



Überwachung und Verbesserung von Losgrößenmodifikatoren eines PPS-Systems im laufenden Betrieb

Professor Dr.-Ing. Frank Herrmann
Dipl.-Wirt.-Inf. (FH) Ulrike Stumvoll
Innovationszentrum für Produktionslogistik und Fabrikplanung
Hochschule Regensburg
Postanschrift: Postfach 120327
93025 Regensburg
Telefon: +49 941 943 1307
Fax: +49 941 943 1426
frank.herrmann@hs-regensburg.de
ulrike.stumvoll@hs-regensburg.de

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). Zur ihrer Anpassung an die spezifischen Gegebenheiten in einem konkreten Unternehmen existieren eine Vielzahl von Planungsparametern (u.a. verschiedene Losgrößenheuristiken, Losgrößenmodifikatoren und die Terminierungsparameter).

Die Wirkung von Planungsparametern bei der Steuerung eines produktionslogistischen Prozesses durch das SAP System wurde bereits durch [DMHH09] analysiert. Diese Untersuchungen belegen zum Teil gravierende Unterschiede zwischen sehr guten und sehr schlechten Einstellungen.

Das Wirkungspotenzial der minimalen Losgröße auf die Terminabweichung lag in den Simulationsstudien bei 53 %, wie die nachstehende Abbildung 1 zeigt. Diese zeigt auch, dass die minimale Losgröße mit $\pm 9\%$ eine vergleichsweise geringe Wirkung auf die Kapitalbindung hatte. Der Endproduktumsatz variierte absolut gesehen um 86 %.

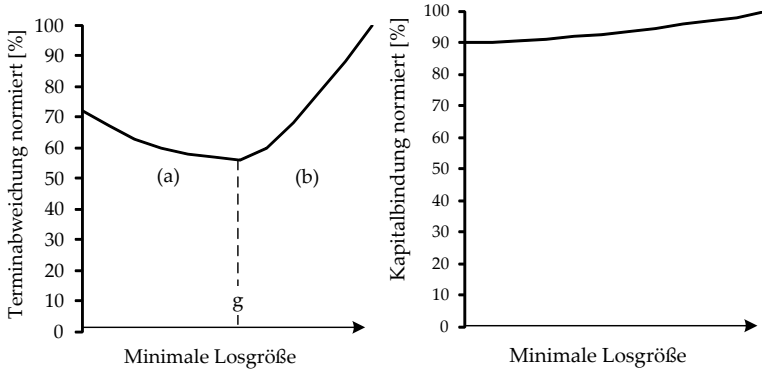


Abbildung 1: Verlauf der Kennzahlen Terminabweichung und Kapitalbindung bei einer zunehmenden minimalen Losgröße; für die in [DMHH09] angegebene Untersuchung

In den Experimenten für die maximale Losgröße variierte die Terminabweichung um 36 % und die Kapitalbindung schwankte um ca. 15 %, wie aus Abbildung 2 hervorgeht. Das Wirkungspotenzial dieses Losgrößenmodifikators auf den Endproduktdurchsatz war mit 8 % gering.

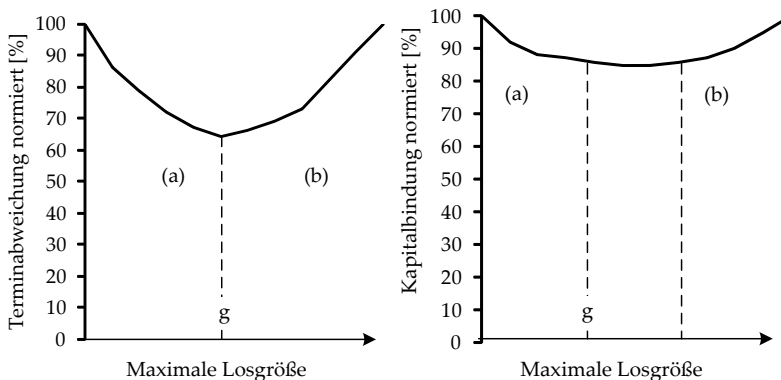


Abbildung 2: Verlauf der Kennzahlen Terminabweichung und Kapitalbindung bei einer zunehmenden maximalen Losgröße; für die in [DMHH09] angegebene Untersuchung

