

Kapazität und Bestand in der Werkstattfertigung

B. Scholz-Reiter, F. Harjes und L. Lemke

Abstract—Die Effizienz einer Fertigungsregelung ist wesentlich von der korrekten Abbildung der Beziehung zwischen den geregelten Kenngrößen abhängig. Besonders die konfliktären Wechselwirkungen zwischen Bestand und Kapazität stellen hohe Anforderungen an die zugrunde liegende Regelstrategie. Der folgende Beitrag beleuchtet im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse den Einfluss von Kapazität und Bestand auf die Termintreue einer Werkstattfertigung und gibt eine Empfehlung für eine Priorisierung im Rahmen einer kombinierten Regelstrategie.

Index Terms—Bestandsregelung—Kapazitätsregelung—Sensitivitätsanalyse—Werkstattfertigung

I. EINFÜHRUNG

Die Werkstattfertigung als Produktionsform ist durch die Fertigung variantenreicher Kleinserien mit variablen Fertigungsfolgen und kurzen Herstellungszyklen charakterisiert (Wiendahl 2010). Dies führt zu dynamischen Herstellungsprozessen und komplexen Materialflüssen, die die eingesetzten Systeme zur Fertigungsregelung vor große Anforderungen stellen (Stosik 2005).

Eine Regelstrategie für diesen anspruchsvollen Anwendungsbereich benötigt daher, mehr noch als in anderen Produktionsformen, genaue Kenntnis über das Zusammenwirken der einzelnen Parameter und Kennzahlen (Jodlbauer 2008). Im Folgenden wird auf Basis eines generischen Modells eine Sensitivitätsanalyse des Einflusses von Kapazität und Bestand auf die Termintreue einer Werkstattfertigung vorgenommen, wobei unter Kapazität die zur Verfügung stehende Arbeitszeit zu verstehen ist. Endergebnis ist eine Priorisierung der beiden Kenngrößen für die Entwicklung einer kombinierten Regelungsstrategie, die eine Maximierung der Termintreue zum Ziel hat.

II. EXPERIMENTE

A. Werkstattmodell

Als Grundlage der Sensitivitätsanalyse dient das generische Modell einer Werkstattfertigung. Das Modell verfügt über neun Arbeitssysteme, die in vier Fertigungsstufen bzw. Teilwerkstätten (siehe Abb. 1) organisiert sind. Die Arbeitssysteme sind als Maschinen mit

identischem Funktionsumfang (Sägen, Fräsen, etc.) ausgeführt, weisen jedoch unterschiedliche technische Parameter auf. Somit ergeben sich für die verschiedenen Werkstücktypen variierende Rüst- und Bearbeitungszeiten.

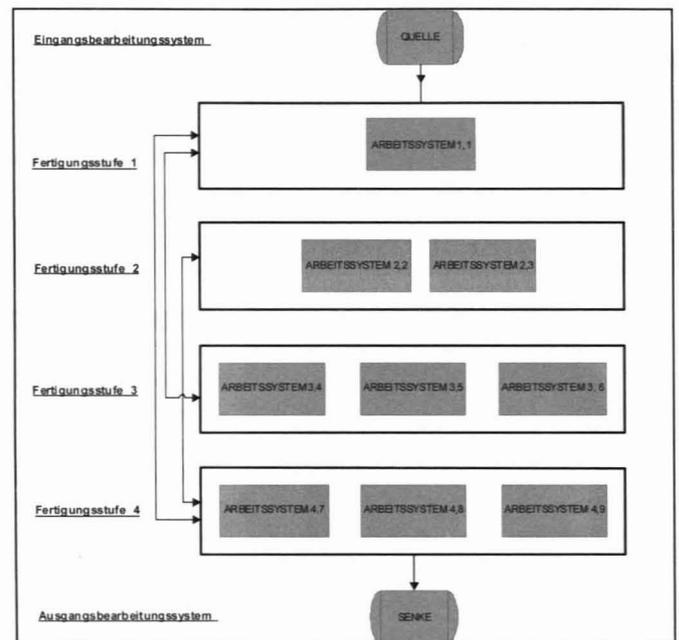


Abbildung 1. Struktur des verwendeten Werkstattmodells

Die Werkstücke durchlaufen die Fertigung von der Quelle bis zur Senke, wobei die Bearbeitungsreihenfolgen werkstückabhängig sind und teilweise variieren können. Zwischen den einzelnen Fertigungsstufen sind somit Rückflüsse möglich. Die Quelle ist als Auftragsfreigabe und die Senke als Endlager oder Montage für Einzelkomponenten zu verstehen.

