreislauf in Gang gesetzt wird, der letztlich zu einer schlechten Leistung des Produktionssystems führen dürfte. Für die Einstellung der von Wiendahl entwickelten belastungsorientierten Auftragsfreigabe sind solche Überlegungen zur Durchlaufzeit interessant, und daher wurden so genannte Durchlaufzeit-optimale Losgrößenverfahren in [Wien87], [Wien97] und [Nyhu91] analysiert.

Dieser Kreislauf mit einer abnehmenden Produktionsleistung lässt sich durchbrechen, wenn die Lose zeitlich versetzt eingeplant werden. Eine detaillierte Erläuterung dieses Konzepts findet sich in [Herr11]. Bei einer einfachen Variante wird eine feste Reihenfolge der Produkte gebildet und die Produkte werden in dieser Reihenfolge (unmittelbar) nacheinander produziert. Beispielsweise liegen für drei Produkten  $k_1$ ,  $k_2$  und  $k_3$  klassische Losgrößenprobleme mit einer offenen Produktion vor. Wie in Abbildung 1 dargestellt, wird in einem gemeinsamen Produktionszyklus  $\tau$  zuerst das Produkt  $k_1$  dann  $k_2$  und schließlich  $k_3$  gefertigt. Dieser Zyklus ( $\tau$ ) wird in dieser Form immer wieder wiederholt. Es sei betont, dass jedes Los noch eine Rüstzeit besitzt, mit der sein Produktionszeitraum beginnt, was den zeitlichen Abstand zwischen der Fertigstellung eines Loses und dem Beginn der Bearbeitung des nächsten Loses (in der obigen Reihenfolge) erklärt.

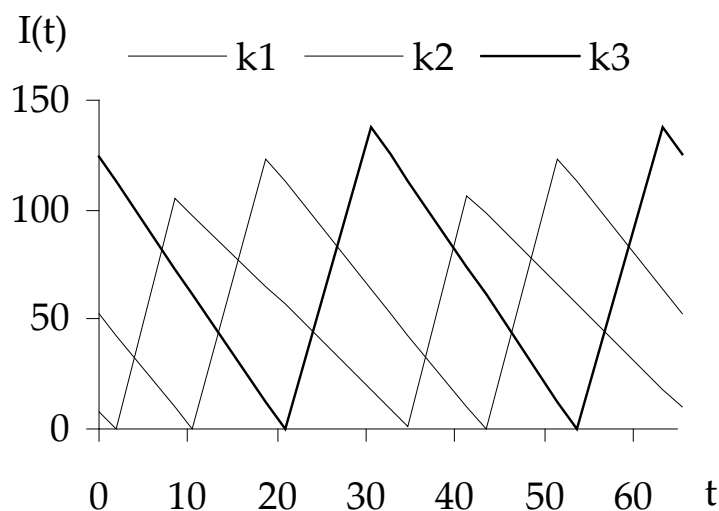


Abbildung 1: Synchronisation der Produktionszeiträume von drei Produkten ( $k_1$ ,  $k_2$  und  $k_3$ ) mit konstanten Bedarfen bei einer offenen Produktion –  $I(t)$  ist der Lagerbestand in  $t$

Der gemeinsame Produktionszyklus  $\tau$  ist durch die Lösung eines Minimierungsproblems bestimmt, dessen Zielfunktion aus der Summe über die einzelnen Gesamtkosten eines Produkts pro Zeiteinheit besteht. Dabei handelt es sich um ein Optimierungsproblem einer Variablen, nämlich dem gemeinsamen Produktionszyklus  $\tau$ , mit einer eindeutigen Lösung, da dessen Kostenfunktion streng konvex ist, und diese Lösung kann durch Methoden aus der Analysis berechnet werden; für eine offene Produktion ist dieses Optimierungsproblem in [GüTe09] detailliert angegeben und gelöst worden; mit dieser Lösung wurde der in Abbildung 1 dargestellte Produktionszyklus berechnet. Das Zulassen von produktspezifischen Produktionszyklen führt zu dem Economic Lot Scheduling Problem (ELSP), das auch als Problem optimaler Sortenschaltung bezeichnet wird und eine simultane Losgrößenplanung und Reihenfolgeplanung vornimmt. Es handelt sich um ein NP-vollständiges Optimierungsproblem (einen Nachweis hierzu findet sich in [Hsu83]) und für einen sehr guten Überblick über seine Lösungsmöglichkeiten sei auf [DoSV93] verwiesen.