Aufgrund der ähnlichen Funktionsweise der minimalen Losgröße und des Rundungswertes, ergaben sich ähnliche Auswirkungen auf die Kennzahlen. Die Terminabweichung variierte abhängig vom Parameterwert um 45 %. Die Kapitalbindung schwankte insgesamt um 12 %. Der Durchsatz verringerte sich um bis zu 84 %. Folglich haben gute Einstellungen der Parameter des Materialbedarfsalgorithmus eine hohe wirtschaftliche Relevanz bzw. bergen ein großes Fehlsteuerungspotenzial.

In der Praxis werden die Planungsparameter oftmals aufgrund von sehr groben Überlegungen und eher subjektiven Erfahrungen initialisiert. Obwohl sich die Produktionsprozesse fortlaufend ändern, werden die Einstellungen der Planungsparameter im laufenden Betrieb meist nicht mehr überprüft. Ändert sich z.B. die Auftragslage, die Kapazitätssituation oder die Stücklistenstruktur in einem Unternehmen, so ist davon auszugehen, dass sich demzufolge der Bereich von günstigen Parametereinstellungen verändert, wie nachstehende Abbildung 3 andeutet. Angenommen zum Zeitpunkt t_0 ist der Einstellungsbereich A für den betrachteten Planungsparameter günstig, so kann es sein, dass zum Zeitpunkt t_1 der Bereich B günstiger ist.

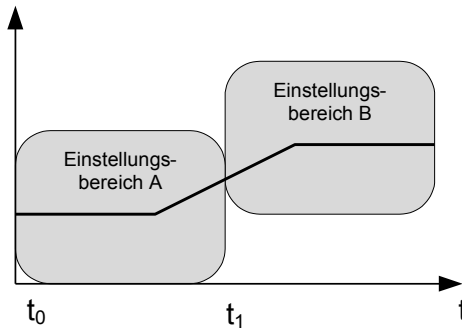


Abbildung 3: Veränderung des Bereichs von günstigen Parametereinstellungen

Verantwortlich dafür, dass die Planungsparameter im laufenden Betrieb meist nicht mehr überprüft und angepasst werden, ist die Schwierigkeit, ungünstige Parametereinstellungen zu erkennen und durch bessere Einstellungswerte zu beheben. Diese unbefriedigende Situation soll durch die Ergebnisse des Forschungsprojekts „Überwachung und Verbesserung von Planungsparametern eines Produktionsplanungs und –steuerungssystems im laufenden Betrieb“ des Innovationszentrums für Produktionslogistik und Fabrikplanung (IPF) der Hochschule Regensburg verbessert werden.

Im folgenden Kapitel 2 werden das Projektziel sowie die Vorgehensweise bei der systematischen Untersuchung von Planungsparametern aufgezeigt. Im Kapitel 3 werden die Ergebnisse bei der Untersuchung von Losgrößenheuristiken vorgestellt. Im Kapitel 4 wird ein exemplarisches Beispiel für die Untersuchung der Losgrößenmodifikatoren wiedergegeben. Die Veröffentlichung endet mit einem Ausblick auf die nächsten Arbeitsschritte des Forschungsprojektes.

2 Überwachung und Verbesserung von Losgrößenmodifikatoren im laufenden Betrieb

2.1 Ziele des Forschungsprojektes

Projektziel ist die Entwicklung eines Verfahrens, welches im laufenden Betrieb die Einstellung der Planungsparameter eines PPS-Systems im Hinblick auf die Kennzahlen Verspätung, Lagerbestand und Durchsatz überwacht und gegebenenfalls verbessert. Dieses Verfahren soll zudem den Kern eines automatischen Systems bilden, welches an ein PPS-System angeschlossen werden kann. Einen Überblick über die angestrebte Zielsituation gibt die nachstehende Abbildung 4, wobei das Verfahren in der sogenannten Analysekomponente hinterlegt wird.