Insgesamt werden maximal 8 unterschiedliche Werkstücke in 725 Aufträgen gefertigt, wobei der Simulationszeitraum zwei Jahre beträgt. Die Losgröße schwankt zwischen einem und vier Teilen, die das Fertigungssystem jeweils in offener Fertigung durchlaufen.

Für die Durchführung der Sensitivitätsanalyse von Kapazität und Bestand im Hinblick auf die Termintreue, sind in dem Modell je eine kapazitäts- und bestandsorientierte Fertigungsregelung implementiert. Beide Regelstrategien betrachten dezentral die Verteilung von Werkstücken auf die Arbeitssysteme (m) der nachfolgenden Fertigungsstufe (n) als Stellgröße ($Y_{n,m}$) und die Termintreue als Führungsgröße (W). Als Grundlage für die Termintreue dienen die Soll-

Manuscript received May 16, 2011, and accepted July 15, 2011, by Prof. Siegfried Vössner.

F. Harjes arbeitet für das BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen und ist unter haj@biba.uni-bremen.de erreichbar.

Durchlaufzeiten der Werkstücke.

Die Kapazitätsregelung erfolgt auf Grundlage der geringsten möglichen Durchlaufzeit für das betrachtete Werkstück, jeweils in Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden Kapazitäten. Ein Blockschaltbild der angewandten Regelung ist in Abbildung 2 zu sehen.

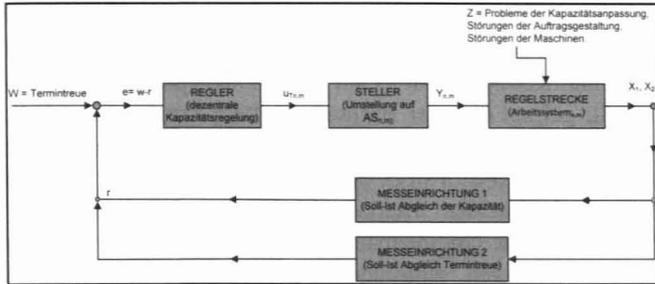


Abbildung 2. Blockschaltbild der Kapazitätsregelung

Rückführgrößen (r) sind hier Soll-Ist-Abgleiche der Kapazität und der Termintreue im Hinblick auf die Soll-Durchlaufzeit des Werkstücks, berechnet für jeden Fertigungsschritt. Im Falle unzureichender Kapazitäten wird mit einem Kapazitätsausgleich in Form zusätzlicher Arbeitsstunden oder ganzer Schichten reagiert, Überkapazitäten führen entsprechend zu einem Abbau von Schichten.

Die Bestandsregelung orientiert sich an der Dezentralen Bestandsorientierten Fertigungsregelung (DBF) (Wiendahl & Lödding 2001). Hier werden die Umlagerungsentscheidungen zwischen den Fertigungsstufen auf Grundlage von Bestandsgrenzen der in Frage kommenden Nachfolgearbeitssysteme getroffen. Die Bestandsgrenzen werden für jedes Arbeitssystem der Werkstatt nach folgender Formel ermittelt (Lödding 2008):

$$BG = B_{Ziel} + B_{m,ind}$$

Die Bestandsgrenze (BG) setzt sich aus dem Zielbestand des aktuellen Arbeitssystems sowie dem Bestand des Vorgängersystems (indirekter Bestand $B_{m,ind}$) zusammen. Eine Umlagerung kann nur erfolgen, wenn die Bestandsgrenze des Zielsystems noch nicht überschritten ist (Lödding 2008). Das Blockschaltbild der Bestandsregelung ist in Abbildung 3 zu sehen.

