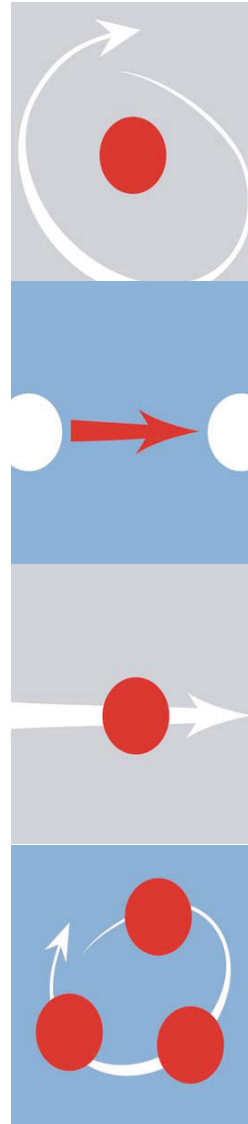


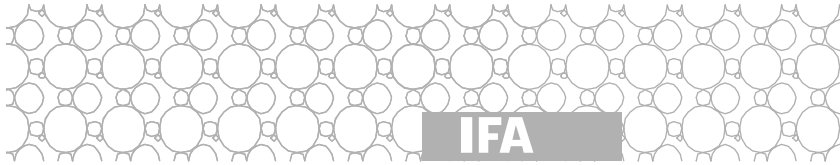
Leibniz
Universität Hannover

**Institut für
Fabrikanlagen und Logistik**

Andreas Fischer
**Modellbasierte Wirkbeschreibung
von Prioritätsregeln**



Berichte aus dem IFA Band 02/2007
Herausgeber: Peter Nyhuis



Leibniz
Universität Hannover

**Institut für
Fabrikanlagen und Logistik**

Berichte aus dem IFA

Wissenschaftliche Schriftenreihe des
Instituts für Fabrikanlagen und Logistik
der Leibniz Universität Hannover

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist erhältlich
bei: Die Deutsche Bibliothek
Zugleich: Dissertation,
Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover, 2007

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch das
des Nachdruckes, der Wiedergabe, der Speicherung in
Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung des vollständigen
Werkes oder von Teilen davon, sind vorbehalten.

© PZH Produktionstechnisches Zentrum GmbH, 2007
An der Universität 2 ♦ 30823 Garbsen
Tel: 0511-762-19434 ♦ Fax: 0511-762-18037
[http: www.pzh-gmbh.de](http://www.pzh-gmbh.de) ♦ mail: info@pzh-gmbh.de

ISBN: 978-3-939026-50-1
ISSN: 1614-5720

Verlag: PZH Produktionstechnisches Zentrum GmbH

Herstellung: Digital Print, Garbsen
Printed in Germany

Modellbasierte Wirkbeschreibung von Prioritätsregeln

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation

von
Dipl.-Ing. Andreas Fischer
geboren am 09. April 1976 in Bremerhaven

2007

1. Referent: Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. P. Nyhuis
2. Referent: Univ. Prof. Dr.-Ing. L. Overmeyer

Tag der Promotion: 17. April 2007

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fabrikanlagen (IFA) der Leibniz Universität Hannover. Viele Personen haben mich in dieser Zeit unterstützt und so zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Ihnen allen bin ich zu großem Dank verpflichtet.

Mein besonderer und erster Dank gilt meinem Doktorvater Herrn *Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis*, geschäftsführender Leiter des IFA, für die stete und wohlwollende Förderung während der gesamten Institutszeit sowie für die zur Erstellung der Dissertation gewährten Freiräume. In diesem Zusammenhang danke ich ebenfalls Herrn *Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. mult. Dr. sc. h.c. Hans-Peter Wiendahl*, dem ehemaligen Leiter des IFA, für die hervorragende fachliche und menschliche Ausbildung und für das der Arbeit entgegengebrachte Interesse. Des Weiteren danke ich Herrn *Prof. Dr.-Ing. Ludger Overmeyer*, Leiter des Instituts für Transport- und Automatisierungstechnik, für die Übernahme des Koreferats und Herrn *Prof. Dr.-Ing. Georg Redeker*, ehemaliger Leiter des Instituts für Qualitätssicherung, für den Vorsitz der Prüfungskommission.

Mein weiterer Dank gilt meinen ehemaligen und aktiven Kollegen, insbesondere natürlich aus der Forschungsgruppe *Produktionsmanagement*. Sie alle haben zu einer unvergleichlich positiven und angenehmen Arbeitsatmosphäre am IFA beigetragen. Hervorheben möchte ich hierbei die Herren *Dr.-Ing. Carsten Begemann*, *Dipl.-Ing. Tim Busse* und *Dipl.-Ing. Jörg Hüntelmann*, da sie sich sehr intensiv mit meiner Arbeit auseinandergesetzt haben. Ihnen danke ich für die konstruktive Kritik und ihre wertvolle Zeit.