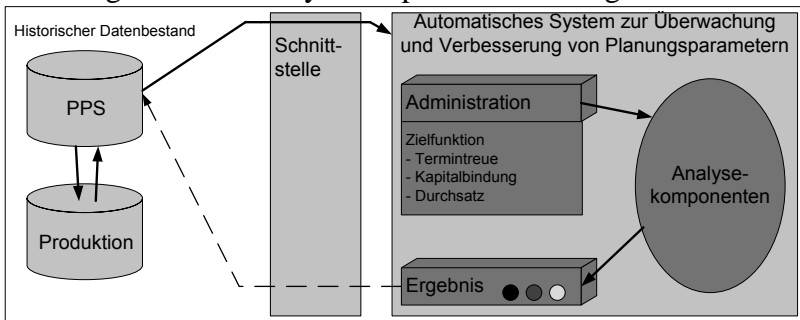


Abbildung 4: Automatisches System zur Überwachung und Verbesserung von Planungsparametern im laufenden Betrieb

Das PPS-System plant und steuert, wie bisher, die Produktion in einem Unternehmen. Auch gehen die Rückmeldungen aus der Produktion an das Planungs- und -steuerungssystem, welches zudem den historischen Datenbestand verwaltet. Neu ist, dass ein Add-on System im laufenden Betrieb die Einstellungen der Planungsparameter des PPS-Systems im Hinblick auf die vom

Benutzer definierte Zielfunktion (Administration) überwacht. Dazu werden über eine Schnittstelle die aktuellen Parametereinstellungen und weitere für das Verfahren notwendige Daten (z.B. Lagerbestände, Auslieferungstermine, Stücklisten, Maschinenauslastung) an das automatische System übermittelt. Angestrebt wird eine im Mittel bessere Parametereinstellung. Dies soll zu einer Prozessstabilität beitragen. Die Darstellung der Ergebnisse eines Prüflaufs des automatischen Systems könnte in Form einer Ampel erfolgen. Auch sollen dem Disponenten Hinweise bzw. konkrete Werte für eine bessere Parametereinstellung präsentiert werden. Grundsätzlich könnten diese Einstellungsvorschläge, über die Schnittstelle, auch automatisch in das PPS-System übernommen werden. Es sei erwähnt, dass das Verfahren für eine Vielzahl von Unternehmen gültig sein soll.

2.2 Systematische Untersuchung von Planungsparametern

Damit das beschriebene Ziel erreicht werden kann, sind zwei wesentliche Komponenten erforderlich:

- Die Kennzahlen und die sie bestimmenden Größen müssen besser verstanden werden
- Analyseregeln und Anhaltspunkte für bessere Einstellungswerte sind zu entwickeln

Die Charakteristika von Parametern im Produktionsplanungsprozess wird dazu mit Hilfe von Simulationsstudien systematisch untersucht. Dazu wird die am IPF vorhandene Infrastruktur, insbesondere das mit Siemens Tecnomatrix Plant Simulation erstellte Werkstattsimulationsmodell, verwendet. Die Simulationsumgebung beinhaltet alle für das Forschungsprojekt notwen-

digen Planungsverfahren sowie eine Fertigungssteuerung. Es wird die Bearbeitung der durch die Planungsverfahren erzeugten Produktionsaufträge in einer realen Produktion simuliert. Vor der Durchführung eines Simulationslaufs werden die Stücklisten, Maschinen sowie Arbeitspläne eines Experiments im Simulationsmodell hinterlegt und die Planungsparameter initialisiert. Über eine Verteilung (in der Regel Normalverteilung) werden die eingehenden Kundenaufträge vorab quantifiziert und während der Laufzeit der Simulation zufällig vom Programm erzeugt. Wird in der Simulation des Produktionsprozesses ein Zeitpunkt erreicht, in dem im realen Produktionsprozess ein Planungsverfahren ausgeführt wird, so wird dieses Verfahren auch in der Simulation ausgeführt. Damit wird die Regelung eines realen Produktionsprozesses durch das vorhandene Simulationssystem simuliert. Während der Simulationslaufzeit werden neben den Kennzahlen Verspätung, Lagerbestand, Endproduktumsatz u.a. auch die Kapazitätsauslastung und der Rüstaufwand an den einzelnen Maschinen erfasst sowie die Größe der einzelnen Lose, um z.B. die auftretenden Harmonisierungseffekte nachweisen zu können. Bei der Auswertung ist zu beachten, dass in der Anlaufphase einige Kennzahlen (z.B. der Mittelwert der Verspätung) schwanken. Deshalb werden am IPF Langzeitsimulationen durchgeführt, wobei die Simulationslaufzeit so gewählt wird, dass die Kennzahlen stabil sind.