Das oben vorgestellte einfache Vorgehen einer simultanen Losgrößenplanung und Reihenfolgeplanung durch die Festlegung von einem gemeinsamen Produktionszyklus  $\tau$ , in dem die Lose der Produkte in einer festen Reihenfolge (die aber beliebig gewählt werden darf) bearbeitet werden, lässt sich auf Losgrößenprobleme mit einem deterministisch-dynamischen Bedarf übertragen. Dazu werden die Lose der einzelnen Produkte durch ein periodisches Losgrößenverfahren mit einer einheitlichen Reichweite von  $\tau$  berechnet. Beispielsweise können vier Produkte (A, B, C und D) nacheinander in einem Produktionszyklus aus zwei Perioden produziert werden, so wie dies in Abbildung 2 dargestellt ist.

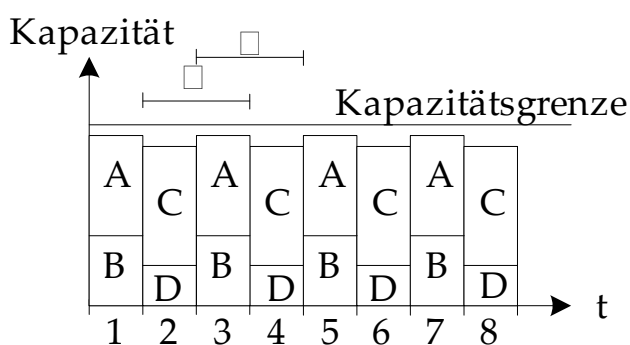


Abbildung 2: Synchronisation der Produktionszeiträume von vier Produkten (A, B, C und D) mit deterministisch-dynamischen Bedarfen und der Reichweite  $\tau$

Haben die auftretenden Periodenbedarfe nur sehr geringe Schwankungen, so können ihre Mittelwerte gebildet werden und mit diesen kann nach dem obigen Verfahren bei konstanten Bedarfen ein gemeinsamer Produktionszyklus



berechnet werden, der dann zu einem ganzzahligen Vielfachen der Periodenlänge aufgerundet wird; es sei angemerkt, dass dieser gemeinsame Produktionszyklus sehr lang sein kann. Es sei angenommen, dass die Schwankung der Periodenbedarfe so gering ist, dass die Produktionsaufträge stets in einem festen Zyklus aus Perioden begonnen und beendet werden. Dann werden die Produktionstermine exakt eingehalten; insbesondere kann keine Verspätung auftreten. Bei hohen Schwankungen schwanken die Bearbeitungszeiten so stark, dass die Produktionsaufträge nicht mehr in einem festen Zyklus aus Perioden begonnen und beendet werden. Die Kapazitätsrestriktion lässt sich zwar durch einen entsprechend langen Zyklus erfüllen, er würde aber hohe vermeidbare Leerzeiten an den Stationen bewirken, so dass dieser Ansatz nicht mehr anwendbar ist. Das resultierende Problem lässt sich durch Optimierungsprobleme beschreiben, wobei eine Reihenfolgeplanung durch die Verwendung von kleinen Perioden (small buckets) erreicht wird. Ein Grundmodell dazu ist das Discrete Lotsizing and Scheduling Problem (DLSP), bei dem die Periodengröße so klein ist, z. B. eine Zeiteinheit, dass stets nur die Herstellung einer Produktart möglich ist. Die Produktion eines Loses erstreckt sich jeweils über die gesamte Periode und kann auch mehrere aufeinanderfolgende Perioden umfassen, wobei Rüstkosten nur in der jeweils ersten Periode anfallen. In der Forschung intensiv untersucht werden zwei Erweiterungen dieses Modells, nämlich das Continuous Setup Lotsizing Problem (CSLP), welches (gegenüber dem DLSP) variable Losgrößen innerhalb einer Produktionsperiode erlaubt, und dem Proportional Lotsizing and Scheduling Problem (PLSP), bei dem während einer Periode maximal zwei verschiedene Produkte gefertigt werden dürfen. Für weitere Informationen zu diesen Modellen und zu ihren Lösungsverfahren sei exemplarisch auf [DoSV93] verwiesen.