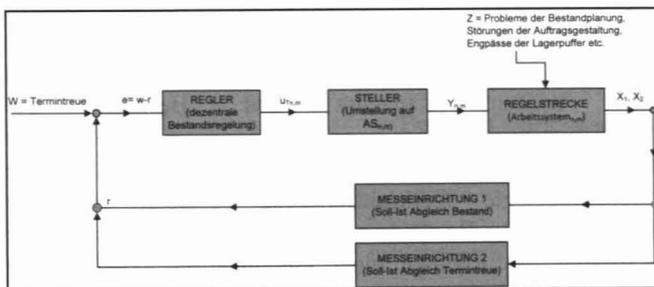


Abbildung 3. Blockschaltbild der Bestandsregelung

Im Gegensatz zum kapazitätsbasierten Regelkonzept, werden hier neben der Termintreue die Bestände in den Bestandskonten der Arbeitssysteme zurückgeführt (r). Als Grundlage der Experimente werden für die Bestandsregelung die mittleren Bestandsgrößen in einem vorbereitenden Simulationslauf anhand der kumulierten Bearbeitungs- und Rüstzeiten berechnet.

B. Sensitivitätsanalyse

Im Allgemeinen wird unter einer Sensitivitätsanalyse ein Verfahren verstanden, welches Zusammenhänge zwischen der Varianz von Eingangs- und Ausgangsgrößen eines komplexen Systems zu ermitteln versucht (Siebertz, van Bebber & Hochkirchen 2010). In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss von Kapazität und Bestand auf die Termintreue einer Werkstattfertigung untersucht. Zielstellung ist es, aus den Ergebnissen abzuleiten, wie die untersuchten Kenngrößen im Rahmen einer kombinierten Regelung zu priorisieren sind.

Die Sensitivitätsanalyse fußt auf den Ergebnissen von sechs Simulationsläufen mit identischen Auftragsdaten pro Regelstrategie. Bei der kapazitätsbasierten Regelung wird zwischen den Simulationsläufen jeweils der Schichtplan variiert, um die Auswirkungen von Kapazitätsänderungen nachvollziehen zu können. So ist z.B. in der ersten Simulation ein einheitlicher Schichtplan für jedes Arbeitssystem vorgesehen (3-Schicht-5-Tage-Betrieb), während im fünften Simulationslauf mit flexiblen Schichtplänen gearbeitet wird. Die Sollbestände an den Arbeitssystemen bleiben für alle Simulationen der Kapazitätsregelung gleich.

Für die bestandsbasierte Regelung werden die berechneten mittleren Bestandsgrößen pauschal um 5% nach oben bzw. nach unten korrigiert, während die Kapazität unverändert bleibt. Hier wird durchgängig von einem 3-Schicht-5-Tage-Betrieb ausgegangen. Auf diese Weise wirken nur die geänderten Bestandsgrößen auf die Ergebnisse des Produktionssystems ein.

III. ERGEBNISSE

Für die Beurteilung der Ergebnisse wird die Einhaltung der Termintreue in zwei Toleranzbereichen herangezogen. Toleranzbereich 1 erfasst alle Aufträge, die die geplante Soll-Durchlaufzeit einhalten oder um maximal 15% verfrüht bzw. verspätet fertiggestellt werden. Im zweiten Toleranzbereich ist diese Spanne auf 30% erhöht.

A. Kapazitätsregelung

Die Ergebnisse der Kapazitätsregelung variieren je nach Art und Umfang der Kapazitätsanpassung deutlich. Abbildung 4 zeigt für jeden der sechs Simulationsläufe die erreichte Termintreue in beiden Toleranzbereichen. Am effizientesten arbeitet die Kapazitätsregelung in den Simulationsläufen 2 und 4, hier werden jeweils knapp 70% der Aufträge im Toleranzbereich von 15% um den Solltermin

herum fertiggestellt. Im Toleranzbereich 2 sind es jeweils über 90%. Während im zweiten Simulationslauf Kapazitätsanpassungen in Form von vollständigen Zusatzschichten für ganze Fertigungsstufen am Samstag vorgenommen werden, basiert die Regelung im vierten Simulationslauf auf flexiblen Überstunden an den jeweiligen Arbeitssystemen.

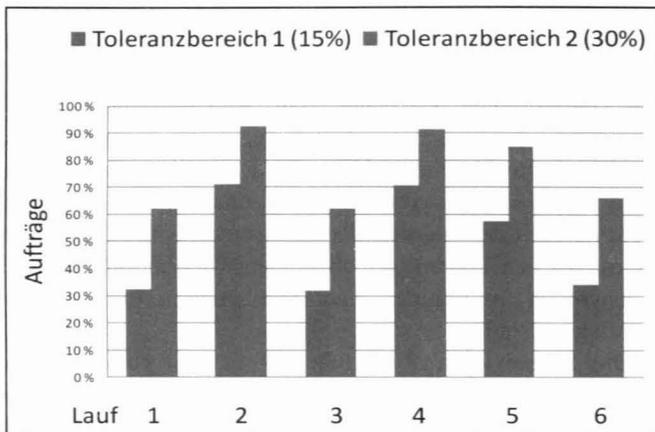


Abbildung 4. Ergebnisse der Kapazitätsregelung

Die restlichen vier Simulationsläufe erzielen, besonders im Toleranzbereich 1, deutlich schlechtere Ergebnisse.