Ausgehend von kleinen Modellunternehmen wird die Komplexität (u.a. Größe der Stückliste, Anzahl an Maschinen, Umfang der Arbeitspläne) der Simulationsexperimente laufend erhöht bis hin zu Fallbeispielen mit Daten aus realen Unternehmen. In den

Simulationsstudien wird darauf geachtet, dass unterschiedliche Belastungen simuliert werden.

Die einzelnen Planungsparameter werden, in der Reihenfolge wie sie im Rahmen der Materialbedarfsplanung zur Anwendung kommen, untersucht. Zahlreiche Simulationsexperimente wurden bereits am IPF durchgeführt.

3 Untersuchung von Losgrößenheuristiken

Losgrößenheuristiken versuchen einen Ausgleich zwischen Rüst- und Lagerkosten zu finden (s. [Herr09]). Für die Beschreibung der Funktionsweise der in diesem Beitrag genannten Heuristiken wird auf [Temp08] verwiesen.

Für Bedarfsfolgen mit einem festen Planungshorizont (T) wurde in [Wemm81] und [Wemm82] gezeigt, dass die Gesamtkosten bei Anwendung des Silver-Meal- und des Groff-Verfahrens im Mittel nur um etwa 1 % über den mit einem optimalen 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. Am IPF wurde untersucht, ob die Anwendung des Groff-Verfahrens bzw. des Silver-Meal-Verfahrens im Hinblick auf die Gesamtkosten, bei strukturell unterschiedlichen Bedarfsverläufen, günstiger ist. So wurden beispielsweise 12 verschiedene Bedarfsfolgen für einen fallenden Bedarfsverlauf

erzeugt und mit Hilfe eines sogenannten „Vergleichsdiagramms über die Verbesserung“ analysiert (siehe Abbildung 5). Der Lagerkostensatz (angetragen an der x-Achse) wurde ausgehend 0 Geldeinheiten (GE) schrittweise um 0,25 GE auf bis zu 100 GE erhöht und zu jedem Lagerkostensatz wurde der Rüstkostensatz (angetragen auf der y-Achse) ausgehend von 0 GE schrittweise um 48 GE auf bis zu 1440 GE erhöht.

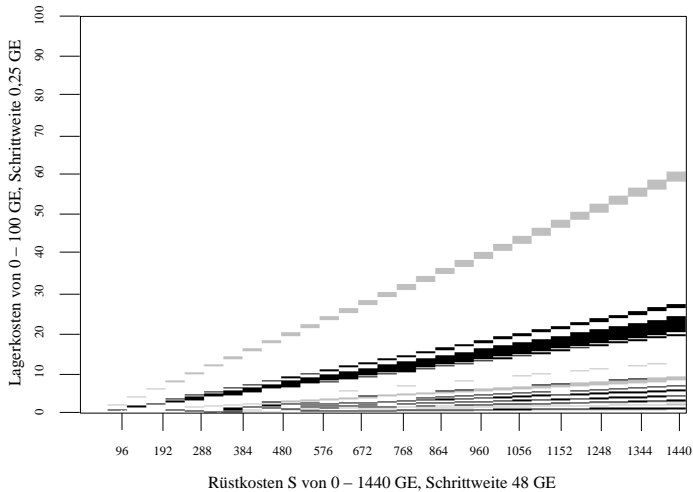


Abbildung 5: Unterschiedliche Gesamtkosten bei Anwendung des Silver-Meal- bzw. des Groff-Verfahrens [HeSt10]

