

**Andreas Moritz**

**Verfahren zur simulationsgestützten  
Regelung der Kanban-Steuerung bei  
dynamischen Bedarfen**

**Doktorarbeit / Dissertation**

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 1999 Diplomica Verlag GmbH  
ISBN: 9783832445157

**Andreas Moritz**

# **Verfahren zur simulationsgestützten Regelung der Kanban-Steuerung bei dynamischen Bedarfen**



---

Andreas Moritz

# Verfahren zur simulationsgestützten Regelung der Kanban- Steuerung bei dynamischen Bedarfen

Dissertation  
an der RWTH-Aachen  
Fachbereich Maschinenbau + Verfahrenstechnik  
Juli 1999 Abgabe



Diplomica GmbH \_\_\_\_\_  
Hermannstal 119k \_\_\_\_\_  
22119 Hamburg \_\_\_\_\_  
Fon: 040 / 655 99 20 \_\_\_\_\_  
Fax: 040 / 655 99 222 \_\_\_\_\_  
agentur@diplom.de \_\_\_\_\_  
www.diplom.de \_\_\_\_\_

ID 4515

Moritz, Andreas: Verfahren zur simulationsgestützten Regelung der Kanban-Steuerung bei dynamischen Bedarfen / Andreas Moritz - Hamburg: Diplomica GmbH, 2001  
Zugl.: Aachen, Dissertation, 1999

---

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Diplomica GmbH  
<http://www.diplom.de>, Hamburg 2001  
Printed in Germany



## Wissensquellen gewinnbringend nutzen

**Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität** zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Magisterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

**Wettbewerbsvorteile verschaffen** – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

**<http://www.diplom.de>** bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

**Individueller Service** – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit.

### Ihr Team der Diplomarbeiten Agentur

Diplomica GmbH \_\_\_\_\_  
Hermannstal 119k \_\_\_\_\_  
22119 Hamburg \_\_\_\_\_

Fon: 040 / 655 99 20 \_\_\_\_\_  
Fax: 040 / 655 99 222 \_\_\_\_\_

agentur@diplom.de \_\_\_\_\_  
www.diplom.de \_\_\_\_\_

## ***Vorwort***

Die vorliegende Dissertation entstand als externer Doktorand am Lehrstuhl für Produktionsprozeßsteuerung und Fabrikautomatisierung der Technischen Universität Chemnitz.

Herrn Professor Dr.-Ing. habil. Joachim Petermann, dem Inhaber des obengenannten Lehrstuhls, danke ich aufrichtig für sein Vertrauen in meine Person und für seine wohlwollende Unterstützung meiner Arbeit. Seine wertvollen Anregungen haben Wesentliches zu dieser Dissertation beigetragen.

Mein Dank gilt ferner Herrn Professor Dr.-Ing. habil. Michael Schenk vom Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und –automatisierung in Magdeburg für seine kritische Prüfung meiner Dissertation.

Ebenso danke ich Herrn Professor Dr.-Ing. habil. Karl Heß vom Lehrstuhl für Steuerungs- und Regelungstechnik der Technischen Universität Chemnitz für die Durchführung der dritten Begutachtung.

Ganz besonderen Dank gilt meiner Frau. Durch ihr vertrauensvolles Verständnis und größte Rücksichtnahme gab Sie mir den für die Entstehung dieser Dissertation wesentlichen Rückhalt. Schließlich danke ich herzlich meinen Eltern, die meinen bisherigen Lebensweg mit allen Kräften unterstützt und so entscheidend zum erfolgreichen Abschluß meiner Arbeit beigetragen haben.

