





Lehrstuhl für Montagesystemtechnik und Betriebswissenschaften  
der Technischen Universität München

## **Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung**

**Carsten Selke**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. F. Zäh

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann

Die Dissertation wurde am 27.09.2004 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 09.12.2004 angenommen.



***Forschungsberichte***

---

***iwb***

***Band 193***

***Carsten Selke***

***Entwicklung von Methoden  
zur automatischen  
Simulationsmodellgenerierung***

---

***herausgegeben von***

***Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh***

***Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart***

---

***Herbert Utz Verlag***



## **Forschungsberichte iwb**

Berichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen  
und Betriebswissenschaften  
der Technischen Universität München

herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh  
Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart  
Technische Universität München  
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (iwb)

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte  
bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugleich: Dissertation, München, Techn. Univ., 2005

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch  
begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des  
Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der  
Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege  
und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben,  
auch bei nur auszugsweiser Verwendung, vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH 2005

ISBN 3-8316-0495-9

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München  
Tel.: 089/277791-00 – [www.utzverlag.de](http://www.utzverlag.de)

## Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potentiale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.





## Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, dem Ordinarius des Lehrstuhls für Montagesystemtechnik und Betriebswissenschaften. Er hat mir die Erstellung der Arbeit ermöglicht und mich jederzeit bei der Umsetzung unterstützt.

Für die Übernahme des Koreferats und die kritische Durchsicht der Arbeit danke ich Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann, Leiter des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik (FAPS) der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Weiterhin gilt mein Dank auch Prof. Michael F. Zäh, dem Ordinarius des Lehrstuhls für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik, der den Vorsitz der Prüfungskommission übernommen hat.

Diese Dissertation steht für einen wesentlichen Teil meiner Arbeit am *iwb*. Darüber hinaus habe ich im Laufe der Jahre mit sehr vielen Kollegen und Studenten in den verschiedenen Projekten zusammengearbeitet. Ihnen allen gilt mein ausdrücklicher Dank für ihre Kooperation und Unterstützung.

München, im April 2005

Carsten Selke



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Hinführung</b>	<b>1</b>
1.1	Prognose und Planung im turbulenten Umfeld	1
1.2	Betriebsbegleitende Simulation im turbulenten Umfeld	3
1.3	Zusammenfassung	4
<b>2</b>	<b>Vorgehen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Stand der Forschung im Betrachtungsbereich</b>	<b>7</b>
3.1	Prognose und Planung	7
3.1.1	Relevante Ansätze	9
3.1.2	Fazit zum Bereich Prognose und Planung	11
3.2	Betriebsbegleitende Simulation	12
3.2.1	Relevante Ansätze	17
3.2.2	Fazit zum Bereich betriebsbegleitende Simulation	21
3.3	Automatische Simulationsmodellgenerierung	23
3.3.1	Relevante Ansätze	23
3.3.2	Fazit zum Bereich automatische Modellgenerierung	29
3.4	Zusammenfassung	30
<b>4</b>	<b>Ziel der Arbeit</b>	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>Lösungskonzept</b>	<b>35</b>
5.1	Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung	40
5.1.1	Abläufe und Strategien der Produktionssteuerung	40
5.1.2	Datenmodelle und Beschreibungsmethodiken	52
5.1.3	Zusammenfassung	63
5.2	Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung	63
5.2.1	Produktionsabläufe als Muster	65
5.2.2	Mustermerkmale von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung	67
5.2.3	Klassifikation von Mustern	75

5.2.4	Beispiele .....	79
5.2.5	Zusammenfassung .....	83
5.3	Vorgehensmodell zur Interpretation und Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung .....	84
5.3.1	Abbildung von Expertenwissen.....	87
5.3.2	Ermittlung von fallspezifischem Wissen.....	90
5.3.3	Steuerung des Ablaufs zur Interpretation.....	93
5.3.4	Wissenserwerb.....	94
5.3.5	Zusammenfassung .....	95
<b>6</b>	<b>Prototypische Anwendung .....</b>	<b>97</b>
6.1	System zur automatischen Generierung von Simulationsmodellen .....	98
6.2	Industrieller Einsatz des prototypischen Systems.....	104
<b>7</b>	<b>Bewertung .....</b>	<b>112</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>118</b>
8.1	Zusammenfassung.....	118
8.2	Ausblick .....	119
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>122</b>
<b>10</b>	<b>Abbildungs-, Tabellen- und Formelverzeichnisse.....</b>	<b>133</b>

# 1 Hinführung

Der Wandel der Gesellschaft und damit auch der Wandel der Produktion, als ein Teil der Gesellschaft, wird vielfach diskutiert. Wissenschaftlich anerkannt ist [MILBERG 2003; MEIER U.A. 2004; UHLMANN 2002], dass ein Wandel in verschiedenen gesellschaftlichen Bereichen stattgefunden hat bzw. immer noch stattfindet: der wirtschaftliche Wandel durch die Entwicklung vom Verkäufer– zum Käufer–Markt, einhergehend mit einem verschärften Wettbewerb, der unterstützt wird durch eine zunehmende Globalisierung auf der einen und stagnierende Märkte auf der anderen Seite; der Wertewandel, der bereits in den 70er Jahren begann und sich in einer Prioritätenverschiebung der einzelnen Individuen von Pflichtwerten, wie Disziplin und Fleiß, hin zu Selbstentfaltungswerten, wie Mitsprache und Selbständigkeit, auszeichnet: der demographische Wandel, der in den entwickelten Ländern zu einer stetigen Überalterung aber auch zunehmender Qualifizierung der produktiven Bevölkerungsschichten führt. Und nicht zuletzt gibt es auch einen technologischen Wandel, der sich sehr deutlich in neuen Informations– und Kommunikationstechnologien wie Mobil-Telefon oder Internet zeigt.

Umstritten ist dabei jedoch die Frage, ob es sich tatsächlich um einen epochalen, gleichsam eruptiven Wandel oder nicht doch eher um eine kontinuierliche Entwicklung, also eine Fortschreibung der Vergangenheit handelt [REINHART 2000, S. 19 ff.]. Vieles spricht für eine revolutionäre Entwicklung; dennoch gibt es in der Praxis auch Industrieunternehmen, auf deren Umfeld der Wandel keinen turbulenten Einfluss nimmt. In jedem Fall ist es jedoch evident festzuhalten, dass in dem offenen System der Produktion und somit auch in der Planung und Steuerung der Produktion der Wandel nicht ausgeschlossen werden kann. Entsprechend muss überprüft werden, ob die Methoden und Werkzeuge, die heute zur Prognose und Planung in der Produktion eingesetzt werden, noch den aktuellen Ansprüchen genügen. Ein erster Schritt ist dabei, die Anforderungen zu ermitteln, die der Wandel an diese Methoden und Werkzeuge stellt.

## 1.1 Prognose und Planung im turbulenten Umfeld

Wandel bedeutet Veränderungen! Vielfach werden die Veränderungen im Wandel als turbulent bezeichnet. Turbulent heißt: Die Veränderungen zeichnen sich durch eine hohe Komplexität und hohe Dynamik aus. Hohe Komplexität bedeutet

## 1.1 Prognose und Planung im turbulenten Umfeld

---

wiederum, dass die Wirkzusammenhänge einzelner Einflüsse nicht eindeutig bestimmt werden können. Ursache und Wirkung sind nicht eindeutig zuzuordnen, insgesamt ist ein hoher Vernetzungsgrad konstatierbar. Hohe Dynamik bedeutet demgegenüber rasche Veränderungen auf der Zeitskala. Zeiträume stabiler und gleichmäßiger Entwicklungen sind selten. Vor diesem Rahmen komplexer und dynamischer Veränderungen entstehen neue Anforderungen an Methoden und Werkzeuge zur Planung und Prognose in der Produktion.

Eine resultierende Anforderung ist die gestiegene Bedeutung der strategischen Planung in der Produktion. Die geeignete Strukturierung der Produktion in kleinere, transparentere Einheiten stellt eine wichtige Voraussetzung dar, um die Komplexität der Einflüsse auf die Produktion zu mindern [ZÄH U.A. 2004]. Vielfach wird in Wissenschaft und Praxis der Weg zu dezentralen, integrierten und sich selbst regelnden Einheiten gewählt. Die geeignete Produktionsstrukturierung im Rahmen der strategischen Produktionsplanung ist eine Möglichkeit, um die Komplexität und somit die Turbulenz der Umwelteinflüsse zu moderieren. Langfristige Prognosen sind in Anbetracht der Rahmenbedingungen nicht adäquat [vgl. BAUMGARTEN U.A. 2003; MEIER & HANENKAMP 2003; GRONAU U.A. 2004].

Im Kurzfristbereich ergeben sich ebenfalls veränderte Anforderungen an die Planung der Produktion. Auch bei einer geeigneten Strukturierung der Produktion werden sich dennoch immer dynamische Einflüsse ergeben, die eine mittelfristige Reaktion erfordern, um die Existenz der einzelnen Produktion sicherzustellen. In diesem Zusammenhang können auch kurzfristige Planungen und Prognosen Veränderungen unterliegen. Insbesondere bedeuteten die dynamischen Einflüsse, dass Planungen häufig überarbeitet und aktualisiert werden müssen. In der Wissenschaft wird in jüngerer Zeit die Reaktionsfähigkeit diskutiert, die es auch erlaubt, auf nicht erwartete Einflüsse mit nicht vorausgedachten Maßnahmen zu reagieren [REINHART U.A. 1999B]. In diesem Zusammenhang kann die Möglichkeit, kurzfristig und mit wenig Aufwand auf der Basis neuer Einflüsse Planungsalternativen aufzuzeigen, einen Beitrag zur Erhöhung der Reaktionsfähigkeit von Produktionsunternehmen leisten. Derartige Planungs- und Prognosesysteme sind vor allem dann zielführend, wenn sie erlauben, die Planungsalternativen nach möglichen turbulenten Einflussgrößen hin zu bewerten.

In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der Planung und Prognose der Produktion im Kurzfristbereich. In Kapitel 3.1 werden die derzeit in diesem Bereich beobachte-

ten Defizite auf der einen sowie die diskutierten Lösungsansätze auf der anderen Seite kritisch diskutiert.

### 1.2 Betriebsbegleitende Simulation im turbulenten Umfeld

Die Simulation hat sich als Hilfsmittel zur transparenten Beschreibung und Planung komplexer Systeme in der Produktionstechnik bewährt. Insbesondere gilt dies für den Einsatz der Ablaufsimulation bei der Bewertung produktionslogistischer Fragestellungen [REINHART & FELDMANN 1997]. Hier haben sich zwei Anwendungsbereiche herauskristallisiert: Zum einen wird die Ablaufsimulation bei der Planung neuer bzw. umgestalteter Produktionsstrukturen eingesetzt. Typische Fragestellungen beschäftigen sich in diesem Bereich mit der Bewertung von Strukturalternativen, der Dimensionierung von Anlagen oder auch der grundsätzlichen Gestaltung der Auftragsabwicklung. Zum anderen liegt ein weiterer Anwendungsbereich in der betriebsbegleitenden Simulation. In diesem Fall haben die Fragestellungen einen kurzfristigeren Horizont als in der planungsbegleitenden Simulation und setzen sich vor allem mit den Aufgaben der Produktionsplanung und –steuerung (PPS) auseinander: Bewertung, Auswahl und Parametrisierung geeigneter Steuerungsstrategien sowie Ablaufregeln und Entscheidungen bezüglich der Auftragsbelastung.

Die betriebsbegleitende Simulation ist somit ein ergänzendes Prognose- und Planungsinstrument in der Produktionsplanung und –steuerung. Diese steht im Zentrum dieser Arbeit. Es wurde bereits in Bezug auf die Reaktionsfähigkeit erläutert, dass Produktionsunternehmen, die auf Umfeldentwicklungen schnell reagieren können, Vorteile besitzen. Die unmittelbare und adäquate Reaktion des Unternehmens setzt eine flexible Gestaltung der Produktionsabläufe und einfach modifizierbare Produktionsprogramme voraus. Die betriebsbegleitende Simulation bietet sich an dieser Stelle an, neue Ablaufstrategien und Produktionsprogramme auf ihre Wirksamkeit hin zu bewerten.

In Kapitel 3.2 werden die Anforderungen, die sich aus dem turbulenten Umfeld an die betriebsbegleitende Simulation ergeben, systematisch untersucht und vorhandenen Lösungsansätzen gegenübergestellt.

### **1.3 Zusammenfassung**

Der Wandel wirkt sich in vielfacher Form gerade auch auf produzierende Unternehmen aus. In der Regel kann das Umfeld der Unternehmen in diesem Zusammenhang als komplex und dynamisch, als turbulent bezeichnet werden.

In diesem Kontext bedarf es auch bei der Produktionsplanung und –steuerung neuer Vorgehensweisen und Methoden. In dieser Arbeit liegt der Fokus auf der betriebsbegleitenden Simulation, die geeignet ist, im kurzfristigen Zeitbereich als Planungs– und Prognosesystem zu dienen. Die Anforderungen, die sich aus dem turbulenten Umfeld an die Planung und Prognose der Produktion und insbesondere auch an die betriebsbegleitende Simulation ergeben, wurden angedeutet und sollen an späterer Stelle detailliert diskutiert werden.



## 2 Vorgehen

Nachdem im ersten, einleitenden Kapitel (siehe Seite 1 ff.) die Motivation der vorliegenden Arbeit erläutert, der Betrachtungsgegenstand mit der betriebsbegleitenden Simulation festgestellt und die aktuellen Anforderungen an die betriebsbegleitende Simulation skizziert wurden, folgt in Kapitel 3 (siehe Seite 7 ff.) die Gegenüberstellung des aktuellen Standes der Forschung. Dabei wird der Schwerpunkt insbesondere auf die Bereiche Prognose und Planung in der Produktion, betriebsbegleitende Simulation und daraus abgeleitet auf die automatische Modellgenerierung gelegt. Die resultierenden Defizite und Anforderungen aus Kapitel drei werden systematisch und strukturiert dargestellt.

Aus den ableitbaren Defiziten ergeben sich die Ziele dieser Arbeit (siehe Seite 32 ff.), die sich insbesondere auf die Beschreibung und Identifikation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung auf der Basis von Rückmeldedaten konzentrieren. In Kapitel 5 (siehe Seite 35 ff.) werden die Zielsetzung der Arbeit aufgegriffen und die konzeptionellen Lösungen beschrieben, die in einem Vorgehensmodell zur Interpretation und Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung münden. Das beschriebene Lösungskonzept wird in einem prototypischen System zur automatischen Simulationsmodellgenerierung umgesetzt, das in Kapitel 6 (siehe Seite 97 ff.) näher erläutert wird.

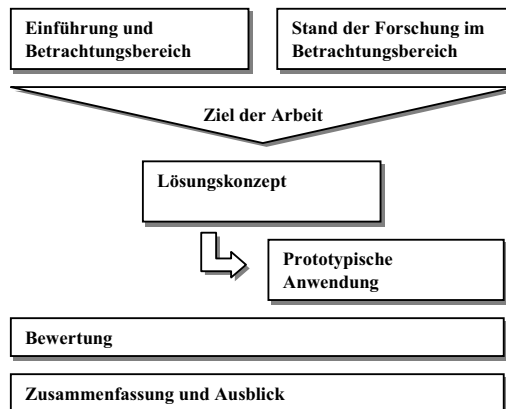


Abbildung 2-1: Aufbau der Arbeit

In den nachfolgenden Kapiteln (siehe Seite 112 ff.) folgen die kritische Bewertung sowie die Zusammenfassung der Arbeit. Literatur- und Abbildungsver-

---

zeichnung vervollständigen die Arbeit. Die Gliederung der Arbeit in graphischer Form ist Abbildung 2-1 zu entnehmen.

### 3 Stand der Forschung im Betrachtungsbereich

Im ersten Kapitel wurde aufgezeigt, welche Anforderungen der Wandel im Allgemeinen sowie die damit verbundenen turbulenten Einflüsse im Besonderen an die Produktionsplanung und –steuerung stellen. In diesem Kapitel werden dieselbigen dem derzeitigen Stand der Forschung gegenübergestellt. Dabei werden zunächst allgemein Methoden und Werkzeuge zur Prognose und Planung in der Produktion betrachtet, und anschließend wird – entsprechend der Ausrichtung der Arbeit – mittels der betriebsbegleitenden Simulation auf ein ausgewähltes Werkzeug zur Planung und Prognose näher eingegangen. In diesem Zusammenhang werden mit der automatischen Modellgenerierung Arbeiten zu einem Teilgebiet der betriebsbegleitenden Simulation vertieft.

#### 3.1 Prognose und Planung

Prognosen und Planungen werden im Bereich der Produktionsplanung und –steuerung eingesetzt, um die zukünftige Zielerreichung der Produktion gesichert zu erfüllen. Ziel der Produktionsplanung und –steuerung ist es, eine nach dem Wirtschaftlichkeitsprinzip gestaltete Produktion zu ermöglichen. Dabei werden in Produktionsplanungs- und –steuerungssystemen vor allem logistische Ersatzzielgrößen (kurze Durchlaufzeit; geringe Bestände; hohe Termintreue; hohe Auslastung) abgebildet und gestaltet [KURBEL 1993, S. 19 f.]. Der Aufgabenbereich der Produktionsplanung und –steuerung umfasst die zukünftige Belegung der Produktion. Kernaufgaben der PPS sind die langfristige Produktionsprogrammplanung, die mittelfristige Produktionsbedarfsplanung, die kurzfristige Eigenfertigungsplanung und –steuerung sowie die ebenfalls kurzfristige Fremdbezugsplanung. Querschnittsaufgaben sind Auftragskoordination, Lagerwesen und das PPS–Controlling [SCHOTTEN 1998, S. 16 f.] (siehe Abbildung 3–1).

### 3.1 Prognose und Planung

---

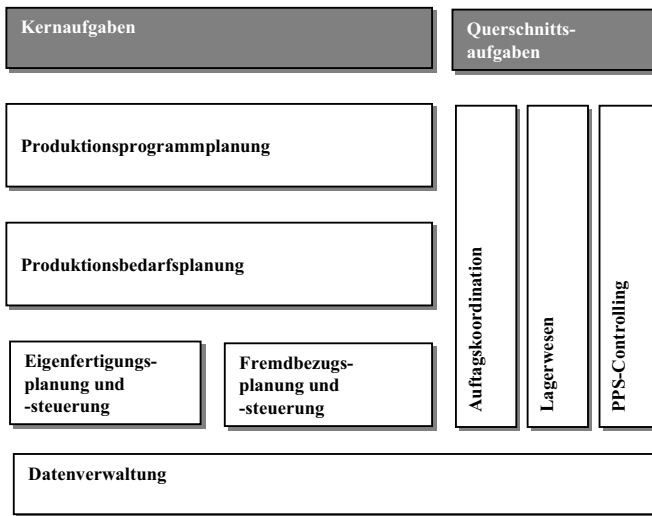


Abbildung 3-1: *Hauptaufgaben der PPS [SCHOTTEN 1998, S. 16]*

In der Produktionsprogrammplanung werden die herzustellenden Produkte nach Art, Menge und Termin für einen definierten Planungszeitraum festgelegt. Als Ergebnis entsteht ein auf Absetzbarkeit und Realisierbarkeit abgestimmter Produktionsplan. Aufgabe der mittelfristigen Produktionsbedarfsplanung ist es, ausgehend von einem Produktionsprogramm die hierzu erforderlichen Ressourcen zu planen. Die betrachteten Ressourcen sind Betriebsmittel, Materialien, Personal, Transportmittel u.ä. Ergebnis sind u.a. terminlich und mengenmäßig geplante Fertigungsaufträge. Die kurzfristige Eigenfertigungsplanung und -steuerung übernimmt die Feinplanung bzw. -steuerung der Fertigungsaufträge. Insbesondere müssen Störungen (z.B. Maschinenstörungen, Personalausfall, Fehlteillieferungen) im Ressourcenangebot beachtet werden, die in der mittelfristigen Betrachtung nur auf der Basis von Erfahrungswerten berücksichtigt werden konnten. Aufgabe der Fremdbezugsplanung und -steuerung ist es entsprechend, die mengenmäßige und terminliche Synchronisation mit der Eigenfertigung zu gewährleisten.

Die wesentliche Aufgabe der Auftragskoordination besteht in der Abstimmung aller an der Auftragsabwicklung beteiligten Bereiche. Das Lagerwesen verwaltet die physischen Bestände, wie sie in der Bedarfsplanung ermittelt wurden. Das PPS-Controlling muss sicherstellen, dass Zielkonformität zwischen den Unter-

nehmenszielen und den Ergebnisse der Produktionsplanung und –steuerung gegeben ist. U.a. werden beim Controlling auch die Steuerstrategien und ihre Auswirkungen transparent dargestellt. Als Eingangsinformation dienen die Rückmeldedaten der Produktion.

#### 3.1.1 Relevante Ansätze

Die Produktionsplanung und –steuerung geht im klassischen Ansatz von einer plandeterminierten Zukunft aus [KURBEL 1993, S. 27 ff.; SCHOTTEN 1998, S. 40 f.]. Entsprechend basieren die aktuell eingesetzten Planungs- und Prognosemethoden auf den verschiedensten Formen der Fortschreibung der Vergangenheit [KURBEL 1993, S. 121; MATERNE 1993, S. 43; SCHOTTEN 1998, S. 33 f., 151] (siehe Tabelle 3-1).

Eingesetzte Verfahren zur Durchführung von Prognoserechnungen			
1	Kopieren der alten Werte	4	Exponentielle Glättung
2	Einfacher Mittelwert	5	Lineare oder multiple Regression
3	Gleitender Mittelwert	6	Modell von Winters

*Tabelle 3-1: Prognoseverfahren im Rahmen der Absatzplanung [nach SCHOTTEN 1998, S. 150]*

Diese Praxis ist vor dem Hintergrund der Turbulenzen des unternehmerischen Umfelds, die von Entwicklungsbrüchen und kurzfristigen Veränderungen geprägt sind, nur noch bedingt geeignet [FANDEL U.A. 1994; NITTKA 1996, S. 8; STEIN 1996, S. 216]. Insbesondere ist eine Eignung nur dann feststellbar, wenn es aufgrund struktureller Maßnahmen gelingt, die Komplexität und Dynamik in einzelnen Bereichen zu moderieren. Aus diesem Kontext stellt sich auch für die Produktionslogistik die Frage, ob auf die Turbulenz des Umfelds aktiv und schnell reagiert werden muss oder ob es gelingen kann, durch strategische und strukturelle Maßnahmen turbulente Einflüsse weitgehend zu vermeiden [REINHART U.A. 1999]. In der aktuellen Forschung wird dieser Frage im Rahmen der Diskussion um die Wandlungsfähigkeit intensiv nachgegangen und kann an dieser Stelle nicht vertieft betrachtet werden [CISEK U.A. 2002; SIHN U.A. 2000; SPATH U.A. 2001; WIENDAHL & HERNANDEZ 2000; WIRTH U.A. 2001].

### 3.1 Prognose und Planung

---

Unabhängig von der strategischen Ausrichtung ist bei der Entwicklung von Systemen zur Produktionsplanung und –steuerung der Trend in Richtung dezentraler Strukturen und Planungssysteme mit definierten Freiräumen in der Planungsumsetzung festzustellen [BRÖDNER 1998; GÜNZEL 1993; KRIEG U.A. 1996; MEIER U.A. 2004]. Zentrale Systeme zur Planung und Prognose im klassischen Sinn treten dabei im Kurzfristbereich in den Hintergrund; dort wird auf die Erfahrung und Kreativität der Mitarbeiter und dynamischer Gruppenleistungen vertraut. Im Folgenden werden zwei Ansätze vorgestellt, die beispielhaft die neuen Anforderungen an die Produktionsplanung und –steuerung im Kurzfristbereich repräsentieren [SIHN U.A. 1999; REINHART & ANSORGE 2001].

SIHN U.A. (1999) beziehen sich auf das Konzept der Fraktalen Fabrik [WARNECKE 1992]: Die Produktion besteht aus einem Netzwerk kleiner, effizienter und kundenorientierter Einheiten, die sich durch die Eigenschaften „Selbstorganisation“, „Selbstoptimierung“, „Selbstähnlichkeit“ und „Dynamik“ auszeichnen. Die Autoren merken an, dass in fraktalen Produktionsstrukturen sich weder zentrale PPS-Systeme, noch unabhängige, lokale Steuerungssysteme bewährt haben [SIHN U.A. 1999, S. 1633]. Der Ansatz der Autoren ist es daher, eine Produktionsplanungs- und –steuerungssystem zu entwickeln, das die (Grob-)Planungen zentral koordiniert und im Kurzfristbereich mit verteilten, lokalen Steuersystemen arbeitet.

ANSORGE (2001) erarbeitet Methoden zur Steuerung der Produktion in heterogenen Produktionsstrukturen sowie in übergreifenden Produktionsnetzwerken. Er entwickelt ein Produktionsplanungssystem, das auf einem dezentralen Ansatz der Produktionssteuerung basiert. Grundgedanke sind die Zusammenführung von Planungs- und Entscheidungskompetenz in dezentralen Produktionseinheiten sowie die bessere Nutzung ihres lokalen Wissens bei der Auftragsabwicklung. Die Verteilung der Aufgaben in die dezentralen Bereiche der Produktion beruht auf dem Prinzip von Angebot und Nachfrage.

Die in dezentralen Planungs- und Steuerungskonzepten vorhandenen Freiräume gehen mit steigenden Anforderungen an die produktionslogistischen Kompetenzen und Fähigkeiten der verantwortlichen Mitarbeiter in den dezentralen Einheiten einher. Gleichmaßen sind auch die Entwicklungen in dezentralen Einheiten hinsichtlich globaler Zielkonformität zu koordinieren. Es zeigt sich, dass die Produktionssteuerung im turbulenten Umfeld ein Instrument benötigt, um kurzfristige Szenarien transparent auf Zielkonformität hin zu überprüfen und Entscheidungen – auch in dezentralen Strukturen – zu unterstützen. In der Literatur

herrscht Konsens, dass in diesem Rahmen die Prognose und Planung durch Werkzeuge und EDV-gestützte Methoden zur kurzfristigen Entscheidungsunterstützung ergänzt werden muss [FANDEL U.A. 1994; HARDER 1997, S. 120 ff.; ORTMANN 1997, S. 129 f.; SAUER 2000; SCHOTTEN 1998, S. 757; SIHN U.A. 1999, S. 1633; WESTKÄMPER U.A. 1997, S. 515]. Die betriebsbegleitende Simulation kann ein solches Instrument darstellen.

#### **3.1.2 Fazit zum Bereich Prognose und Planung**

Es besteht unter den Autoren Einigkeit darüber, dass Planung und Prognose in der Produktionsplanung und -steuerung nicht mehr auf deterministischen Modellen und als reine Fortschreibung der Vergangenheit aufgebaut werden kann. Vielmehr müssen bei der Planung der Zukunft unterschiedliche Konstellationen und Szenarien ins Kalkül gezogen werden. Bei der Prognose und Planung wird somit die Bedeutung von Sensitivitätsuntersuchungen im Sinne von „Was-wäre-wenn“-Fallstudien zunehmen.

Weiterhin kommt der Dezentralisierung und damit einhergehend auch der Verlagerung produktionslogistischer Entscheidungsbefugnisse in kleineren, teilweise autonomen Einheiten eine größere Bedeutung zu. In diesem Zusammenhang wird die Anzahl von Planungen und Prognosen insgesamt zunehmen, die Planungshorizonte im Rahmen dezentraler Produktionseinheiten aber eher kurzfristiger werden.

### 3.1 Prognose und Planung

---

In Tabelle 3-2 sind die Ergebnisse zusammengefasst.

	Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an Planung und Prognose in der Produktion
1	Deterministische Planungsmodelle und reine Fortschreibungen der Vergangenheit sind nicht zulässig
2	Planungsalternativen müssen hinsichtlich der Wirksamkeit unter verschiedenen Umfeldentwicklungen bewertet werden (Sensitivitätsuntersuchungen)
3	Planungs- und Prognosemethoden müssen häufige Umplanungen unterstützen
4	Aufgrund der erhöhten Umfeldynamik werden Planungshorizonte kürzer

Tabelle 3-2: *Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an Planung und Prognose in der Produktion*

Eine sehr große Anzahl von Autoren stellt im Zusammenhang mit den Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an die Planung und Prognose in der Produktion fest, dass im Kurzfristbereich Werkzeuge zur kurzfristigen Entscheidungsunterstützung fehlen. Im nächsten Kapitel wird untersucht, ob und wie die Betriebsbegleitende Simulation ein derartiges Werkzeug darstellen kann.

### 3.2 Betriebsbegleitende Simulation

Gemäß VDI-Richtlinie 3633 [VDI 3633] wird Simulation bezeichnet als „... das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.“ Die drei zentralen Begriffe der obigen Simulationsdefinition sind in dem gegebenen Zusammenhang folgendermaßen zu verstehen [JÜNEMANN 1996, S. 16–11 – 16–25]:

Ein *Experiment* ist die gezielte empirische Untersuchung des Verhaltens eines Modells durch wiederholte Simulationsläufe mit systematischer Parametervariation.



Ein *Modell* ist eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder real existierenden Originalsystems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System. Es unterscheidet sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild.

Ein *System* ist eine abgegrenzte Anordnung von Komponenten, die miteinander in Beziehung stehen. Es ist gekennzeichnet durch

- die Festlegung seiner Grenze gegenüber der Umwelt (Systemgrenze), mit der es über Schnittstellen Materie, Energie und Informationen austauschen kann (Systemein- und -ausgangsgrößen),
- die Komponenten, die bei der Erhöhung der Auflösung selbst wiederum Systeme darstellen (Subsysteme) oder aber als nicht weiter zerlegbar angesehen werden (Elemente),
- die Ablaufstruktur in den Komponenten, die durch spezifische Regeln und konstante oder variable Attribute charakterisiert wird,
- die Relationen, die die Systemkomponenten miteinander verbinden (Aufbaustruktur), so dass ein Prozess ablaufen kann,
- die Zustände der Komponenten, die jeweils durch Angabe der Werte aller konstanten und variablen Attribute (Zustandsgrößen) beschrieben werden, von denen im Allgemeinen nur ein kleiner Teil untersuchungsrelevant ist,
- die Zustandsübergänge der Komponenten als kontinuierliche oder diskrete Änderung mindestens einer Systemvariablen aufgrund des in dem System ablaufenden Prozesses.