Bei der letzten Gruppe an Losgrößenverfahren handelt es sich um Näherungsverfahren zu der optimalen Lösung des einstufigen Losgrößenproblems. Eine optimale Lösung erfüllt die so genannte Regenerationseigenschaft (s. [Herr09]), nach der ein optimales Los stets eine Zusammenfassung aufeinanderfolgender Bedarfe ist. Sind  $d_t, d_{t+1}, d_{t+2}, \dots$  die einzelnen Periodenbedarfe ab einer Periode  $t$ , so bilden die einzelnen Losgrößenheuristiken schrittweise die möglichen Lose für die Periode  $t$ :  $d_t, d_t + d_{t+1}, d_t + d_{t+1} + d_{t+2}$ , usw.. Diese Lose verursachen Rüst-, Lager- und Gesamtkosten (letztere als Summe aus Rüst- und Lagerkosten). Ihr Verlauf ist dem Verlauf dieser Kosten beim klassischen Losgrößenverfahren mit einem unendlich langen Planungshorizont (s. [Herr09]) vergleichbar. Diese Kostenfunktionen haben beim klassischen Losgrößenverfahren im Optimum charakteristische Eigenschaften (s. [Herr09]), die zur Formulierung von Abbruchbedingungen für die schrittweise Zusammenfassung von Bedarfen verwendet wurden und zur Entwicklung von mehr als 30 Losgrößenheuristiken geführt haben; die in ERP- und PPS-Systemen vorhandenen Losgrößenheuristiken sind im Detail in [Herr11] beschrieben.

Wie bei den Einstellhinweisen noch begründet wird, sind das Silver-Meal- und das Groff-Verfahren zwei besonders gute Losgrößenheuristiken. Das Silver-Meal-Verfahren (s. [Herr11]) basiert auf der Eigenschaft des klassischen Losgrößenverfahrens, nach der die durchschnittlichen Kosten pro Zeiteinheit im Optimum minimal sind. Da beim schrittweisen Zusammenfassen von Periodenbedarfen die durchschnittlichen Kosten pro Zeiteinheit zunächst monoton abnehmen und ab einer bestimmten Anzahl an Zusammenfassungen monoton ansteigen, wird die Bedarfszusammenfassung beendet, sobald die durchschnittlichen Kosten pro Zeiteinheit ansteigen. Das Groff-Verfahren (s. [Herr11]) basiert auf der Eigenschaft des klassischen Losgrößenverfahrens, nach der die Rüstkosten pro Zeit- und Mengeneinheit (die Grenzüstkosten) im Optimum gleich den Lagerkosten pro Zeit- und Mengeneinheit (Grenzlagerkosten) sind. Da beim schrittweisen Zusammenfassen von Periodenbedarfen die Grenzüstkosten abnehmen und die Grenzlagerkosten konstant sind, wird die Bedarfszusammenfassung beendet, sobald die Grenzüstkosten kleiner als die Grenzlagerkosten sind.

### 3 Einstellhinweise

Die Anwendung heuristischer Losgrößenverfahren setzt das Vorliegen von einem Lager- und Rüstkostensatz voraus. Nach [Gude03] werden diese in der industriellen Praxis durch Einflussfaktoren wie Bestellmengenkosten, spezifische Transportkosten, spezifische Einlagerkosten, Fassungsvermögen der Ladeeinheiten, Beschaffungspreis/Verbrauchseinheit, Lagerzinssatz, der sich aus einem Kapazitätszinssatz und einem Risikozinssatz zusammensetzt, Lagerordnungsfaktor sowie spezifische Lagerplatzkosten bestimmt. Dies führt dazu, dass diese Kostensätze in Unternehmen oftmals nicht oder nur sehr ungenau vorliegen. Dadurch wird eine von der optimalen Losgröße  $q_{opt}$  abweichende Losgröße  $q$  verwendet. Ein Maß für seine Auswirkung auf die Gesamtkosten pro Zeiteinheit für ein Los  $q$  ( $C(q)$ ) ist der Kostenveränderungs-

grad  $\kappa = \frac{C(q)}{C(q_{opt})}$ . Beim klassischen Losgrößenproblem gilt  $2 \cdot \kappa = \frac{q_{opt}}{q} + \frac{q}{q_{opt}}$