Mettmann, im Juli 1999

Hermann Andreas Moritz

**Verzeichnis der Abkürzungen und Variablen.....IV**

**Verzeichnis der Abbildungen .....IX**

**1 Einleitung ..... 1**

**2 Problemstellung und Stand der Technik..... 4**

2.1 Begriffsdefinitionen und Abgrenzung ..... 4

2.2 Systeme zur Steuerung von Produktion und Materialfluß ..... 6

2.3 Das Kanban-Prinzip als Produktionssteuerungsmethodik ..... 10

2.3.1 Einsatzvoraussetzungen..... 11

2.3.2 Grundelemente von Kanban-Systemen ..... 14

2.3.3 Typologie von Kanban-Steuerungen ..... 20

2.3.3.1 Zwei-Karten-Systeme..... 21

2.3.3.2 Ein-Karten-Systeme ..... 23

2.3.3.2.1 Ein-Karten-Systeme mit Transport-Kanban-Karten..... 23

2.3.3.2.2 Ein-Karten-Systeme mit Produktions-Kanban-Karten..... 23

2.3.3.3 Allgemeine Regeln für Kanban-Steuerungen..... 25

2.3.4 Planungsablauf bei Kanban ..... 26

2.4 Die Problematik schwankender Bedarfe ..... 29

2.5 Bestehende und relevante Lösungsansätze..... 31

2.6 Zielsetzung der vorliegenden Arbeit ..... 37

**3 Basiskonzept einer simulationsgestützten Regelung der Kanban-Steuerung bei dynamischen Bedarfen ..... 39**

3.1 Vorgehensweise zum Entwurf komplexer Systeme ..... 39

3.2 Grundlagen der Regelung..... 40

3.3 Anwendung des Regelkreisprinzips zur Modellierung der Kanban-Steuerung ..... 42

3.3.1 Analogieschluß zur Regelungstechnik ..... 42

3.3.2 Zielgrößenorientierung und Erstellung eines Zielsystems ..... 47

3.3.2.1 Anforderungen an ein Zielsystem ..... 47

3.3.2.2 Ableitung der relevanten Zielgrößen..... 48

3.3.3 Formulierung der Regelaufgabe ..... 52

3.3.4 Führungs- und Störgrößen..... 55

3.3.5 Identifizierung wesentlicher Totzeiten ..... 56

3.3.6 Einsatz klassischer regelungstechnischer Methoden..... 57

3.3.6.1 Prädiktive, adaptive Regelung..... 58

3.3.6.2	Simulation zur Lösung der Regelungsaufgabe.....	59
3.4	Anwendung der Simulation.....	61
3.4.1	Vorgehensweise zur Nutzung der Simulation.....	61
3.4.2	Aufbau eines symbolischen Modells.....	64
3.4.2.1	Prozeßmodell.....	64
3.4.2.2	Prozeßstruktur.....	66
3.4.2.3	Prozeßregeln.....	68
3.4.2.4	Datenmodell.....	70
3.4.3	Mathematische Beschreibung des Modells.....	73
3.5	Simulationsgestützte Planung des Reglereingriffs.....	78
3.5.1	Problemstellung.....	78
3.5.2	Ableitung des Optimierungsverfahrens.....	79
<b>4</b>	<b>Erweitertes Konzept zur Berücksichtigung deterministischer und stochastischer Schwankungen.....</b>	<b>83</b>
4.1	Analyse der Verbrauchsinformation.....	83
4.1.1	Klassifizierung nach Bedarfsverlauf und -bestimmtheit.....	83
4.1.2	Lieferabrufsystematik.....	86
4.1.3	Einflußgrößen der Unsicherheit.....	87
4.2	Modell des Bedarfsprozesses.....	89
4.2.1	Komponentensichtweise.....	89
4.2.2	Zerlegung der Störungskomponenten.....	90
4.3	Ansatz zur Regelung der deterministischen, dynamischen Komponente.....	94
4.3.1	Einstufiger Ansatz.....	94
4.3.2	Mehrstufiger Ansatz.....	98
4.4	Absicherung gegen die stochastische Komponente.....	103
4.4.1	Stochastische Lagerhaltungssysteme.....	103
4.4.2	Kompensation der stochastischen Komponente.....	107
4.5	Synthese der Ansätze zur Beherrschung deterministischer und stochastischer Bedarfe.....	110
<b>5</b>	<b>Konzeption einer DV-gestützten Verfahrensumsetzung.....</b>	<b>114</b>
5.1	Struktureller Aufbau.....	114
5.2	Konzeption der Systemfunktionen.....	115
5.2.1	Bedarfsdatenaufbereitung.....	116
5.2.2	Konfigurationsfunktion.....	118
5.2.3	Simulationsfunktion.....	119