Ein Simulationsmodell wird also durch eine Menge von Komponenten repräsentiert, die durch Wechselwirkungen oder Abhängigkeiten in Verbindung stehen. Im Rahmen der Produktionstechnik kann ein solches System beispielsweise ein Werkzeugwechsler oder eine komplette Werkzeugmaschine, ein Montagearbeitsplatz oder die Anlagen und Abläufe einer ganzen Produktionshalle sein.

Je nach Anwendungsobjekt und Fragestellung können verschiedene Arten von Simulationsmodellen unterschieden werden (siehe Abbildung 3–2). Im Fokus der vorliegenden Arbeit liegen produktionslogistische Problemstellungen der Produktionsplanung und -steuerung. Hier werden Modelle der ereignisdiskreten Ablaufsimulation eingesetzt.

## 3.2 Betriebsbegleitende Simulation

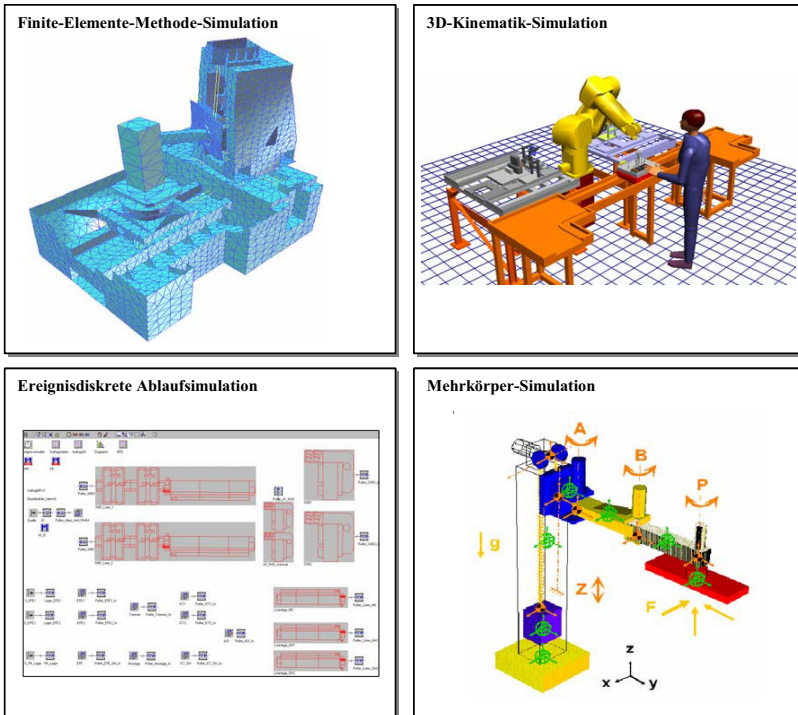


Abbildung 3–2: Beispiele für Simulationsmethoden in der Produktion [nach REINHART 1999, S. 20]

Abbildung 3–3 verdeutlicht die Vorgehensweise bei simulationsgestützten Analysen produktionslogistischer Problemstellungen [SCHOLTISSEK 1996]. Ausgangspunkt bildet die Problemstellung eines realen Bereichs. Dabei ist zu prüfen, ob das Problem mittels Simulationstechnik effizient gelöst werden kann. Erster Schritt im Rahmen der Vorbereitung ist die Zieldefinition. Wichtig ist, dass insbesondere die Zielgrößen definiert werden, die mit Hilfe des Simulationsexperiments ermittelt werden können. Es folgt die Erfassung der notwendigen Daten, um anschließend das Simulationsmodell als geeignete Abbildung der Wirklichkeit generieren zu können (siehe Abbildung 3–4). Ob die Abbildung der Wirklichkeit gelungen ist, wird mittels eines Modelltests bzw. im Rahmen der Modellvalidierung überprüft. Es folgt die eigentliche Durchführung der Simulationsexperimente. Die aus den Experimenten gewonnenen Daten müssen entspre-

chend der definierten Zielgrößen aufbereitet und analysiert werden. Je nach Resultat dieser Analyse kann das Ergebnis der Simulationsstudie dokumentiert werden oder es gilt, Veränderungen am Modell vorzunehmen und die Experimente zu wiederholen. Ziel ist es letztendlich, die gewonnenen Erkenntnisse auf das reale Problem anzuwenden.

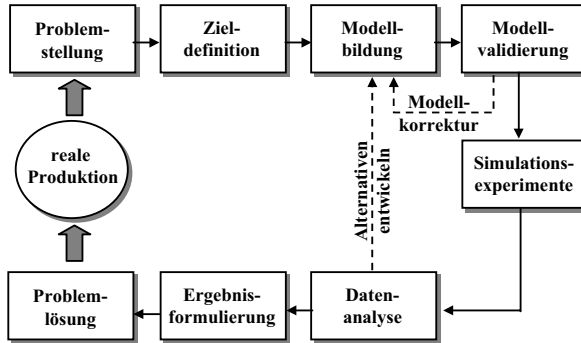


Abbildung 3–3: Vorgehen bei der simulationsgestützten Analyse produktionslogistischer Problemstellungen [nach SCHOLTISSEK 1996, S. 93]

Bei den notwendigen Eingangsdaten für die Simulation können vier unterschiedliche Kategorien unterschieden werden (siehe Abbildung 3–4):

1. Technische Daten, die die physische Struktur des Produktionssystems beinhalten.
2. Organisatorische Daten, die die Ablauforganisation und den Informationsfluss beschreiben.
3. Systemlastdaten, die die Belastung des Produktionssystems mit Aufträgen umfasst.
4. Experiment Daten, die alle Parameter zur Beschreibung von Simulationsexperimenten einschließen.

### 3.2 Betriebsbegleitende Simulation

---

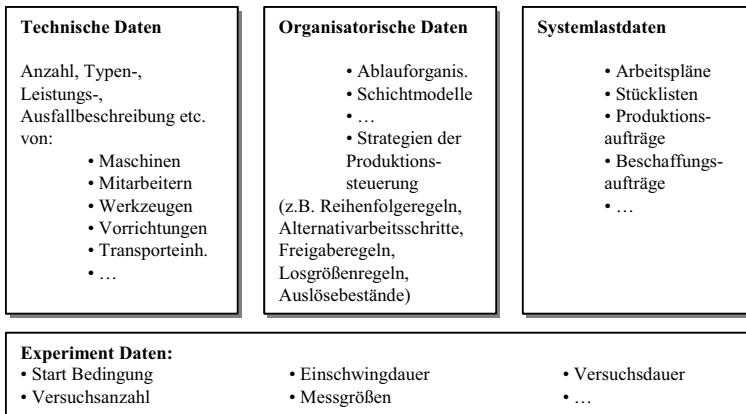


Abbildung 3–4: *Notwendige Daten zum Aufbau von Modellen (ereignisdiskrete Ablaufsimulation)*

Im Rahmen der ereignisdiskreten Ablaufsimulation haben sich zwei Anwendungsbereiche herauskristallisiert: Zum einen wird die Ablaufsimulation bei der Planung neuer bzw. umgestalteter Produktionsstrukturen eingesetzt. Typische Fragestellungen beschäftigen sich in diesem Bereich mit der Bewertung von Strukturalternativen, der Dimensionierung von Anlagen oder auch der grundsätzlichen Gestaltung der Auftragsabwicklung. In diesem Zusammenhang wird auch die Bezeichnung planungsbegleitende Simulation verwendet. Zum anderen liegt ein weiterer Anwendungsbereich in der betriebsbegleitenden Simulation. In diesem Fall haben die Fragestellungen einen kurzfristigeren Horizont als in der planungsbegleitenden Simulation und setzen sich vor allem mit den Aufgaben der Produktionsplanung und –steuerung auseinander: Bewertung, Auswahl und Parametrisierung geeigneter Steuerungsstrategien und Ablaufregeln sowie Entscheidungen über die Auftragseinlastung.

Die betriebsbegleitende Simulation ist somit ein ergänzendes Prognose- und Planungsinstrument in der Produktionsplanung und –steuerung. Die zunehmenden Turbulenzen und Paradigmenwechsel, denen Produktionsunternehmen heute ausgesetzt sind, machen gerade die Planung und Prognose zu einem kritischen Bereich. Auf Fortschreibungen aus der Vergangenheit beruhende Prognoseverfahren sind bei immer häufiger auftretenden Entwicklungsbrüchen ungeeignet. Produktionsunternehmen, die auf Umfeldentwicklungen schnell reagieren können, besitzen strategische Vorteile. Die unmittelbare und adäquate Reaktion des

Unternehmens setzt eine flexible Gestaltung der Produktionsabläufe und einfach modifizierbare Produktionsprogramme voraus. Die in den Unternehmen im Bereich der Produktionsplanung und –steuerung eingesetzten EDV–Systeme können dies aufgrund ihrer Mächtigkeit und Komplexität nicht leisten. Demgegenüber bietet sich die betriebsbegleitende Simulation an, neue Ablaufstrategien und Produktionsprogramme auf ihre Wirksamkeit zu bewerten.

#### 3.2.1 Relevante Ansätze

Bei der betriebsbegleitenden Simulation wird ein existierendes Produktionssystem mit seinen dynamischen Prozessen mittels Anwendung eines Softwaresystems nachgebildet. Stochastische Effekte, wie beispielsweise Störungen und Wechselwirkungen zwischen Abläufen, werden bei der Prognose des zukünftigen Verhaltens berücksichtigt und dienen zur Unterstützung bei der Produktionsplanung und –steuerung komplexer Produktionssysteme [GÜNZEL 1993, S. 6; PETERMANN 1996, S. 8; RAUH 1997].

Vielfach werden bei der betriebsbegleitenden Simulation die eingeplanten Aufträge eines Fertigungsleitstands übernommen und dynamisch bewertet [HARDER 1997; JULKA U.A. 2004; LORENZ 1998, S. 3; ORTMANN 1997]. Dabei kann unterschieden werden, ob ein Fertigungsleitstand mit einem Simulationssystem gekoppelt wird [z.B. KRIEG U.A. 1996] oder ob das Simulationssystem in ein Fertigungsleitsystem inklusive Leitstand integriert wird [z.B. MEIER U.A. 2000; PETERMANN U.A. 2000]. Im Folgenden werden innovative Konzepte der betriebsbegleitenden Simulation vorgestellt und bewertet:

LULAY (1999) stellt einen Ansatz vor, bei dem Simulationsmodelle eingesetzt werden, um teilautonome Produktionsstrukturen zu koordinieren. Um die effiziente Nutzung dezentraler Potenziale zu fördern, wird ein sinnvolles Maß an Teilautonomie in der Produktion zugelassen. Damit bei der Auftragsabwicklung nicht nur die Erfüllung lokaler Ziele im Vordergrund steht, werden die Einheiten auf ein gemeinsames Unternehmensziel hin ausgerichtet. Die betriebsbegleitende Ablaufsimulation wird in diesem Ansatz zur Koordination der Auftragsabwicklung eingesetzt. Hierarchische Simulationsmodelle erleichtern dabei die Modellkonfiguration und ermöglichen eine schnellere Untersuchung umfangreicher Produktionsbereiche. Unter hierarchischen Modellen versteht der Autor dabei die Verwendung verschiedener Detaillierungs- bzw. Abstraktionsgrade in einem Modell je nach Aufgabenstellung.

### 3.2 Betriebsbegleitende Simulation

---

Damit Simulation zur Koordinierung teilautonomer Produktionsstrukturen eingesetzt werden kann, nennt LULAY vier Kriterien, die zu erfüllen sind: ortsverteilte Bedienbarkeit, flexible/dynamische Modelle, Einbindbarkeit betrieblicher Informationssysteme und Berücksichtigung des unterschiedlichen Koordinationsbedarfs in heterogenen Produktionsstrukturen. Einen durchgängigen Einsatz (detaillierter) ereignisdiskreter Simulationsmodelle lehnt LULAY unter Verweis auf die relativ langen Antwortzeiten und die komplexen Modellstrukturen ab [LULAY 1999, S. 69 ff.].

Die Arbeit stellt in hervorragender Weise die Eignung der (betriebsbegleitenden) Simulation dar, welche die Entscheidungsfindung in der Produktionsplanung und –steuerung unterstützt. Allerdings scheint unter der schnellen Weiterentwicklung der Informationstechnik die Frage der Antwortzeiten keine ausreichende Begründung, ereignisdiskrete Ablaufsimulationsmodelle mit anderen, abstrakteren Modellierungstechniken zu kombinieren. Auch die befürchtete Komplexität der Modelle ist weniger in der Frage der Modellierungstechnik als in der Art und Weise der Anwendung durch den Benutzer zu sehen. Zur Aktualisierung verweist der Autor auf die Notwendigkeit der Einbindung betrieblicher Informationssysteme (z.B. PPS–System). Allerdings werden die konzipierten Schnittstellen lediglich eingesetzt, um Systemlastdaten zu übernehmen. Bei unveränderten Struktur– und Organisationsdaten kann das nicht ausreichen, unter geringem manuellen Aufwand die Aktualität und Validität des Simulationsmodells in einem veränderlichen Umfeld zu sichern.

Damit die betriebsbegleitende Simulation Alternativen im Rahmen der Produktionssteuerung und –planung bewerten kann, sind flexible Simulationsmodelle notwendig [LULAY 1999, S. 35; MEIER U.A. 2000, S. 10], die an die sich ändernden realen Randbedingungen der Produktion angepasst werden können. So entwickelt z.B. SAUER in diesem Zusammenhang an reale Produktionssysteme adaptierbare Simulationsmodelle [SAUER 2000; SAUER U.A. 1996].

SAUER U.A. (1996) zeigen auf, dass die Modelle für die betriebsbegleitende Simulation nicht als statische Objekte aufzufassen sind, sondern das Veränderung an Zuständen, Parameter und Struktur des Modells jederzeit zulässig sein müssen. Sie entwickeln ein lernfähiges Simulationsmodell, das sich an dem realen Prozess ausrichtet; dabei wird in Synchronisation und Adaption unterschieden. Während bei der Synchronisation lediglich ein Abgleich mit dem realen System

stattfindet (bspw. Status der Aufträge), werden bei der Adaption auch Modellparameter angepasst (bspw. Einzelzeiten in Arbeitsplänen).

Besonders bemerkenswert an dem Ansatz von SAUER u.a. ist der systematische, kontinuierliche und automatische Abgleich des Simulationsmodells mit der Realität. Erstmals setzen die Autoren dazu Daten aus der Betriebsdatenerfassung, also von betrieblichen Rückmeldesystemen ein. Allerdings ist zu bemerken, dass die Autoren bis dato lediglich Parameterwerte adaptieren; es ist noch nicht gelungen, die Strukturen oder die Abläufe der Produktionssteuerung anzupassen [SAUER 2000, S. 5].

Die Adaption von Strukturen und Abläufen der Produktionssteuerung stellen derzeit Hemmnisse im Rahmen der Flexibilisierung von Simulationsmodellen dar. Diese Hemmnisse machen sich allgemein in den hohen Kosten und vor allem dem hohen Zeitaufwand für die Simulation bemerkbar [WENZEL 2000, S. 30 ff.; WESTKÄMPER U.A. 1997, S. 515 – 518]. ROBINSON nennt für Modellierung und Test einen zeitlichen Anteil von 35% an einer Simulationsstudie [ROBINSON 1994, S. 36]. Nach REINHART & FELDMANN (1997) werden derzeit 27% des zeitlichen Aufwands auf die Modellierung und 22% auf die Datenakquise verwendet. 10% des Aufwands wird allein für die Datenbereinigung aufgewendet (siehe Abbildung 3–5).

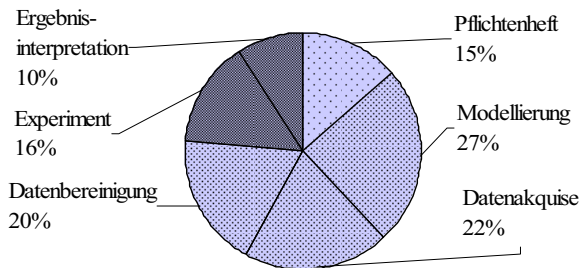


Abbildung 3–5: Verteilung des Aufwands auf die Phasen eines Simulationsprojektes [REINHART & FELDMANN 1997, S. 22]

## 3.2 Betriebsbegleitende Simulation

---

Daher sehen sehr viele Autoren die Notwendigkeit, die aufwendige Bildung von Simulationsmodellen effizienter zu gestalten [KRIEG 1997, S. 61; NYHUIS & WIENDAHL 1999, S. 54 ff.; PETERMANN U.A. 2000, S. 15 f.; SCHULZE U.A. 1998, S. 141 f.; WESTKÄMPER U.A. 1997, S. 515 – 518; KUHL & SUMANT 2003].

In der Literatur werden vor allem zwei Ansätze zur Reduzierung des Aufwands bei der Generierung von Simulationsmodellen diskutiert:

1. die Verwendung von einfachen, relativ abstrakten Modellen und die anschließende erfahrungsbasierte Detaillierung bzw. Anpassung der Simulationsergebnisse an die Realität
2. die weitgehend automatische Generierung von Simulationsmodellen, die auf aufwendige Erfassung von Daten und viele manuelle Tätigkeiten verzichten kann

Im Rahmen des ersten Ansatzes wird das Konzept von HEITMANN (1999) vorgestellt. Auf den zweiten Lösungsweg wird in Kapitel 3.3 näher eingegangen.

HEITMANN stellt ein Konzept zur Verbesserung der Güte von Simulationsergebnissen beim betriebsbegleitenden Einsatz der Simulation vor. Vorrangiges Ziel des Autors ist es, eine hohe Prognosegüte der Simulationsergebnisse bei kurzen Antwortzeiten und effektiv gestaltetem Modellaufbau zu erreichen. Neben der Einbindung des stochastischen Anlagenverhaltens in das Simulationsmodell wurde dies insbesondere durch den Einsatz stochastischer Kompensationsmodelle vorgenommen. Diese haben zur Aufgabe, systematische Fehler auszugleichen und stochastische Abweichungen zu reduzieren bzw. abzuschätzen. Die Kompensationsmodelle resultieren aus der Bewertung des kohärenten Verhaltens zwischen realem und simuliertem Produktionsverhalten mit Hilfe statistischer Methoden wie z.B. der Regressions- oder der Varianzanalyse.

Die Funktionsfähigkeit des Ansatzes konnte Heitmann belegen. Allerdings beinhaltet das verwendete Vorgehen zwei prinzipielle Nachteile: Zunächst ist es nicht möglich, neues, bislang unbekanntes Verhalten des Realsystems zu berücksichtigen. Die Kompensationsmodelle berücksichtigen allein systematische Abweichungen, und das stochastische Verhalten der Simulationsobjekte beinhaltet generell eine Vergangenheitsbetrachtung (siehe auch Kapitel 1.1). Zum anderen beinhaltet der Aufbau eines Kompensationsmodells eine zusätzliche Tätigkeit, die die Effizienz der betriebsbegleitenden Simulation im alltäglichen Einsatz vermindert.



Aufgrund der Wichtigkeit der zweiten in der Literatur diskutierten Möglichkeit, die Effizienz beim Aufbau von Simulationsmodellen zu erhöhen, die automatische Generierung von Simulationsmodellen, wird hierauf im nächsten Kapitel gesondert eingegangen (siehe Kapitel 3.3).

#### **3.2.2 Fazit zum Bereich betriebsbegleitende Simulation**

Die beschriebenen Ansätze zeigen auf, dass die betriebsbegleitende Simulation ein geeignetes Instrument ist, um im Rahmen der Prognose und Planung produktionslogistischer Systeme entscheidungsunterstützend eingesetzt zu werden. Vielfach kommt die betriebsbegleitende Simulation daher in Ergänzung zu Systemen der Fertigungssteuerung bzw. von Fertigungsleitständen zum Einsatz.

Allerdings werden in sehr vielen Ansätzen lediglich Plandaten zur Generierung von Simulationsmodellen eingesetzt. Damit sind prinzipielle Abweichungen von der Realität und eine mangelnde Validität der Modelle nicht zu vermeiden. Diese wiederum führt zu einem niedrigeren Vertrauensgrad der Simulationsergebnisse.

Weiterhin ist feststellbar, dass auch adaptive Simulationsmodelle häufig keine Änderungen der abgebildeten Strukturen oder Abläufe zulassen. Die Flexibilität beschränkt sich zumeist auf die Parametrisierung.

Hauptkritikpunkt aller Autoren an der betriebsbegleitenden Simulation ist der hohe zeitliche und damit auch finanzielle Aufwand, der zur Generierung und Pflege der Simulationsmodelle eingesetzt werden muss. Daher beschäftigen sich viele Ansätze in Wissenschaft und Praxis mit der Steigerung der Effizienz bei der Modellgenerierung.

In Tabelle 3-3 werden die dabei zu berücksichtigenden Anforderungen an die Gestaltung von betriebsbegleitenden Simulationsmodellen zusammengefasst.

### 3.2 Betriebsbegleitende Simulation

---

Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an die betriebsbegleitende Simulation	
1	Das zugrunde liegende Simulationsmodell muss schnell und effizient an die aktuelle Betriebssituation der Produktion anpassbar sein.
2	Der hohe Detaillierungs- und Vertrauensgrad der Simulationsergebnisse muss eine direkte Umsetzung ermöglichen.
3	Die betriebsbegleitende Simulation muss in die alltäglichen Abläufe der Produktionsplanung und -steuerung integrierbar sein.

*Tabelle 3-3: Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an die betriebsbegleitende Simulation*

Die erste Forderung nach der schnellen Anpassbarkeit des Simulationsmodells ergibt sich aus der Tatsache, dass die Turbulenz des Umfelds in der Regel zu Veränderungen der Strukturen und Abläufe in der Produktion führt. Dies bedeutet, dass das Simulationsmodell häufig angepasst werden muss. Daher sind für die Modellanpassung effiziente Vorgehensweisen notwendig.

Die zweite Forderung nach einem hohem Detaillierungs- und Vertrauensgrad ist notwendig, damit Simulationssysteme parallel zu PPS-Systemen eingesetzt werden können. Entsprechend sind detaillierte Simulationsmodelle notwendig. Um keine Scheingenauigkeit zu erzeugen, muss ein hoher Realitätsbezug des Modells gewährleistet sein. Auf der Basis von Plandaten ist zumeist kein derart hoher Realitätsbezug zu erwarten; vielmehr müssen die real ausgeführten Strategien und Abläufe der Produktion im Simulationsmodell abgebildet werden.

Die dritte Forderung nach einer Integration der betriebsbegleitenden Simulation in die alltäglichen Abläufe der Produktionsplanung und -steuerung zielt darauf ab, dass ungeplant eintretende Einflüsse einer turbulenten Produktionsumgebung eine schnelle Reaktion der Mitarbeiter der Produktionsplanung und -steuerung erfordern. Technologische und arbeitstechnische Barrieren dürfen den Einsatz der Simulation nicht erschweren. Der Anwender der betriebsbegleitenden Simulation soll sich als produktionslogistischer Problemlöser, aber nicht als Simulationsexperte verstehen können.

### 3.3 Automatische Simulationsmodellgenerierung

Die automatische Modellgenerierung – als eine Methode, die Effizienz der Modellgenerierung zu erhöhen – ist in der Regel mit der Schaffung von Verbindungen zu anderen betrieblichen Informationssystemen verbunden. Es fallen einmalige Aufwendungen an, die beim wiederholten Einsatz der automatischen Modellbildung kompensiert werden. Damit wird der Forderung nach einer schnellen Anpassung an Umfeldbedingungen Folge geleistet. Weiterhin bringt es die weitgehend automatisierte Modellgenerierung mit sich, dass auf spezielle Simulationsfachleute in der Regelanwendung verzichtet werden kann. Dies ist eine wichtige Voraussetzung, um die Alltagstauglichkeit und Akzeptanz der betriebsbegleitenden Simulation zu erhöhen [z.B. GUMPERT & RITZSCHKE 1996].

Somit führt die automatische Simulationsmodellerstellung zu einer verbesserten Erfüllung zweier Forderungen aus den turbulenten Umfeldbedingungen an die betriebsbegleitende Simulation (siehe Tabelle 3-3):

1. Die Automatisierung und die Nutzung bereits in betrieblichen Informationssystemen vorhandener Daten können den Aufwand zu Modellerstellung erheblich verringern.
2. Der Integrationsfähigkeit der betriebsbegleitenden Simulation in die alltäglichen Abläufe wird durch den möglichen Verzicht auf einen Simulationsexperten bei der Modellgenerierung Vorschub geleistet. Dies bedeutet, dass die Mitarbeiter des Bereiches Produktionsplanung und –steuerung kein Simulations-Expertenwissen benötigen, um Simulationsexperimente durchführen und auswerten zu können.

#### 3.3.1 Relevante Ansätze

In der Literatur sind eine Vielzahl von Ansätzen zur automatischen Modellgenerierung beschrieben [z.B. DITTRICH 1996; ENNS & SUWANRUJI 2003; KLUBMANN U.A. 1996; KOBYLKA & WIRTH 1997; QIAO U.A. 2003; SCHULZE U.A. 1998; SIHN U.A. 1999, WUTTKE 2000]. Vielfach konzentrieren sich diese Ansätze auf spezielle Anwendungsbereiche, z.B. auf die Fabrikplanung [KOBYLKA & WIRTH 1997] oder die layoutorientierte Gestaltung von Materialflusssystemen [KLUBMANN U.A. 1996]. In der Regel werden vor allem die Strukturen des Modells manuell definiert und anschließend eine Parametrisierung durchgeführt.

### 3.3 Automatische Simulationsmodellgenerierung

---

KOBYLKA & WIRTH (1997) betonen die grundsätzliche Sinnhaftigkeit der Integration der Simulation in die Planungsprozesse der Produktion heraus. Um die wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten der Simulation zu verbessern, schlagen die Autoren eine Kopplung von Simulationswerkzeugen mit statischen Planungsinstrumenten vor. Das Ziel ist es, durch eine durchgängige und konsistente Verwendung von Daten den Aufwand für die Erstellung von Simulationsmodellen zu senken. In dem vorgestellten Ansatz konzentrieren sich die Autoren auf Anwendungen aus dem Bereich Fabrikplanung.

Statt einer direkten Kopplung der Werkzeuge und Instrumente wird eine adaptive Kopplung empfohlen. Die Adaption der Daten ist einerseits notwendig, um die statischen Daten mit dynamischen Informationen für die Simulation zu ergänzen. Gerade die Berücksichtigung von Informationen der Produktionssteuerung wird als wichtig für das Ergebnis der Simulation eingeschätzt [KOBYLKA & WIRTH 1997, S. 20]. Andererseits müssen Ergänzungen an den Eingangsdaten möglich sein, um unterschiedliche planerische Szenarien abbilden zu können.

Die Kopplung von Simulationssystemen mit anderen, bereits bestehenden Planungssystemen ist im Sinne einer schnellen Anpassbarkeit von Simulationsmodellen ein überzeugender Ansatz. Allerdings wird die manuelle Adaption der Daten nicht zu einem hohen Vertrauensgrad der Simulationsergebnisse führen – insbesondere bei der Abbildung der realen Dynamik.

SCHULZE U.A. (1998) sehen ebenso wie KOBYLKA & WIRTH ein Hauptdefizit der Simulationstechnik in dem hohen zeitlichen Aufwand zur Modellerstellung und zur Modellvalidierung. Auch SCHULZE U.A. schlagen daher eine Kopplung mit anderen Informationssystemen vor, im Gegensatz zu KOBYLKA & WIRTH konzentrieren diese Autoren sich aber auf operative Planungssysteme (z.B. PPS).

SCHULZE U.A. erstellen Modellelementklassen mit genau definierten Attributen und Verhalten, die zum Aufbau eines Simulationsmodells notwendig sind. Im Rahmen der automatischen Modellgenerierung werden diese Klassen mit Information der gekoppelten Systeme versorgt. Bei den Steuerstrategien der Produktionsplanung und –steuerung sind Standardstrategien hinterlegt, weitere müssen durch den Anwender programmiert werden [SCHULZE U.A. 1998, S. 144]. Bei der Modellerstellung werden fehlende Informationen durch Annahmen des Systems getroffen, die durch den Anwender geprüft werden müssen.

Die Definition von Modellelementklassen, die zur Erstellung eines Simulationsmodelles mit Informationen versorgt werden müssen, ist ein Ansatz, der auch für die vorliegende Arbeit verwendet wird. SCHULZE U.A. gehen allerdings davon aus, dass der Anwender sich bei einem ersten Modellaufbau stark einbringt und Annahmen und Strategien definiert. Bei späteren Simulationsexperimenten werden diese Annahmen und Strategien wiederverwendet. Damit ist die Anpassbarkeit des Modells an Änderungen in der Produktion eingeschränkt. Die Übereinstimmung des Simulationsmodells mit den operativen Systemen bzw. mit der Realität ist über einen längeren Zeitraum nicht gegeben.

DITTRICH (1996) stellt einen Ansatz vor, in dem die automatische Simulationsmodellgenerierung genutzt wird, um die Steuerparameter eines PPS-Systems zu konfigurieren. Durch die Kopplung eines PPS-Systems mit einem Simulationssystem realisiert Dittrich einen PPS-Probetrieb. Der Ansatz von Dittrich sei an dieser Stelle in Vertretung für weitere Beispiele von PPS-Probetrieben genannt (siehe z.B. GÜNZEL 1993, S. 13ff.).

Der automatisierte Abgleich des Simulationsmodells mit dem PPS-System konzentriert sich im Ansatz von DITTRICH auf den Austausch von Bewegungsdaten (z.B. Primärbedarfe, Materialbuchungen, Parameterkonfigurationen) [DITTRICH 1996, S. 127]. Stammdaten und der strukturelle Aufbau des Simulationsmodells müssen vorab gewährleistet sein.