Die obige Abbildung zeigt schwarze, graue und weiße Bereiche. In den grauen Bereichen liefert das Silver-Meal-Verfahren geringere Gesamtkosten als das Groff-Verfahren, in den schwarzen Bereichen ist es umgekehrt und in den weißen Bereichen verursachen beide Heuristiken die gleichen Gesamtkosten. Alle erstellten Vergleichsdiagramme zu Bedarfsfolgen mit einem fallenden Bedarf als auch sporadischen Bedarf enthielten zahlreiche Kostensätze, in denen das Silver-Meal-Verfahren kosten-

günstiger als das Groff-Verfahren war (Fall A) und zahlreiche Kostensätze, in denen das Groff-Verfahren kostengünstiger als das Silver-Meal-Verfahren war (Fall B). In den meisten Fällen jedoch lieferten beide Losgrößenheuristiken die gleichen Ergebnisse. Allerdings trat der Fall B häufiger als der Fall A auf. Die Auswertungen zeigten desweiteren, dass selbst bei geringfügig geänderten Bedarfsfolgen (z.B. wurden die Periodenbedarfe im Zeitablauf alternierend um eine Mengeneinheit erhöht bzw. vermindert), die beiden Losgrößenheuristiken einen starken Einfluss auf die relative Güte haben.

Die Versuchsreihen am IPF und die Untersuchungen der Literatur präferieren das Groff-Verfahren. Gegenüber dem in [ZoRo87] publiziertem ähnlichem Ergebnis zeigten die Versuchsreihen am IPF eine deutlichere Überlegenheit des Groff-Verfahrens gegenüber dem Silver-Meal-Verfahren. Daraus folgt die Empfehlung, dass Disponenten, bei einer plangesteuerten Disposition, diese Losgrößenheuristik einstellen sollten.

4 Untersuchung von Losgrößenmodifikatoren

In diesem Kapitel wird anhand eines exemplarischen Beispiels für die minimale Losgröße aufgezeigt, wie die Wirkung von Losgrößenmodifikatoren untersucht wird. Zuvor wird die Funktionsweise dieser Planungsparameter, welche bereits durch Heuristiken berechnete Lose verändern, beschrieben:

- Die minimale Losgröße legt die Untergrenze L^u für Lose fest. Ein zu kleines Los q wird auf L^u ME erhöht.

- Die maximale Losgröße legt die Obergrenze L° für Lose fest. Bei einem zu großen Los q wird die Menge in $(n+1)$ Teillöse (Planaufträge) aufgesplittet, wobei n die größte natürliche Zahl (einschließlich Null) mit $n \cdot L^\circ \leq q$ ist; dadurch existieren n Planaufträge über L° Mengeneinheiten (ME) und ein Planauftrag über $(q - n \cdot L^\circ)$ ME.
- Durch den Rundungswert, der in den einzelnen kommerziell verfügbaren PPS- und ERP-Systemen unterschiedlich realisiert ist; erfolgt grundsätzlich eine Aufrundung. Beim SAP System werden zwei Varianten angeboten: zum einen wird ein Los auf ein ganzzahliges Vielfaches eines Rundungswerts aufgerundet und zum anderen wird über ein Rundungsprofil im Kern ein Los ab einem Schwellwert auf einen zum Schwellwert gehörenden Wert aufgerundet. Für eine detaillierte Beschreibung sei auf [GHIK09] und [DMHH09] verwiesen.

Die diesem exemplarischen Simulationsexperiment zugrundeliegende Stückliste zeigt die nachstehende Abbildung 6 und wurde aus [Temp08] entnommen. Für die Erstellung des Produktes 1 sind beispielsweise vier Produkte 4 und je ein Produkt 3 und 5 notwendig. Die Produkte 3 bis 20 haben eine Vorlaufzeit von 1 Periode. Eine Periode umfasst 24 Stunden. Der Planungshorizont beträgt 60 Perioden. Die Lose wurden mit Hilfe des Groff-Verfahrens gebildet, wobei die Rüst- und Lagerkosten der einzelnen Produkte unterschiedlich sind und aus Tabelle 1 entnommen werden können.