(s. z. B. [Herr09]). Weicht die verwendete Losgröße beispielsweise um 20 % von der optimalen nach oben ab, so weichen die tatsächlichen von den minimalen Kosten um 1,7 % ab; es sei angemerkt, dass eine solche 20 % Erhöhung des Loses durch eine Abweichung des Rüstkostensatzes um 44 % bzw.

eine Reduktion des Lagerkostensatzes um den Faktor  $\frac{1}{1,44}$  hervorgerufen

wird. Liegt diese 20 prozentige Abweichung (von der optimalen) nach unten vor, so weichen die tatsächlichen von den minimalen Kosten um 2,5 % ab.

Verantwortlich für diese Stabilität der Kosten (im Bereich des Optimums) ist, dass die Kostenfunktion der Gesamtkosten im Optimum sehr flach ist (s. z. B. [Herr09]). Deswegen führen ungenaue Kostensätze eventuell zu einer Losgröße, die von der optimalen sehr deutlich abweicht. Die Auswirkungen auf die Gesamtkosten pro Zeiteinheit sind demgegenüber nur marginal.

Während eine Änderung von einem der Kostensätze beim klassischen Losgrößenproblem stets zu einer von der bisherigen optimalen Losgröße abweichenden neuen optimalen Losgröße führt, werden bei einem Losgrößenproblem mit einem deterministisch-dynamischen Bedarf nicht immer neue Lose, durch ein optimales Verfahren oder eine Losgrößenheuristik, erzeugt. Am einfachsten lässt sich diesbezüglich das periodische Losgrößenverfahren mit einer statisch bestimmten Reichweite analysieren. Dabei sei die Reichweite  $n$  durch den Zyklus  $\tau$  statisch bestimmt. Nur wenn  $\tau$  in der Nähe eines Vielfachen der Periodenlänge liegt, kann eine kleine Änderung des Zyklus zu einer um eine Periode abweichenden Reichweite führen. In vielen Beispielen führen signifikante Änderungen eines der beiden Kostensätze von mehr als 20 % zu keiner Änderung der Lose. Anderenfalls ist zu beobachten, dass in einigen Perioden Lose mit anderen Reichweiten aufgesetzt werden, aber in vielen Perioden die Lose gleich sind. Folglich kann von einer Stabilität der Losbildung gegenüber geänderten Kostensätzen gesprochen werden. Deswegen dürften auch bei ungenauen Kostensätzen durch ein heuristisches Losgrößenverfahren die niedrigsten Gesamtkosten erzielt werden.

Übersteigen die Lagerungskosten für ein Produkt seine Beschaffungs- bzw. Rüstkosten um ein Vielfaches, so sollte eine exakte Losgröße (also einer bedarfssynchrone (just in time) Produktion) verwendet werden. Dies trifft auf sehr kostenintensive Produkte zu. Sie lassen sich über eine ABC-Analyse identifizieren; so dass diese Empfehlung für A- und eventuell auch für B-Teile gilt. Eine bedarfssynchrone Produktion verbraucht keinen Lagerplatz, weswegen dieses Losgrößenverfahren bei geringer Lagerkapazität für A- und auch für B-Teile interessant sein kann; im Falle von B-Teilen vor allem dann, wenn diese hohe Lagerungskosten besitzen. Ein Liquiditätsengpass ist ein weiterer Grund für eine bedarfssynchrone Produktion sowohl bei A- als auch bei B-Teilen; aufgrund ihrer hohen Kosten. Da eine bedarfssynchrone Produktion die kleinsten möglichen Lose bewirkt, verursacht diese die kleinste mögliche Kapazitätsbelastung. Dies kann bei einem Kapazitätsengpass günstig sein, um kurzfristig viele verschiedene Produkte fertigzustellen, wodurch die Verspätung reduziert wird; hierzu befindet sich beispielsweise in [Herr09] ein konkretes Beispiel. Viele kleine Lose führen andererseits zu einem höheren Anteil an Rüstzeiten, wodurch für die Produktion weniger Kapazität zur Verfügung steht, wodurch der Endproduktumsatz sinkt. Zusätzlich steigt der Anteil an Wartezeiten, da durch eine hohe Anzahl kleiner Lose schlechtere