Durch die eingeschränkte automatische Anpassbarkeit und die Fokussierung auf ausgewählte Softwaresysteme sind die von DITTRICH vorgestellten Ansätze nicht auf diese Arbeit zu übertragen. Es ist allerdings hervorzuheben, dass der Autor die wirtschaftliche Bedeutung deutlich herausstellt, die adäquat eingestellte Parameter und Strategien der Produktionsplanung und -steuerung haben. Weiterhin belegt der Autor, dass die Ablaufsimulation ein geeignetes Instrument ist, um das Wirkgefüge der Steuerparameter transparent darzustellen.

WUTTKE (2000) entwickelt ein umfangreiches Konzept zur Mehrfachnutzung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik. Im Rahmen dieses Konzeptes geht der Autor u.a. auf die automatisierte Durchführung von Simulationsstudien ein. WUTTKES Ziel ist es, eine effiziente Vorgehensweise bei der Planung und Durchführung von Simulationen zu entwickeln. In diesem Zusammenhang ist es auch ein Teilziel des Autors, die Simulation möglichst in die alltäglichen betrieblichen Planungsabläufe zu integrieren und zu automatisieren.

### 3.3 Automatische Simulationsmodellgenerierung

---

WUTTKE verwendet dabei ein mehrstufiges Vorgehen: Zum operativen Betrieb einer Produktion (Produktionsplanung und –steuerung) wird ein Simulationsmodell verwendet, das mittels Eingabemasken „automatisiert variiert“ werden kann. Im Rahmen der Fertigungsplanung, wenn zusätzlich die Modellstruktur verändert werden muss, verwendet der Autor ein Informationsmodell. Dieses Informationsmodell ist in einem Hilfsprogramm abgelegt; ein Vorgehensmodell sichert die konsistente Eingabe der Daten. Auf der Basis dieser Information wird im Simulator ein Modell automatisch generiert.

Der Aufbau des Informationsmodells in einem externen System inklusive Vorgehensmodell und Konsistenzüberprüfung ist zielführend für die automatische Simulationsmodellgenerierung. Allerdings werden im Rahmen des Modellaufbaus Strategien der Produktionsplanung und –steuerung weitgehend außer Acht gelassen. Weiterhin ist in diesem Zusammenhang eine Kopplung an betriebliche Informationssysteme nicht vorgesehen. Die Eingabe über Masken im Hilffsystem ist fehleranfällig.

In den Ansätzen vieler anderer Autoren ist daher die Verwendung von bereits in betrieblichen Informationssystemen vorhandenen Daten für die Modellerstellung - z.B. über die Kopplung des Simulationssystems an Produktionsplanungs- und –steuerungssysteme (PPS-Systeme) - wichtig [GUMPERT & RITZSCHKE 1996; DITTRICH 1996]. Ein weiterer Ansatz für vor allem durch den Materialfluss determinierte Produktionssysteme bezieht sich auf die Interpretation von CAD-Layouts [KLUßMANN U.A. 1996, HIRSCH 2000, SPLANEMANN 1995]. Dabei wird auch der Einsatz normierter Schnittstellen zum Datenaustausch [PETERMANN U.A. 2000] sowie der Aufbau und die Gestaltung von Datenbanken zur Abbildung aller simulationsrelevanten Informationen untersucht [WIEDEMANN 1999].

SPLANEMANN (1995) ist der erste Autor, der einen allgemeingültigen und umfangreichen Ansatz zur automatischen Generierung von Simulationsmodellen vorstellt. Dabei geht der Ansatz davon aus, dass die meisten simulationsrelevanten Informationen aus anderen betrieblichen Informationssystemen übernommen werden können. SPLANEMANN konzentriert sich auf CAD-Systeme, PPS-Systeme und allgemeine Datenbanken.

Das Vorgehen von SPLANEMANN basiert auf dem STEP-Referenzmodell. Mittels Pre-Prozessoren werden Informationen aus Datenverarbeitungs-Systemen interpretiert und für die Abbildung in Simulationssystemen zusammengeführt. Der Ansatz geht davon aus, dass viele Informationen über die abzubildende Produkti-

onsstruktur aus der Layoutbeschreibung in Form von CAD-Zeichnungen extrahiert werden können: sowohl physikalische Elemente wie Maschinen und Transporteinheiten als auch deren geometrische Anordnung. Der Autor selbst bezeichnet sein Vorgehen als „teilautomatisiert“, weil er der Meinung ist, dass Informationen über Steuerungsstrategien nicht automatisch aus Datenbanken übernommen werden können und daher interaktiv durch den Nutzer bereitgestellt werden müssen [SPLANEMANN 1995, S. 55].

Der Autor hat simulationsrelevante Eingangsdaten analysiert und beschrieben. Die resultierende Systematik wird auch für die hier vorliegende Arbeit übernommen. Es ist allerdings fraglich, ob der von SPLANEMANN vorgestellte Ansatz zur teilautomatisierten Modellgenerierung einem breiten Einsatzbereich genügt: Die Interpretation von CAD-Layoutdaten kann nur dann erfolgreich sein, wenn starke Abhängigkeiten zwischen Produktionsorganisation und Hallentopologie gegeben ist. Das wird insbesondere bei starr verketteten Anlagen der Fall sein, weniger jedoch bei flexibleren Organisationsformen (z.B. Werkstatt- oder Inselfertigung). In einer Veröffentlichung neueren Datums zu diesem Ansatz, wird entsprechend das Einsatzpotenzial besonders bei der Projektierung von Anlagen gesehen [KLUßMANN U.A. 1996, S. 333; HIRSCH 2000]. Weiterhin ist kritisch, ob bei der Verwendung unterschiedlicher Eingangsquellen für simulationsrelevante Daten mit divergierenden Nomenklaturen und Darstellungsformen eine automatisierte Zusammenführung in Referenzobjekte gelingen kann. Mit der Definition von lokalen Basissteuerungsstrategien hat der Autor Ansatzpunkte zur automatischen Interpretation von allgemeinen Abläufen und Strategien der Produktionsplanung und -steuerung gegeben, die in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen werden.

GUMPERT & RITZSCHKE (1996) wie auch andere Autoren [z.B. FELDMANN 1998] präferieren die alleinige Kopplung der Simulation mit PPS-Systemen. Ziel ihrer Ansätze ist es, einen weitgehenden Verzicht auf Simulations-Experten zu ermöglichen. Dazu werden auch kommerzielle Programmpakete angeboten, die sich auf ausgewählte Softwaresysteme seitens PPS-System und/oder Simulationsprogramme beziehen. In diesen Ansätzen werden die statischen Informationen in Simulationssysteme übertragen. Dynamische Informationen, die nicht in den PPS-Systemen hinterlegt sind (z.B. Ablaufregeln zur Produktionsplanung und -steuerung) werden vernachlässigt. Weiterhin muss bei diesen Ansätzen auch kritisch angemerkt werden, dass die Beschreibung in PPS-Systemen einen Planzustand beschreibt, der nicht immer oder zumindest nicht in vollem Umfang mit der

### 3.3 Automatische Simulationsmodellgenerierung

---

Realität übereinstimmt [z.B. MAUCHER & KIRLI 1998]. Damit bedingen diese Ansätze systemimmanente Probleme bei der Modellvalidierung.

ANSORGE U.A. (2000) haben im Rahmen eines Schulungskonzepts zur Vermittlung von Wirkzusammenhängen in der Produktionsplanung und –steuerung ein Simulationssystem mit einem kommerziellen Fertigungsleitstand und einem PPS–System gekoppelt. Der Datenaustausch findet über eine zu integrierende Datenbank statt; alle Systeme greifen bidirektional auf dieselben Daten zu. Damit ist eine durchgängige Aktualität und Synchronität aller Systeme bei Vermeidung von Datenredundanzen gewährleistet [ANSORGE U.A. 2000, S. 214]. Entsprechend den Plandaten werden im Simulationsmodell Strukturbausteine automatisiert ausgewählt und parametrisiert. Planszenarien werden simuliert und Ergebnisse an die Planungswerkzeuge zurückgemeldet. Die Lösung wurde allerdings speziell für die beteiligten Softwaresysteme konzipiert und eine Allgemeingültigkeit des Ansatzes war nicht primäres Ziel des Ansatzes.

Das Simulationsmodell wird „per Knopfdruck“ auf Basis der aktuellen Informationen in der Datenbank generiert. Allerdings ist dabei zu beachten, dass vielfach dynamische Zusammenhänge nicht in dem verwendeten PPS–System und Leitstandsystem geplant werden (z.B. Transportregeln, spezielle Reihenfolgeregeln, Auswahl von Ersatzmaschinen bei Störungen). Derartige Regeln sind im Simulationsmodell hinterlegt und in dem automatischen Modellaufbau nicht enthalten. Bei der Realisierung des automatischen Modellaufbaus werden Informationen zu besonderen Ablaufregeln oder Strategien nur indirekt über den Einlastzeitpunkt und die Einlastreihenfolge der Aufträge berücksichtigt.

PETERMANN U.A. (2000) haben erkannt, dass die statischen PPS–Systeme auf einem geplanten Produktionsplan beruhen und unter häufigen Änderungen im Produktionssystem nur unbefriedigende Ergebnisse im operativen und dispositiven Bereich liefern können. Aus diesen Gründen schlagen die Autoren eine Erweiterung des Funktionsumfangs von PPS–Systemen um dynamische Simulationen vor, die auch die Prozesskostenrechnung beinhaltet.

Damit ein effizienter Einsatz der Simulation möglich ist, muss eine Modellgenerierung nach Meinung der Autoren automatisiert ablaufen [PETERMANN U.A. 2000, S. 15]. Dazu wurde eine Produktionsdatenbank entwickelt, die sich aus den Daten eines PPS–Systems speist und die für die automatische Generierung der Simulationsmodelle eingesetzt wird. Dabei ist allerdings nicht schlüssig, wieso die Autoren hier ausschließlich auf Daten aus PPS–Systemen zurückgreifen, die



die oben genannten Defizite aufweisen. Dieses Defizit relativiert sich jedoch, wenn die Autoren das System in erster Linie zur Planung von Anfragen und Angeboten und nicht zur betriebsbegleitenden Steuerung verwenden möchten.

Die Arbeit von PETERMANN U.A. betont die Bedeutung der Produktionssteuerung für die Erreichung logistischer und wirtschaftlicher Ziele in der Produktion. Ebenso stellt sie gut dar, dass das Simulationsmodell in einen integrierten Regelprozess ständig mit Informationen aus dem Realprozess nachgeführt werden sollte [PETERMANN U.A. 2000, S. 17]. Diese zwei Aspekte werden auch in die hier vorliegende Arbeit übernommen.

WIEDEMANN (1999) stellt in seiner Arbeit mit der Entwicklung einer flexiblen Modellierungs- und Simulationsumgebung ein weiteres Thema in den Vordergrund seiner Betrachtung. Allerdings behandelt der Autor in diesem Zusammenhang auch die Frage, in welcher Form das dynamische Systemverhalten von Produktionssystemen beschrieben werden kann. In dieser Hinsicht geht er auf Fragen ein, die in den bisher genannten Arbeiten nicht ausreichend beantwortet werden konnten.

WIEDEMANN schlägt vor, das Systemverhalten in seiner Dynamik mit so genannten „Micro-functions“ abzubilden [WIEDEMANN 1999, S. 589]. Sein Ansatz ist es, die vielfältigen Strategien im Rahmen von Transportentscheidungen, Reihenfolgeregeln, individuellen Entscheidungsregeln etc. in gemeinsame, kleinere Grundfunktionen zu zerlegen. Im simulierten System wird eine reale Strategie durch die Kombination dieser „Micro-functions“ aggregiert.

In dem Aufsatz von WIEDEMANN wird weder eine vollständige Beschreibung von „Micro-functions“ noch ein allgemeingültiger Weg zur Bestimmung dieser Funktionen genannt. Dennoch ist es einer der wenigen systematischen Ansätze zur Abbildung von Steuerungsstrategien und -abläufen und wird daher in der vorliegenden Arbeit weiter verfolgt.

#### **3.3.2 Fazit zum Bereich automatische Modellgenerierung**

In sehr vielen Ansätzen konnte gezeigt werden, dass die automatische Modellgenerierung im Rahmen der betriebsbegleitenden Simulation geeignet ist, die Effizienz bei der Erstellung von Simulationsmodellen zu erhöhen. Vielfach fehlen den Ansätzen Allgemeingültigkeit, dennoch kann festgehalten werden, dass die Kopplung mit anderen betrieblichen Informationssystemen ein wesentlicher Be-

### 3.3 Automatische Simulationsmodellgenerierung

---

standteil der automatischen Modellgenerierung sein muss. Weiterhin haben auch viele Autoren gezeigt, dass die Definition von Modellelementklassen die Generierung der Modelle erleichtern kann.

Bezüglich der Anforderungen an die betriebsbegleitende Simulation (siehe Tabelle 3-3) kann daher festgestellt werden, dass sowohl die schnelle und effiziente Anpassung an das aktuelle Betriebsgeschehen als auch die Integration in die alltäglichen Abläufe der Produktionsplanung und –steuerung mittels der automatischen Modellgenerierung erreicht werden kann.

Hinsichtlich der verbleibenden Forderung (*Der hohe Detaillierungs- und Vertrauensgrad der Simulationsergebnisse muss eine direkte Umsetzung ermöglichen*) ist jedoch zu konstatieren, dass die vorgestellten Ansätze hier häufig Defizite aufzeigen oder sich auf Spezialanwendungen konzentrieren. So nennen sehr viele Autoren, dass die Informationen zur Produktionsplanung und –steuerung, insbesondere die Strategien und Abläufe einen essentiellen Anteil zu der Validität der Simulationsmodelle beitragen. Alle genannten Ansätze stimmen jedoch darin überein, dass kein allgemeingültiger Ansatz zur automatischen Beschreibung und Generierung dynamischer Abläufe (Strategien) im Simulationsmodell Verwendung findet. Dynamische Zusammenhänge werden vielfach manuell in die automatisch strukturierten Simulationsmodelle eingepflegt. Andere Ansätze verzichten auf eine weitergehende Ablauflogik im Simulationsmodell und übernehmen Einlastreihenfolge und –zeiten von externen Planungssystemen. Sind vordefinierte Strategien und Abläufe im Simulationsmodell enthalten, so können diese gegebenenfalls automatisiert parametrisiert werden.

### 3.4 Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass die betriebsbegleitende Simulation ein Instrument sein kann, um die Entscheidungen im Bereich der Produktionsplanung und –steuerung zu unterstützen. Gerade im Hinblick auf die zunehmende Turbulenz im betrieblichen Umfeld und vor dem Hintergrund zunehmender Dezentralisierung weist die betriebsbegleitende Simulation große Potenziale auf.

Der Aufwand zur Erstellung von Simulationsmodellen zur betriebsbegleitenden Simulation ist heute allerdings noch zu hoch. Ansätze zur Reduzierung dieses Aufwands mittels der Automatisierung der Modellgenerierung sind prinzipiell

geeignet; allerdings weisen diese Ansätze noch Defizite hinsichtlich adäquater Abbildung der Realität im Simulationsmodell auf. Die Validität ist bei der automatischen Modellgenerierung häufig nicht gegeben, weil es bislang nicht gelungen ist, die Abläufe und Strategien der Produktionsplanung und –steuerung in dem automatisierten Vorgehen mit zu berücksichtigen.

Im nächsten Kapitel werden diese Erkenntnisse zur Grundlage genommen und aus den ermittelten Defiziten auf der einen und den anerkannt positiven Ansätzen auf der anderen Seite die Ziele für die vorliegende Arbeit detailliert.

---

## 4 Ziel der Arbeit

Es wurde belegt, dass Planung und Steuerung der Produktion im turbulenten Umfeld neue Anforderungen an Methoden und letztlich auch an unterstützende Werkzeuge stellt. Weiterhin kann konstatiert werden, dass die Eigenschaften der betriebsbegleitenden Simulation grundsätzlich geeignet sind, unterstützende Aufgaben bei Planung und Steuerung zu übernehmen. Allerdings hat es sich auch gezeigt, dass keine der heute bekannten Ansätze zur Gestaltung der betriebsbegleitenden Simulation alle Anforderungen, die sich aus der Turbulenz des betrieblichen Umfelds ergeben (siehe Tabelle 3-3), erfüllen. Schwachstellen derzeitiger Ansätze sind vor allem bei der effizienten und realitätsnahen Modellierung der dynamischen Zusammenhänge der Produktion auszumachen. Gerade die Dynamik der Produktion, die sich in der Beschreibung der logistischen Abläufe widerspiegelt, ist eines der wichtigsten Elemente, damit die Erkenntnisse, die sich aus den Simulationsexperimenten ableiten lassen, auf die Realität übertragen werden können.

Gegenstand dieser Arbeit ist die betriebsbegleitende Simulation. Ziel ist es, die Betriebsbegleitende Simulation im Kurzfristbereich dazu zu nutzen, die Entscheidungsunterstützung im Rahmen von Fragestellungen der Produktionsplanung und -steuerung zu verbessern (siehe Kapitel 1). Heutige Ansätze zur betriebsbegleitenden Simulation können diese Aufgabe aufgrund der oben erläuterten Beschränkungen nur begrenzt erfüllen. Daher ist es das Ziel dieser Arbeit, Methoden und Vorgehensweisen zu definieren, um die dynamischen Zusammenhänge der Produktion, die sich in den logistischen Abläufen niederschlagen, auf effiziente Art für eine Verwendung bei der Simulationsmodellgenerierung einsetzen zu können. Damit wäre eine automatische und somit effiziente Generierung von Simulationsmodellen möglich, was dazu führen soll, dass für die betriebsbegleitende Simulation ausreichend valide und aufwandsarm erzeugte Simulationsmodelle zur Verfügung stehen.

Die logistischen Abläufe in der Produktion resultieren aus den Zielsetzungen und Vorgaben der Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung. Dabei sind in diesem Zusammenhang die real umgesetzten und unter Berücksichtigung der betrieblichen Randbedingungen „gelebten“ Strategien und Abläufe zu verstehen. Somit ist das Gesamtziel dieser Arbeit wie folgt zu benennen:

### **Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung**

Im Zentrum des Interesses müssen dabei die Identifikation und Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung stehen.

In diesem Zusammenhang ist es evident zu betonen, dass gerade nicht Planabläufe identifiziert und beschrieben werden, sondern die realen Abläufe, damit die Ergebnisse der Simulationsexperimente auf reale Problemsituationen angewandt werden können.

Das erste Teilziel dieser Arbeit muss die Identifikation von Strategien und Abläufen sein. Ohne die Identifikation ist eine Weiterverarbeitung im Rahmen der Simulationsmodellgenerierung ausgeschlossen. Dabei ist es Realität, dass die Strategien und Abläufe in betrieblichen Planungssystemen nicht explizit und nicht in einer für die Weiterverwendung geeigneten Form vorliegen. In dieser Arbeit wird als Grundlage der Identifikation das Datenmaterial aus so genannten Betriebsdatenerfassungssystemen (BDE-Systeme) verwendet. In diesen Systemen wird automatisch oder durch manuelle Eingabe der Auftragsfortschritt in der Produktion, in der Regel auf Basis von Arbeitsvorgängen, in EDV-Systemen dokumentiert. Damit ist es im Rahmen dieses Teilzieles Aufgabe, aus den Rückmeldungen, die allein diskrete Zeitpunkte beschreiben, auf logistische Zusammenhänge zu schließen.

Weiteres Teilziel dieser Arbeit muss es sein, die identifizierten Strategien und Abläufe zu beschreiben. Allein durch eine eindeutige Nomenklatur können sie Basis für eine automatisierte Simulationsmodellgenerierung sein. Diese Aufgabe ist nicht trivial, weil real existierende Strategien sich häufig durch Unschärfen und Unsicherheiten auszeichnen. Darüber hinaus sind unzählige Nuancen und Varianten zu beschreiben, deren Menge nicht endlich sein kann. In diesem Zusammenhang müssen Modellelementklassen bzw. „Microfunktionen“ definiert werden.

Letztes Teilziel dieser Arbeit ist, die entwickelten Lösungen zur Interpretation und Beschreibung der Strategien und Abläufe in eine Vorgehensweise zur automatischen Modellgenerierung einzubringen. Damit trägt diese Arbeit dazu bei, dass die betriebsbegleitende Simulation ein geeignetes und anerkanntes Instrument zur Unterstützung der Produktionsplanung und -steuerung in komplexen und dynamischen betrieblichen Umfeldern wird.

---

Um die angestrebten Ziele zu erreichen, sind eine Reihe von Vorarbeiten zu beachten. Im Folgenden werden daher zunächst die logistischen Aspekte der Abläufe und Strategien der Produktionssteuerung betrachtet. Dies ist notwendig, um den Charakter der Abläufe und Strategien im Rahmen der Interpretation und Beschreibung korrekt wiederzugeben. Für die Interpretation ist die Betrachtung von Arbeiten zur Mustererkennung und für die Beschreibung die der Eigenschaften und Möglichkeiten bekannter Datenmodelle wichtig. Weiterhin werden Expertensysteme näher beschrieben, weil sie Hinweise auf die Gestaltung der Vorgehensweise zur automatischen Simulationsmodellerstellung geben.

Zunächst wird jedoch in Abstimmung mit den Anforderungen aus Kapitel 3 ein detailliertes Bild des Lösungskonzepts zur Identifikation und Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung zur automatischen Simulationsmodellgenerierung gezeichnet.

## 5 Lösungskonzept

Entsprechend der Beschreibung in Kapitel 4 ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, die Identifikation und Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung zu ermöglichen. Diese sollen im Zuge der betriebsbegleitenden Simulation zur automatischen Simulationsmodellgenerierung zum Einsatz kommen.

	Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an die betriebsbegleitende Simulation
A1	Das zugrunde liegende Simulationsmodell muss schnell und effizient an die aktuelle Betriebssituation der Produktion anpassbar sein.
A2	Der hohe Detaillierungs- und Vertrauensgrad der Simulationsergebnisse muss eine direkte Umsetzung ermöglichen.
A3	Die betriebsbegleitende Simulation muss in die alltäglichen Abläufe der Produktionsplanung und -steuerung integrierbar sein.

*Tabelle 5-1: Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an die betriebsbegleitende Simulation (vgl. Tabelle 3-3)*

Zur Beantwortung der Frage, wie die Identifikation und Beschreibung ablaufen kann und welche Randbedingungen beachtet werden müssen, werden die Anforderungen (A), die aus dem turbulenten Umfeld der Produktion resultieren und auf die Planung und Prognose im Allgemeinen und auf die betriebsbegleitende Simulation im Speziellen wirken, berücksichtigt (siehe Tabelle 5-1). Das Ergebnis dieser Betrachtung entspricht den geforderten Eigenschaften (E) des Lösungskonzepts. Die erste der geforderten Eigenschaften ergibt sich direkt aus der Zielsetzung der vorliegenden Arbeit:

**E1:** Berücksichtigung der Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung bei der Modellgenerierung

Weitere Eigenschaften ergeben sich wie folgt und basieren auf der Bewertung der Ansätze gemäß dem Stand der Forschung:

**E2:** Die Bereitstellung der simulationsrelevanten Daten durch Kopplung zu bereits bestehenden betrieblichen Informationssystemen

- 
- E3:** Ein Automatismus zur Generierung der Simulationsmodelle
  - E4:** Die Eingangsdaten zur Generierung des Simulationsmodells basieren auf Realdaten
  - E5:** Der Umgang mit dem Simulationsmodell erfordert keine Simulationsexperten
  - E6:** Die Fragestellungen der Produktionsplanung und –steuerung sind editierbar

Die Lösungseigenschaft E1 (Berücksichtigung der Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung bei der Modellgenerierung) bezieht sich in erster Linie auf die Anforderung der hohen Detaillierung und des Vertrauensgrades (A2). In Kapitel 4 wurde bereits aufgezeigt, dass die Vernachlässigung der dynamischen Zusammenhänge heute das wesentliche Defizit bei der (automatischen) Generierung von Modellen für die betriebsbegleitende Simulation darstellt.

Die Lösungseigenschaft E2 (Bereitstellung der simulationsrelevanten Daten durch Kopplung zu bereits bestehenden betrieblichen Informationssystemen) berücksichtigt die schnelle und effiziente Anpassbarkeit des Modells (A1): schnell, weil keine zusätzlichen Daten akquiriert und keine neue Datenquellen integriert werden müssen; effizient, weil der Aufwand nach einmaliger Kopplung an die ausgewählten betrieblichen Informationssysteme sinkt. Weiterhin wird die Integration in die alltäglichen Abläufe erleichtert (A3), wenn auf bereits bestehende Informationssysteme zurückgegriffen werden kann.

Die Lösungseigenschaft E3 (Automatismus zur Generierung der Simulationsmodelle) zielt gleichsam auf die Anforderungen der Effizienz und Schnelligkeit (A1) und die Integrationsfähigkeit (A3) ab. Bei der automatischen Modellgenerierung hängt die Geschwindigkeit der Modellgenerierung lediglich von der Verarbeitungsleistung der Informationssysteme sowie vom Datenumfang ab. Dagegen dominieren und verlangsamen manuelle Tätigkeiten heute den Prozess der Modellerstellung. Weiterhin kann mit Hilfe des Automatismus auch die Anforderung nach einem hohen Vertrauensgrad der Simulationsergebnisse (A2) berücksichtigt werden: Manuelle Datenergänzungen und Modellparametrisierung behalten immer die Gefahr der Fehleingabe. Diese zufälligen Fehler können bei einem automatischen Modellaufbau ausgeschlossen werden.



Die Lösungseigenschaft E4 (Eingangsdaten zur Generierung des Simulationsmodells basieren auf Realdaten) berücksichtigt ebenso die Forderung nach einem hohen Detaillierungs- und Vertrauensgrad (A2). Ohne Kompensation der Simulationsergebnisse sind nur dann realitätsnahe Ergebnisse zu erwarten, wenn die Eingangsdaten zum Aufbau des Simulationsmodells die Realität beschreiben. Insbesondere bedeutet dies, dass es nicht zielführend ist, lediglich Plandaten zur Generierung von Simulationsmodellen zu verwenden.

Die Lösungseigenschaft E5 (Umgang mit dem Simulationsmodell erfordert keine Simulationsexperten) basiert vor allem auf die Anforderung der Integrierbarkeit in die alltäglichen Abläufe (A3). Die Abhängigkeit vom Kenntnisstand und der Verfügbarkeit von Simulationsexperten würde die Integration und Anerkennung der betriebsbegleitenden Simulation in die Entscheidungsprozesse der Produktionsplanung und -steuerung einschränken. Vielmehr soll es möglichst allen Mitarbeitern der Produktionsplanung und -steuerung möglich sein, kurzfristig Entscheidung mittels Simulationsexperimenten abzusichern. Damit ist nicht gemeint, dass die Nutzer der betriebsbegleitenden Simulation nicht die Charakteristiken und Anwendungsvoraussetzungen der Simulation kennen müssen; ebenso muss der Nutzer auch in der Lage sein, Simulationsexperimente zu konfigurieren. Es soll aber keinerlei Expertenwissen hinsichtlich der Programmierung und Editierung von Modellelementen notwendig sein.

Die Lösungseigenschaft E6 (Fragestellungen der Produktionsplanung und -steuerung sind editierbar) geht ebenso auf die Anforderung der Integrierbarkeit (A3) ein. Letztlich können die automatisch generierten Simulationsmodelle nur dann sinnvoll eingesetzt werden, wenn aktuelle Fragestellungen der Produktionsplanung und -steuerung mit ihrer Hilfe untersucht werden können. Diese Fragestellungen ergeben sich aus den aktuellen und zukünftigen Anforderungen an die Produktion. Damit ist auch klar, dass eine vollautomatische Generierung von Simulationsmodellen nie genügen kann, um sinnvolle Simulationsexperimente vorzubereiten. Planszenarien und mögliche Alternativen zur derzeitigen Realität müssen in jedem Fall ergänzt werden.

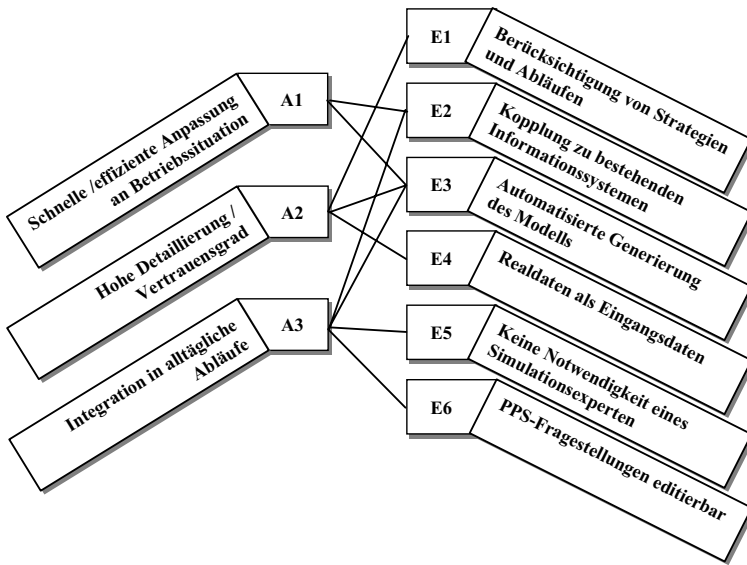


Abbildung 5–1: Gegenüberstellung von Anforderungen und Lösungseigenschaften zur betriebsbegleitenden Simulation

In Abbildung 5–1 sind die Beziehungen zwischen den Anforderungen an die betriebsbegleitende Simulation und entsprechenden Lösungseigenschaften nochmals visualisiert. Etwaige Lösungen bzw. Teillösungen richten sich an diesen Lösungseigenschaften aus. Die Graphik macht deutlich, dass die Forderung nach einer schnellen und effizienten Anpassbarkeit des Simulationsmodells an die aktuelle Betriebsituation der Produktion insbesondere durch die Automatisierung der Modellgenerierung und die Kopplung zu bestehenden Informationssystemen erreicht werden kann. Die Berücksichtigung von Strategien und Abläufen der Produktionsplanung und –steuerung bei der Modellgenerierung, die Verwendung von Realdaten und der automatische Ablauf der Modellgenerierung können der Forderung eines hohen Detaillierungs– und Vertrauensgrades der Simulationsergebnisse genügen. Zunächst steht die Möglichkeit des Verzichts auf Simulations–Experten beim Aufbau des Simulationsmodells sowie der Editierbarkeit von Fragestellungen der Produktionsplanung und –steuerung in das Simulationsmodell im Vordergrund. Daneben ist auch die automatische Modellgenerierung und der Rückgriff auf Daten aus bestehenden betrieblichen Informationssystemen

von Bedeutung, um die Integration der betriebsbegleitenden Simulation in die alltägliche Arbeit der Produktionsplanung und –steuerung zu gewährleisten.