B. Bestandsregelung

Auch bei der Bestandsregelung weisen die Simulationsläufe große Unterschiede bezüglich der Termintreue auf (siehe Abbildung 5). Die größte Termintreue wird in Simulationslauf zwei erreicht. Die Bestandsgrenze liegt hier 5% unter den mittleren Bestandsgrenzen des Referenzlaufes.

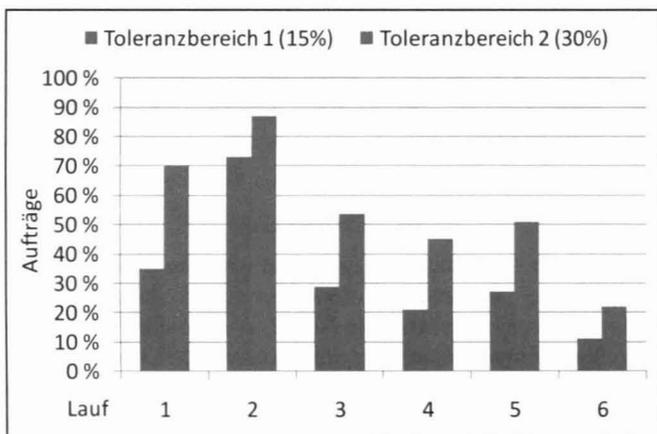


Abbildung 5. Ergebnisse der Bestandsregelung

Insgesamt werden im betreffenden Simulationslauf über 70% der Aufträge im Toleranzbereich 1 fertiggestellt, fast 90% liegen noch innerhalb des Toleranzbereiches 2. Im Vergleich zur Kapazitätsregelung wird jedoch nur für diese Parametereinstellung ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt,

alle anderen Konfigurationen zeigen eine deutlich schlechtere Termineinhaltung in beiden Toleranzbereichen.

C. Vergleich anhand der Sensitivitätsanalyse

Betrachtet man die Versuchsergebnisse der Bestands- und Kapazitätsregelung in Abbildung 6, so scheint der Bestand einen geringfügig höheren Einfluss auf die Termintreue zu besitzen. Während die Kapazitätsregelung für zwei Parameterkonfigurationen gute Resultate (Läufe 2 und 4) und für eine Konfiguration (Lauf 5) ein akzeptables Ergebnis erzielt, gelingt dies der Bestandsregelung nur in einem Fall. Die besten Resultate zeigen beide Regelstrategien in Simulationslauf 2, wobei die Bestandsregelung geringfügig besser abschneidet. Beiden Regelungen liegt in dieser Simulation eine Grundkapazität von 3 Schichten à 8 Stunden an 5 Werktagen zugrunde. Da sich die Auftragsdaten ebenfalls gleichen, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die betrachtete Werkstattfertigung sensibler auf Änderungen der Sollbestände reagiert, als auf Variationen des Schichtplans bzw. Kapazitätsänderungen in Form von Überstunden.

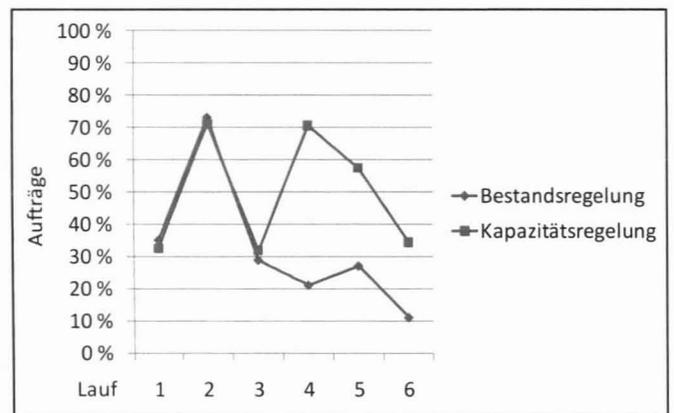


Abbildung 6. Bestands- und Kapazitätsregelung im Vergleich (Toleranzbereich 1)

Eine Integration beider Größen in eine kombinierte Regelstrategie sollte daher auf kurzfristige Regulierung der Sollbestände fokussiert sein, während die korrespondierenden Kapazitätsanpassungen einen längeren Horizont besitzen. Im Rahmen einer kaskadierten Mehrgrößenregelung würde der Bestandsregelkreis entsprechend innen, der Kapazitätsregelkreis außen liegen.