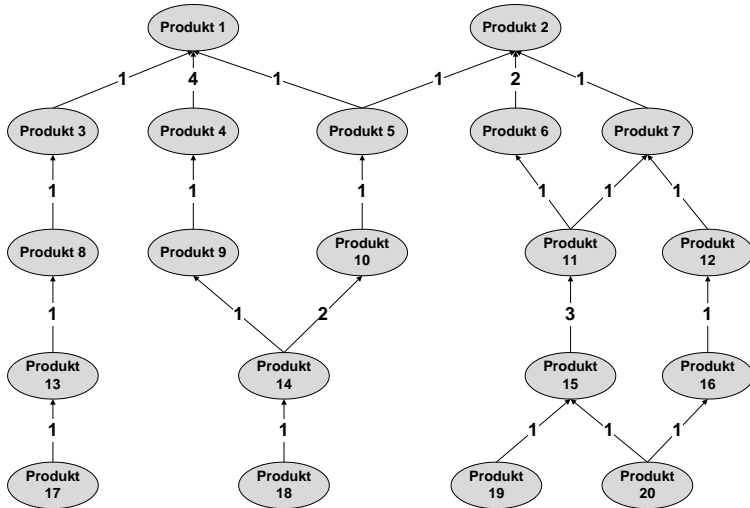


Abbildung 6: Stückliste des Beispiels

	Rüstkosten	Lagerkosten
Produkt 1	280	27
Produkt 2	340	43
Produkt 3	80	4
Produkt 4	90	4
Produkt 5	70	6
Produkt 6	80	11
Produkt 7	40	14
Produkt 8	60	3
Produkt 9	50	3
Produkt 10	33	5
Produkt 11	76	10
Produkt 12	49	3
Produkt 13	76	2
Produkt 14	59	2

Produkt 15	47	3
Produkt 16	34	2
Produkt 17	66	1
Produkt 18	99	1
Produkt 19	87	1
Produkt 20	98	1

Tabelle 1: Rüst- und Lagerkosten des Beispiels jeweils in GE

Die Werkstattfertigung umfasst 4 Maschinen, wobei der Einfachheit halber die Arbeitspläne (siehe Abbildung 7) aller Produkte identisch sind. Ein Produkt wird zuerst an der Maschine 1 bearbeitet, anschließend an einer der beiden parallelen Maschinen 21 bzw. 22 bevor die Herstellung an der Maschine 3 abgeschlossen wird. Es wird von einer geschlossenen Produktion ausgegangen (s. [Herr09]). Die Fertigungssteuerung erfolgt nach der Pufferzeitregel, d.h. dass der Auftrag aus der Warteschlange einer Maschine zuerst bearbeitet wird bei dem der Puffer am geringsten ist. Die Pufferzeit (PZ_i) von Auftrag A_i ist die Differenz zwischen seiner Restzeit (RZ_i) und seiner Restbearbeitungszeit ($RBZ_{i,k}$); also $PZ_i = RZ_i - RBZ_{i,k}$. Wobei die Restzeit von A_i die Zeitspanne zwischen dem frühesten Anfangszeitpunkt von der Operation $o_{i,k}$ und seinem Sollendtermin, also $RZ_i = f_i - FAZ_{i,k}$ ist. Der früheste Anfangszeitpunkt ($FAZ_{i,k}$) einer startbereiten Operation ($o_{i,k}$) ist der früheste Zeitpunkt, zu dem die Operation begonnen werden kann.

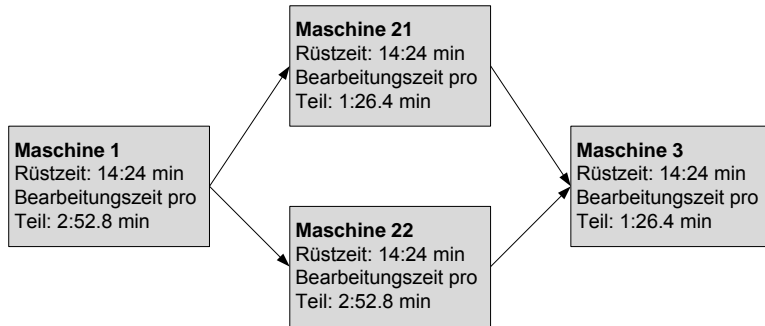


Abbildung 7: Arbeitsplan der einzelnen Produkte des Beispiels

Die sich pro Simulationslauf ergebende Summe der mittleren Verspätung in Anzahl Perioden und des mittleren Lagerbestands an Endprodukten am Ende einer Periode zeigt die nachstehende Abbildung 8. Der Wert der minimalen Losgröße ist auf der x-Achse angegeben, wobei der Parameter für alle Endprodukte identisch eingestellt wurde. Es sei angemerkt, dass für die Produkte 3 bis 20 in dieser Simulationsstudie keine Einstellung der minimalen Losgröße erfolgte. Über das Dispositionsstufenverfahren ist sichergestellt, dass die benötigten Mengen zur Produktion der Endprodukte zur Verfügung stehen. Grundsätzlich hätte auch für die Produkte 3 bis 20 die minimale Losgröße eingestellt werden können. Die Größe der eingehenden Kundenaufträge wurde in diesem Beispiel so gewählt, dass sich eine mittlere Maschinenauslastung ergab.