Die genannten Lösungseigenschaften werden Eingang finden in die Lösungen zur Identifikation und Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung zur automatischen Simulationsmodellgenerierung. Um das gesteckte Ziel zu erreichen, wird ein gestaffeltes Vorgehen vorgeschlagen (siehe Abbildung 5–2). In Kapitel 5.1 liegt der Fokus zunächst auf der rein deskriptiven Darstellung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung. Deswegen ist es in Kapitel 5.2 möglich, diese Strategien und Abläufe in betrieblichen Informationssystemen zu identifizieren und zu interpretieren. Damit sind die Grundlagen geschaffen, um die Beschreibung und Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung in eine planerische Vorgehensbeschreibung zu integrieren (siehe Kapitel 5.3), die die automatische Generierung von Simulationsmodellen zum Gegenstand hat.

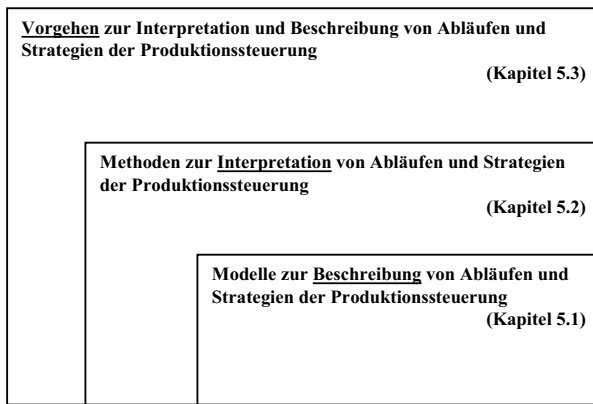


Abbildung 5–2: Aufbau des Lösungskonzepts zur Identifikation und Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung zur automatischen Simulationsmodellgenerierung

Jedes Kapitel bildet ein Lösungsmodul und ist in sich abgeschlossen, doch nur im Zusammenspiel aller Lösungsmodule kann die automatische Simulationsmodellgenerierung ganzheitlich gelöst werden.

## 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

### 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

Um ein Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung zu erstellen, ist es zunächst notwendig, sich mit den Eigenschaften von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung im Allgemeinen zu beschäftigen. Daher werden in Kapitel 5.1.1 zunächst Strategien und Abläufe generell definiert und nachfolgend spezielle Abläufe und Strategien aus dem Bereich der Produktionssteuerung vorgestellt. Ziel ist es, Gemeinsamkeiten und Spezifika zu ermitteln, die bei einer späteren Beschreibung Berücksichtigung finden müssen. In Kapitel 5.1.2 werden dann aus verschiedenen Ansätzen ein Metamodell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien abgeleitet, das die entsprechenden Spezifika effizient abbilden kann.

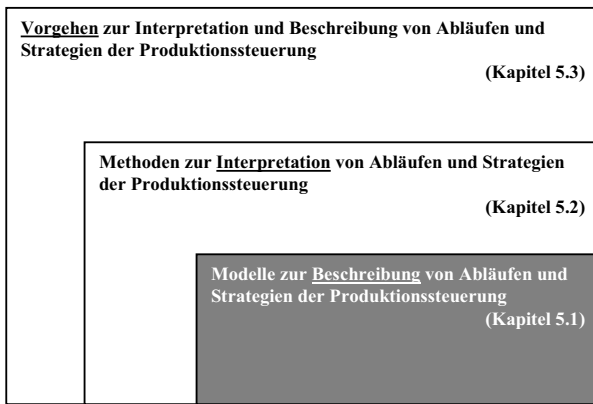


Abbildung 5–3: Lösungsvorgehen – aktueller Status in der Arbeit

#### 5.1.1 Abläufe und Strategien der Produktionssteuerung

Die Begriffe „Abläufe“ und „Strategien“ sind umgangssprachlich gebräuchlich. Um ein durchgängig gleiches Verständnis zu erlangen, ist es jedoch sinnvoll, die implizierte Vorstellung hinsichtlich der Bedeutung dieser Begriffe mittels einer expliziten Definition zu ergänzen:

Etimologisch gesehen stammt der Begriff „*Strategie*“ aus dem Griechischem und bezeichnet die Kunst der Heeresführung [strategos (gr.) = Heerführung]. In Bezug auf diese Arbeit ist unter Strategie die Formulierung eines Handlungsprogramms zu verstehen, um ein definiertes Ziel und somit einen Soll-Zustand zu erreichen. Innerhalb dieses Handlungsprogramms können de facto verschiedene Lösungswege, also *Abläufe* definiert werden, um das Programm umzusetzen. Bestimmen Strategien den Handlungsrahmen, so bezeichnen Abläufe mögliche Wege innerhalb dieses Rahmens zum Ziel zu gelangen. Eine Strategie kann somit verschiedene, zunächst gleichwertige Abläufe subsumieren. Erst wenn an einem System dezidierte Randbedingungen vorliegen, wird die Anzahl möglicher Abläufe eingeschränkt und ein endgültiger Ablauf ermittelt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird auf eine Definition aus dem Forschungsverbund ForSim, gefördert von der Bayerischen Forschungstiftung, zurückgegriffen [FELDMANN & REINHART 1997, S. 8 ff.]:

- Eine *Strategie* ist eine prinzipielle Vorgehensweise, um ein Ziel zu erreichen. Der Aussagebereich ist breiter, der Konkretisierungsgrad geringer.
- Ein *Ablauf* ist ein konkretes Vorgehen, das unter gegebenen Randbedingungen das Umsetzen einer übergeordneten Strategie und somit das Erreichen des Ziels erlaubt. Ein Ablauf erzeugt eine Zustandsänderung, in der Realität genauso wie im Simulationsmodell. Die Auslösung des Ablaufs kann sowohl zeit- als auch ereignisgesteuert erfolgen.

Eine nach dem Wirtschaftlichkeitsprinzip gestaltete Produktion ist das übergeordnete Ziel, das in jeder produktionstechnischen Arbeit die Basis bilden muss. In Kapitel 3.1 wurde bereits erläutert, dass in diesem Zusammenhang die logistischen Ersatzzielgrößen von Interesse sind: kurze Durchlaufzeit; geringe Bestände; hohe Termintreue; hohe Auslastung. Die Strategien und die daraus resultierenden Abläufe der Produktionsplanung und -steuerung beziehen sich entsprechend auf diese Zielgrößen.

Eine trennscharfe Abgrenzung von Strategien und Abläufen ist nicht in jedem Fall möglich und auch nicht notwendig. Gerade im Bereich der Produktion kann nicht immer eindeutig unterschieden werden, ob es sich um eine Strategie oder einen Ablauf handelt. Im Rahmen dieser Arbeit werden daher die Begriffe Strategie und Ablauf gemeinsam genannt. Es ist offensichtlich, dass Ziele, Strategien und Abläufe und hierarchisches und selbstähnliches System bilden. Im Strukturbaum werden die Zusammenhänge visualisiert (siehe Abbildung 5–4): Die je-

## 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

weils betrachtete oberste Ebene im Baum beschreibt das Ziel; die Elemente der oberen Ebenen stellen eher Strategien und die der unteren Ebenen eher Abläufe dar. Die Auswahl der jeweilig untergeordneten Elemente ergibt sich aus den geltenden Randbedingungen.

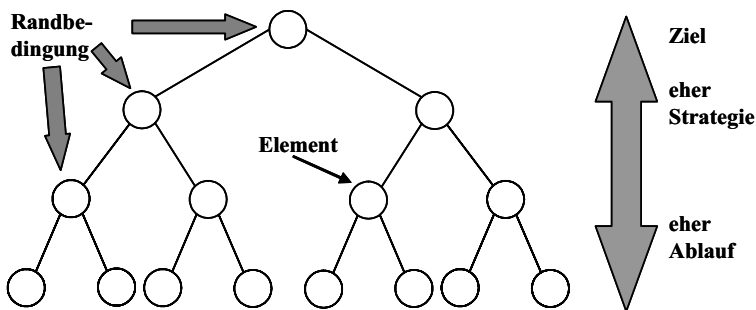


Abbildung 5-4: Strukturbaum zur Darstellung von Ziel, Strategie und Ablauf [nach FELDMANN & REINHART 1997, S. 9]

Nachdem ein Vorschlag für ein gemeinsames Verständnis von den Begriffen „Strategie“ und „Abläufe“ erstellt wurde, werden nun unterschiedliche Cluster von Strategien bzw. Abläufen in der Produktionsplanung und –steuerung abgeleitet. Ziel dieser Arbeit muss es sein, simulationsrelevante Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung und –planung zu erfassen. Zwecks der besseren Operationalisierung und der möglichen Erweiterbarkeit des Ansatzes ist die Definition von „Strategieclustern“ zielführend.

### 5.1.1.1 Strategiecluster im Bereich Produktionsplanung und –steuerung

In der Literatur werden verschiedene Cluster zur Beschreibung von Strategien der Produktionsplanung und –steuerung eingesetzt. DANGELMAIER & WARNECKE (1997) stellen klar, dass steuernde Eingriffe in die Produktion nur dann notwendig sind, wenn es strukturell nicht gelingt, einen mit einheitlicher Geschwindigkeit fortschreitenden Materialfluss aufzubauen. In diesem Zusammenhang sprechen die Autoren auch von Lenkungsnotwendigkeit. Die Notwendigkeit zum Steuern kann demnach immer dann bestehen,

wenn Material (Aufträge, Transportlose o.ä.) in ein betrachtetes Fertigungssystem eintritt,

wenn Material aus einem betrachteten Fertigungssystem austritt,

wenn der Materialfluss aufgeteilt wird,

wenn Materialflüsse zusammengeführt werden und

wenn sich die Arbeitsgeschwindigkeit (Leistung) ändert [DANGELMAIER & WARNECKE 1997, S. 4].

Entsprechend ist eine Möglichkeit zur Bildung von Clustern, Strategien und Abläufen nach der Art der Steuerungsnotwendigkeit zu sortieren.

ZÜLCH (1989) stellt eine weitere, sehr prägnante Art der Clusterung vor: In Analysen hat der Autor drei weitgehend unabhängige Parameter identifiziert, mit denen es gelingt, Fertigungssteuerungsverfahren zu charakterisieren [ZÜLCH 1989, S. 61]:

1. Veranlassungslogik
2. Auftragsgrößenbestimmung
3. Reihenfolgebildung

Allerdings hat der Autor von dem Begriff „Fertigungssteuerungsverfahren“ einen Eindruck, der über die obige Definition von „Steuerungsstrategien“ hinausgeht: ZÜLCH denkt an ein Bündel von Strategien, das für verschiedene Aufgaben im Rahmen der Produktionsplanung und –steuerung eingesetzt wird. Daher ist es für die weitere Bearbeitung der vorliegenden Arbeit zielführend, zunächst zu klären, welche Aufgaben der Produktionsplanung und –steuerung simulationsrelevant sind, und daraus abzuleiten, welche Strategien und Abläufe für die betriebsbegleitende Simulation von Interesse sind.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die betriebsbegleitende Simulation im Kurzfristbereich dazu zu nutzen, die Entscheidungsunterstützung im Rahmen von Fragestellungen der Produktionsplanung und –steuerung zu verbessern (siehe Kapitel 1). Bezogen auf das Aachener PPS-Modell [SCHOTTEN 1998] (siehe Abbildung 3-1) ergibt sich, dass im Simulationsmodell vor allem Entscheidungen im Aufgabenbereich der Eigenfertigungsplanung und –steuerung entscheidend sind (siehe Abbildung 5-5).

## 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

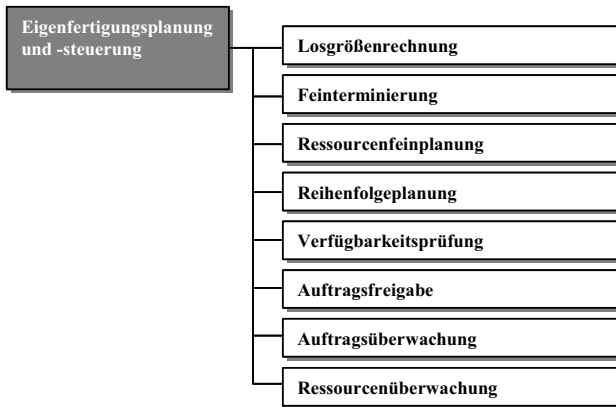


Abbildung 5–5: Aufgaben der Eigenfertigungsplanung und –steuerung [nach SCHOTTEN 1998, S. 43]

Sieht man von den vorwiegend überwachenden Aufgaben ab, so verbleiben die Losgrößenrechnung, die Feinterminierung, die Ressourcenfeinplanung, die Reihenfolgeplanung und die Auftragsfreigabe. An die Eigenfertigungsplanung und –steuerung werden die Eigenfertigungsaufträge mit einem Soll–Starttermin und einer Soll–Losgröße übergeben.

In der Losgrößenrechnung werden die Losgrößen bezogen auf die einzelnen Arbeitsgänge bestimmt. Die Feinterminierung übernimmt die Ergebnisse der vorgelegerten Terminplanung und leitet auf Arbeitsgangebene Start– und Endtermine ab. Stehen für einen Arbeitsgang vergleichbare Ressourcen zur Verfügung, die bis zu diesem Zeitpunkt nur als Kapazitätsgruppe betrachtet wurden, wird die Zuteilung zu den einzelnen Einheiten im Rahmen der Ressourcenfeinplanung durchgeführt. In den meisten Fällen ergeben sich Warteschlangen vor Kapazitätseinheiten. Die Reihenfolgeplanung regelt in diesen Fällen die Abarbeitungsreihenfolge. Entsprechend den Ergebnissen der Feinplanung (Ressourcenplanung und Terminierung) erfolgt die Auftragsfreigabe. Im Rahmen dieses Aufgabenspektrums wird auch der Begriff „Werkstattsteuerung“ verwendet [MERTENS 1996, S. 14–39 ff.].



Entsprechend dieser Aufgabengruppen können dazugehörige Cluster von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung unterschieden werden (siehe Abbildung 5–6):

1. Strategien zur Losgrößengestaltung
2. Strategien zur Ressourcenbelegung (Auswahl und Terminierung)
3. Strategien zur Reihenfolgegestaltung
4. Strategien zur Auftragsfreigabe

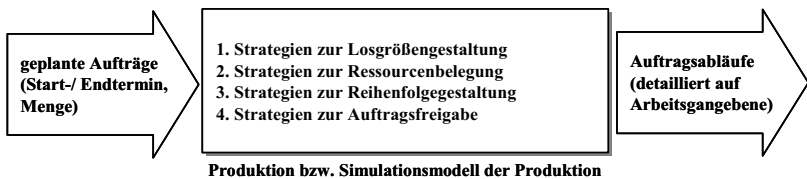


Abbildung 5–6: *Relevante Cluster von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung*

Zum Verständnis für den Charakter der jeweiligen Cluster von Strategien der Produktionssteuerung werden nachfolgend Beispiele genannt (siehe Tabelle 5-2 bis Tabelle 5-4). Es ist weder möglich noch zielführend, eine vollständige Darstellung geben zu wollen. Vielfach können einzelne Strategien abgewandelt oder mit anderen zu einer neuen kombiniert werden. Gerade im Bereich der Werkstattsteuerung ist häufig der personelle Entscheidungsspielraum sehr groß [z.B. MERTENS 1996, S. 14–40], so dass in der Praxis eine unendliche Anzahl an Strategien bzw. Abläufen entstehen kann.

## 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

### **Strategien zur Losgrößengestaltung:**

*Im Rahmen der Ermittlung der optimalen Bestellmenge wird bereits eine Losgröße festgelegt. Neben Regeln zur Bestimmung dieser Auftragsstartlosgröße werden in dieser Arbeit vor allem Strategien betrachtet, die die Losgröße während des Produktionsablaufs verändern:*

*Überlappung: Einzelne Teile oder Teilmengen eines Loses werden zum nächsten Arbeitsplatz transportiert, sobald sie den vorausgegangenen durchlaufen haben, ohne auf die Fertigstellung anderer Teile des Loses zu warten.*

*Splittung: Ein Los wird gesplittet und parallel auf mehreren Maschinen (bspw. einer Maschinengruppe) bearbeitet.*

*Aus technischen oder organisatorischen Gründen (z.B. Ofenkapazität beim Spannungsarmglühen) werden Lose an definierten Arbeitsgängen zusammengefasst oder getrennt.*

*Tabelle 5-2: Strategien zur Losgrößengestaltung (Beispiele)*

**Strategien zur Ressourcenbelegung:**

*Die grundsätzliche Strategie der Ressourcenbelegung wird im Arbeitsplan beschrieben. Darüber hinaus kann in der Praxis davon abgewichen werden oder dispositiver Spielraum ausgeübt werden:*

*Ein Arbeitsgang wird der (von mehreren grundsätzlich in Frage kommenden) Ressource zugeteilt, ...*

*... die am geringsten ausgelastet ist,*

*... die den geringsten Rüstaufwand hat,*

*... die die kürzeste Bearbeitungszeit bietet,*

*... an der alle weiteren zur Bearbeitung notwendigen Betriebsmittel vorhanden sind oder*

*... die am schnellsten verfügbar ist.*

*Tabelle 5-3: Strategien zur Ressourcenbelegung (Beispiele)*

## 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

### **Strategien zur Reihenfolgegestaltung (Prioritätsregeln):**

*Höchste Priorität in einer Warteschlange vor einem Arbeitsplatz hat der Arbeitsplatz,*

*... der zuerst die Warteschlange erreicht hat (FIFO),*

*... mit dem frühesten Soll-Fertigstellungstermin,*

*... bei dem der Zeitpuffer zwischen vorgegebenen und erwarteten Fertigstellungstermin am kleinsten ist,*

*... mit der kürzesten Auftragszeit (KOZ),*

*... mit der längsten Auftragszeit (LOZ),*

*... der den geringsten Rüstaufwand erzeugt,*

*... der anschließend auf einer Maschine bearbeitet wird, vor der die wenigsten Aufträge warten oder*

*... der die höchste von außen vorgegebene Priorität besitzt.*

*Tabelle 5-4: Strategien zur Reihenfolgegestaltung (Beispiele)*

Strategien zur Auftragsfreigabe haben wie die oben genannten Cluster einen wichtigen Einfluss auf die logistische Zielerreichung in der Produktion. Allerdings setzt die Auftragsfreigabe lediglich den Beginn der Auftragsbearbeitung fest. Häufig werden übergeordnete Systeme zur Bestimmung dieses Zeitpunktes eingesetzt.

Im Rahmen dieser Arbeit kann das Strategiecluster „Auftragsfreigabe“ nicht vertieft betrachtet werden, denn der Fokus der Arbeit liegt auf der Betrachtung der Abläufe in der Produktion. Ohne Frage hat die Produktionssteuerung einen wesentlichen Einfluss auf diese Abläufe, allerdings sind in der Realität sind Produktion und Produktionssteuerung unterschiedliche Betrachtungsobjekte mit unterschiedlichen Organisationsstrukturen und auch unterschiedlichen Informationssystemen. Mit der hier zu entwickelnden Methode (siehe Seite 63 ff.) zur automatischen Modellgenerierung können Strategien und Abläufe der Auftragsfrei-

gabe daher nicht identifiziert und interpretiert werden. Deshalb wird an dieser Stelle nicht detaillierter auf das Strategiecluster „Auftragsfreigabe“ eingegangen.

### **5.1.1.2 Spezifika von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung**

Der personelle Einfluss auf die Auswahl und die Gestaltung der Strategien und Abläufe in der Produktionssteuerung hat nicht nur Einfluss auf die Anzahl der eingesetzten Strategien und Abläufe, sondern auch auf deren Dokumentation bzw. Speicherung. In vielen Fällen sind der Einsatzbereich und die Auswahl der Steuerungsparameter daher persönliches, implizites Wissen der Mitarbeiter, die mit den Aufgaben der Produktionssteuerung beauftragt sind. Da Informationssysteme auf diesem Detaillierungsniveau nicht eingesetzt werden bzw. die realen Entscheidungen nur auf einem abstrakteren Niveau widerspiegeln, ist dieses Wissen in den seltensten Fällen explizit dokumentiert und archiviert. Weiterhin ist davon auszugehen, dass bei personenbezogener Entscheidung auch so genannte „softe“ und nicht quantifizierbare Beweggründe eine wichtige Rolle spielen. Das „Bauchgefühl“ eines erfahrenen Mitarbeiters mag ein wichtiges Kapital sein, ist aber nicht explizit beschrieben. Damit verbunden ist es nur ungenau bewertbar und lediglich unter „Kommunikations-Verlusten“ übertragbar. Diesem Aspekt muss im Rahmen dieser Arbeit daher besonderer Bedeutung geschenkt werden.

Die Einsatzbedingungen von Strategien können vielfältig sein. Dabei sind zwei grundsätzliche Szenarien zu unterscheiden: Die eine Situation ist das geplante Vorgehen in definierten Zuständen (z.B. gilt an einer Engpasskapazität die Strategie der Ressourcenbelegung mit dem geringsten Rüstaufwand). A priori ist Art und Einsatzform der Strategie bekannt. Die andere Situation wird ausgelöst durch eine Störung oder durch Nichtverfügbarkeit von Ressourcen. In diesem Fall werden auch Strategien der Produktionssteuerung zum Einsatz kommen. Allerdings sind diese aufgrund der Unvorhergesehenheit weder in ihrer Art noch in ihrer Ausführung a priori festgelegt.

Bei Betrachtung der Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung ist weiterhin auffällig, dass nicht alle Entscheidungen mit Information aus dem Produktionssystem selbst zu treffen sind. Vielmehr sind häufig externe Einflussgrößen von Bedeutung, die weder Bestandteil der Produktion sind noch über die Produktion direkt beeinflusst werden können. Ein Beispiel stellt die Reihenfolgestrategie „externe Priorität“ dar: Die Vergabe einer hohen Priorität an ein Auftragslos

## 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

mag durch das Nachfragen eines wichtigen Kunden nach dem Verbleib seiner Bestellung oder ähnlich wichtigen externen Gründen veranlasst sein. Durch die hohe Priorität wird das entsprechende Auftragslos nachfolgend beschleunigt bearbeitet: Die Ursache für die beschleunigte Bearbeitung – das Nachfragen des Kunden – ist nicht innerhalb des Produktionssystems begründet. In Tabelle 5-5 sind alle Besonderheiten zu Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung zusammengefasst.

Spezifika von Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung	
S1	Es existieren 4 Strategiecluster: 1. Losgrößengestaltung    2. Ressourcenbelegung 3. Reihenfolgegestaltung    4. Auftragsfreigabe <sup>*)</sup>
S2	Innerhalb eines Strategieclusters gibt es unendlich viele Arten und Varianten von Strategien und Abläufe.
S3	Vielfach sind angewandte Strategien und Abläufe nicht explizit formuliert (nicht dokumentiert/ archiviert).
S4	Unscharfes Wissen und nicht quantifizierbare Zusammenhänge sind häufig Bestandteil von Strategien und Abläufen.
S5	Strategien und Abläufe können sowohl a priori definiert als auch ungeplant zur Störungsbewältigung eingesetzt werden.
S6	Beweggründe für die Auswahl einer Strategie oder eines Ablaufs können extern (außerhalb der Produktion) begründet sein.

*Tabelle 5-5: Spezifika von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung*

Die gewonnenen Erkenntnisse haben Relevanz für die Umsetzung der identifizierten Lösungseigenschaften zur betriebsbegleitenden Simulation (siehe Abbildung 5–7). Insbesondere die Eigenschaften E1 bis E4 sind tangiert.

<sup>\*)</sup> Der Strategiecluster „Auftragsfreigabe“ kann im weiteren Verlauf dieser Arbeit nicht behandelt (siehe Seite 48 f.) werden.

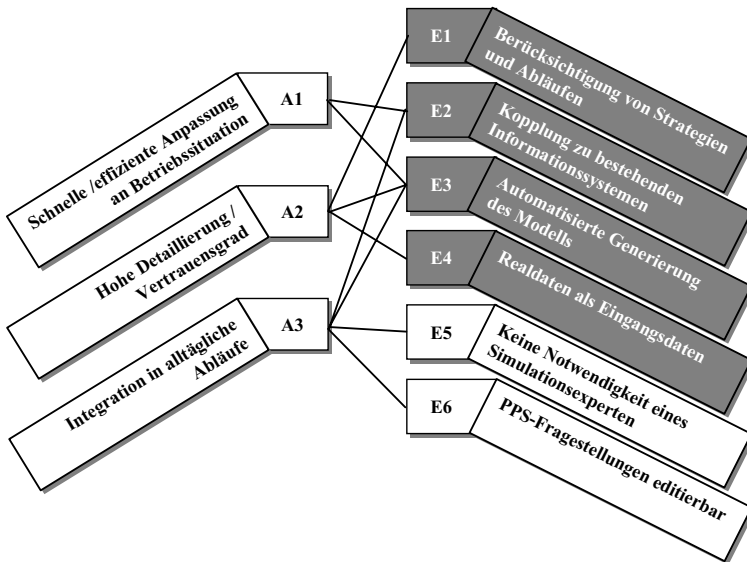


Abbildung 5-7: Lösungseigenschaften im Zusammenhang mit den Spezifika von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

Der Bezug zu E1 ist offensichtlich, weil diese gerade die Berücksichtigung der Strategien der Produktionssteuerung bei der betriebsbegleitenden Simulation fordert. E2, die Kopplung zu bestehenden Informationssystemen, ist betroffen, weil die Spezifika S3 und S4 zeigen, dass in betrieblichen Informationssystemen keine umfassenden und expliziten Beschreibungen von Strategien und Abläufen gespeichert sind. Um diese Lösungseigenschaft (E2) dennoch erfüllen zu können, müssen entsprechend implizite Information und Kontextwissen aus betrieblichen Informationssystemen verarbeitet werden. Die Automatisierung der Modellgenerierung (E3) wird ebenfalls von den Spezifika der Strategien der Produktionssteuerung beeinflusst. Durch die unendlich große Anzahl an möglichen Strategien und Varianten (S2) muss der Prozess der Modellgenerierung flexibel sein, um neue, im Voraus nicht bekannte Strategien abbilden zu können. Die Modellgenerierung kann auf die ermittelten Strategiecluster (S1) Bezug nehmen. Aufgrund der großen personellen Entscheidungsspielräume (S2) und aufgrund der Tatsache, dass Strategien auch zur Störungsbewältigung eingesetzt werden (S5), ist die Aufbereitung von Plandaten für die Modellgenerierung nicht ausreichend. Daher wird durch diese Spezifika die Lösungseigenschaft E4, die Verwendung von Real-Daten für die Modellgenerierung, unterstützt.

## **5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung**

---

Für die Verarbeitung der Strategien und Abläufe in einem Simulationsmodell sind explizite Beschreibungen notwendig. Auf Basis der festgestellten Spezifika und ihrer Zusammenhänge mit den Lösungseigenschaften wird daher im nächsten Kapitel ein geeignetes Beschreibungsmodell für Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung abgeleitet.

### **5.1.2 Datenmodelle und Beschreibungsmethodiken**

In Literatur und Praxis findet sich eine sehr große Anzahl von Modellen und Modellierungsmethodiken für die Produktion [vgl. z.B. MERTINS U.A. 1994]. Für die vorliegende Arbeit ist es das Ziel, aus den vorhandenen Ansätzen Elemente auszuwählen, die zur Beschreibung von Strategien und Abläufen der Fertigungssteuerung geeignet sind. Bereits im vorhergehenden Kapitel wurden die wichtigsten Eigenschaften und Spezifika von Strategien und Abläufen behandelt. Diesen Spezifika entsprechend können geeignete Modellierungselemente ausgewählt werden.

Eine Strategie beschreibt eine Vorgehensweise, um zu einem Ziel zu gelangen. Dementsprechend muss die ausgewählte Beschreibungsmethodik die Formulierung von Ablaufsequenzen unterstützen. Ebenso sind Entscheidungen innerhalb dieser Sequenzen abzubilden (siehe Tabelle 5-6 – M1). Aufgrund der nicht finiten Anzahl von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung müssen sich die infiniten Möglichkeiten der Kombinatorik und Ausprägungen auch mit der Beschreibungsmethodik realisieren lassen (siehe Tabelle 5-6 – M2). Durch das Ziel der automatischen Modellgenerierung ist eine formale Beschreibung besonders wichtig, denn durch eine wohl definierte und verbindliche sowie einheitliche Semantik und Syntax wird die Automatisierung der Modellgenerierung erleichtert. Die natürlich-sprachliche Beschreibung von Strategien und Abläufen scheidet damit aus. Weiterhin bedingt die Integration in das Umfeld betrieblicher Informationssysteme die Verwendung von alphanumerischen Notierungen (siehe Tabelle 5-6 – M3). Graphische Elemente sind für die Verarbeitung mit technischen Informationssystemen weniger geeignet.



abgeleitete Anforderungen an Methodiken zur Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung	
M1	Abläufe und Entscheidungssituationen müssen beschrieben werden können.
M2	Der Beschreibungsumfang muss auf zukünftige, zunächst nicht bekannte Konstellation anwendbar oder erweiterbar sein.
M3	Die Methodik muss formal definiert sein und EDV-technisch umsetzbar sein.