Frau *Dagmar Schössow-Weber* und ihren Mitarbeitern aus dem Zeichenbüro danke ich für die Erstellung der Grafiken sowie Frau *Carola Hartwig*, Frau *Ingeborg Zobel* und Herrn *Jan Schlegel* für die hervorragende administrative und technische Unterstützung. Zudem möchte ich mich bei Herrn *Tim Klemke* für die gewissenhafte und positive Unterstützung im Rahmen der Simulationsstudien bedanken.

Einen besonderen Dank möchte ich meinen Eltern *Dipl.-Soz. Dorothea Fischer* und *Dipl.-Hdl. Klaus Fischer* sowie meinem Bruder *Dr.-Ing. Stephan Fischer* aussprechen. Ihre umfassende und vorbehaltlose Unterstützung hat maßgeblich zum Gelingen der Arbeit beigetragen.

Nicht zuletzt danke ich meiner Verlobten, Frau *Tina Wallenburger*, und unserer Tochter *Nele Sophie* für die zugestandenen Freiräume und die verständnisvolle Unterstützung. Sie waren und sind mir immer ein liebevoller Rückhalt und eine große Motivation. Ihnen widme ich diese Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Forschungsbedarf.....	1
1.2	Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	2
2	Grundlagen der Fertigungssteuerung	5
2.1	Fertigungssteuerung als integraler Bestandteil der PPS	5
2.2	Lösungsverfahren für Reihenfolgeprobleme.....	8
2.2.1	Optimierende Lösungsverfahren.....	9
2.2.2	Lösungsverfahren der künstlichen Intelligenz	11
2.2.3	Konventionelle Lösungsverfahren.....	12
2.2.4	Diskussion über die Anwendbarkeit der Lösungsverfahren	18
2.2.5	Bisherige Forschung im Bereich der Prioritätsregeln	19
2.3	Modellierungsansätze zur Wirkbeschreibung von Prioritätsregeln	22
2.3.1	Simulationsmodelle	23
2.3.2	Warteschlangenmodelle.....	25
2.3.3	Theorie der Logistischen Produktionskennlinien	28
2.3.4	Bewertung der Modellierungsansätze	30
2.4	Theorie der Logistischen Produktionskennlinien zur Wirkbeschreibung von Prioritätsregeln.....	33
2.4.1	Trichtermodell und Durchlaufdiagramm	33
2.4.2	Leistungs- und Reichweitenkennlinie	38
2.4.3	Durchlaufzeitkennlinie	42
2.4.4	Termintreuekennlinie.....	50
3	Simulative Wirkbeschreibung von Prioritätsregeln	56
3.1	Zielformulierung der Simulation	56
3.2	System- und Datenanalyse.....	57
3.2.1	Systemanalyse.....	57
3.2.2	Datenanalyse	58
3.3	Aufbau des Simulationsmodells.....	61
3.3.1	Definition der Simulationsumgebung.....	61

3.3.2	Definition der Simulationsmodellebenen	62
3.3.3	Definition der Analysewerkzeugs.....	64
3.4	Verifikation und Validierung des Simulationsmodells	64
3.5	Simulationsdurchführung und Auswertung.....	67
3.5.1	Durchführung der Simulationsversuche.....	67
3.5.2	Auswertung der Simulationsversuche	71
3.6	Diskussion der Ergebnisse.....	97
4	Mathematische Wirkbeschreibung von Prioritätsregeln.....	100
4.1	Zielformulierung der mathematischen Wirkbeschreibung	100
4.2	Identifikation einer Basisgleichung für die Durchlaufzeitkennlinie	101
4.3	Parametrisierung der Durchlaufzeitkennlinie.....	105
4.4	Evaluation der Abbildungsgüte der Durchlaufzeitkennlinien	114
4.5	Diskussion der Ergebnisse.....	117
5	Anwendung des mathematischen Modells	120
5.1	Zielformulierung der Modellanwendung	120
5.2	Simulation der Schlupfzeitregel.....	121
5.3	Parametrisierung der Durchlaufzeitkennlinie – Schlupf.....	123
5.4	Evaluation der Abbildungsgüte der Durchlaufzeitkennlinie – Schlupf.....	126
5.5	Diskussion der Ergebnisse.....	127
6	Schlussbetrachtung	131
6.1	Zusammenfassung.....	131
6.2	Ausblick.....	134
7	Anhang	137
8	Literaturverzeichnis	139

Abkürzungsverzeichnis

Allgemeine Merkmale

(Index oder nachführende Bezeichnung)