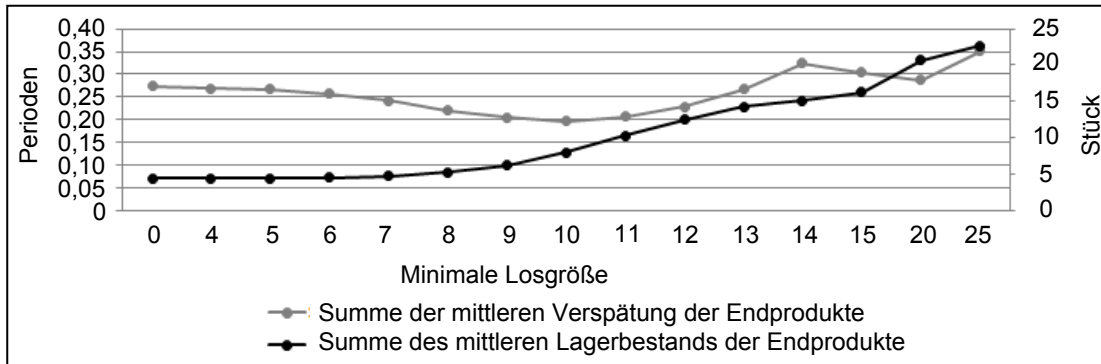


Abbildung 8: Verlauf der mittleren Verspätung und des mittleren Lagerbestands bei Variation der minimalen Losgröße

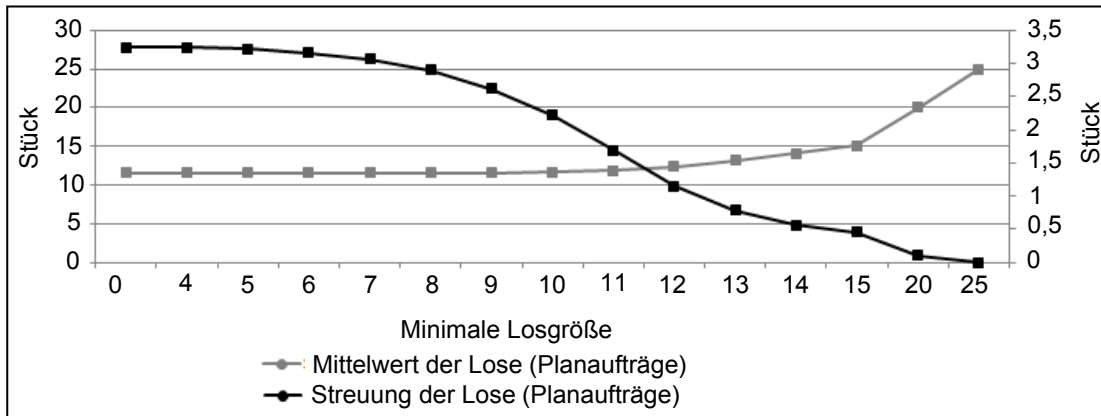


Abbildung 9: Durch die Variation der minimalen Losgröße ändert sich der Mittelwert und die Streuung der Lose

Aus der Abbildung 8 ist ersichtlich, dass es einen Einstellungsbereich für die minimale Losgröße gibt, wo die Verspätung gegenüber einer Situation ohne minimale Losgröße geringer ist. Die Kurven sind noch nicht mit den in Abbildung 1 gezeigten Ergebnissen von [DMHH09] vergleichbar, da die Kennzahlen unterschiedlich berechnet werden und der Umfang des Beispiels noch deutlich geringer ist. Strukturelle Ähnlichkeiten sind jedoch bereits erkennbar.