*Tabelle 5-6: Anforderungen an eine Beschreibungsmethodik für Strategien und Abläufe*

Im Folgenden werden verschiedenen Beschreibungsmethodiken hinsichtlich der Erfüllung der genannten Anforderungen beschrieben. Die Auswahl und die Beschreibung der Methodiken bauen auf MERTINS U.A. (1994) auf. Mertins u.a. charakterisieren Stärken und Schwächen verschiedener Ansätze und umreißen mögliche Einsatzgebiete.

### 5.1.2.1 GRAI-Methode

Die GRAI-Methode ist eine Technik, die ursprünglich zur Analyse und zum Entwurf von Produktionsmanagement-Systemen entwickelt wurde [DOMEINGTS 1984]. Dabei werden das physikalische System eines Unternehmens, das Informations- und das Entscheidungssystem unterschieden. Das Entscheidungssystem ist hierarchisch aufgebaut und besteht seinerseits aus Zellen. Die GRAI-Methode bietet Beschreibungselemente für die Abläufe in diesen Zellen. Dabei werden Entscheidungs- und Ausführungsaktivitäten unterschieden (siehe Abbildung 5–8). Diese Unterteilung kann für eine generische Beschreibung von Strategien der Fertigungssteuerung genutzt werden: Durch die funktionale Gliederung in vier Strategiecluster sind die damit verbundenen Ausführungsaktivitäten in ihrer Anzahl begrenzt. Hingegen bilden sich konkrete Abläufe im Rahmen der Entscheidungssituationen in Abhängigkeit vielfältiger, situativer Randbedingungen aus. Sie sind in ihrer Anzahl nicht begrenzt, eine Trennung in Entscheidung und Ausführung ist daher gut geeignet.

## 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

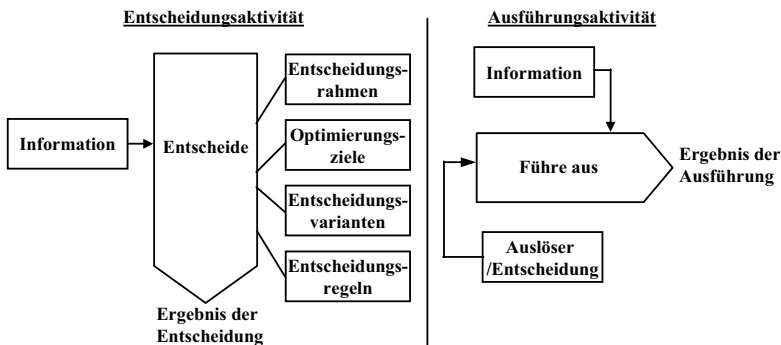


Abbildung 5–8: Elemente im GRAI-Netz [nach BÜNZ 1987, S. 46]

Die GRAI-Methode ist somit geeignet, insbesondere die Anforderungen M1 und M2 (siehe Tabelle 5-6) zu erfüllen. Anforderung M3 wird dagegen nicht ausreichend unterstützt.

### 5.1.2.2 Pseudocode

Häufig eingesetzt zur Beschreibung von Vorgehensweisen wird auch der so genannte „Pseudocode“ [MERTINS U.A. 1994, S. 173]. Pseudocode zeichnet sich durch eine hohe Vielfalt von Kombinationsmöglichkeiten aus. Damit ist er in seinem Ausdrucksvermögen ähnlich flexibel wie die natürliche Sprache. Im Gegensatz zur natürlichen Sprache ist der Code jedoch aufgrund seiner semantischen und syntaktischen Vorgaben für eine automatisierte Programmierung geeignet. Bezogen auf die Bewertung des GRAI-Ansatzes kann Pseudocode daher gut geeignet sein, Entscheidungsaktivitäten zu beschreiben.

Pseudocode ist an Programmiersprachen angelehnt, kann jedoch individuell für eine spezielle Anwendung im Umfang und Ausdruck definiert werden. Die drei Basiskonstrukte sind entsprechend:

- Ausführungsanweisungen
- Entscheidungsanweisungen (IF-ELSE-Ketten)
- Wiederholungsanweisungen (z.B. REPEAT-UNTIL-Konstrukte)

Im Gegensatz zur GRAI-Methode hat Pseudocode seine Stärke in der Erfüllung der Anforderung M3 (siehe Tabelle 5-6).

### 5.1.2.3 Entscheidungstabellen

Entscheidungstabellen werden in der Regel eingesetzt, um z.B. im Bereich der Produktionssteuerung a priori Entscheidungsempfehlungen beim Eintreten definierter situativer Randbedingungen festzuhalten [MERTINS U.A. 1994, S. 160 ff.]. Allerdings ist der klare und transparente Aufbau der Tabelle ebenso geeignet, einen Rahmen für die Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung zu bieten (siehe Abbildung 5–9). Die Trennung von Bedingungs- und Aktionsteil stimmt mit dem Vorgehen der GRAI-Methode überein. Bei der Formulierung der Bedingungen können beispielsweise in Pseudocode formulierte IF–ELSE–Ketten eingesetzt werden.

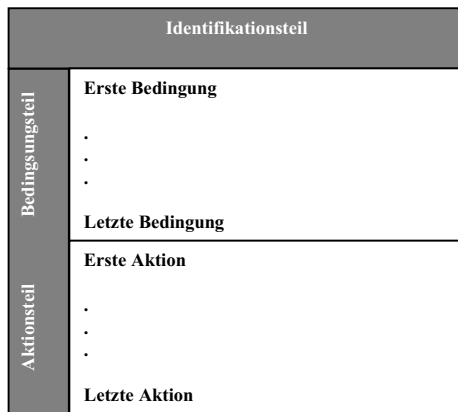


Abbildung 5–9: Aufbau einer Entscheidungstabelle (vereinfacht)

Entscheidungstabellen sind sehr gut geeignet, die Anforderung M-1 zu erfüllen (siehe Tabelle 5-6). Das Strukturelement „Entscheidungstabelle“ muss allerdings noch um inhaltliche Beschreibungselemente ergänzt werden, um anwendungsorientiert eingesetzt werden zu können.

## 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

### 5.1.2.4 Metamodell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

Allen aufgeführten Beschreibungsmethodiken ist gemein, dass sie einzelne Anforderungen an Methodiken zur Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung erfüllen. Allerdings kann keine der Methodiken allein diese Anforderungen zufriedenstellend lösen.

Aus diesem Grund wird, basierend auf den Eigenschaften der oben beschriebenen Notationen bzw. Datenmodellen, das Metamodell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung entwickelt (Abbildung 5–10). Das Metamodell besteht aus drei Strukturelementen:

1. Der Identifikationsteil
2. Der Bedingungsteil
3. Der Aktionsteil

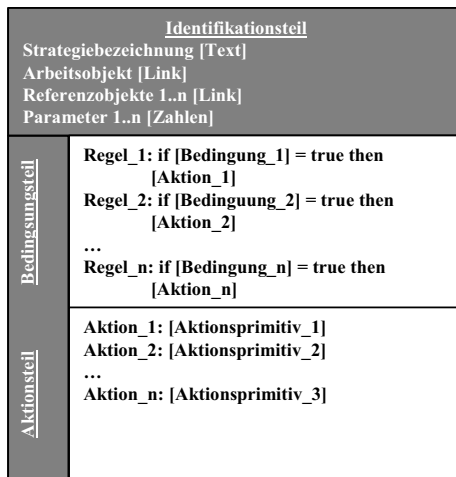


Abbildung 5–10: Schematische Beschreibung des Metamodells zur Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

Im Identifikationsteil werden alle Bezeichnungen und Parameter verwaltet, um die jeweilige Strategie eindeutig beschreiben zu können. Dazu ist zunächst eine

textuelle Beschreibung einer Strategiebezeichnung vorgesehen; diese eindeutige Bezeichnung ist allein zur späteren Identifikation im Simulationsmodell notwendig. Weiterhin werden in dem Identifikationsteil die Verknüpfungen zu Arbeits- und Referenzobjekten hergestellt. Beide Arten von Objekten verweisen auf beliebige Formen anderer Objekte (der Produktion), die im Simulationsmodell enthalten sein werden (z.B. Aufträge, Ressourcen o.ä.). Dabei bezeichnet das Arbeitsobjekt den Objekttyp im Produktionsprozeß, auf den die Strategie angewandt wird. Die meisten Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung werden auf Aufträge bzw. auf das zum Auftrag gehörende Auftragslos angewandt (siehe Tabelle 5-2 bis Tabelle 5-4). Das Referenzobjekt bestimmt den Ort oder Zeitpunkt im Produktionsbereich, an dem die Strategie Gültigkeit besitzt. So kann beispielsweise ein und dieselbe Reihenfolgeregel auf den Objekttyp „Auftragslos“ an verschiedenen Arbeitssystemen (Referenzobjekte) angewandt werden. Während das Arbeitsobjekt sich folglich immer auf Objekttypen bezieht, verweisen die Referenzobjekte auf einzelne Instanzen von Objekten des Produktionsprozesses. Parameter sind in der Regel Zahlenwerte, die quantitative Ausprägung von Strategien und Abläufen eindeutig beschreiben. Diese Parameter sind Steuerungsgrößen im Bedingungs- und/oder Aktionsteil.

Im Bedingungssteil werden die Regeln beschrieben, die zu durchlaufen sind, um zu prüfen, ob und, wenn ja, wie die untersuchte Strategie in der jeweiligen Situation angewandt werden muss. In den Regeln werden Bedingungen überprüft. Die Bedingungen können auf Eigenschaften des instanziierten Arbeitsobjektes, der Referenzobjekte und auf die Werte der Strategieparameter verweisen. Weiterhin sind auch statistische und zufallsgesteuerte Regeln einsetzbar. Das Ergebnis einer Regel ist die Ausführung einer Aktion; der Aktionsausführung können Parameter übergeben werden.

Im Aktionsteil werden die Aktionsprimitive beschrieben, die als Ergebnis des Ablaufs bzw. der Strategie auf den Produktionsprozess einwirken. Bei den Aktionsprimitive sind zwei Typen zu differenzieren:

1. Interne Aktionsprimitive
2. Externe („wirkliche“) Aktionsprimitive

Die internen Aktionsprimitive beziehen sich auf den Ablauf im Beschreibungsmodell selbst, sie wirken nicht direkt auf den Produktionsprozess. Verweise auf die als nächste zu prüfende Regel oder das endgültige Ende der Prüfung der Re-

## **5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung**

---

geln können interne Aktionsprimitive darstellen. Externe Aktionsprimitive können auch als „wirkliche“ Aktionsprimitive bezeichnet werden, weil sie auf den Produktionsprozess bzw. auf einzelne Objekte des Produktionsprozesses direkt einwirken. Es wurde bereits erwähnt, dass aufgrund der grundsätzlichen Clustierung der Strategien der Produktionssteuerung (Losgrößengestaltung, Ressourcenbelegung, Reihenfolgegestaltung, Auftragsfreigabe) die Anzahl der Typen von externen Aktionsprimitiven begrenzt ist. Allein durch die Parametrisierung und die Referenzierung auf unterschiedliche Objekte der Produktionsprozesse entsteht eine unendliche Anzahl von Variationen. Aus diesem Grund werden die externen Aktionsprimitive zu einem späteren Zeitpunkt in Verbindung mit einem konkreten Einsatzfall näher beschrieben (siehe Kapitel 6).

### **5.1.2.5 Beispiel zur Anwendung des Metamodells**

Im Folgenden werden die theoretischen Ausführungen zum Metamodell zur Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung beispielhaft erläutert. Als Beispiel dient eine Strategie „Vorabliefern“ aus dem Cluster „Losgrößengestaltung“:

Zur Vermeidung von größeren Streuungen im Durchlaufzeitverhalten werden in einem Beispielunternehmen die Bearbeitungszeiten harmonisiert. Übersteigt die berechnete Durchführungszeit (ZDF) eines Auftragsloses an einem Arbeitsplatz eine Obergrenze (Limit), so wird der Auftrag gesplittet (Abbildung 5–11). Diese Obergrenze ist individuell für die einzelnen Arbeitsplätze eines Produktionsunternehmens definiert. Die Fertigungssteuerung überprüft anschließend individuell die vom IT-System zum Vorabliefern vorgeschlagenen Auftragslose hinsichtlich verschiedener Kriterien (übergeordnete Bedarfsmengen, –termine, Auslastung des Arbeitsplatzes, Aktualität der Planungsparameter u.ä.). Im einzelnen ist die Entscheidungsbasis des Mitarbeiters der Fertigungssteuerung jedoch nicht deterministisch beschreibbar. Bekannt ist, dass die Auslastung des im Arbeitsplan des Auftragsloses nachfolgenden Arbeitsplatzes eine wesentliche Rolle bei der Entscheidungsfindung spielt. Ist die Durchführungszeit größer als die Obergrenze und stimmt auch der Fertigungssteuerer der Vorablieferung zu, wird das Auftragslos geteilt und das erste Teillos gleich nach der Bearbeitung an den im Arbeitsplan nachfolgenden Arbeitsplatz geliefert.

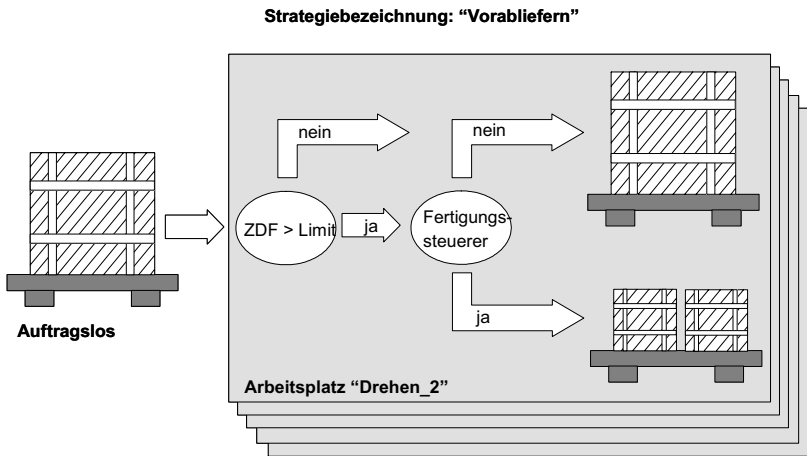


Abbildung 5–11: Beispielhafter Ablauf „Vorabliefern“

Entsprechend dem Metamodell für Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung (siehe Abbildung 5–10) ergibt sich folgendes Modell für die Beispielstrategie „Vorabliefern“ (siehe Abbildung 5–12).

Im Identifikationsteil wird die Bezeichnung „Vorabliefern“, das Auftragslos als Typ des Arbeitsobjekts, der Arbeitsplatz „Drehen\_2“ als Referenzobjekt und die Parameter „Limit“ und „Fertigungssteuerer“ übergeben. Das Limit wird für die folgende Konstellation als 12 Stunden fix ermittelt. Für das Beispiel wird das Verhalten des Fertigungssteuerers durch eine Zufallsverteilung abgebildet: In 75% der Fälle stimmt der Fertigungssteuerer dem Vorablieferungsvorschlag zu, wenn die momentane tägliche Auslastung des im Arbeitsplan nachfolgenden Arbeitssystems kleiner als 60% ist\*.

\*) Dieser Regelablauf ist an dieser Stelle nur beispielhaft. Wie die Wirkung einer Strategie (hier: das Verhalten des Fertigungssteuerers) identifiziert werden kann, wird in Kapitel 5.2 näher erläutert. Es ist zu erwähnen, dass Strategien hierarchisch aufgebaut und aus Teilstrategien zusammengesetzt sein können. Weiterhin können sie in unterschiedlichen Detaillierungsstufen beschrieben werden. Das aufgeführte Beispiel steht daher für keine eindeutige Beschreibung der Strategie „Vorabliefern“, sondern für eine von vielen möglichen Beschreibungen.

## 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

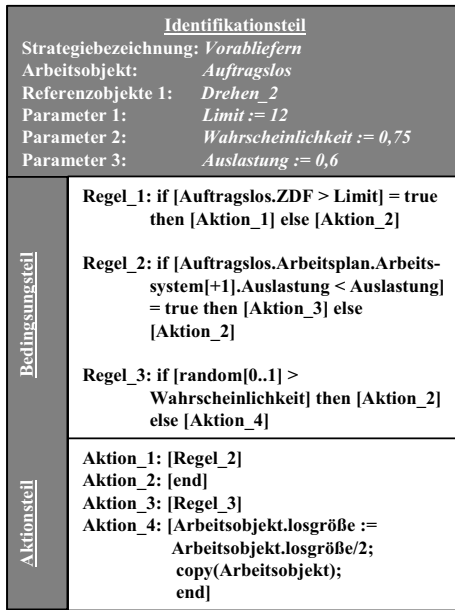


Abbildung 5–12: Beschreibungsmodell der Strategie „Vorabliefern“ (Beispiel)

Im Bedingungsteil werden der Strategie „Vorabliefern“ drei Regeln zugeordnet. Die erste Regel prüft, ob die Bearbeitungszeit des aktuellen Auftragsloses größer als 12 Stunden ist. Entsprechend findet ein Verweis zu zwei unterschiedlichen Aktionen statt: eine im Fall einer positiven Prüfung und eine im Fall eines negativen Ergebnisses. Bei der im Pseudocode gehaltenen Regelbeschreibung fällt auf, dass die Nomenklatur in diesem Fall „klarschrift-ähnlich“ ist, aber dennoch einer speziellen Definition bedarf. Um den späteren Aufbau des Simulationsmodells so einfach wie möglich zu gestalten, liegt es aus pragmatischen Gründen nahe, die Nomenklatur der Regeln und Aktionen an den Sprachumfang des jeweils verwendeten Simulationssystems anzupassen. Aus diesem Grund ist mit dem Metamodell kein abgegrenzter Sprachumfang verbunden.

Regel\_2 ermittelt und überprüft die Auslastung des nachfolgenden Arbeitssystems, und Regel\_3 generiert per Zufallsfunktion das Verhalten des Ferti-



gungssteuerers.\* Die Aktionen 1 bis 3 stellen interne Aktionsprimitive dar, die entweder auf die weitere Überprüfung von Regeln verweisen oder aber das Ende der Überprüfung kennzeichnen. Aktion\_4 besteht dagegen aus zwei externen Aktionsprimitive, die die Losgröße des aktuellen Auftrags halbiert und anschließend das Los dupliziert. Bezüglich des Sprachumfangs gilt das Gleiche wie das bei den Regeln Beschriebene.

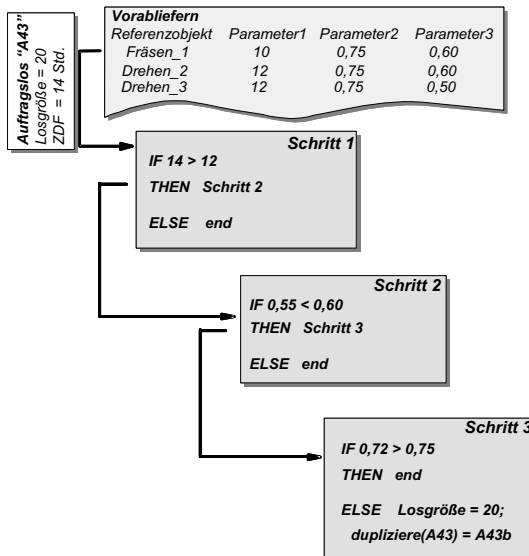


Abbildung 5–13: Ablauf der Regeln und Aktionen am Beispiel der Strategie „Vorabliefern“

In Abbildung 5–13 ist der Ablauf zum Beispiel „Vorabliefern“ unter den zusätzlichen Annahmen derart ausgeführt worden, dass die Auslastung des nachfolgenden Arbeitssystems 55% beträgt und sich eine Zufallszahl von 0,72 ergibt.

\* Die Zufallsfunktionen repräsentiert das statistische Verhalten des Fertigungssteuerers. Diese nicht deterministische Abbildung des Verhaltens ist nur beispielhaft. Sind kausale Zusammenhänge bekannt und/oder die Notwendigkeit zur genaueren Beschreibung des Verhaltens des Mitarbeiters gegeben, kann die Abbildung durch eine Zufallsfunktion nicht zielführend sein.

## 5.1 Modell zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

### 5.1.2.6 Bewertung des Metamodells

Abschließend ist zu prüfen, ob das entwickelte Metamodell geeignet ist, die effiziente Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung zu unterstützen. Dazu werden die Spezifika der Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung (siehe Tabelle 5-7) den Eigenschaften des Metamodells gegenübergestellt.

	Spezifika von Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung
S1	Es existieren 4 Strategiecluster:  1. Losgrößengestaltung    2. Ressourcenbelegung  3. Reihenfolgegestaltung    4. Auftragsfreigabe*
S2	Innerhalb eines Strategieclusters gibt es unendlich viele Arten und Varianten von Strategien und Abläufen.
S3	Vielfach sind angewandte Strategien und Abläufe nicht explizit formuliert (nicht dokumentiert/ archiviert).
S4	Unschärfes Wissen und nicht quantifizierbare Zusammenhänge sind häufig Bestandteil von Strategien und Abläufen.
S5	Strategien und Abläufe können sowohl a priori definiert als auch ungeplant zur Störungsbewältigung eingesetzt werden.
S6	Beweggründe für die Auswahl einer Strategie oder eines Ablaufs können extern (außerhalb der Produktion) begründet sein.

Tabelle 5-7: *Spezifika von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung (siehe auch Tabelle 5-5)*

Bezüglich der Spezifika S1 und S2 ist festzustellen, dass aufgrund des regelbasierten Ansatzes mit Hilfe des entwickelten Metamodells beliebige Entscheidungsabläufe beschrieben werden können, mitunter auch die Abläufe der vier identifizierten Strategiecluster. Zur Steigerung der Effizienz ist es jedoch mög-

---

\* Der Strategiecluster „Auftragsfreigabe“ wird in dieser Arbeit nicht vertieft behandelt (siehe Seite 48 f.) aber als vollständige Spezifikation aufgeführt.

lich, spezielle, den vier Strategieclustern zugeordnete Aktionsprimitive zu definieren. Da die Spezifika S3 und S4 eine effiziente, automatisierte Modellierung der Abläufe und Strategien der Produktionssteuerung verhindern, ist mit der expliziten und deterministischen Beschreibungsform des Metamodells dieses Defizit vermieden worden. Sowohl die Unschärfe (S4) als auch die Begründung von Abläufen außerhalb des Betrachtungsbereichs (S6) kann in dem Modell mittels stochastischer Funktionen und der phänomenologisch–statistischen, aber konkreten Beschreibung gehandhabt werden.

### 5.1.3 Zusammenfassung

Mit dem Metamodell zur Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung ist die Basis gelegt, um im nächsten Schritt diese Strategien und Abläufe automatisiert zu interpretieren und später in ein automatisierbares Vorgehen zu integrieren. Das Metamodell erreicht eine explizite Beschreibung. Die Struktur des Modells ist dabei in einen Identifikations–, Bedingungs– und Aktionsteil untergliedert. Diese Form der Modularisierung erleichtert die Wiederverwendung, unterstützt die Übertragbarkeit auf neue Formen von Strategien und Abläufen und erhöht insgesamt die Transparenz der automatischen Simulationsmodellgenerierung.

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

Das Metamodell zur Beschreibung von Strategien und Abläufen bildet den Rahmen, der vorgibt, auf welche Art und Weise Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung verwaltet und nachfolgend für die Modellierung in einem Simulationsmodell eingesetzt werden können. In diesem Kapitel ist es das Ziel, Strategien und Abläufe zu identifizieren, so dass sie im Metamodell beschrieben und verwaltet werden können (siehe Abbildung 5–14).

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

---

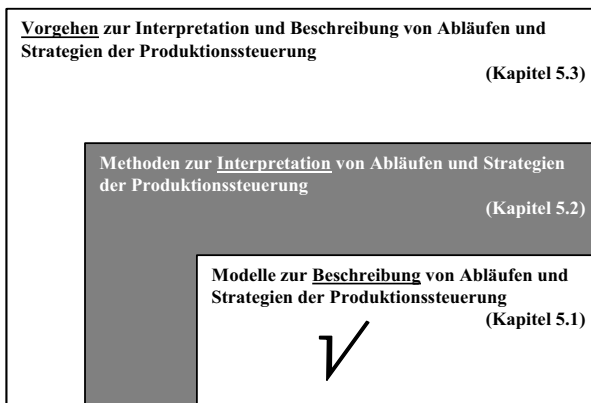


Abbildung 5–14: Lösungsvorgehen (aktueller Status)

Es wurde bereits erläutert, dass in der Regel die Strategien und Abläufe in betrieblichen Planungssystemen nicht explizit und in keiner für die Weiterverwendung geeigneten Form vorliegen (siehe z.B. Kapitel 3.4). In dieser Arbeit wird als Grundlage der Identifikation das Datenmaterial aus so genannten Betriebsdatenerfassungssystemen (BDE-Systeme) verwendet. In diesen Systemen wird automatisch oder durch manuelle Eingabe der Auftragsfortschritt in der Produktion, in der Regel auf der Basis von Arbeitsvorgängen, in EDV-Systemen dokumentiert. Somit ergibt sich die Aufgabe, aus den Rückmeldungen, die allein diskrete Zeitpunkte beschreiben, auf logistische Zusammenhänge zu schließen. Der Vorgang dieses „Erschließens“ wird im Weiteren mit der „Interpretation von Abläufen und Strategien“ umschrieben.

Als Methode zur Interpretation wird die Mustererkennung eingeführt. Die Mustererkennung hat sich in vielen technischen Anwendungsfällen bewährt und ist vielfach Stand der Technik [z.B. JACOB & HÖHN 2000; BLESSING U.A. 1999; MILBERG U.A. 1997]. Im Bereich der Identifizierung von Abläufen in der Produktionslogistik bzw. der Produktionssteuerung wird die Mustererkennung dagegen bis dato nicht eingesetzt. Aufgabe der Mustererkennung ist es, Objekte oder Ereignisse, über die eine gewisse Anzahl von singulären Ausprägungen vorliegt, in vorgegebene Kategorien bzw. ein vorgegebenes Klassenschema einzuteilen. Die Zuordnung zu den Klassen soll dabei automatisch ablaufen [BABEL 1997, S. 3, 15; SCHALKHOFF 1992, S. 4 f.]. Im Sinne der vorliegenden Arbeit repräsentieren

die Strategien der Produktionssteuerung die Klassenschemata; die Muster sind in den BDE-Daten enthalten. Abbildung 5–15 zeigt die typischen Phasen der Mustererkennung, die nachfolgend auf die Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung angewandt werden. Ziel ist es, für die automatische Klassifizierung der Abläufe der Produktionssteuerung komplexe Muster in einfachere Muster umzuwandeln, indem so genannte Mustermerkmale zugeordnet werden. Ausprägungen der Mustermerkmale ergeben nach einer Umkehrtransformation Hinweise auf bestimmte Abläufe der Produktionssteuerung.

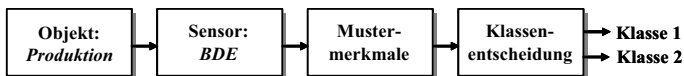


Abbildung 5–15: Schema einer Mustererkennung (Klassifikation) für Abläufe der Produktionssteuerung

### 5.2.1 Produktionsabläufe als Muster

Im Rahmen der fortschreitenden Verbreitung von Informationssystemen auch in der Produktion [vgl. GAUSEMEIER U.A. 2003, S. 9 f.], werden heute vielfach BDE-Systeme eingesetzt. Systeme zur Betriebsdatenerfassung ermöglichen es, jederzeit über aktuelle Informationen bezüglich des momentanen Zustands einer Produktion zu verfügen. Die Daten werden in so genannten BDE-Terminals erfasst und in Datenbanken gespeichert. Bei den erfassten Daten handelt es sich in der Regel um technische Daten (Qualitätssicherung) oder Auftragsdaten. Insbesondere die Auftragsdaten können genutzt werden, um die Effizienz der Maßnahmen der Produktionssteuerung und -planung zu bewerten und modifizierte bzw. verbesserte Maßnahmen abzuleiten.

Der hier vorgestellte Ansatz zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung basiert auf der Annahme, dass die zurückgemeldeten Informationen tatsächlich auch die Realität beschreiben. In der Vergangenheit wurden Rückmeldungen häufig manuell und papierbasiert mit nicht zu unterschätzendem Aufwand für die operativen Mitarbeiter durchgeführt. Zudem waren die Rückmeldungen im Rahmen von Akkordlöhnen mit der Ermittlung des Lohns verbunden. Beide Aspekte haben dazu geführt, dass Rückmeldungen nicht immer das reale Betriebsgeschehen beschrieben haben [WIENDAHL 1989, S. 263 f.].

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

Mit dem Einzug der Informationstechnik in die Produktion kann allerdings davon ausgegangen werden, dass die Qualität der in BDE-Systemen erfassten Daten besser, die Daten also näher an der Realität sind. Dies gilt insbesondere immer dann, wenn in Produktionssystemen die Messungen der Abläufe automatisiert durchgeführt werden. In vielen Fertigungs- und Montagesystemen, die über einen hohen Automatisierungsgrad verfügen, sind vielfältige Sensoren in den Stationen und Materialflusssystemen integriert, die genaue und reale Informationen rückmelden. Weiterhin ist durch die Notwendigkeit der Rückverfolgbarkeit von Produkten und Komponenten in vielen Branchen der Betrieb von BDE-Systemen notwendig geworden. Auch die häufige Abkehr von rein mengenmäßig (Akkord) gesteuerten Löhnen hat dazu geführt, dass Rückmeldungen eine zunehmend bessere Qualität aufweisen. Daher kann davon ausgegangen werden, dass dem Ansatz zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung mittels BDE-Daten eine ausreichende Anzahl von Einsatzmöglichkeiten in der Produktion gegenübersteht. Im Einzelfall sollte die Einsetzbarkeit der Methode jeweils geprüft werden.