5.2.4	Optimierung und Stellgrößengenerierung .....	121
5.2.5	Analyse und Bewertung .....	123
5.3	Integration in den betrieblichen Ablauf.....	125
5.3.1	Ablauforganisatorische Einbindung .....	125
5.3.2	Hinweise für den praktischen Einsatz .....	127
<b>6</b>	<b>Experimentelle Validierung des Systemansatzes.....</b>	<b>130</b>
6.1	Beschreibung der Experimente und Experimentplanung .....	130
6.2	Durchführung und Auswertung der Untersuchungen .....	132
6.2.1	Bedarfszerlegung .....	132
6.2.2	Einstufiges Kanban-System .....	138
6.2.3	Dreistufiges Kanban-System .....	145
6.3	Diskussion der Ergebnisse.....	148
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>151</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>154</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>164</b>

## Verzeichnis der Abkürzungen und Variablen

at	Automatisierungstechnik
$A_t$	Auftragsmenge in Periode t
Aufl.	Auflage
bzw.	beziehungsweise
BDE	Betriebsdatenerfassung
BDG	Bestandsgeregelte Durchflußsteuerung
BOA	Belastungsorientierte Auftragsfreigabe
$c_{1j}$	Fehlmengenkostensatz für Produkt j [GE/(ME*ZE)]
$c_a$	Zinssatz je Periode
$c_n$	aggregierter Zinssatz je Periode für die Bestandskosten
$C_t$	Produktionskapazität pro Periode
$C_t^*$	freie Restkapazität pro Periode
C1	Fehlmengenkosten
C1/C2	Fehlmengen- zu Bestandskostenverhältnis (bezogen auf höchste Stufe)
$C1_{it}$	Fehlmengenkosten zum Zeitpunkt t auf der Stufe i
C2	gesamte Bestandskosten
$C2_{ijt}$	Bestandskosten auf der Stufe i für Produkt j in der Periode t
CB	beeinflussbare Gesamtkosten
CV	gesamter Variationskoeffizient (coefficient of variation)
CV1	Variationskoeffizient der deterministischen Komponente
CV2	Variationskoeffizient der stochastischen Komponente
D	Bedarf im Zeitraum T, Systemlast
d	durchschnittlicher Periodenbedarf
DIN	Deutsches Institut für Normung
DV	Elektronische Datenverarbeitung
e	Regelabweichung
et al.	et alii
$E\{D\}$	Erwartungswert der Periodennachfragemenge
$E\{F_Z\}$	Erwartungswert der Fehlmenge
$E\{Z\}$	Erwartungswert der Nachfragemenge
EDI	Electronic Data Interchange (elektronischer Datenaustausch)
$f_D(d)$	Wahrscheinlichkeitsdichte der Periodennachfragemenge
FA	Fertigungsabschnitt
FM	Fehlmenge
FZ	Fortschrittszahlen
g	Index für die erzeugende deterministische Bedarfsreihe

GE	Geldeinheit
ggf.	gegebenenfalls
$h_i$	Vorgriffshorizont je Stufe
$HK_i$	kumulierte Herstellkosten für eine Mengeneinheit nach Abschluß der Verarbeitungsstufe $i$
Hrsg.	Herausgeber
$i$	Stufenindex ( $i = 1 \dots n$ ), Laufvariable
$j$	Produktindex
Jg.	Jahrgang
$k$	Laufvariable, Bedarfsreihenindex
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
$L$	Lagerbestand in einem Puffer
$L_{ijt}$	Lagerbestand von Produkt $j$ im Puffer der Stufe $i$ am Ende des Zeitpunktes $t$
$L_t$	Gesamtlagerbestand am Ende der Periode $t$ (1-Karten-System)
$L_t^v$	Lagerbestand vor der Entnahme zum Zeitpunkt $t$
MAD	Mean Absolute Deviation (mittlere absolute Abweichung)
Max	Maximum
ME	Mengeneinheit
Min	Minimum
mod	modulo
MPE	Mean Percentage Error (mittlere prozentuale Abweichung)
$MPE_{\sigma P}$	mittlere prozentuale Abweichung zwischen gemessener und erzeugender Standardabweichung je Parametervariante
$MPE_{\sigma P}^*$	Mittelwert der mittleren prozentualen Abweichung zwischen gemessener und erzeugender Standardabweichung
$MPE_{Pg}$	Mittelwert der mittleren prozentualen Abweichung der Fehlerwerte je Parametervariante bezüglich der erzeugenden deterministischen Grundreihe
$MPE_{Vg}$	mittlere prozentuale Abweichung der Fehlerwerte je Versuchslauf bezüglich der erzeugenden deterministischen Grundreihe
MRP	Material Requirements Planning
MRP II	Manufacturing Resource Planning
$N$	Intervallbreite, Stichprobenumfang
NPA	Nullbedarfsperiodenanteil
o.g.	oben genannt
o.J.	ohne Jahrgang
o.V.	ohne Verlag
OPT	Optimized Production Technology
$P$	Parametervariante
$P_t$	Produktionsmenge zum Zeitpunkt $t$