IV. CONCLUSION

Der vorliegende Beitrag betrachtet die Sensitivität der Termintreue eines generischen Werkstattmodells hinsichtlich der Größen Kapazität und Bestand. Die Simulationsergebnisse mit verschiedenen Parameterkonstellationen deuten darauf hin, dass die zugrundegelegte Werkstattfertigung sensibler auf eine Regulierung der Bestände reagiert, als auf Anpassungen der Kapazität. Im Rahmen einer kombinierten Regelstrategie sollten daher die Bestände vorrangig betrachtet werden.

Um die erzielten Ergebnisse weiter auszubauen wären

weitere Untersuchungen mit dynamischen Anpassungen der Kapazitätsauslastungen und Bestandsniveaus sinnvoll. Hier wäre von Interesse, inwiefern sich Bestandsniveaus und Kapazitätsauslastungen sinnvoll koppeln lassen, um Synergieeffekte zu nutzen und ungewünschte Wechselwirkungen zu vermeiden.

ACKNOWLEDGEMENT

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „Automatisierung des kontinuierlichen Lernens und Untersuchung des Langzeitverhaltens neuronaler Netze für die Produktionssteuerung“, das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unter dem Kennzeichen Scho 540/16-1 gefördert wird.



Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter, geb. 1957, ist Professor für Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme (PSPS) am Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen und Leiter des BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH.



Dipl.-Inf. Florian Harjes, geb. 1981, studierte Informatik an der Universität Bremen. Seit 2009 ist er Wissenschaftlicher Mitarbeiter am BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik GmbH an der Universität Bremen im Forschungsbereich Intelligente Produktions- und Logistiksysteme.



Laura Lemke, geb. 1986 studiert seit 2005 Wirtschaftsingenieurwesen auf Diplom an der Universität Bremen.

REFERENCES

- Jodlbauer, H 2008, *Produktionsoptimierung: Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung*, 2nd edn, Springer Verlag, Berlin.
- Lödding, H 2008, *Verfahren der Fertigungssteuerung: Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration*, 2nd edn, Springer Verlag, Berlin.
- Siebertz, K, van Beber, D & Hochkirchen, T 2010, 'Sensitivitätsanalyse', in *Statistische Versuchsplanung*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
- Stosik, D 2005, *Mehrzielorientierte Ablaufplanung bei auftragsorientierter Werkstattfertigung*, Logos, Berlin.
- Wiendahl, H-P 2010, *Betriebsorganisation für Ingenieure*, 7th edn, Carl Hanser Verlag, München Wien.
- Wiendahl, H-P & Lödding, H 2001, 'Dezentrale Bestandsorientierte Fertigungsregelung', *wt werkstattstechnik online*, April 2001, pp. 202-207.

EINLADUNG zum 28. Treffen der Wirtschaftsingenieure in Kärnten und Osttirol

„Eine Bank im Wandel - Die eingeleiteten Veränderungsprozesse der Hypo Alpe-Adria Bank AG“

Es freut uns besonders, dass Herr Mag. Peter Lazar, Vorstand der Hypo Alpe-Adria Bank AG, zu dieser Veranstaltung persönlich kommen und uns Einblicke aus erster Hand geben wird.

Datum: Donnerstag, 20. Oktober 2011, um 17.00 Uhr

Ort: Alpe-Adria Veranstaltungszentrum, Alpen-Adria-Platz 1 (Arena), 9020 Klagenfurt (Parkplätze stehen zur Verfügung)

Wir würden uns freuen, wieder möglichst viele Wirtschaftsingenieure bei dieser Veranstaltung begrüßen zu dürfen!

Aus organisatorischen Gründen ersuchen wir Sie, uns Ihre Teilnahme bis spätestens 17. Oktober 2011 unter nachfolgenden Kontaktdaten bekannt zu geben:

Mail: office@wing-online.at

Mit besten Grüßen

Regionalkreis Kärnten und Osttirol
Alexander Marchner und Bernd Neuner