175	A	B	C	D	E	F	G				K	L	M	N		
22	0503040	10626409	02	623988	002	62	9	202617137	00120	07	01	99	3668	3669	3670	
23	0690451	10626409	02	623988	002	58	9	202617137	00120	07	01	99	3669	3670	3669	3670
24	0563011	40302719	02	625111	003	61	10	202617137	00120	07	01	99	3668	3669	3668	3669
25	0503020	10626409	02	623988	002	69	10	202617137	00120	07	01	99	3669	3670	3669	3670
26	0566753	10626409	02	623988	002	60	15	202617137	00120	07	01	99	3669	3670	3669	3670
27	0591950	10626409	02	623988	002	61	21	202617137	00120	07	01	99	3669	3670	3669	3670
28	0557127	40480306	02	625551	003	60	2	202617137	00120	08	01	99	3669	3670	3669	3670
29	0566528	40480306	02	625551	003	50	27	202617137	00120	08	01	99	3669	3670	3669	3670
30	0562070	40052559	02	626059	001	62	1	202617990	00005	11	01	99	3671	3671	3671	3671
31	0579170	10522200	02	625043	003	01	2	202617930	00060	11	01	99	0	0	3669	3669
32	0563617	10522200	02	625043	003	02	3	202617930	00060	11	01	99	0	0	3669	3669
33	0580702	40052559	02	626059	001	61	3	202617990	00005	11	01	99	3671	3671	3671	3671
34	0569114	40052559	02	626059	001	00	6	202617990	00005	11	01	99	3671	3671	3671	3671
35	0565277	07422120	02	626131	002	00	6	202617990	00005	11	01	99	3670	3670	3670	3670
36	0568429	10828659	02	616634	006	61	7	202617137	00120	11	01	99	3674	3675	3674	3675
37	0569134	06418124	03	625952	001	00	8	202617990	00005	11	01	99	3670	3670	3670	3670
38	0566161	40052559	02	626059	001	60	8	202617990	00005	11	01	99	3671	3671	3671	3671
39	0539566	10828659	02	616634	006	00	11	202617137	00120	11	01	99	3674	3675	3674	3675
40	0568616	10828659	02	616634	006	62	11	202617137	00120	11	01	99	3674	3675	3674	3675
41	0565461	10828659	02	616634	006	50	17	202617137	00120	11	01	99	3674	3675	3674	3675
42	0565732	10522200	02	625043	003	00	19	202617930	00060	11	01	99	0	0	3669	3669
43	0569115	40303793	03	626069	003	00	24	202617990	00005	11	01	99	3669	3669	3670	3669
44	0569193	60915250	02	625162	001	50	36	202617930	00060	11	01	99	3668	3668	3670	3669
45	0590950	10512407	02	620351	001	61	47	202617140	00193	11	01	99	3695	3695	3664	3668
46	0540666	20354667	02	628937	002	00	1	202652113	00196	12	01	99	3671	3671	3668	3669
47	0562043	20354667	02	628937	002	05	1	202652113	00196	12	01	99	3671	3671	3668	3669
48	0562070	40052559	02	626059	001	62	1	202617139	00008	12	01	99	3671	3671	3672	3671
49	0562070	40052559	02	626059	001	62	1	202617930	00060	12	01	99	3671	3671	3668	3669
50	0570845	60772512	02	624696	002	02	2	202652116	00196	12	01	99	3668	3670	3669	3669
51	0565500	10849300	04	626488	002	60	2	202617139	00123	12	01	99	3669	3674	3669	3669
52	0574621	20354667	02	628937	002	04	3	202652113	00196	12	01	99	3671	3671	3668	3669
53	0580702	40052559	02	626059	001	61	3	202617139	00008	12	01	99	3671	3671	3672	3671
54	0580702	40052559	02	626059	001	61	3	202617930	00060	12	01	99	3671	3671	3671	3671
55	0562762	10830900	02	625771	001	00	4	202617990	00005	12	01	99	3670	3670	3670	3670
56	0569277	10861760	05	627430	001	00	4	202617990	00005	12	01	99	3672	3672	3672	3672
57	0563993	60143005	02	626189	003	00	4	202617990	00005	12	01	99	3670	3670	3670	3670
58	0565730	20326199	03	626495	001	00	5	202617139	00006	12	01	99	3670	3670	3670	3670

Abbildung 5–16: Ausschnitt aus einer BDE-Tabelle (Beispiel)

BDE Datenbanken sind in der Regel listenorientiert aufgebaut (siehe Abbildung 5–16). Die Spalten der Tabelle beschreiben die Erfassungs- bzw. Messgrößen, die dokumentiert werden. Reihenfolge der Aufzeichnung und Auswahl dieser Größen sind definierbar. Die Zeilen der Tabelle beinhalten alle Informationen,

die zu einem diskreten Zeitpunkt für ein Objekt erfasst wurden. Die Dokumentation erfolgt online und chronologisch, das bedeutet, dass Abläufe in den BDE-Daten nicht strukturiert abgelegt sind. Zusammenhängende Abläufe (z.B. der Durchlauf eines Auftrags über mehrere Montage- und Testsysteme) sind in den BDE-Daten durch punktuelle „Momentaufnahmen“ beschrieben. Durch Filtern und Sortieren der Information in den Listen kann die Historie eines Ablaufs aus den Sequenzen von Momentaufnahmen rekonstruiert werden.

Diese diskreten Informationen reichen jedoch noch nicht aus, um die Strategien und Abläufe im Sinne des oben beschriebenen Metamodells zu dokumentieren. Ferner ist die diskrete Beschreibung auch nicht ausreichend für eine Abbildung der Abläufe und Strategien in einem Simulationsmodell. Aufgabe der Mustererkennung ist es, die diskreten Informationen zu Abläufen zusammenzuführen und über die Klassifikation in eine kontinuierliche, integrierte Beschreibung zu überführen.

### **5.2.2 Mustermerkmale von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung**

Im Gegensatz zu technischen Anwendungen, bei denen eindeutige Beziehungen zwischen messendem Sensor und resultierendem Signal bestehen, ist diese Situation bei BDE-Systemen vielfältiger. In den BDE-Daten sind die Ergebnisse vieler „Sensoren“ und Messungen enthalten, die sich keinesfalls immer auf das gleiche Objekt innerhalb des Produktionsprozesses beziehen. Aus diesem Grund kommt der Auswahl von Mustermerkmalen, aber auch der Identifizierung dieses Merkmals innerhalb der BDE-Daten besondere Bedeutung zu. An dieser Stelle geht es darum, a priori Wissen über die zu identifizierenden Strategien aufzubauen, anhand derer man entsprechende Abläufe aus den diskreten BDE-Rückmeldungen/Ereignissen erkennen kann. Entsprechend kann der jeweilige Teil der BDE-Daten ausgewählt werden, der für die Identifikation einer bestimmten Strategie notwendig ist.

Zum Aufbau des „A-priori-Wissens“ über die Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung wird auf die vorgeschlagene Clusterung zurückgegriffen (siehe Abbildung 5–6). Für den jeweiligen Cluster wird im ersten Schritt ein adäquates Muster erstellt, und im zweiten Schritt werden die im Sinne einer Datenreduktion charakteristischen Eigenschaften dieser Muster definiert.

### 5.2.2.1 Mustermerkmale von Strategien und Abläufen zur Losgrößengestaltung

Die hervorragende Messgröße für die Identifizierung von Strategien zur Losgrößengestaltung ist die Losgröße selbst. Jeder Ablauf dieses Strategie-Clusters muss definitionsgemäß Einfluss auf diese Größe haben. Weiterhin ist die Losgröße eine Einheit, die Teil der Auftragsdaten ist und damit in BDE-Systeme zurückgemeldet wird.

Das entsprechende Muster ist die Losgröße, die auf die Arbeitsschritte eines Auftragsloses bezogen wird. Bei der Festlegung der Mustermerkmale ist zunächst nicht die quantitative Größe entscheidend. Um daher die Wirkung von Strategien auf die Losgröße vergleichen zu können, wird bei der Beschreibung des Musters die im BDE-System zurückgemeldete Losgröße an jedem Arbeitsschritt auf die Startlosgröße beim ersten (zurückgemeldeten) Arbeitsschritt eines Auftragsloses bezogen. Das Auftragslos ist im Sinne des Metamodells zur Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung das Arbeitsobjekt für alle Abläufe und Strategien des Clusters „Losgrößengestaltung“.

Versucht man auf diese Weise alle Muster zur Losgrößengestaltung zu erfassen, ergibt sich pro Auftragslos ein Muster. Je nach Produktionstyp und Erfassungszeitraum können sich sehr viele Muster für diesen Cluster ergeben. Im Sinne einer Datenreduktion scheint es ohne großen Informationsverlust möglich, Auftragslose ähnlicher Art\* gemeinsam zu betrachten. Daraus ergibt sich als zusammengefasste Messgröße die durchschnittliche relative Losgröße aller Auftragslose eines Produktes oder Varianten eines Produktes pro Arbeitsschritt. In Abbildung 5-17 ist dargestellt, wie sich ein Muster aus den Informationen einer BDE-Datei ergibt, das auf den Einsatz von Strategien und Abläufen des Clusters „Losgrößengestaltung“ hinweist.

---

\*) Auftragslose ähnlicher Art meint in diesem Zusammenhang Auftragslose mit einer ähnlichen oder gleichen Abfolge von Arbeitsschritten. Unter dieser Voraussetzung können in der Regel Auftragslose eines Produktes und ggf. Auftragslose von Produktvarianten gemeinsam betrachtet werden.



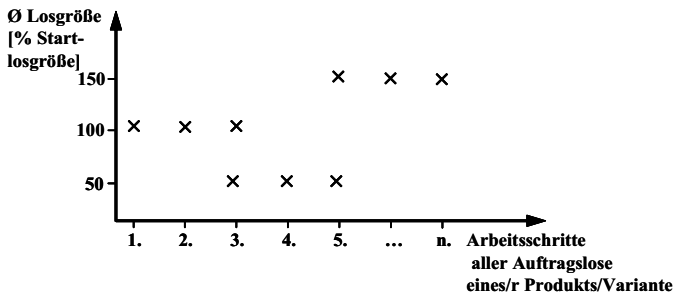


Abbildung 5–17: Muster zur Interpretation von Strategien des Clusters „Losgrößengestaltung“ (Beispiel)

Die Graphik zeigt, dass sowohl beim Arbeitsschritt drei als auch beim Arbeitsschritt fünf ein Ablauf zur Gestaltung der Losgröße eingesetzt wird. An dieser Stelle ist noch nicht geklärt, warum und unter welchen quantitativen Bedingungen dieser oder jene Ablauf eingesetzt wird. Dies geschieht erst im Rahmen der Klassifikation von Strategien und Abläufen (siehe Kapitel 5.2.3).

Nachdem es gelungen ist, ein Muster für die Strategien und Abläufe im Cluster „Losgrößengestaltung“ zu definieren, ist in einem weiteren Schritt das Muster auf charakteristische Eigenschaften (Features) zu reduzieren, die im Rahmen der Klassifikation herangezogen werden können. Bei dieser Reduktion besteht die Gefahr, dass Informationen verworfen werden, die für eine spätere eindeutige Klassifikation vonnöten wären. Ist das zu einem Cluster gehörige Muster allgemeingültig, kann hingegen die Gültigkeit eines Features durchaus eingeschränkt sein. Häufig sind Strategien zur Losgrößengestaltung mit der jeweiligen Ressource bzw. Ressourcenart des Arbeitsschrittes verbunden. Daher wird an dieser Stelle die Ressource (Arbeitssystem) als Bezugspunkt für die Reduktion des Musters gewählt. Dies darf allerdings nur als beispielhaft betrachtet werden; der Bezugspunkt kann bei anderen Strategieclustern ein anderer sein.

Um zu erkennen, an welchen Ressourcen/Arbeitssystemen Strategien zur Losgrößengestaltung zum Einsatz kommen, ist die relative Losgrößenbeeinflussung bzw. der durchschnittliche Betrag der Differenz zwischen Eingangs- und Ausgangslosgröße anzuwenden (Berechnungsvorschrift siehe Abbildung 5–18, oben). An Arbeitssystemen, an denen diese Größe null oder zumindest sehr klein ist, wird keine Strategie zur Losgrößengestaltung eingesetzt. Ist dieser Wert al-

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

lerdings groß, wird im nächsten Schritt eine Klassifikation der eingesetzten Strategie durchzuführen sein.

für Arbeitssystem 1 .. n

	A := Ø Eingangslosgröße [% Startlosgröße]	B := Ø Ausgangslosgröße [% Startlosgröße]	n := Anzahl Auftragslose [-]	A - B  * n [%]
Produkt 1	100	80	20	400
Produkt 2	80	40	10	400
Produkt 3	100	100	55	0
...	...	...	...	...
Produkt n	100	120	30	600
			$\Sigma = 115$	$\Sigma = 1400$
=> relative Losgrößenbeeinflussung = $1400 / 115 = 12,2\%$				

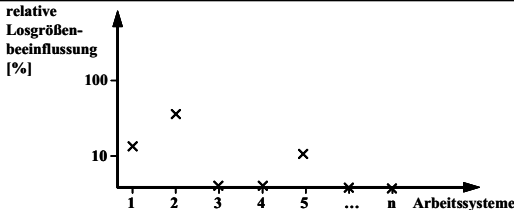


Abbildung 5–18: Methode und Ergebnis (Beispiel) zur Reduktion des Musters auf charakteristische Eigenschaften (Losgrößengestaltung)

Die beispielhafte Bestimmung der relativen Losgrößenbeeinflussung zeigt (Abbildung 5–18, unten), dass eine weitergehende Klassifikation der Strategie zur Losgrößenbestimmung lediglich für die Arbeitssysteme eins, zwei und fünf notwendig ist.

### 5.2.2.2 Mustermerkmale von Strategien und Abläufen zur Ressourcenbelegung

Erkennungsmerkmal für den Einsatz von Strategien und Abläufen des Clusters „Ressourcenbelegung“ ist die Rückmeldung gleicher Arbeitsschritte und –inhalte von unterschiedlichen Ressourcen (Arbeitssystemen). Aus diesem Grund ist das Muster für die Strategien dieses Clusters die Zuordnung von zurückgemeldetem Arbeitssystem und Arbeitsschritt. Diese Strategien können insbesondere dann

sinnvoll interpretiert werden, wenn Abweichungen von den Zuordnungen auftreten, die im Arbeitsplan genannt werden, und/oder wenn der Detaillierungsgrad der Rückmeldungen in der BDE-Datei höher als im Planungssystem (z.B. Detaillierungsebene im Arbeitsplan: Maschinengruppe; Detaillierungsebene im BDE-System: Maschine) ist. Das Auftragslos ist wieder im Sinne des Metamodells zur Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung das Arbeitsobjekt für alle Abläufe und Strategien des Clusters „Ressourcenbelegung“. Das Auftragslos referenziert auf den jeweilig aktuellen Arbeitsschritt im Arbeitsplan. Abbildung 5–19 zeigt ein beispielhaftes Muster für Strategien und Abläufe des Clusters „Ressourcenbelegung“.\*

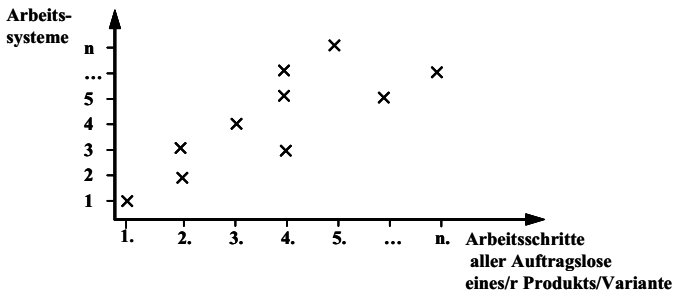


Abbildung 5–19: Muster zur Interpretation von Strategien des Clusters „Ressourcenbelegung“ (Beispiel)

Die Graphik zeigt, dass sowohl beim Arbeitsschritt zwei als auch beim Arbeitsschritt vier offensichtlich ein besonderer Ablauf zur Belegung des Arbeitssystems eingesetzt wird. An dieser Stelle ist noch nicht geklärt, warum und unter welchen quantitativen Bedingungen dieser oder jene Ablauf eingesetzt wird. Dies geschieht erst im Rahmen der Klassifikation von Strategien und Abläufen (siehe Kapitel 5.2.3).

Wie für das Muster des Clusters „Losgrößengestaltung“ werden an dieser Stelle auch für das Muster des Clusters „Ressourcenbelegung“ charakteristische Eigen-

\* Es ist zu beachten, dass aufgrund der darstellerischen Möglichkeiten immer nur eine Markierung (X) zu erkennen ist, auch wenn beim gleichen Arbeitsschritt mehrere Lose das gleiche Arbeitssystem belegt haben.

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

---

schaften (Features) definiert, die später im Rahmen der Klassifikation herangezogen werden können.

Es fällt bereits bei der Betrachtung des Beispiel-Musters auf, dass einigen Arbeitsschritten jeweils nur ein Arbeitssystem zugeordnet wird. Diese können bei der Feature-Definition vernachlässigt werden. Man kann annehmen, dass in diesen Fällen die geplante Ressource mit der zurückgemeldeten Ressource übereinstimmt. Es liegt keine dynamische Zuordnung zwischen Arbeitssystem und Arbeitsschritt vor. Entsprechend kann eine charakteristische Größe des Clusters „Ressourcenbelegung“ die Anzahl der zurückgemeldeten Arbeitssysteme pro Arbeitsschritt und Arbeitsplan sein. Ein Wert dieser Größe  $> 1$  bedeutet, dass bestimmte Strategien und Abläufe zur Belegung der Arbeitssysteme beim jeweiligen Arbeitsschritt angewandt werden. Referenzgröße ist in diesem Fall nicht das Arbeitssystem, sondern alle Arbeitsschritte sämtlicher Arbeitspläne.

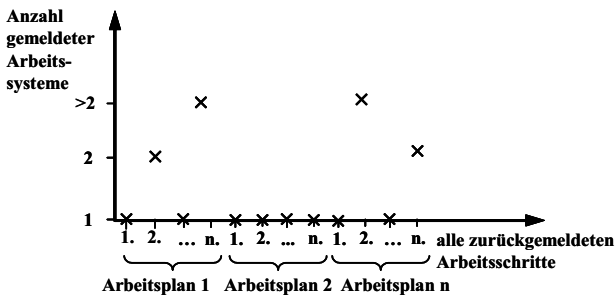


Abbildung 5–20: Ergebnis (Beispiel) der Reduktion des Musters auf charakteristische Eigenschaften (Ressourcenbelegung)

Arbeitsschritte bzw. Arbeitspläne, bei denen die betrachtete Größe kleiner als eins ist, müssen für das Strategiecluster „Ressourcenbelegung“ nicht weiter betrachtet werden. Abbildung 5–20 zeigt, dass der Arbeitsplan 2 und einige Arbeitsschritte der anderen Arbeitspläne bei der Klassifikation nicht berücksichtigt werden müssen.

### 5.2.2.3 Mustermerkmale von Strategien und Abläufen zur Reihenfolgegestaltung

Strategien zur Reihenfolgegestaltung haben immer dann ihre Berechtigung, wenn zum gleichen Zeitpunkt mehr als ein Auftragslos ein und dasselbe Arbeitssystem belegen möchten. Es kommt in diesen Fällen zu Warteschlangen vor den Arbeitssystemen. Können Warteschlangen vermieden werden, ergibt sich die „natürliche“ Reihenfolgeregel Fifo (First in – first out). Damit wird evident, dass die wichtigste Bezugs- bzw. Referenzgröße für das Strategiecluster „Reihenfolgegestaltung“ das Arbeitssystem bzw. der zu einem Arbeitssystem zugeordnete Eingangspuffer ist. Arbeitsobjekt ist wieder das bewegliche Element, das Auftragslos. Erkennungszeichen für den Einsatz von Strategien und Abläufen zur Reihenfolgegestaltung sind Vertauschung in der Abarbeitungsfolge: Auftragslose, die später einem Arbeitssystem zugegangen sind, werden früher als andere bearbeitet und umgekehrt.

In Abbildung 5–21 ist ein Muster zur Identifizierung von Strategien zur Reihenfolgegestaltung dargestellt. Die Markierungen im Diagramm repräsentieren Auftragslose. Die Achsen bilden die (absolute) Reihenfolge des Zugangs und des Abgangs ab. Jeweils ein Diagramm kennzeichnet das Verhalten für ein Arbeitssystem. Die Winkelhalbierende ist als Hilfslinie eingezeichnet.

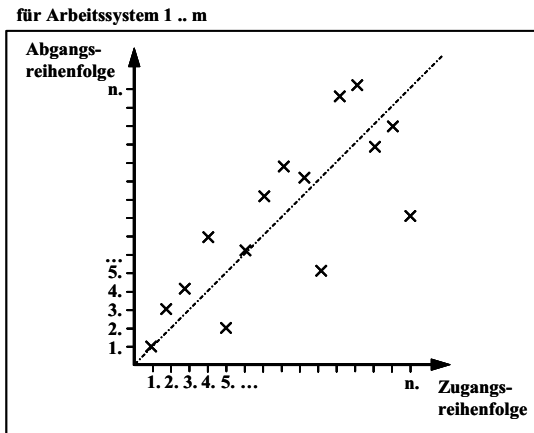


Abbildung 5–21: Muster zur Interpretation von Strategien des Clusters „Reihenfolgegestaltung“ (Beispiel)

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

---

Im abgebildeten Beispiel zeigt sich, dass lediglich das erste und das sechste Auftragslos absolut betrachtet nicht beschleunigt oder verzögert bearbeitet wurden. Andere Lose wurden in der Warteschlange nach hinten versetzt (Markierungen oberhalb der Winkelhalbierenden) oder in der Warteschlange vorgezogen (Markierungen unterhalb der Winkelhalbierenden).

Wie bereits für das Muster der Cluster „Losgrößengestaltung“ und „Ressourcenbelegung“ durchgeführt, wird auch für das Muster des Clusters „Reihenfolgegestaltung“ eine charakteristische Eigenschaft (Feature) definiert, die später im Rahmen der Klassifikation herangezogen werden kann.

In diesem Fall bietet es sich an, das Korrelationsverhalten zwischen der absoluten Zugangs- und Abgangsreihenfolge (siehe Abbildung 5–21) als charakteristische Eigenschaft zu nehmen. Eine absolute Korrelation (Korrelationskennziffer  $r = 1$ ) bedeutet, dass am jeweiligen Arbeitssystem keine besondere Reihenfolgestrategie bzw. die Strategie „Fifo“ angewandt wurde. Je weiter die Korrelationskennziffer von dem Wert 1 abweicht, desto größeren Einfluss auf das Abarbeitungsverhalten am betrachteten Arbeitssystem haben die Abläufe und Strategien zur Reihenfolgegestaltung.

$$r = \frac{\sum x_i \cdot y_i - \frac{1}{N} \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{\left[ \sum x_i^2 - \frac{1}{N} (\sum x_i)^2 \right] \cdot \left[ \sum y_i^2 - \frac{1}{N} (\sum y_i)^2 \right]}}$$

*Formel 5–1: Bestimmung des Korrelationskoeffizienten  $r$  [nach BRONSTEIN & SEMENDJAJEW 1989, S. 692]*

Für das in Abbildung 5–21 dargestellte Beispiel ergibt sich der Korrelationskoeffizient  $r$  zu 0,77 (mit  $x_i$ : laufende Position beim Zugang,  $y_i$ : laufende Position beim Ausgang und  $N$ : Anzahl der betrachteten Auftragslose). Entsprechend wird dieser Koeffizient für alle betrachteten Arbeitssysteme einer Produktion bestimmt. In Abbildung 5–22 ist eine beispielhafte Darstellung dieser charakteristischen Eigenschaft realisiert.

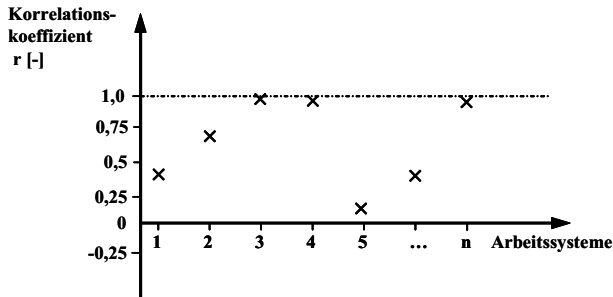


Abbildung 5-22: *Ergebnis (Beispiel) der Reduktion des Musters auf charakteristische Eigenschaften (Reihenfolgegestaltung)*

Das Ergebnis weist darauf hin, dass z.B. bei den Arbeitssystemen 1, 2 und 5 die angewandte Strategie zur Reihenfolgegestaltung ermittelt werden muss. Dagegen kommt es bei den Arbeitssystemen 3 und 4 zu keinen Reihenfolgevertauschungen in größerem Umfang.

Im nachfolgenden Abschnitt werden die charakteristischen Merkmale der einzelnen Strategiecluster aufgegriffen und auf die Klassifikation von Mustern (Strategien der Produktionssteuerung) angewandt.

### 5.2.3 Klassifikation von Mustern

Die Klassifikation im Rahmen der Mustererkennung geht grundsätzlich immer auf ein Zweiklassenproblem zurück [BABEL 1997, S. 6]:

Klasse 1: das erkannte Muster ist Teil der Musterklasse

Klasse 2: das erkannte Muster ist nicht Teil der Musterklasse

Allerdings reicht der Ansatz der reinen Beschreibung, ob ein Muster Teil einer Klasse ist oder nicht ist, nicht für das Ziel der Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung aus. Zum Einsatz der Strategien im Simulationsmodell ist auch eine quantitative Beschreibung der Abläufe notwendig. Daher müssen in dieser Arbeit im Rahmen der Klassifikation auch Algorithmen ausgeführt werden, die eine Skalierung bzw. quantitative Beschreibung der identifizierten Strategien und Abläufe zur Verfügung stellen [SCHALKHOFF 1992, S. 6, 15].

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

---

Mit Hilfe der vorangegangenen Diskussion um Mustermerkmale ist es bereits möglich, eine Klassifikation in die drei Strategiecluster vorzunehmen: Es kann entschieden werden, ob und wenn ja an welchen Objekten im Produktionsprozess spezifische Abläufe der Produktionssteuerung eingesetzt wurden. In einer weitergehenden Klassifikation ist es jetzt notwendig, die Spezifikation innerhalb der Cluster durchzuführen. Dies bedeutet, dass entsprechend der Beschreibung der Strategien und Abläufe im Metamodell die regelbasierten (If–then–else) Strukturen der Abläufe qualitativ zu verfeinern und quantitativ zu beschreiben sind. Es ist offensichtlich, dass gerade die quantitative Beschreibung nicht allgemeingültige Ergebnisse liefern kann. Allerdings lässt sich die Vorgehensweise zur Bestimmung der Klassifikation durchaus verallgemeinern. Aus diesem Grund liegt der Fokus der Arbeit im Folgenden weniger auf einer umfassenden Beschreibung möglicher Strategien und ihrer Varianten, sondern auf der Methode zur Klassifikation von Strategien der Produktionssteuerung.

Das hier vorgestellte Konzept zur Klassifikation von Strategien der Produktionssteuerung baut auf der Methode der geometrischen Klassifikation auf [z.B. BABEL 1997, 15 ff.]. Bei der geometrischen Klassifikation werden alle gemessenen oder bestimmten Merkmalsausprägungen in einem zwei- oder mehrdimensionalen Raum dargestellt. Die verschiedenen Klassen zuzuordnenden Merkmalsausprägungen sind räumlich getrennt (siehe Abbildung 5–23). Die Klassifikationsaufgabe ist dann gelöst, wenn es gelingt, Trennfunktionen  $d(x)$  in den zwei- oder mehrdimensionalen Raum zu konstruieren, die die Merkmalsausprägungen der verschiedenen Klassen eindeutig voneinander trennen.

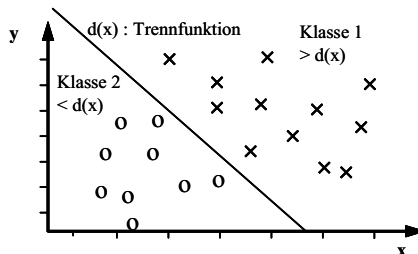


Abbildung 5–23: Merkmalsausprägungen im zweidimensionalen Raum und eine mögliche Trennfunktion (Beispiel)



Es lässt sich mindestens eine Trennfunktion finden, wenn ...

... alle Informationen bekannt sind, die die Strategie beeinflussen, und wenn ...

... alle die Strategie beeinflussenden Informationen verfügbar sind und wenn ...

... es zu keinen tatsächlichen oder scheinbaren (zufälligen) Abweichungen vom strategischen Verhalten kommt.

Dabei lassen sich die beeinflussenden Informationen direkt als Größen (Achsen-dimensionen) bei der geometrischen Klassifikation oder aber als so genannte Gewichtungen einsetzen. In diesem Fall wird die ursprüngliche Achsendimension ( $x_i$ , z.B. Bearbeitungsreihenfolge der Auftragslose) mit einer oder mehreren weiteren Größen ( $b_i$ ,  $c_i$ , z.B. Losgröße) gewichtet.

1.  $x$  = Messgröße 1 ( $x_i$ )

2.  $x$  = Messgröße 1 ( $x_i$ ) gewichtet mit Messgröße 2 ( $b_i$ ):

$$x_{i,\text{gew.}} = \frac{x_i \cdot b_i}{b_m} \quad \text{mit: } b_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i$$

3.  $x$  = Messgröße 1 ( $x_i$ ) gewichtet mit Messgröße 2 ( $b_i$ ) und Messgröße 3 ( $c_i$ ):

$$x_{i,\text{gew.}} = \frac{x_i \cdot b_i \cdot c_i}{b_m \cdot c_m} \quad \text{mit: } c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i$$

n. ...