PE	Percentage Error (prozentuale Abweichung), Periode
PE	Periode
PE <sub>σPV</sub>	prozentuale Abweichung zwischen gemessener und erzeugender Standardabweichung je Versuchslauf
PJ	Perioden pro Jahr
PPS	Produktionsplanung und –steuerung
P <sub>t</sub>	Produktionsmenge in Periode t
Q <sub>α</sub>	(1- α/2)- Fraktile der Standardnormalverteilung
r	Index für die Bedarfsrealisierung
R	Spannweite (range)
r	Überwachungsintervall
resp.	respektive
RK <sub>it</sub>	Regelkarte, möglicher Stelleingriff zum Zeitpunkt t auf der Stufe i
RKW	Rationalisierungs-Kuratorium der Deutschen Wirtschaft e.V.
S	Bestellniveau
SB	Sicherheitsbestand
SM	Standardmenge
SP	Störpegel
SV <sub>it</sub>	Stelleingriffsvorschlag, Vorschlag für optimalen Stelleingriff zum Zeitpunkt t auf der Stufe i
t	Zeitpunkt, Periode
t <sub>i</sub>	Informationszeit
t <sub>p</sub>	Produktionszeit
t <sub>r</sub>	Rüstzeit
t <sub>t</sub>	Transportzeit
t <sub>w</sub>	Wiederbeschaffungszeit
T	Zeitraum, Horizont
T <sub>τη</sub>	Totzeiten innerhalb des Systems / Regelkreise (η= 1...4)
u.U.	unter Umständen
U	Untersuchungszeitraum
v	Sicherheitsfaktor
vgl.	vergleiche
V	Vorschauhorizont innerhalb einer Abrufmatrix, Liefereinteilung; Versuchsindex
VBA	Visual Basic for Applications
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
w	Führungsgröße
x	Regelgröße
$\bar{x}$	Mittelwert der Stichprobe
X <sub>t</sub> <sup>d</sup>	Menge nachzuproduzierender Produkte

$X_i$	Anzahl Kanban-Karten im Fertigungsabschnitt der Stufe $i$ (aufgerundet)
$X_{\text{net } i}$	Anzahl Kanban-Karten im Fertigungsabschnitt $i$
$X_{ti}$	Anzahl freiwerdender Kanban-Karten in der Periode $t$
$y$	Stellgröße
$y_{gi}$	Datum der erzeugenden deterministischen Bedarfsreihe
$y_t$	Verbrauchsmenge zum Zeitpunkt $t$ (Kundenbedarf)
$y_{tr}$	Element, Bedarfsdatum einer Abrufmatrix
$y_t^*$	Verbrauchsmenge plus Fehlmenge zum Zeitpunkt $t$
$y_t^e$	effektive Verbrauchs-, Entnahmemenge
$y_{t\text{max}}$	maximaler Bedarf im Betrachtungszeitraum
$y_{t\text{min}}$	minimaler Bedarf im Betrachtungszeitraum
$\bar{y}_t$	Mittelwertfiltrat
$\bar{y}_{tr}^N$	Mittelwertfiltrat einer Zeile zum Erscheinungstermin $\tau$
$\bar{Y}_{tr}^N$	Zeitreihe der Mittelwertfiltrate
$\hat{Y}_{tr}^N$	Mittelwert der Zeitreihe des Mittelwertfiltrats
$\bar{Y}_t$	Zeitreihe des Mittelwertfiltrats
$z$	Störgröße
z.B.	zum Beispiel
ZE	Zeiteinheit
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
$Z_t$	Restmenge zum Zeitpunkt $t$
ZV	Zufallsvariable
ZWF	Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb
$\alpha$	Sicherheitsfaktor (Pufferdimensionierung), Irrtumswahrscheinlichkeit (Wahrscheinlichkeitsrechnung)
$\beta$	mengenorientierter Servicegrad
$\delta_{gi}$	Fehlerwert zur deterministischen Grundreihe
$\delta_{ri}$	Fehlerwert zur angenommenen Realisierung
$\delta_{tr}$	Fehlerwert zur Realisierung (Betriebsphase)
$\bar{\delta}_{ri}$	Mittelwert des Fehlers zur angenommenen Realisierung
$\bar{\delta}_{tr}$	Mittelwert des Approximationsfehlers (Betriebsphase)
$\Delta t$	Zeitintervall
$\phi_N(v)$	Dichtefunktion der Standardnormalverteilung
$\Phi_N(v)$	Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung
$\eta$	Korrekturfaktor
$\kappa_t^0$	Anzahl verfügbarer Kanban-Karten