Produktionsreihenfolgen in der Werkstatt gebildet werden (nämlich durch die Fertigungssteuerung) und sich die Aufträge vor den Engpassressourcen stärker stauen. Demgegenüber sollten C-Teile in der Regel nicht bedarfssynchron produziert werden; allenfalls eine sehr geringe Lagerkapazität kann den Einsatz dieses Verfahrens auch bei C-Teilen aufgrund ihres hohen Mengenan-teils rechtfertigen.

Sind aufgrund von technischen Randbedingungen, wie die Größe eines Ofens oder die Größe einer Palette bzw. eines Tanks, oder betriebswirtschaftlicher Besonderheiten, wie das Erreichen einer vollen Wagenladung, nur Produktionsaufträge einer gewissen Größe wirtschaftlich sinnvoll, so ist eine feste Losgröße unvermeidlich. Es ist zu erwarten, dass bei solchen Randbedingungen die Kundenauftragsmengen ein Vielfaches dieser Produktionslose sind. Abweichende Kundenauftragsmengen dürften zu deutlich höheren Kosten führen.

Für Bedarfsfolgen mit einem festen Planungshorizont (T) wurde in [Wemm81] und [Wemm82] gezeigt, dass die Gesamtkosten beim Anwenden des Silver-Meal- und des Groff-Verfahrens im Mittel nur um etwa 1 % über den durch ein optimales Verfahren verursachten Gesamtkosten liegen, und dass die in der Praxis favorisierten Verfahren der gleitenden wirtschaftlichen Losgröße und das Stückperiodenausgleichsverfahren erheblich schlechtere Lösungen ergeben; diese Zusammenfassung ist auch in [Temp08] angegeben und in [Kno85] wurden ähnliche Ergebnisse publiziert. In diesem Zusammenhang ist die in [Bake89] nachgewiesene Aussage interessant, nach der das Groff-Verfahren mit dem Silver-Meal-Verfahren übereinstimmt, sofern die Grenzlagerkosten pro Periode exakt sind.

In der industriellen Praxis werden die Losgrößenverfahren in einem Konzept der rollenden Planung mit einem zeitlich sich verschiebenden Planungsfenster eingesetzt. Im Detail wird zunächst für einen Planungshorizont T eine Planung erstellt. Nach Ablauf jeweils weniger Perioden (kleiner oder gleich T) erfolgt eine (Neu-) Planung wieder über einen Zeitraum von T Perioden. Dabei werden Perioden gegebenenfalls (neu-) geplant, die im vorhergehenden Planungslauf bereits geplant worden waren, und es kommen weitere (neue) Perioden hinzu. Durch die rollende Planung können Entscheidungen einer vorhergehenden Planung revidiert werden. Es können sich sogar bereits produzierte Lose als insgesamt nicht optimal erweisen. Der gleiche Effekt tritt auf, wenn sich die Bedarfswerte in den noch einmal zu planenden Perioden geändert haben; es sei betont, dass dies realistisch ist, da fortlaufend neue Kundenaufträge in einem Unternehmen eintreffen. Wie in [Herr09] begründet worden ist, kann bei einer rollenden Planung ein optimales Verfahren nicht in jedem Fall als das beste Verfahren angesehen werden. Die von Stadler in [Stad00] vorgestellte Modifikation der optimalen Lösung von einem SLULSP

liefert auch bei der rollenden Planung bessere Ergebnisse als alle bekannten Losgrößenheuristiken. Sie ist derzeit in keinem der kommerziell verfügbaren ERP- und PPS-Systeme enthalten.

Die Überlegenheit vom Silver-Meal- und vom Groff-Verfahren bei deterministischen dynamischen Bedarfsfolgen mit einem festen Planungshorizont (T) gilt auch für die rollende Planung aufgrund von analytischen Überlegungen, von Versuchsreihen (s. [HeSt10]) und von Resultaten aus der Literatur wie [ZoRo87] und [Robr91].