Zeichen		Bedeutung
i	[-]	Zählvariable
m		Mittelwert
$\max(x, y)$		Maximalwert von x und y
$\min(x, y)$		Minimalwert von x und y
s		Standardabweichung
v		Variationskoeffizient

Dimensionsangaben

Zeichen	Bedeutung
%	Prozent
BKT	Betriebskalendertage
ME	Mengeneinheiten
Min	Minuten
Std	Stunden
Stk	Stück

Formelzeichen

Zeichen	Einheit	Bedeutung
AAP	[-]	Anzahl Arbeitsplätze
$AB_d(rel)$	[%]	durchschnittliche relative Abweichung
$AB_q(rel)$	[%]	quadratische relative Abweichung
a_i	[-]	Parameter a_i
a_i / a_j	[-]	Asymptotenwert

A_{max}	[%]	maximal mögliche Auslastung
$AnzAuf_{Gesamt}$	[-]	Gesamtanzahl Aufträge
$AnzAuf_{TT}$	[-]	Anzahl Aufträge innerhalb der Termintoleranz
b_i	[-]	Parameter b_i
BI_{min}	[Std]	idealer Mindestbestand
$BI_{min,RO}$	[Std]	idealer Mindestbestand für die RO-Regel
$BKAP_v$	[Std/BKT]	verfügbare Betriebsmittelkapazität
B_m	[Std]	mittlerer Bestand
c_i	[-]	Parameter c_i
d_i	[-]	Parameter d_i
F_i	[-]	Parameter F_i
g_i	[-]	Parameter g_i
k	[-]	Anzahl der Arbeitsvorgänge im Untersuchungszeitraum
KAP	[Std/BKT]	Kapazität je Betriebskalendertag
LA_m	[1/BKT]	Leistung in mittlerer Anzahl fertig gestellter Aufträge
LG	[ME]	Losgröße
LGr	[%]	Leistungsgrad
L_m	[Std/BKT]	mittlere Leistung
L_{max}	[Std/BKT]	maximal mögliche Leistung
n	[-]	Anzahl Aufträge in der Warteschlange
n_m	[-]	mittlere Anzahl Aufträge
$n_{m,FIFO}$	[-]	mittlere Anzahl Aufträge FIFO
$n_{m,KOZ}$	[-]	mittlere Anzahl Aufträge KOZ
$n_{m,LOZ}$	[-]	mittlere Anzahl Aufträge LOZ
$n_{m,Schlupf}$	[-]	mittlere Anzahl Aufträge Schlupf
$PKAP_n$	[Std/BKT]	nutzbare Personalkapazität je Betriebskalendertag
$PKAP_v$	[Std/BKT]	verfügbare Personalkapazität je Betriebskalendertag
R_m	[BKT]	mittlere Reichweite
R_{min}	[BKT]	Mindestreichweite
t	[-]	Laufvariable ($0 < t < 1$)

TAA^+_{max}	[BKT]	maximal zulässige positive Terminabweichung im Abgang
TAA^-_{max}	[BKT]	maximal zulässige negative Terminabweichung im Abgang
TAB	[BKT]	Bearbeitungsbeginn des Auftrags (Auftragsfreigabe)
TAE	[BKT]	Bearbeitungsende des Auftrags
$TAE_{früh}$	[BKT]	frühest zulässiger Termin für das Bearbeitungsende des Auftrags
TAE_{ist}	[BKT]	Ist-Termin Bearbeitungsende des Auftrags
TAE_{plan}	[BKT]	Plan-Termin Bearbeitungsende des Auftrags
$TAE_{spät}$	[BKT]	spätest zulässiger Termin Bearbeitungsende des Auftrags
TA_m	[BKT]	mittlere Zugangsterminabweichung
TA_s	[BKT]	Streuung der Zugangsterminabweichung
TBE	[BKT]	Bearbeitungsende
$TBEV$	[BKT]	Bearbeitungsende Vorgänger
t_e	[Min/ME]	Einzelzeit
t_r	[Min]	Rüstzeit
TRA	[BKT]	Rüstanfang
TT	[%]	Termintreue
z	[-]	Anzahl der Simulationspunkte
ZAU	[Std]	Auftragszeit
ZAU_i	[Std]	Auftragszeit des Auftrags i
ZAU_m	[Std]	mittlere Auftragszeit
ZAU_s	[Std]	Standardabweichung der Auftragszeit
ZAU_v	[-]	Variationskoeffizient der Auftragszeit
ZBA	[Std]	Bearbeitungszeit in Vorgabestunden
ZDA	[BKT]	Auftragsdurchlaufzeit
ZDF	[BKT]	Durchführungszeit
ZDF_i	[BKT]	Durchführungszeit des Auftrags i
ZDF_m	[BKT]	mittlere Durchführungszeit
ZDF_s	[BKT]	Standardabweichung der Durchführungszeit