$\kappa_t^d$	theoretische Anzahl freiwerdender Kanban-Karten
$\kappa_t^e$	effektive Anzahl freiwerdender Kanban-Karten
$\mu$	Mittelwert einer Gesamtpopulation
$\mu_D$	Mittelwert der normalverteilten Periodennachfragemenge
$\mu_Z$	Mittelwert der Nachfragemenge innerhalb der Wiederbeschaffungszeit
$\sigma_D$	Standardabweichung der normalverteilten Periodennachfragemenge
$\sigma_{ri}$	Standardabweichung des Fehlers zur angenommenen Realisierung
$\sigma_S$	Standardabweichung der stochastischen Komponente
$\sigma_Z$	Standardabweichung innerhalb der Wiederbeschaffungszeit
$\sigma_{\tau}^{\delta}$	Standardabweichung des Approximationsfehlers
$\tau$	Erscheinungstermin

## Verzeichnis der Abbildungen

<u>Bild 1.1:</u>	Charakterisierung des Unternehmensumfeldes
<u>Bild 2.1:</u>	Typologie des Untersuchungsfeldes
<u>Bild 2.2:</u>	Funktionen der Produktionsplanung und -steuerung
<u>Bild 2.3:</u>	Voraussetzungen für den Einsatz von Kanban
<u>Bild 2.4:</u>	Verkettung von Senken und Quellen in einem Kanban-Produktionssystem
<u>Bild 2.5:</u>	Übersicht über verschiedene Kanban-Kartentypen
<u>Bild 2.6:</u>	Beispiel für ein Produktions-Kanban
<u>Bild 2.7:</u>	Beispiel für ein Transport-Kanban
<u>Bild 2.8:</u>	Kanban-Plantafel
<u>Bild 2.9:</u>	Typen von Kanban-Karten-Systemen
<u>Bild 2.10:</u>	Schematischer Ablauf in einem Zwei-Karten-System
<u>Bild 2.11:</u>	Merkmale der Regeln bei Kanban-Steuerungen
<u>Bild 2.12:</u>	Prinzipielles Schema der konventionellen Planungsabläufe
<u>Bild 2.13:</u>	Bedarfs- und Pufferbestandsverlauf bei einer Störung
<u>Bild 2.14:</u>	Schwerpunkte der Forschungsarbeiten zu Kanban-Systemen
<u>Bild 3.1:</u>	Steuerung und Regelung
<u>Bild 3.2:</u>	Der konventionelle Kanban-Fertigungsabschnitt als Regelkreis
<u>Bild 3.3:</u>	Darstellung eines zweistufigen 2-Karten Kanban-Systems
<u>Bild 3.4:</u>	Zielhierarchie und abgeleitete Ziele
<u>Bild 3.5:</u>	Schematische Systemdarstellung einer überlagerten Regelung
<u>Bild 3.6:</u>	Struktureller Aufbau einer adaptiven Regelung
<u>Bild 3.7:</u>	Strukturkonzept einer prädiktiven, adaptiven Regelung
<u>Bild 3.8:</u>	Erweiterte Struktur des überlagerten Regelkreises
<u>Bild 3.9:</u>	Allgemeine Vorgehensweise bei der Simulation
<u>Bild 3.10:</u>	Prozebelemente
<u>Bild 3.11:</u>	3-stufiges Modell eines 1-Karten- Kanban-Systems
<u>Bild 3.12:</u>	Prozeßregeln für eine Simulation
<u>Bild 3.13:</u>	Regeln für das produzierende Element eines Fertigungsabschnitts
<u>Bild 3.14:</u>	Simulationsdatenbasis
<u>Bild 3.15:</u>	Wesentliche Daten der Datenkategorien
<u>Bild 3.16:</u>	Ereignisabfolge in einer Periode
<u>Bild 3.17:</u>	Idealtypischer Verlauf eines Puffers