Nach den bisherigen Überlegungen sollte entweder das Silver-Meal- oder das Groff-Verfahren eingestellt werden. Um zwischen diesen eine Präferenz angeben zu können, wurde in [HeSt10] untersucht, ob bei einer rollenden Planung eines der beiden Verfahren besser ist. Dazu wurden von den in [Kira89] angegebenen beiden Aussagen, nach denen die Lösungsqualität des Silver-Meal-Verfahrens bei einem sporadischen Bedarfsverlauf und bei einem fallenden Bedarfsverlauf abnehmen, ausgegangen. Umfangreiche empirische Untersuchungen zeigen, dass bei solchen Bedarfsverläufen fast immer die beiden Losgrößenheuristiken die gleichen Gesamtkosten verursachen. Gegenüber dem in [ZoRo87] publizierten ähnlichen Ergebnis zeigen eigene Versuchsreihen (teilweise sind sie in [HeSt10] publiziert) eine deutlichere Überlegenheit des Groff-Verfahrens gegenüber dem Silver-Meal-Verfahren.

Weitere umfangreiche eigene Versuchsreihen belegen die auch in [ZoRo87] publizierte Aussage, dass bei regelmäßigen Bedarfsverläufen das Groff-Verfahren die besten Resultate liefert.

Insgesamt ergibt sich eine Präferenz für das Groff-Verfahren. Dieser Einstellungshinweis passt dazu, dass das SAP-System das Groff-Verfahren, aber nicht das Silver-Meal-Verfahren enthält (s. beispielsweise [GHK09]). Diese klare Präferenz für das Groff-Verfahren wird durch die folgende Beobachtung eingeschränkt.

Bei den Bedarfen im Planungszeitraum handelt es sich in der industriellen Praxis lediglich um Prognosen der Nachfragemengen. Diese Prognosen weisen (zwangsläufig) Prognosefehler auf, wodurch mit falschen Bedarfen gerechnet wird; s. hierzu die Analyse in [Herr09]. Sie können nach den Versuchsreihen in [DbvW83] (s. auch [WeWh84]) bewirken, dass die bekannten Losgrößenheuristiken bei einer rollenden Planung nahezu die gleichen Ergebnisse liefern.

Empirische Untersuchungen belegen, dass Losgrößenheuristiken Lose mit einer hohen Streuung bewirken. Wie in [Herr11] im Detail begründet ist, können hohe und stark streuende Losgrößen zu deutlichen Kapazitätsüberschreitungen führen. In [Herr11] ist anhand empirischer Untersuchungen begründet worden, wie durch Beschränkungen von Losen durch eine maximale Losgröße, eine minimale Losgröße und einen Rundungswert dieser Effekt signifikant

reduziert werden kann. Eine operationelle Umsetzung dieser Erkenntnisse im Sinne von konkreten Einstellungshinweisen wird derzeit am IPF erforscht.