*Formel 5-2: Bestimmung von Dimensionen zur geometrischen Klassifikation*

Mit Hilfe der Gewichtung ist es möglich, auch in einem zweidimensionalen Raum  $n$  Entscheidungs- und Beeinflussungsgrößen zu bewerten (siehe Bsp. „Vorabliefern“, S. 77 ff.).

Stehen nicht alle Informationen zu Verfügung, weil sie entweder tatsächlich unbekannt sind oder aber nicht alle Informationen in den BDE-Daten verfügbar sind, so kann unter Umständen keine eindeutige Trennfunktion konstruiert werden (vgl. *Spezifika von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung*, Tabelle 5-5). In diesen Fällen ist die regelbasierte Struktur der Strategien und Abläufe nicht qualitativ nachvollziehbar. Um dennoch das Verhalten der Strate-

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

---

gie im Simulationsmodell abbilden zu können, ist in diesen Fällen eine ausschließlich stochastische Beschreibung der Auswirkung der Strategie möglich (siehe Bsp. „Vorabliefern“, S. 77 ff.). Bezüglich der geforderten Eigenschaften des Konzepts zur Identifikation und Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung zur automatischen Simulationsmodellgenerierung für den Einsatz in der betriebsbegleitenden Simulation ist anzumerken, dass allein die Lösungseigenschaft E6 (PPS-Fragestellungen editierbar) bei einer ausschließlich stochastischen Beschreibung nicht vollständig gegeben ist (siehe Abbildung 5–7). Der betreffende Ablauf kann durchaus durch Modifikationen der stochastischen Parameter (Streuungen, Mittelwerte etc.) editiert werden, jedoch sind Parameter der Produktionsplanung und Steuerung (Losgrößen, Termine, Variantenmix etc.) nicht explizit und direkt einstellbar.

Gelingt es nicht, alle Einflussgrößen zu detektieren, gab es im Produktionsablauf zufällige Abweichungen von der Strategie\* oder sind im Rahmen der Erfassung oder Auswertung der BDE-Daten Fehler aufgetreten, kann dies auch dazu führen, dass keine eindeutige Trennfunktion konstruierbar ist. In diesen Fällen entsteht im zweidimensionalen Merkmalsraum ein Trennbereich: Es wird ein Bereich definiert, in dem keine eindeutige Aussage bzw. nur stochastische Aussagen getroffen werden können, ob eine Merkmalsausprägung zu einer Klasse 1 oder zu einer Klasse 2 gehört.

In Fällen, in denen eine Trennfunktion ermittelt werden kann, lässt sich die Güte der Klassifikation mit Hilfe eines Kriteriums  $q$  bewerten, das sich vom Bhattacharyya-Koeffizienten [BABEL 1997, S. 12] ableitet:

---

\*) Dagegen werden systematische Abweichungen von einer vorgegebenen bzw. geplanten Strategie mittels der Methoden der geometrischen Klassifikation als eine eigenständige, neue Strategie der Produktionssteuerung bewertet.

$$q = \sum_{j=a,b} \left( \frac{i_j}{n_j} \cdot \frac{u_j}{n_j} \right)$$

mit:  $i$  : Anzahl der Messgrößen der Klasse  $j$ , die richtig zugeordnet sind  
 $u$  : Anzahl der Messgrößen der Klasse  $j$ , die falsch zugeordnet sind  
 $n$  : Anzahl der Messgrößen der Klasse  $j$   
 $a, b$ : Klassifikationsklassen

*Formel 5-3: Bestimmung der Güte einer Trennfunktion*

Daraus ergibt sich:  $0 \leq q \leq 1$ . Dabei bedeutet 0 eine vollständig korrekte Zuordnung der Messgrößen zu den Klassen.

Im Rahmen einer optimierten Klassifikation von Abläufen der Produktionssteuerung gilt es, das Gütekriterium  $q$  zu minimieren. Damit kann dieses Kriterium auch Zielgröße von Klassifikationsalgorithmen sein, die für eine Automatisierung geeignet sind.

## 5.2.4 Beispiele

Um die theoretische Vorgehensweise der Klassifikation von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung zu veranschaulichen, werden nachfolgend einige Beispiele aufgezeigt. Aufgrund der Tatsache, dass die Produktionssteuerung auf Änderungen des Umfelds reagiert, um das übergeordnete Ziel der Wirtschaftlichkeit zu erreichen, kann es keine abschließende Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung geben. Dies bedeutet, dass die aufgeführten Beispiele nicht in jeder Produktion Gültigkeit besitzen können.

### Beispiel 1: „Vorabliefern“

Bereits in 5.2.2.1 wurde gezeigt, wie Arbeitssysteme identifiziert werden können, an denen die Losgröße aktiv beeinflusst wird. In diesem Beispiel wird für jedes dieser Arbeitssysteme geprüft, unter welchen Bedingungen Losgrößen beeinflusst werden. In dieser Hinsicht sind wiederum a priori Wissen bzw. Vermutungen über mögliche produktionslogistische Zusammenhänge notwendig, die als Anfangsvermutungen für eine mögliche Interpretation dienen. In diesem konkreten Beispiel wird vermutet - oder es ist aus früheren Untersuchungen bekannt, -

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

dass Auftragslose gesplittet werden, wenn die Durchführungszeit des aktuellen Arbeitsschritts einen definierten Umfang überschreitet.

Zur Überprüfung dieser Vermutung wird für ein Arbeitssystem das Losgrößenverhalten über die Durchführungszeit aufgetragen (siehe Abbildung 5–24). Jede Markierung repräsentiert ein Auftragslos.

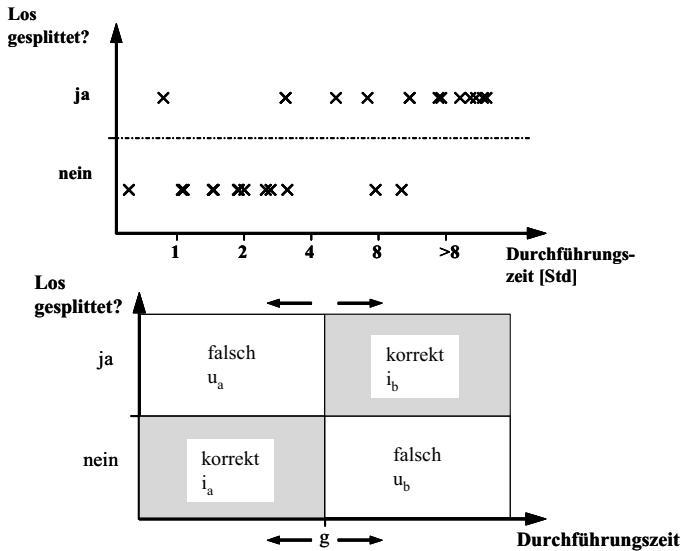


Abbildung 5–24: Lossplittung in Abhängigkeit der Durchführungszeit (Beispiel)

Der erste optische Eindruck scheint zu bestätigen, dass die Durchführungszeit (ZDF) ein geeignetes Kriterium ist, um zu begründen, ob ein Los gesplittet wird oder nicht. Gesucht wird jetzt die Trennfunktion  $g(ZDF)$  zwischen den Bereichen „Splitten“  $[ZDF\_A]$  und „Nicht-Splitten“  $[ZDF\_B]$ . (Im aktuellen, eindimensionalen Fall schrumpft die Trennfunktion zu einem Punkt.)

In der Tabelle 5-8 sind für verschiedene Trennfunktionen ( $g(ZDF) = 2, 4, 8$ ) die jeweilige Güte der Klassifikation mit Hilfe des Bhattacharyya-Koeffizienten  $q$  überprüft worden. Das Ergebnis zeigt, dass die alleinige Berücksichtigung der Durchführungszeit zu keiner zufriedenstellenden und mit der Realität weitgehend

übereinstimmenden Trennung der Auftragslose in vorab gelieferte und nicht vorab gelieferte führt.

g(ZDF)	A			B			q
	$\dot{i}_a$	$u_a$	$n_a$	$\dot{i}_b$	$u_b$	$n_b$	
2	8	2	10	12	5	17	0,033
4	10	4	14	11	2	13	0,026
8	11	5	16	10	1	11	0,032

Tabelle 5-8: Gütekriterium für verschiedene Trennfunktionen (Beispiel)

Es ist weiterhin zu vermuten, dass die Vorgehensweise des Vorablieferns unbedingt auch mit der aktuellen Auslastungssituation des nachfolgenden Arbeitsplatzes zusammenhängt: Ist der nachfolgende Arbeitsplatz belegt, so würden Aufsplittung und Vorabliefern eines Teilloses kaum zu einer beschleunigten Bearbeitung des Loses oder zu einer besseren Auslastung der Produktionssysteme führen. Ist die aktuelle Situation jedoch durch freie Kapazitäten des nachfolgenden Arbeitssystems gekennzeichnet, so kann durch Vorablieferung eine beschleunigte Auftragsbearbeitung und eine gleichmäßigere Auslastung erreicht werden. Mithin ist Vorabliefern produktionslogistisch sinnvoll. In diesem Beispiel wird die aktuelle Situation des nachfolgenden Arbeitssystems durch eine gemittelte Auslastung dieses Arbeitssystems angenähert. In Abbildung 5–25 ist daher die Durchführungszeit mit der mittleren Auslastung des nachfolgenden Arbeitssystems gewichtet dargestellt.

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

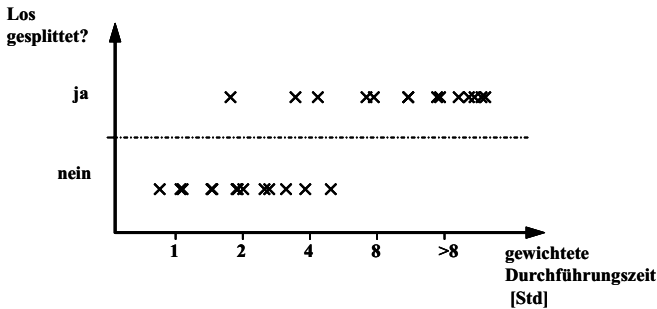


Abbildung 5–25: *Lossplittung in Abhängigkeit der mit der Auslastung des nachfolgenden Arbeitssystems gewichteten Durchführungszeit (Beispiel)*

Sowohl der graphische Eindruck als auch die Bestimmung der Güte der Trennfunktion (siehe Tabelle 5-9) zeigen, dass durch die Berücksichtigung der Auslastung als zweites Kriterium neben der Durchführungszeit eine bessere, d.h. näher am realen Verhalten des Produktionssystems liegende Beschreibung des Ablaufs des Vorablieferns in diesem Beispiel erzielt werden kann. Das Gütekriterium verbessert sich von 0,026 auf 0,009.

	A			B			
g(ZDF)	$i_a$	$u_a$	$n_a$	$i_b$	$u_b$	$n_b$	q
4	11	1	12	13	2	15	0,009

Tabelle 5-9: *Gütekriterium für die gewichtete Trennfunktion (Beispiel)*

In diesem Beispiel werden keine weiteren Kriterien für eine Verbesserung der Trennschärfe betrachtet. Selbstverständlich kann in der Praxis versucht werden, durch beliebig viele Verfeinerungsstufen eine möglichst trennscharfe Klassifikation zu erreichen ( $q \cong 0$ ). Auch führt es zu einer Verbesserung der Klassifikation, wenn für die nicht durch Durchführungszeit und Auslastung des nachfolgenden Arbeitssystems korrekt klassifizierbaren Auftragslose das Verhalten zumindest stochastisch beschrieben wird. Das bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die deterministische Zuordnung um einen dem Gütekriterium proportionalen Faktor korrigiert wird.

Im oben beschriebenen Beispiel würden bei der Berücksichtigung der gewichteten Durchführungszeit zwei Auftragslose von 15 der Klasse „vorabzuliefern“ falsch zugeordnet. Umgekehrt wird eines von 12 Auftragslosen der Klasse „nicht vorabzuliefern“ falsch zugeordnet. Im einfachsten Fall könnten diese stochastischen Faktoren ( $2/15$  bzw.  $1/12$ ) als Korrektiv eingesetzt werden.

### 5.2.5 Zusammenfassung

Als Methode zur Interpretation von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung wurde die Mustererkennung eingeführt. Die Erkennung basiert auf Mustern, die implizit in den Aufzeichnungen von Betriebsdaten (BDE-Systemen) vorhanden sind. Dabei konnte gezeigt werden, dass für die unterschiedlichen Cluster der Abläufe der Produktionssteuerung charakteristische Eigenschaften definiert werden können, mit denen sich der Einsatz von Produktionssteuerungsstrategien in der Produktion erkennen lässt. In vielen Fällen ist es anschließend möglich, eine Klassifikation der jeweiligen Abläufe vorzunehmen, so dass eine qualitative und quantitative Beschreibung der Abläufe im Sinne des Metamodells zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung (siehe 5.1.2) möglich ist. Die Vorgehensweise der Interpretation wird in Abbildung 5–26 zusammenfassend dargestellt.

## 5.2 Methoden zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

---

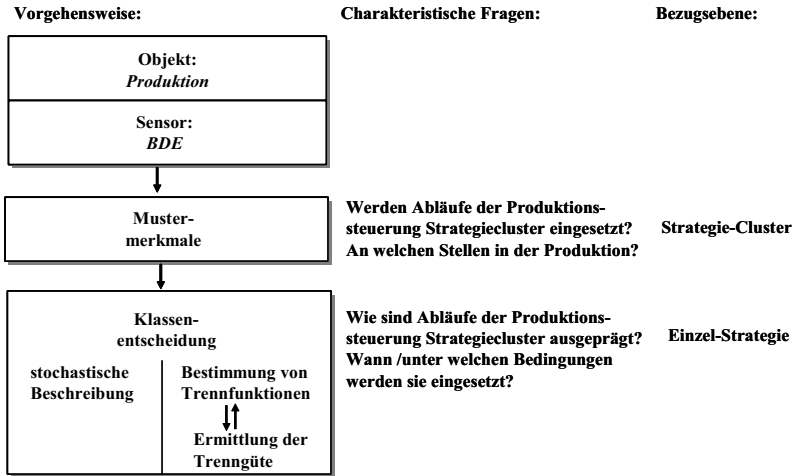


Abbildung 5–26: *Vorgehensweise zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung*

Dabei ist bei der Klassifikation angedeutet, dass es nicht in allen Fällen gelingen kann, eine kausale Beschreibung der Abläufe und eine Ermittlung von Trennfunktionen zu erreichen. In diesen Fällen ist es aber dennoch möglich, das Ablaufverhalten phänomenologisch unter Verwendung der analysierten Stochastik zu beschreiben.

### 5.3 Vorgehensmodell zur Interpretation und Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

Ziel dieser Arbeit ist es, Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung für den automatisierten Aufbau von Simulationsmodellen zu nutzen. Dazu wurden in den vorangegangenen Kapiteln mit der Beschreibung von Strategien und Abläufen einerseits sowie der Interpretation von Mustermerkmalen andererseits die Grundlagen geschaffen. In diesem Kapitel wird die Interpretation von Mustermerkmalen in eine Vorgehensweise eingebunden, die es weitgehend automatisiert erlaubt, die für den Aufbau von Simulationsmodellen relevanten Abläufe der Produktionssteuerung zu identifizieren und bereitzustellen (siehe Abbildung 5–27).



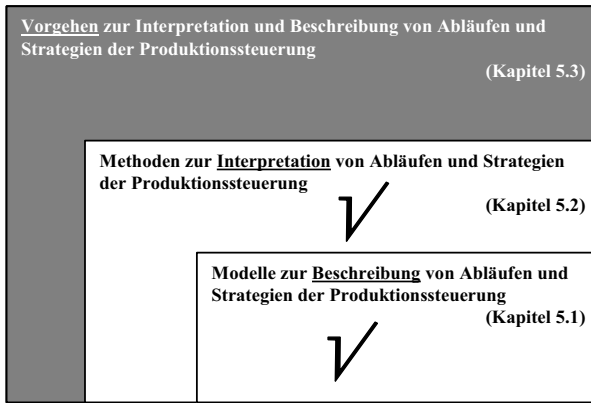


Abbildung 5–27: Lösungsvorgehen (aktueller Status)

Das Vorgehen zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung muss die Anforderungen an das Lösungskonzept erfüllen (siehe Abbildung 5–7). Dies bedeutet u.a. auch, dass das Vorgehen kein geschlossenes System darstellen kann: Sowohl aufgrund der impliziten Unsicherheit als auch aufgrund der Einwirkung externer Einflüsse auf die Produktion kann nicht davon ausgegangen werden, dass zum heutigen oder einem späteren Zeitpunkt alle Strategien und alle Gestaltungsmöglichkeiten von Abläufen der Produktionssteuerung bekannt sein werden. In das Vorgehen zur Interpretation von Abläufen müssen daher bei Bedarf auch neue bzw. fallspezifische Formen zu integrieren sein. Ebenso hat die Entwicklung eines Beschreibungsmodells für Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung gezeigt, dass die Formen der Ablaufstrukturen sehr vielfältig sind. Aus diesen Gründen wird für das hier entwickelte Vorgehensmodell zur Interpretation und Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung eine Trennung in Wissensbasis und Steuerungssystem vorgeschlagen. Diese Form der Trennung ist aus dem Aufbau von Expertensystemen bekannt [z.B. BLUMBERG 1991; PUPPE 1984]. Durch diese Modularisierung kann gewährleistet werden, dass unter Verwendung der gleichen Grundelemente bei veränderten Randbedingungen neue Interpretationsergebnisse erzielt werden können. Während bei der konventionellen Verarbeitung von Daten die Lösungswege fest kodiert sind [ZINN & KURZ 1990, S. 7], ist das Lösungswissen bei dem

### 5.3 Vorgehensmodell zur Interpretation und Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

hier vorgestellten Vorgehensmodell unabhängig vom Ablauf der Interpretation (siehe Abbildung 5–28).

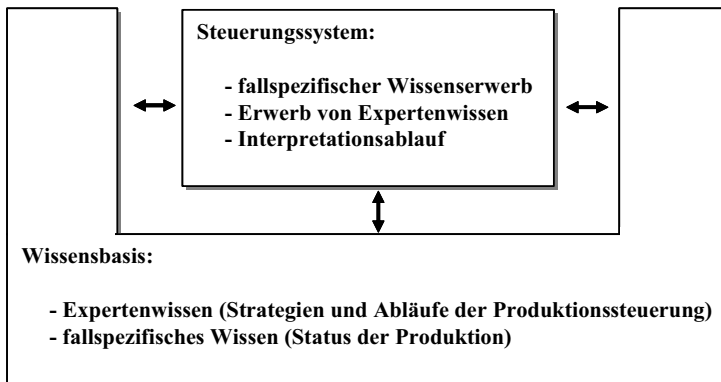


Abbildung 5–28: Struktur des Vorgehensmodells zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

Die Wissensbasis für die Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung kann dabei zweigeteilt werden: Zum einen in das Expertenwissen bezüglich der Art und Weise, wie im Produktionsunternehmen Strategien der Produktionssteuerung eingesetzt werden können (siehe 5.3.1) und zum anderen in fallspezifisches Wissen, das Aussagen über den konkreten und aktuellen Zustand einer Produktion beinhaltet (siehe 5.3.2).

In ähnlicher Weise können auch für das Steuerungssystem zur Interpretation unterschiedliche Schwerpunkte ausgemacht werden: Der Kern des Systems setzt sich mit der eigentlichen Auswahl von Regeln und der Überprüfung auseinander, um zu einer Aussage zu kommen, ob und in welcher Ausprägung Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung eingesetzt werden (siehe 5.3.3). Des Weiteren muss im Steuerungssystem aber auch die Frage behandelt werden, mittels welchen Vorgehens neues Wissen im Ablauf Berücksichtigung findet (siehe 5.3.4).

### 5.3.1 Abbildung von Expertenwissen

Die Abbildung von Expertenwissen bezieht sich auf die Frage, in welcher Form Informationen zu möglichen Strategien und Abläufen der Produktion abgelegt werden können. Auf diese Frage wurde in Kapitel 5.1.2.4 mit dem Aufbau eines Metamodells zur Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung bereits eine Antwort gefunden. Das entwickelte regelbasierte Beschreibungsmodell stellt den Rahmen dar, mit der Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung für den Interpretationsablauf zur Verfügung gestellt werden. Ebenso wurden in Kapitel 5.1.1.1 bereits die grundsätzlichen Ausprägungen (Cluster) von Strategien der Produktionssteuerung behandelt. Der Aufbau und die Abbildung einzelner Strategien (Mikrostruktur) sind damit eindeutig beschrieben.

In Ergänzung zu dem oben Erwähnten wird in diesem Abschnitt den Fragen nachgegangen, inwieweit einzelne Strategien abhängig oder unabhängig voneinander sind oder ob sich einzelne Strategien in einer hierarchischen Konstellation zu neuen Strategien bilden können. Die Beantwortung dieser Fragen ist entscheidend, um über den Aufbau der Makrostruktur des Expertenwissens entscheiden zu können und damit auch über die Abfolge der Interpretationsschritte.

Die Strategien der einzelnen Strategiecluster (Losgrößengestaltung, Ressourcenbelegung, Reihenfolgegestaltung) verhalten sich komplementär zueinander: Weder kann eine Entscheidung zur Reihenfolge eine Entscheidung zur Losgrößengestaltung noch zur Ressourcenbelegung ersetzen. Das Definitionskriterium der Strategiecluster besteht aus Aufgabengruppen der Produktionsplanung und –steuerung. In einer Produktion müssen diese Aufgaben prinzipiell alle belegt sein. Dies bedeutet, dass es für den Interpretationsablauf unerheblich ist, in welcher Reihenfolge der jeweilige Produktionsstatus auf den Einsatz von Strategien der jeweiligen Cluster überprüft wird. Bezüglich des Interpretationsablaufs besteht zwischen den Strategien der drei Cluster Unabhängigkeit\*.

Die Betrachtung innerhalb eines Strategieclusters führt zu anderen Ergebnissen: Die Praxis bei der Reihenfolgeregel zeigt, dass selten eine Regel ausschließlich

---

\*) Diese Art der Unabhängigkeit bedeutet nicht, dass durch die Kombination von Strategien einzelner Cluster das Produktionsergebnis nicht erheblich beeinflusst werden kann. Für die Ex-post-Analyse und Zuordnung zu Strategien ist dies jedoch unerheblich, weil sich die einzelnen Cluster auf unterschiedliche Aufgaben der Produktion beziehen und sich somit eindeutig unterscheiden und zuordnen lassen.

### 5.3 Vorgehensmodell zur Interpretation und Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

in ihrer ursprünglichen Form angewandt wird. Häufig überlagern sich unterschiedliche Einflüsse und Zielrichtungen und führen zu einer Kombination verschiedener Reihenfolgeregeln (siehe Abbildung 5–29).

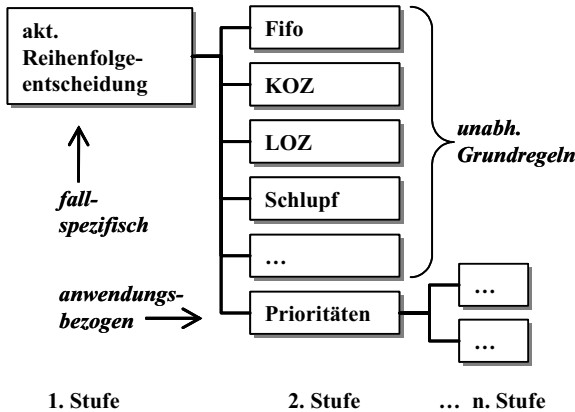


Abbildung 5–29: Makrostruktur – Strategiecluster „Reihenfolgeentscheidung“

Die aktuelle Reihenfolgeregel ist somit nicht eindeutig einer der Grundregeln (z.B. First-in-first-out oder kürzeste Operationszeit) zuordenbar. Auf der anderen Seite beschreibt der Begriff „Grundregel“ bereits, dass eine weitere Unterteilung dieser Regeln nicht mehr möglich bzw. notwendig ist: Die Grundregeln sind eindeutig definiert und ihre Erfüllung oder Nicht-Erfüllung kann eindeutig bestimmt werden. In diesen Fällen ist die Reihenfolgeentscheidung maximal zweistufig aufgebaut. Anders verhält es sich bei der allgemeiner formulierten Regel „Priorität“. Die Priorität eines Auftrags lässt sich aus unterschiedlichsten und sehr individuellen Charakteristika ableiten. Bei dieser Regel kann auch eine anwendungsbezogene, tiefer gehende Mehrstufigkeit vorliegen. In diesem Zusammenhang bedeutet „anwendungsbezogen“, dass das typische Vorgehen eines definierten Produktionsstandorts berücksichtigt wird.

Im Gegensatz zur Reihenfolgebildung muss bei der Losgrößenbildung keinesfalls an jedem möglichen Referenzobjekt eine Strategie verankert sein: In vielen Fäl-

len wird die Losgröße am aktuellen Arbeitssystem nicht verändert. Ähnlich wie bei der Reihenfolgeentscheidung kann sich die aktuelle Strategie der Losgrößenbildung aus unterschiedlichen Teilstrategien zusammensetzen.

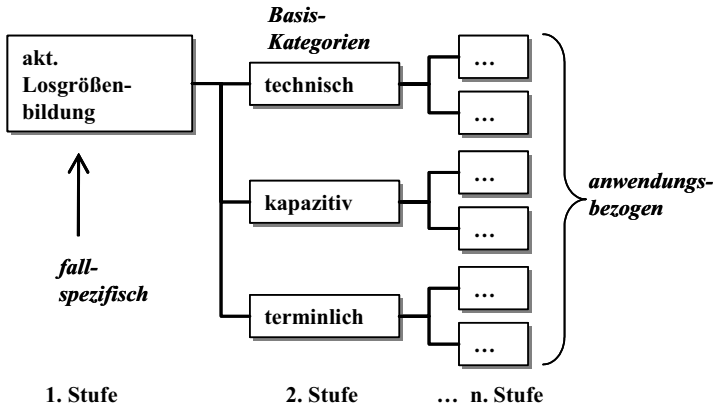


Abbildung 5–30: Makrostruktur – Strategiecluster „Losgrößenbildung“

Im Falle der Losgrößenbildung sind keine Grundregeln bekannt. Jedoch ist es möglich, die Beweggründe für eine Losgrößenbeeinflussung in die drei Kategorien „kapazitive Restriktionen“, „technische Randbedingungen“ und „terminliche Randbedingungen“ zu untergliedern. Diese Kategorien sind weitgehend unabhängig voneinander und beziehen sich auf unterschiedliche Bezugsobjekte und Parameter. Allerdings sind bei nachfolgenden Stufen wiederum vielfältige anwendungsbezogene Kombinationsmöglichkeiten gegeben.

Ähnlich der Losgrößengestaltung dominieren auch beim Strategiecluster „Ressourcenauswahl“ die fallspezifischen Ansätze. Als Basiskategorien können auslastungsorientierte, qualifikationsorientierte und rüsttechnische Aspekte unterschieden werden (siehe Abbildung 5–31).

### 5.3 Vorgehensmodell zur Interpretation und Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

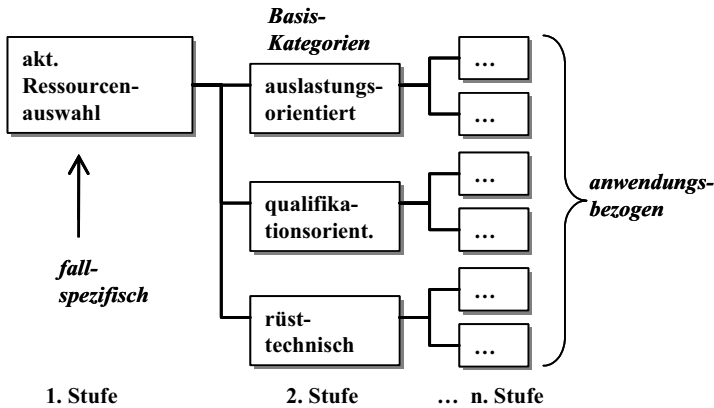


Abbildung 5–31: Makrostruktur – Strategiecluster „Ressourcenauswahl“

Eine weitere Parallele zur Losgrößengestaltung ist der Fakt, dass keinesfalls bei jedem Entscheidungsobjekt eine spezielle Strategie zur Ressourcenauswahl vorhanden sein muss. In vielen Fällen wird im Arbeitsplan die Ressourcenwahl determiniert und ebenso in der Praxis umgesetzt.

Entsprechend diesen Ausführungen ist es möglich, das Expertenwissen strukturiert unter Benutzung des Metamodells zur Abbildung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung aufzubauen. Dabei ist zu beachten, dass die anwendungsbezogenen Aspekte der Strategiecluster an den jeweiligen Einsatzfall angepasst werden müssen. Hingegen können die grundsätzliche Gliederung der Strategiecluster sowie die Grundregeln allgemeingültig genutzt werden.

#### 5.3.2 Ermittlung von fallspezifischem Wissen

Unter fallspezifischem Wissen werden bei der vorliegenden Arbeit alle Informationen verstanden, die notwendig sind, um in jedem Einzelfall zu entscheiden, ob und in welcher Ausprägung eine bestimmte Strategie aus einem Strategiecluster angewandt wird. Das fallspezifische Wissen bezieht sich somit auf den aktuellen Zustand einer singulären Produktion. Handelt es sich demnach bei dem Expertenwissen um einmalig aufzubauendes, bzw. nur mittelfristig zu modifizierendes Wissen, so können sich die Inhalte des fallspezifischen Wissens bei jeder Interpretation ändern. Das fallspezifische Wissen ist gleichbedeutend mit den Mus-

termerkmalen (siehe Kapitel 5.2.2): Mustermerkmale werden herangezogen, um auf der Ebene der Strategiecluster zu prüfen, ob und an welchen Stellen in der Produktion Strategien der Produktionssteuerung wirksam werden.