- Bild 3.18: Verlauf der Gesamtkosten in Abhängigkeit vom Sicherheitsfaktor
- Bild 3.19: Schematischer Verlauf der Optimierung
- Bild 3.20: Schema des einstufigen Optimierungsansatzes
- Bild 4.1: Klassifikation der Bedarfe nach ihrem Verlauf
- Bild 4.2: Spezifizierung der Bedarfe nach der Bestimmtheit
- Bild 4.3: Ebenen zur Übermittlung der Verbrauchsinformation
- Bild 4.4: Schematischer Aufbau eines Lieferabrufs
- Bild 4.5: Formalisierte Liefereinteilung (vergangenheitsbezogen)
- Bild 4.6: Formalisierte Liefereinteilung (zukunftsbezogen)
- Bild 4.7: Planungsschema beim einstufigen Kanban-System
- Bild 4.8: Struktogramm zur Ermittlung der optimalen Stelleingriffsauswirkung
- Bild 4.9: Struktogramm zur Ableitung der möglichen Stelleingriffe
- Bild 4.10: Bestands-Bedarfsverläufe bei einem zweistufigen Kanban-System
- Bild 4.11: Zeitliche Aktionenabfolge bei einem zweistufigen Kanban-System
- Bild 4.12: Sequentielle, iterative Vorgehensweise am Beispiel eines dreistufigen Kanban-Systems
- Bild 4.13: Bestandsverlauf bei einer  $(r,S)$ -Lagerhaltungspolitik
- Bild 4.14: Gesamtkostenverlauf in Abhängigkeit von unterschiedlichen Pufferstartbeständen bei einem zweistufigen System
- Bild 4.15: Kombination der Verfahren zur Sicherheitsbestandsfestlegung
- Bild 4.16: Struktogramm zur Aktivierung des Sicherheitsbestandes auf der höchsten Stufe
- Bild 4.17: Erweiterte Vorgehensweise mit Sicherheitsbestandsaktivierung
- Bild 5.1: Genereller Systemaufbau
- Bild 5.2: Grundfunktionsblöcke
- Bild 5.3: Beispiel aus dem Konfigurationsdialog
- Bild 5.4: Beispiel für einen Fertigungsabschnitt als Einzelbaustein im Simulationssystem Simple++
- Bild 5.5: Beispiel aus dem Optimierungsdialog
- Bild 5.6: Vergleich von Regelungsalternativen (Beispiel)
- Bild 5.7: Zeitplan der Aktivitäten bei Einsatz der Regelungsunterstützung
- Bild 5.8: Erweiterung des konventionellen Fertigungsabschnitts (höchste Stufe)
- Bild 6.1: Parametervarianten und zugehörige Variationskoeffizienten
- Bild 6.2: Mittlere prozentuale Abweichung der gefilterten von der erzeugenden deterministischen Bedarfsreihe ( $MPE_{Pg}$ )
- Bild 6.3: Mittlere prozentuale Abweichung der erzeugenden stochastischen Komponente von der Streuung des Fehlers zur Realisierung ( $MPE_{\sigma P}$ )