## Literatur

- [Bake89] *Baker, K.*: Lot-sizing procedures and a standard data set – a reconciliation of the literature. In: *Journal of Manufacturing and Operations Management* 2 (1989), S. 199 – 221.
- [DbvW83] *DeBodt, M.; Van Wassenhove L.*: Cost increases due to demand uncertainty in MRP lot sizing. In: *Decision Sciences* 14 (1983), S. 345 – 362.
- [DMHH09] *Dittrich, J; Mertens, P.; Hau, M.; Hufgrad, A.*: Dispositionsparameter in der Produktionsplanung mit SAP. Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2009.
- [DoSV93] *Domschke, Wolfgang; Scholl, Armin; Voss, Stefan*: Produktionsplanung – Ablauforganisatorische Aspekte. Springer Verlag, Darmstadt, 1993.
- [Gude03] *Gudehus, Timm*: Logistik – Grundlagen, Strategien und Anwendungen. Springer Verlag, Hanbur, 2003 (2. Auflage).
- [GüTe09] *Günther, Hans-Otto; Tempelmeier, Horst*: Produktion und Logistik. 8. Auflage, Springer Verlag, Berlin/Heidelberg, 2009.
- [GHIK09] *Gulyácssy, F.; Hoppe, M.; Isermann, M.; Köhler, O.*: Disposition mit SAP. Galileo Press, Bonn, 2009.
- [Herr09] *Herrmann, Frank*: Logik der Produktionslogistik. Oldenbourg Verlag, Regensburg, 2009.
- [Herr11] *Herrmann, Frank*: Operative Planung in IT-Systemen für die Produktionsplanung und -steuerung – Wirkung, Auswahl und Einstellhinweise von Verfahren und Parametern. Vieweg + Teubner Verlag, Regensburg, 2011.
- [HeSt10] *Herrmann, Frank; Stumvoll, Ulrike*: Einstellung von Losgrößenheuristiken in ERP- bzw. PPS-Systemen. In: *Proceedings zu den 7. Wismarer Wirtschaftsinformatik-Tage vom 3. bis 4. Juni 2010 an der Hochschule Wismar*, Wismar, 2010.
- [Hsu83] *Hsu, W.-L.*: On the general feasibility test of scheduling lot sizes for several products on one machine. In: *Management Science* 29 (1983), S. 93-105.
- [Kira89] *Kiran, A.*: A combined heuristic approach to dynamic lot sizing problems. In: *International Journal of Production Research* 27 (1989), S. 332-341.
- [Kno85] *Knolmayer, G.*: Zur Bedeutung des Kostenausgleichsprinzips für die Bedarfsplanung in PPS-Systemen. In: *Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* 37 (1985), S 411-427.
- [Nyhu91] *Nyhuis, Peter*: Durchlauforientierte Losgrößenbestimmung. Fortschrittsberichte VDI, Reihe 2, Nr. 228 (Dissertation an der Universität Hannover), VDI-Verlag, Hannover, 1991.
- [Robr91] *Robrade, A.*: Dynamische Einprodukt-Lagerhaltungsmodelle bei periodischer Bestandsüberwachung. Physica, Heidelberg, 1991.
- [Stad00] *Stadtler, H.*: Improved rolling schedules for the dynamic single-level lot-sizing problem. In: *Management Science* 46 (2000), S. 318-326.

- [Temp05] *Tempelmeier, Horst*: Bestandsmanagement in Supply Chains. Books on Demand GmbH, Norderstedt, Köln, 2005.
- [Temp08] *Tempelmeier, Horst*: Materiallogistik. Springer, 6. Auflage, Köln 2008.
- [WaWi58] *Wagner, H. M.; Whitin, T. M.*: Dynamic version of the economic lot size model. In: Management Science 5, 1958, S. 89-96.
- [Wemm81] *Wemmerlöv, U.*: The ubiquitous EOQ – its relation to discrete lot sizing heuristics. In: Journal of Operations & Production Management 1 (1981), S. 161-179.
- [Wemm82] *Wemmerlöv, U.*: A comparison of discrete single stage lot-sizing heuristics with special emphasis on rules based on the marginal cost principle. In: Engineering Costs and Production Economics 7 (1982), S. 45-53.
- [WeWh84] *Wemmerlöv, U.; Whybark D.*: Lot-sizing under uncertainty in a rolling schedule environment. In: International Journal of Production Research 22 (1984), S. 467-484.
- [Wien87] *Wiendahl, H.-P.*: Belastungsorientierte Fertigungssteuerung – Grundlagen, Verfahrensaufbau und Realisierung. Hanser Verlag, Hannover, 1987.
- [Wien97] *Wiendahl, H.-P.*: Fertigungsregelung – Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells. Hanser Verlag, Hannover, 1997.
- [ZoRo87] *Zoller, K.; Robrade A.*: Dynamische Bestellmengen und Losgrößenplanung, Verfahrensübersicht und Vergleich. In: OR Spektrum 9 (1987), S. 219-233.

**Kontakt: Prof. Dr.-Ing. Frank Herrmann**

Hochschule Regensburg, Innovationszentrum für Produktionslogistik  
und Fabrikplanung (IPF)

Postfach 120327, 93025 Regensburg

Tel. 0941 943-1307, frank.herrmann@hs-regensburg.de