ZDF_v	[-]	Variationskoeffizient der Durchführungszeit
ZDL	[BKT]	Durchlaufzeit
$ZDL_{ber,i}$	[BKT]	berechnete Durchlaufzeit für den Simulationspunkt i
ZDL_m	[BKT]	mittlere Durchlaufzeit
$ZDL_{m,FIFO}$	[BKT]	mittlere Durchlaufzeit FIFO
$ZDL_{m,KOZ}$	[BKT]	mittlere Durchlaufzeit KOZ
$ZDL_{m,LOZ}$	[BKT]	mittlere Durchlaufzeit LOZ
$ZDL_{m,Schlupf}$	[BKT]	mittlere Durchlaufzeit Schlupf
ZDL_{min}	[BKT]	Minstdurchlaufzeit
$ZDL_{min,RO}$	[BKT]	Minstdurchlaufzeit für die RO-Regel
$ZDL_{sim,i}$	[BKT]	simulierte Durchlaufzeit für den Simulationspunkt i
$ZL_{m,FIFO}$	[BKT]	mittlere Liegezeit FIFO
ZR	[BKT]	Rüstzeit
ZTR_m	[BKT]	mittlere Transportzeit
ZUE	[BKT]	Übergangszeit
ZUE_i	[BKT]	Übergangszeit des Auftrags i
ZUE_m	[BKT]	mittlere Übergangszeit
Z_w	[BKT]	Zwischenankunftszeit
α	[-]	Streckfaktor
λ	[1/BKT]	Ankunftsrate
μ	[1/BKT]	Abfertigungsrate

Abkürzungen

Zeichen	Bedeutung
AVG	Arbeitsvorgang
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
FIFO	First-in-First-out
i.d.R.	in der Regel

IFA	Institut für Fabrikanlagen und Logistik der Gottfried Wilhelm Leibnitz Universität Hannover
KI	Künstliche Intelligenz
KOZ	Kürzeste Operationszeit
LOZ	Längste Operationszeit
NP	Non-Deterministic Polynomial Time
OR	Operations Research
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RO	Rüst-Optimierende-Prioritätsregel
SSS	Single System Simulation
SZ	Schlupfzeitregel
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Kurzfassung

Um im Wettbewerb erfolgreich zu sein, müssen Unternehmen immer höheren logistischen Anforderungen gerecht werden. Der Reihenfolgebildung von Aufträgen, als eine zentrale Aufgabe der Fertigungssteuerung, kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, weil sie einen direkten Einfluss auf die produktionslogistischen Zielgrößen Bestand, Leistung, Durchlaufzeit und Termintreue hat. Bisher wird die Reihenfolgebildung aufgrund ihrer Komplexität i.d.R. mit Prioritätsregeln gelöst. Problematisch ist jedoch, dass es viele unterschiedliche Prioritätsregeln gibt, deren Wirkung aufgrund fehlender allgemeingültiger Modelle kontrovers diskutiert wird. Diesem Manko wird in dieser Arbeit begegnet, indem der Einfluss der Prioritätsregeln Längste Operationszeit, Kürzeste Operationszeit, Schlupfzeit und First-in-First-out auf die logistischen Zielgrößen mit Hilfe der Simulation umfassend beschrieben wird. Die Ergebnisse werden genutzt, um zum einen allgemeingültige qualitative Aussagen abzuleiten. Zum anderen wird die Theorie der Logistischen Produktionskennlinien mit Hilfe der Ergebnisse so erweitert, dass der Wirkzusammenhang zwischen der Zielgröße Durchlaufzeit und den Prioritätsregeln in einem Modell quantitativ abgebildet werden kann.

Schlagwörter:

Logistik, Fertigungssteuerung, Reihenfolgebildung, Prioritätsregeln, Logistische Produktionskennlinien

Abstract

Enterprises have to satisfy higher and higher logistic requirements to be successful in today's consumer markets. Therefore, job sequencing as a part of manufacturing control becomes a central task because it has a direct effect on the achievement of the logistic goals work-in-progress, output rate, throughput time and schedule reliability. Due to its complexity, this task is usually carried out with the help of priority rules. However, various different priority rules exist, whose impact is discussed controversially as a result of missing general models. This thesis reduces this deficit by an extensive simulation study about the impact of the priority rules Longest Processing Time, Shortest Processing Time, Slack (SL) and First-in-First-out (FIFO) on the logistic goals. On the one hand, the results of this study are used to derive general qualitative statements. On the other hand, the theory of the Logistic Production Curves is enhanced with the help of the results so that the interrelation between throughput time and priority rules can be described in a general and quantitative model.

Keywords:

Logistics, Manufacturing control, Job sequencing, Priority rules, Logistic Production Curves