- Bild 6.4: Mittlere Abweichung des Fehlers von Null
- Bild 6.5: Absolute Vorteilhaftigkeit der Regelung gegenüber dem konventionellen Verfahren ( $t_w = 3$  PE)
- Bild 6.6: Kostenverlauf bei festem Variationskoeffizienten und verschiedenen Fehlmengen- zu Bestandskostenverhältnissen ( $t_w = 3$  PE)
- Bild 6.7: Kostenverlauf bei festem Fehlmengen- zu Bestandskostenverhältnis und variablen Variationskoeffizienten ( $t_w = 3$  PE)
- Bild 6.8: Erforderliche Sicherheitsbestände zur Absicherung gegen die stochastische Komponente
- Bild 6.9: Kostenverläufe der unterschiedlichen Verfahren
- Bild 6.10: Relative Vorteilhaftigkeit der simulationsgestützten Regelung
- Bild 6.11: Kombination der Wiederbeschaffungszeiten
- Bild 6.12: Kostenverläufe der unterschiedlichen Verfahren (Kombination 131)
- Bild 6.13: Relative Vorteilhaftigkeit der simulationsgestützten Regelung (Kombination 135)
- Bild 6.14: Relative Vorteilhaftigkeit der simulationsgestützten Regelung bei verschiedenen Wiederbeschaffungszeitkombinationen
- Bild 6.15: Qualitative Vorteile des Verfahrens

# 1 Einleitung

Industrieunternehmen sehen sich durch den Werte- und Strukturwandel der Gesellschaft, Änderungen politischer Randbedingungen sowie wissenschaftlichen Neuerungen dynamischen, bisweilen sogar turbulenten Marktbedingungen ausgesetzt (Bild 1.1) [AWK-96]. Für die Unternehmen ergibt sich die Verpflichtung, den stetig wandelnden Anforderungen gerecht zu werden. Gesättigte regionale Märkte erzwingen die weltweite Ausweitung von Vertriebsaktivitäten. Zum einen ergeben sich durch die Globalisierung die Chancen eines vergrößerten Beschaffungs- und Absatzmarktes, zum anderen werden die



**Bild 1.1:** Charakterisierung des Unternehmensumfeldes

Unternehmen zugleich mit bis zu 50% mehr Wettbewerbern als noch vor 6 Jahren konfrontiert [AWK-96]. Für den Kunden ist diese Konkurrenzsituation von Vorteil: Er kann leichter seine Ansprüche an Produkte und Leistungen zu günstigen Konditionen durchsetzen. Für den Lieferanten, beispielhaft der deutsche Maschinenbau, spiegelt sich dieser Sachverhalt

zahlenmäßig durch bis zu 60% kürzere Lieferzeiten und bis zu 50% niedrigere Marktpreise im Vergleich zu 1990 wider [AWK-96].

Die Gesamtheit der Veränderungen bewirken, daß Unternehmen komplexere, individuelle Kundenlösungen unter stark erhöhtem Zeit- und Kostendruck hervorbringen müssen. Auf die Erfüllung dieser Anforderungen wirken sich jedoch die Wettbewerbsnachteile in Deutschland negativ aus. Im Merkmal "Kosten pro geleisteter Arbeitsstunde" liegt Deutschland im internationalen Vergleich an der Spitze [Glob-96]. In einer Befragung von 681 Unternehmen nannten 85% resp. 68% der Unternehmen gesetzliche Lohnzusatzkosten und Steuerbelastungen als die Hauptwettbewerbsnachteile bezüglich der Kostensituation [Prog-96].

Um den komplexen und dynamischen Marktanforderungen gewinnbringend entgegenzutreten, müssen daher innerbetrieblich viel Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit aufgebracht sowie gleichzeitig die Ressourcen effizient genutzt werden [Hart-93]. In den Jahren bis 1991 war eine verstärkte Investitionstätigkeit in neue Maschinen und Anlagen zu beobachten. Die Ertragskraft der Unternehmen wurde bei weitem jedoch nicht den Ausgaben entsprechend gestärkt [Wass-94]. Die weltweite MIT-Studie für die Automobilindustrie [WoJR-91] merkte in diesem Zusammenhang an:

*"Die Automobilfabrik mit dem geringsten Automatisierungsgrad ist das effizienteste Werk auf der Welt. Erst wenn die schlanke Organisation steht, macht es Sinn, über die Automatisierungstechnologien nachzudenken!"*

Durch diese Studie wurde der Begriff "lean production" (schlanke Produktion) geprägt, die neben der rein technischen Verbesserung vor allem auf die organisatorische Optimierung der Produktions- und Leistungsprozesse sowie auf die Fokussierung der wertschöpfenden Prozesse abzielt. Daraus resultiert die in den letzten Jahren verstärkte Konzentration auf die Logistikfunktionen innerhalb der Wertschöpfungskette [Hoss-96]. Die logistische Leistungsfähigkeit eines Unternehmens wird sogar als eine der bedeutendsten Erfolgsfaktoren auf dem globalen, vernetzten Markt angesehen [WiBV-97].