Durch die Variation der minimalen Losgröße ändert sich der Mittelwert und die Streuung der Lose (Planaufträge), wie Abbildung 9 exemplarisch für das Endprodukt 1 zeigt. In der Ausgangssituation ist der Mittelwert der Lose 11,5 Mengeneinheiten (ME) und die Streuung 3,2 ME. Ab einem bestimmten Wert der minimalen Losgröße ist die Streuung 0. Gleichzeitig ist der Wert der minimalen Losgröße gleich dem Mittelwert der Lose, wodurch nur noch Lose in Höhe des Losgrößenmodifikators erzeugt werden.

Nach ersten Einschätzungen der Autoren und den Beschreibungen der Literatur können aufgrund der Änderung der Größe der Lose (Planaufträge) weitere Effekte auftreten, welche die in Abbildung 8 gezeigten Verbesserungen bzw. Verschlechterungen erklären. Diese sind beispielsweise:

- Kleine Lose können an einem Kapazitätsengpass günstig sein, um möglichst viele verschiedene (End)produkte fertigstellen zu können.
- Bei großen Losen sinken die Rüstzeiten und -kosten. [Wien87]

- Große Auftragsmengen führen zu weniger Rüstvorgängen und damit zu einer besseren Leistung an Engpasskapazitäten. [DMHH09]
- Bei großen Losen erfolgen seltener Auftragswechsel an den Maschinen, wodurch der Nachfolgearbeitsplatz nicht lückenlos mit Arbeit versorgt wird, sodass ihre Leistung abfällt. [DMHH09]
- Harmonisierte, um Ausreißer bereinigte Losgrößenverteilungen, bedingten kontinuierlichere Materialflüsse, die durch weniger Fehlteile beeinträchtigt wurden. [DMH009]

Im nächsten Schritt des Forschungsprojektes wird versucht, die genannten Effekte nachzuweisen, um damit die Charakteristika erklären zu können. Dazu wird eine Erweiterung des Werkstatt-simulationsmodells vorgenommen.

5 Fazit und Ausblick

Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass komplexe Fallstudien erforderlich sind, um die in der Industrie auftretenden Charakteristika von Produktionsprozessen erzeugen zu können. An dieser Aufgabe wird in nächster Zeit vorrangig gearbeitet werden. Hierzu werden gezielt Fallstudien aufgrund der vorhandenen Literatur einerseits und der industriellen Praxis andererseits gebildet werden. Sie sollten auch dazu beitragen zu verstehen in wie weit die Kennzahlenverläufe unternehmensspezifisch sind. Dies ist zwingend erforderlich, um das geplante automatische System erstellen zu können.

Literaturverzeichnis

- [DMHH09] *Dittrich, J.; Mertens, P.; Hau, M.; Hufgrad, A.:* Dispositionsparameter in der Produktionsplanung mit SAP. Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2009.
- [GHIK09] *Gulyácssy, F.; Hoppe, M.; Isermann, M.; Köhler, O.:* Disposition mit SAP. Galileo Press, Bonn, 2009.
- [Herr09] *Herrmann, F.:* Logik der Produktionslogistik. Oldenbourg Verlag, Regensburg, 2009.
- [HeSt10] *Herrmann, F.; Stumvoll, U.:* Einstellung von Losgrößenheuristiken in ERP- bzw. PPS-Systemen. In: 7. Wismarer Wirtschaftsinformatiktag, Wismar, 2010.
- [Kno85] *Knolmayer, G.:* Zur Bedeutung des Kostenausgleichsprinzips für die Bedarfsplanung in PPS-Systemen. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung 37 (1985), S 411 – 427.
- [Temp08] *Tempelmeier, H.:* Materiallogistik. Springer, 6. Auflage, Köln 2008.
- [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.

[Wien87] *Wiendahl, H.-P.*: Belastungsorientierte Fertigungssteuerung - Grundlagen, Verfahrensaufbau und Realisierung. Hanser Verlag, Hannover, 1987.

[ZoRo87] *Zoller, K.; Robrade A.*: Dynamische Bestellmengen und Losgrößenplanung, Verfahrensübersicht und Vergleich. In: OR Spektrum 9 (1987), S. 219 – 233.