Das bei der Produktionslogistik vorliegende traditionelle Bestreben nach höchstmöglicher Auslastung ist dabei einer verstärkten Kundenorientierung bei gleichzeitiger Bestandsminimierung gewichen. Diese Ziele müssen ergänzt werden um das Merkmal "Reaktionsfähigkeit" [Zetl-94]. Um diesen Zielsetzungen Rechnung zu tragen, wird in verstärktem Maße das Just-in-time-Konzept eingesetzt. Dabei ist das gesamte Überdenken des Leistungserstellungsprozesses mit dem Ziel notwendig, möglichst nachfragegenau zu produzieren. Eine Schlüsselrolle beim Just-in-time-Konzept nimmt dabei die integrierte Informationsverarbeitung ein, da eine kundennahe Produktion Planungs- und Steuerungskonzepte erfordert, die eine Vereinfachung der Informations- und Koordinierungsaufgaben zum Ziel haben [Wild-90].

Im Rahmen dieser Konzeption gewinnt die Steuerung nach dem Kanban-Prinzip an Bedeutung. Autonome Fertigungsabschnitte regeln sich dabei über die Größe "Materialbestand" selbständig; Produktionsautorisationen für den jeweiligen Regelkreis stellen die sog. Kanban (-Karten) dar.

Eine wesentliche Einsatzvoraussetzung ist jedoch die Verstetigung des Bedarfsverlaufs und damit die Reduzierung von Mengenschwankungen [Rhod-91, Wild-90]. Vielfach finden sich in der Praxis jedoch Bedarfssituationen, die weit über die engen Toleranzen hinausgehen. Als Konsequenz ergeben sich entweder Materialflußabrisse, die den Servicegrad verringern, oder aber es entstehen unnötige Fertig- und Halbfabrikatbestände, welche durch Bestandskosten die Gesamtwirtschaftlichkeit reduzieren.

Die Beherrschung dynamischer Bedarfe, die auf ein Kanban-System wirken, ist daher eine notwendige Aufgabe, um den weiteren Einsatz und die Verbreitung des Kanban-Prinzips voranzutreiben.

Nachfolgend werden daher im Kapitel 2 grob die Aufgaben der Produktionsplanung und –steuerung vorgestellt. Sie helfen beim Verständnis und der Einordnung des Kanban-Prinzips, das detailliert in seinen wesentlichen Ausprägungen vorgestellt wird. Das Aufzeigen der Probleme bei schwankenden Bedarfen mündet in die Analyse vorhandener Lösungsansätze. Daraus läßt sich die Zielstellung dieser Arbeit ableiten.

In Kapitel 3 wird dann das Basiskonzept einer simulationsgestützten Regelung hergeleitet. Konsequenterweise wird dabei der Regelungsgedanke aufgegriffen und die Struktur eines überlagerten Regelkreises aufgezeigt.

Kapitel 4 hat die Erweiterung des Konzeptes vor dem Hintergrund der Dynamik des Verbrauchsverhaltens zum Schwerpunkt. Für die bei der Großserien- und Massenfertigung gerade im Automobilzulieferbereich übliche Form der Liefereinteilung wird ein geeignetes Komponentenmodell des Bedarfsprozesses hergeleitet. Neben dem Ansatz zur Regelung im Falle einer deterministischen Komponente wird ein Verfahren zur Absicherung gegen eine zufällige Komponente erarbeitet.

In Kapitel 5 wird eine Konzeption zur DV-gestützten Verfahrensumsetzung aufgezeigt. Diese soll Applikationen in der betrieblichen Praxis ermöglichen. Dabei werden auch Hinweise für den praktischen Einsatz gegeben. Die experimentelle Validierung des Gesamtverfahrens und die Diskussion der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 6.