Das Wissen über den aktuellen Zustand der Produktion und die Ausprägungen der Mustermerkmale wird aus den Rückmeldungen der Produktion extrahiert (BDE-Systeme; siehe Kapitel 5.2.1). Das Mustermerkmal für den Strategiecluster „Reihenfolgeregel“ ist die Korrelation zwischen Zu- und Abgangsreihenfolge an einem Arbeitssystem (siehe Kapitel 5.2.2.3). Mittels Selektion und Sortieren können die entsprechenden Merkmale aus den BDE-Daten extrahiert werden (siehe Abbildung 5–32).

<b>... für alle Arbeitssysteme</b>	
	<b>sortiere zurückgemeldete Auftragslose aufsteigend nach dem Zugang zum Arbeitssystem</b>
	<b>nummeriere Auftragslose</b>
	<b>sortiere zurückgemeldete Auftragslose aufsteigend nach dem Abgang vom Arbeitssystem</b>
	<b>nummeriere Auftragslose</b>
	<b>bestimme den Korrelationskoeffizienten <math>r</math></b>

Abbildung 5–32: *Struktogramm zur Ermittlung fallspezifischer Merkmale (hier: Reihenfolgeregel)*

Dazu wird zunächst die Liste der zurückgemeldeten Arbeitsgänge nach Arbeitssystemen gegliedert. Anschließend werden für jedes Arbeitssystem der Korrelationskoeffizient zwischen Zu- und Abgangsreihenfolge ermittelt (siehe Formel 5–1). Hierfür ist es notwendig, dass mittels Sortieren in einem vorhergehenden Schritt zwei entsprechende relative Ranglisten aufgestellt werden.

In ähnlicher Weise werden auch die Mustermerkmale der Strategiecluster Ressourcenzuordnung (siehe Kapitel 5.2.2.2) und Losgrößenbildung ermittelt (siehe Kapitel 5.2.2.1):

### 5.3 Vorgehensmodell zur Interpretation und Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

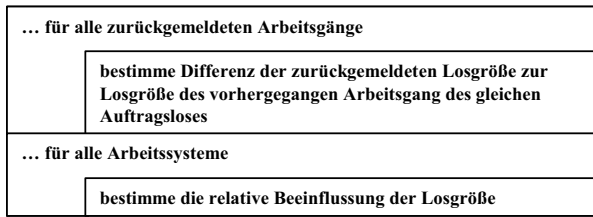


Abbildung 5–33: Struktogramm zur Ermittlung fallspezifischer Merkmale (hier: Losgrößengestaltung)

Zur Ermittlung der Mustermerkmale zur Losgrößengestaltung (siehe Abbildung 5–33) wird zunächst für alle zurückgemeldeten Arbeitsgänge die Differenz der Losgröße im Vergleich zum vorhergegangenen Arbeitsgang des jeweils gleichen Auftragsloses bestimmt. Auf der Basis dieser Werte wird anschließend für jedes Arbeitssystem die relative Beeinflussung der Losgröße berechnet (siehe Abbildung 5–18, oben).

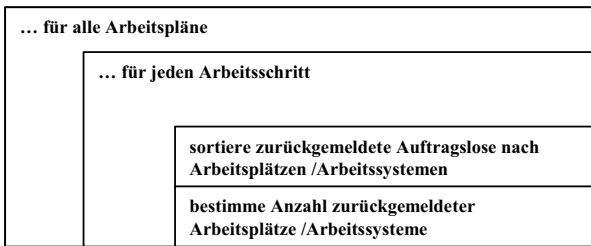


Abbildung 5–34: Struktogramm zur Ermittlung fallspezifischer Merkmale (hier: Ressourcenzuordnung)

Um die Mustermerkmale der Ressourcenzuordnung zu bestimmen, werden jeweils die zurückgemeldeten Arbeitsgänge eines jeden Arbeitsplans selektiert (siehe Abbildung 5–34). Anhand dieser Arbeitsgänge wird ermittelt, von wie vielen unterschiedlichen Arbeitssystemen bzw. Arbeitsplätzen Arbeitsgänge zurückgemeldet wurden.

An vorheriger Stelle wurde bereits aufgezeigt, dass die drei Strategiecluster unabhängig voneinander sind. Insbesondere ist die Reihenfolge der Interpretation unerheblich.



Es wird unmittelbar einsichtig, dass der genaue Ablauf maßgeblich von Inhalt und Aufbau des BDE-Systems bzw. der Art und Weise der Rückmeldungen abhängt. Aus diesem Grund ist es auch nicht sinnvoll, in diesem Zusammenhang über den Detaillierungsgrad der Struktogramme hinaus die Ermittlung fallspezifischen Wissens zu vertiefen. Im Rahmen der prototypischen Anwendungen wird dies dagegen exemplarisch vorgeführt. Eine Anpassung an die jeweiligen Gegebenheiten ist in keinem Fall auszuschließen.

### 5.3.3 Steuerung des Ablaufs zur Interpretation

Der Kern der Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung basiert auf den Ergebnissen der Erkennung von Mustermerkmalen. Beantworten die Mustermerkmale die Fragen, ob und, wenn ja, an welcher Stelle einer Produktion Strategien der Produktionssteuerung wirken, so gleicht das Ergebnis der Interpretation einer Antwort auf die Fragen, wie die einzelnen Strategien ausgeprägt sind und unter welchen Umständen sie die Produktionsabläufe beeinflussen. Die Interpretation beruht auf dem Vorgehen der Klassenentscheidung (siehe Kapitel 5.2.3).

Wie bereits im Zuge der Ermittlung von fallspezifischem Wissen erwähnt, ist der detaillierte Ablauf – auch die Klassenentscheidung – direkt vom konkreten Inhalt und Aufbau der Rückmeldesysteme abhängig. Im Rahmen des Konzepts zur Steuerung des Ablaufs zur Interpretation können daher nicht detaillierte Vorschriften zur Interpretation von bestimmten Abläufen gegeben werden. Vielmehr muss es an dieser Stelle Aufgabe sein, den grundsätzlichen Ablauf der Klassenentscheidungen zu skizzieren.

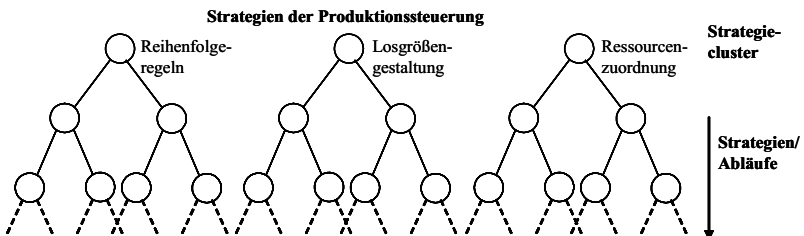


Abbildung 5–35: Prinzipielle Beziehung zwischen den Strategien der Produktionssteuerung

### 5.3 Vorgehensmodell zur Interpretation und Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung

---

Aufgrund der Unabhängigkeit der drei betrachteten Strategiecluster (siehe Abbildung 5–35) ist es nicht zweckmäßig, beim Interpretationsablauf auf dieser Ebene eine Breitensuche zu starten: Betrachtet man die Cluster als Lösungsbaum, in dem die Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung einer Produktion abgebildet sind, so sind in jedem Ast – unabhängig voneinander – beliebig viele Lösungen (also Strategien) möglich. Im Gegensatz zu konventionellen Suchproblemen (siehe z.B. [BLUMBERG 1991, S. 50 ff.]) bietet sich an dieser Stelle daher eine Tiefensuche an. Auch aus verfahrenstechnischen Gründen bietet die Tiefensuche Vorteile, weil im Zuge der Ermittlung des fallspezifischen Wissens (Mustermerkmale) bereits Zwischenergebnisse generiert wurden, die in einer Tiefensuche unmittelbar weiterverwendet und nicht zwischengespeichert werden müssen.

Innerhalb eines Strategieclusters ist es Aufgabe der Interpretation, einen Ablauf zu identifizieren, der einen möglichst niedrigen Gütefaktor  $q$  (mit  $q \geq 0$ ) aufweist. Dabei stellen die im Rahmen des Expertenwissens bereitgestellten Metamodelle der Abläufe mögliche, definierte Lösungen dar. Diese Lösungen sollen möglichst genau dem realen Ablauf, so wie er im Rückmeldesystem enthalten ist, entsprechen. Der reale Ablauf bildet den Zielzustand, der mittels der möglichen und regelbasiert notierten Abläufe und Strategien der Produktionssteuerung abgebildet werden soll (Rückwärtsverkettung). Im Zusammenspiel mit der Ermittlung der Mustermerkmale wird daher das Prinzip des „Establish–Refine“ zur Interpretation eingesetzt: Zunächst wird durch Rückwärtsverkettung ein Produktionscluster und ein Strategietyp bestimmt, der dann weiter verfeinert wird (siehe z.B. [PUPPE 1989, S. 78]).

Im Rahmen der prototypischen Umsetzung wird dieses Vorgehen auf konkrete Abläufe der Produktionssteuerung angewandt.

#### 5.3.4 Wissenserwerb

Für die vollständige Betrachtung des Vorgehens zur Interpretation von Strategien der Produktionssteuerung muss auch eine Antwort auf die Frage gefunden werden, mittels welchen Vorgehens neues Wissen im Interpretationsablauf Berücksichtigung findet. Im Rahmen der Erforschung von Expertensystemen sind zu diesem Thema eine große Anzahl theoretischer und anwendungsbezogener Ar-

beiten durchgeführt worden (siehe z.B. CIOS U.A. 1998; BLUMBERG 1991; KÜPPERS 1999; SCHALKHOFF 1992). Über die in diesen Arbeiten beschriebenen Ansätze hinaus ist kein spezielles Vorgehen für den Erwerb von Wissen zur Beschreibung von Strategien der Produktionssteuerung notwendig. Aus diesem Grund wird auf den Wissenserwerb in der vorliegenden Arbeit nicht vertieft eingegangen.

Hinsichtlich des Wissens bezüglich Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung ist jedoch anzumerken, dass bestimmte Grundsätze (z.B. die Clusterung der Strategien, Mustermerkmale von Strategietypen) langfristigen und allgemeingültigen Charakter haben. Demgegenüber kann zwischen sich schnell änderndem und betriebsspezifischem Wissen unterschieden werden. Während der Erwerb des langfristigen Wissens unabhängig vom Anwendungsfall und daher einmalig durchgeführt werden kann, muss der andere Wissensstand laufend an der Realität gespiegelt werden.

### 5.3.5 Zusammenfassung

In Abbildung 5–36 ist das Vorgehen zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung zusammengefasst dargestellt. Dem eigentlichen Interpretationsablauf wurde eine Vorbereitungsphase vorgeschaltet. Diese Vorbereitungsphase ist dem Wissenserwerb zugeordnet und muss nicht vor jedem Interpretationslauf, sondern nur bei Änderung des Anwendungsfalls oder geänderten Abläufen im betrachteten Produktionsbetrieb angestoßen werden.

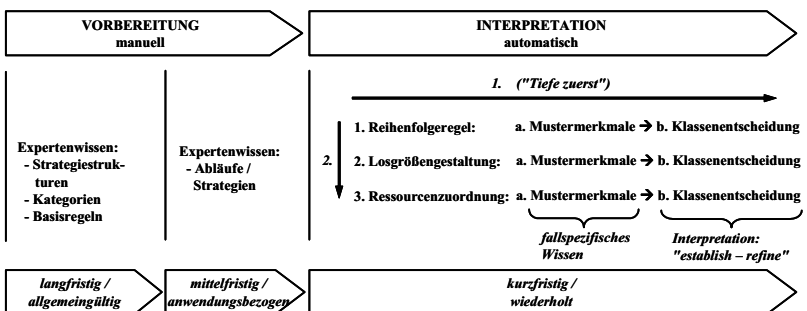


Abbildung 5–36: Vorgehensmodell zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung

### **5.3 Vorgehensmodell zur Interpretation und Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung**

---

Der eigentliche Interpretationsablauf findet im Vorfeld jeder Generierung eines Simulationsmodells statt. Er ist in drei unabhängige Phasen - entsprechend der drei betrachteten Strategiecluster - gegliedert. Die einzelnen Abläufe werden zunächst über die Mustermerkmale identifiziert und anschließend mittels einer Klassenentscheidung einer charakterisierten Strategie zugeordnet.

Mit der Beschreibung des Vorgehensmodells ist das Lösungskonzept entsprechend der Zielsetzung umfassend behandelt. Im nächsten Kapitel wird auf die prototypische Umsetzung der Kernelemente des Konzepts eingegangen.

## 6 Prototypische Anwendung

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Vorgehen zu entwickeln, mit dem es möglich ist, Wissen über die dynamischen Zusammenhänge der Produktion, die so genannten Strategien und Abläufe der Produktion, auf effiziente Art und Weise für die Verwendung in betriebsbegleitenden Simulationsmodellen zur Verfügung zu stellen. Die dazu notwendigen Arbeiten wurden mit der Definition eines Metamodells zur Beschreibung von Strategien und Abläufen, der Entwicklung eines Verfahrens zur Interpretation von Strategien und Abläufen auf Basis von Rückmeldedaten und mit der Beschreibung eines Vorgehensmodells verwirklicht (siehe Kapitel 5). Insbesondere erfüllen die Konzepte die geforderten Lösungseigenschaften E1 bis E4 (siehe Abbildung 6–1).

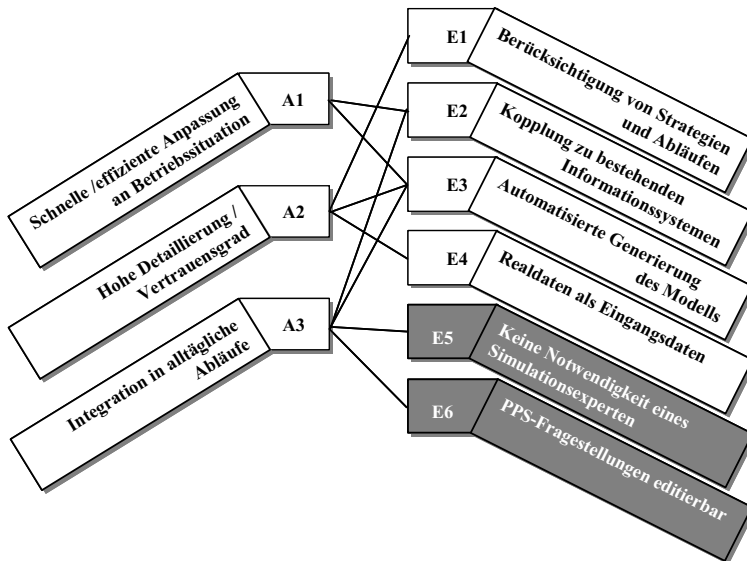


Abbildung 6–1: Gegenüberstellung von Anforderungen und Lösungseigenschaften zur betriebsbegleitenden Simulation (vgl. Abbildung 5–1)

Innerhalb dieses Kapitels ist zum einen der Nachweis zu führen, dass die entwickelten Konzepte geeignet sind, in der praktischen, industriellen Anwendung zu bestehen und zum anderen, dass die Konzepte als Teil eines Systems zur automa-

## **6.1 System zur automatischen Generierung von Simulationsmodellen**

---

tischen Generierung von Simulationsmodellen zudem geeignet sind, die Lösungseigenschaften E5 und E6 zu erfüllen.

Zur Erreichung des Ziels des weitgehenden Verzichts auf einen Simulationsexperten (E5) wird insbesondere der automatischen Generierung von Simulationsmodellen eine zentrale Rolle zuteil. Weiterhin ist bereits die eindeutige Definition der Aufgaben und Beschreibung von Abläufen, wie sie in Kapitel 5 dargelegt wird, ein Schritt in diese Richtung. Dies gilt entsprechend für die Editierbarkeit von PPS-Strategien (E6).

Beide Lösungseigenschaften stehen im Zentrum der Betrachtung von Kapitel 6.1, das sich mit der Umsetzung des Konzeptes zur Interpretation von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung in ein systemisches Umfeld auseinandersetzt. Im Anschluss wird in Kapitel 6.2 anhand eines Fallbeispiels aus der Elektronikproduktion der prototypische, industrielle Einsatz der Lösung beschrieben.

### **6.1 System zur automatischen Generierung von Simulationsmodellen**

Für die weitgehend automatische Generierung von Simulationsmodellen wird das Konzept zur Identifikation und Beschreibung von Strategien der Produktionssteuerung in ein übergeordnetes Vorgehensmodell integriert. Dieses Vorgehensmodell entspricht weitgehend dem Stand der Technik beim Aufbau eines Simulationsmodells (siehe Abbildung 6-2).

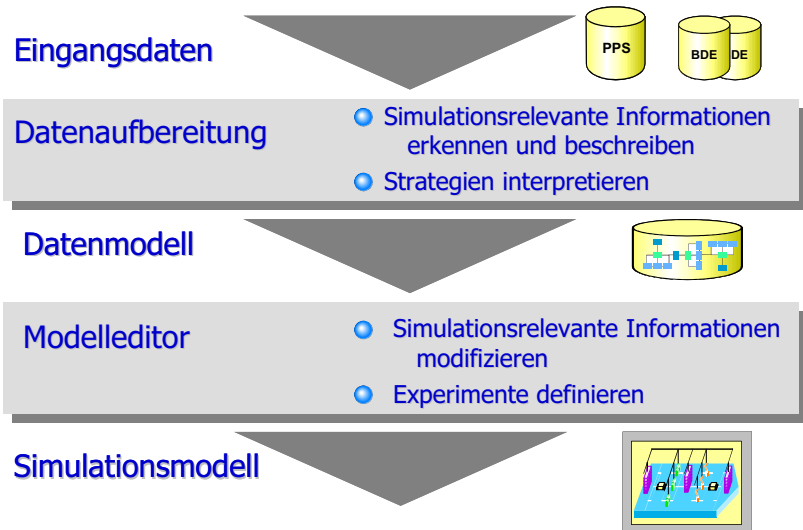


Abbildung 6–2: Ablaufstruktur zur automatischen Modellgenerierung

Zunächst werden aus den BDE–Daten die relevanten Daten für den Simulationsaufbau extrahiert. Im Rahmen der Datenaufbereitung findet auch die in dieser Arbeit vorgestellte Interpretation der Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung statt. Als Ergebnis entsteht ein Datenmodell, in dem alle für den Simulationsaufbau relevanten Informationen und Daten enthalten sind. Allein die Experimentdaten (z.B. Laufzeit des Simulationsversuchs, Bezeichnung des Experiments etc.) kommen noch im nächsten Schritt, bei der Editierung der Modelldaten, hinzu. Mittels des Modelleditors können bei Bedarf die aus den BDE–Daten gewonnenen Eingangsdaten modifiziert werden. Dies ist notwendig, weil in der Regel nicht die aktuelle Ist–Situation, sondern die Auswirkungen von Veränderungen in Form so genannter „Was–wäre–wenn“–Szenarien modelliert und simuliert werden müssen. Im letzten Schritt wird das Simulationsmodell auf der Basis der im Modelleditor getroffenen Spezifikationen generiert.

Beim Aufbau von Simulationsmodellen müssen neben den Informationen zu den Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung weitere Eingangsinformationen zur Verfügung stehen (siehe Abbildung 3–4). Im Gegensatz zu den Strategien der Produktionssteuerung, die nicht explizit in den Betriebsrückmeldedaten beschrieben werden, werden technische und Systemlastdaten in BDE–Systemen häufig direkt referenziert. Einfache Sortier– und Auswahlroutinen können daher

## 6.1 System zur automatischen Generierung von Simulationsmodellen

genutzt werden, um z.B. Ressourceninformationen, Arbeitspläne oder Auftragsdaten aus den realen Rückmeldedaten zu extrahieren. Damit wird es möglich, alle – bis auf die Experimentdaten – zum Simulationsmodellenaufbau notwendigen Informationen weitestgehend automatisiert aus BDE-Systemen bereitzustellen. Damit ist eine wichtige Forderung erfüllt, um auf den generellen Einsatz von Simulationsexperten zur Datenaufbereitung verzichten zu können.

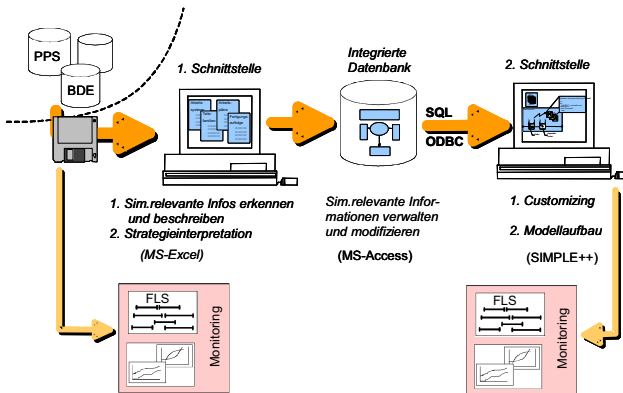


Abbildung 6-3: systemische Struktur des Prototypen zur automatischen Simulationsmodellgenerierung

Bei der technischen Realisierung des Prototypen zur automatischen Modellgenerierung wurde auf allgemein verfügbare Standardsoftware zurückgegriffen (siehe Abbildung 6-3): Die Auswahl der simulationsrelevanten Daten und die Strategieinterpretation (1. Schnittstelle) wurde in Microsoft Excel bzw. mit Hilfe der Makrosprache „Visual Basic“ umgesetzt. Der Modelleditor basiert auf der Microsoft-Software Access (2. Schnittstelle). Für den Simulator wurde mit dem Produkt SIMPLE++\* auf eine Spezialsoftware zurückgegriffen. Dabei war zunächst die Verfügbarkeit der Software am Lehrstuhl für Montagesystemtechnik und Betriebswissenschaften verantwortlich. Der objektorientierte Aufbau der Software lässt eine geeignete Strukturierung von Modellbausteinen und die Vererbung von Eigenschaften zu. Die Auswahl der Software hat sich somit als geeignet erwiesen.

\* ) Aktuelle Versionen der Software werden von der Firma Tecnomatix unter der Bezeichnung eM-Plant vertrieben.



Im Rahmen der prototypischen Realisierung der automatischen Modellgenerierung wurde auf die direkte Anbindung an das Daten bereitstellende System verzichtet. Das Daten bereitstellende System ist entweder das verwendete BDE-System oder ein übergeordnetes PPS-System, in dem die Rückmeldedaten des BDE-Systems verwaltet werden. Aus Gründen der Aufwandsminimierung und der Tatsache, dass ein Dauereinsatz der prototypischen Lösung nicht erreicht werden soll, wurde die Anbindung dateibasiert realisiert: Über Abfragen im bereitstellenden Informationssystem werden Daten in eine Datei gespeichert und nachfolgend diese Datei an das prototypische System zur Modellgenerierung übergeben.

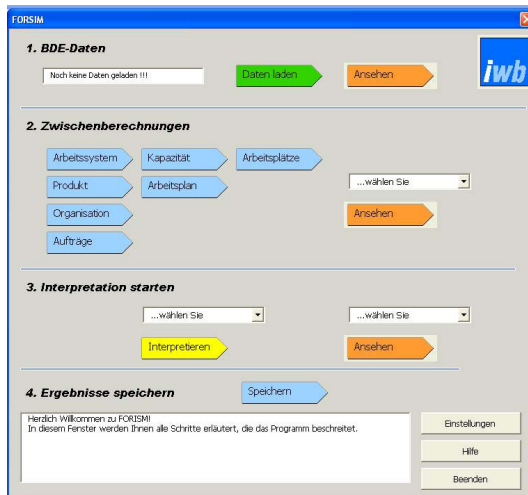


Abbildung 6–4: prototypische Benutzeroberfläche der 1. Schnittstelle

In der Schnittstelle 1 werden die aus den Informationssystemen stammenden Datensätze nach simulationsrelevanten Informationen durchsucht. Entsprechend dem zweistufigen Vorgehen ist auch die Benutzeroberfläche dieser Schnittstelle aufgebaut (siehe Abbildung 6–4). Im ersten Schritt wird die zu verwendende Datenquelle (Text- bzw. Excel-Datei) ausgewählt. Im zweiten Schritt werden für die relevanten Objekte der Produktion (Aufträge, Arbeitssysteme, Produkte etc.) die vorhandenen Informationen und Eigenschaften gebündelt. Im dritten Schritt werden, aufbauend auf den Erkenntnissen des vorangegangenen Schrittes, Abläufe und Strategien der Produktionssteuerung interpretiert; der Nutzer kann sich das jeweilige Ergebnis der Datenaufbereitung anzeigen lassen. Außerdem wird er

## 6.1 System zur automatischen Generierung von Simulationsmodellen

über den aktuellen Arbeitsfortschritt des Systems mit Hilfe eines Textfeldes informiert.

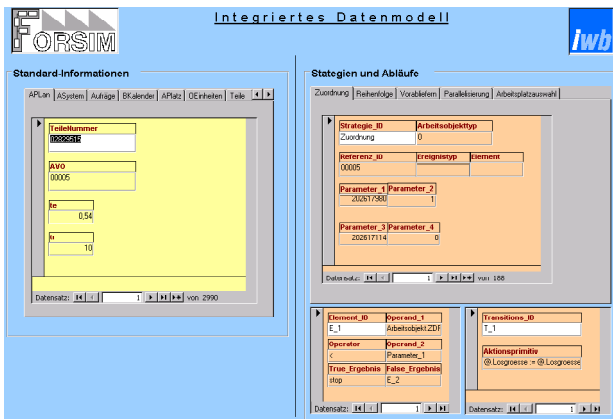


Abbildung 6–5: prototypische Benutzeroberfläche der integrierten Datenbank (Modelleditor)

Im Rahmen des integrierten Datenmodells besteht die Möglichkeit, alle simulationsrelevanten Informationen im Überblick zu betrachten. Von größerer Bedeutung ist allerdings die Tatsache, dass an dieser Stelle auch Modifikationen an der Datenbasis vorgenommen werden können (siehe Abbildung 6–5). Während auf der linken Hälfte der Eingabeoberfläche vor allem Strukturinformationen und die Systemlast betrachtet und ggf. modifiziert werden können, werden auf der rechten Hälfte die identifizierten Strategien und Abläufe dargestellt. Die Teilungen dieser Hälfte in drei Felder entsprechen dem Identifikationsteil, dem Bedingungs- und dem Aktionsteil (siehe 5.1.2.4).

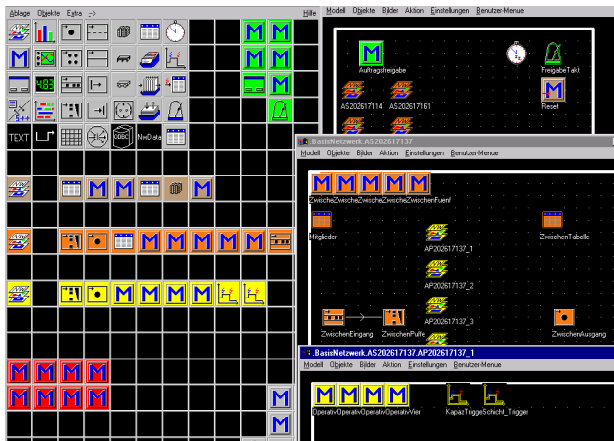


Abbildung 6–6: Beispiel eines automatisch generierten Simulationsmodells

Mittels eines singulären, graphisch repräsentierten Befehls können die simulationsrelevanten Daten inklusive der definierten Szenarien in ein Simulationsmodell umgesetzt werden. Die Verbindung zwischen Datenbank und Simulator beruht auf ODBC<sup>\*)</sup>. Der Nutzer selbst muss in den Modellaufbau nicht mehr eingreifen. Im Simulationssystem werden entsprechend den Informationen aus der Datenbank Bausteine ausgewählt, in die Modellstruktur platziert, miteinander verknüpft und parametrisiert (siehe Abbildung 6–6). In der linken Hälfte der Abbildung sind die generischen Bausteine zu erkennen. Auf der rechten Seite der Abbildung sind entsprechend den Angaben in dem Datenmodell Bausteine ausgewählt, dupliziert, parametrisiert und in das Modellnetzwerk eingefügt worden. Die Steuerung dieses Vorgehens wird über einen Programmcode (Methode) innerhalb des Simulators realisiert. Dieses Programm ist unabhängig von Art und Umfang der zu generierenden Simulationsbausteine.

Mittels dieses prototypischen Aufbaus konnte nachgewiesen werden, dass es möglich ist, Simulationsmodelle inklusive der Angaben zu Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung weitgehend automatisiert zu generieren. Im nächs-

<sup>\*)</sup> ODBC - Open Database Connectivity: ein Microsoft Windows Standard, der die Einbindung verschiedener Datenbanken ermöglicht.

## **6.1 System zur automatischen Generierung von Simulationsmodellen**

---

ten Abschnitt wird ein geeignetes Einsatzszenario für dieses prototypische System vorgestellt.

## **6.2 Industrieller Einsatz des prototypischen Systems**

In diesem Abschnitt werden die in Kapitel 5 entwickelten Konzepte zur Beschreibung und Interpretation von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung im Rahmen des im vorherigen Kapitel beschriebenen prototypischen Systems an einem realen industriellen Szenario angewandt und verifiziert.

Das Szenario wird durch eine Aufgabenstellung der Rohde&Schwarz Messgerätebau GmbH (Rohde&Schwarz) repräsentiert. Die Rohde&Schwarz Messgerätebau GmbH in Memmingen ist ein international tätiges Unternehmen, das im Rahmen der Rohde&Schwarz Firmengruppe für die Herstellung einer vielfältigen Produktpalette elektronischer Messgeräte im Bereich der Hochfrequenztechnik zuständig ist. In Memmingen fertigen ca. 850 Mitarbeiter elektronische Schaltungen und montieren diese zu Endgeräten.

Die besondere Komplexität der Produktionslogistik bei Rohde&Schwarz kann zum einen an der großen Anzahl unterschiedlicher Produkte abgelesen werden: Pro Jahr werden ca. 28.000 Geräte mit 1.940 unterschiedlichen gedruckten Schaltungen vertrieben. Dazu kommen zunehmende Forderungen der Kunden nach rascher Belieferung; deshalb ist die Erreichung einer kurzen, verlässlichen Durchlaufzeit in der Fertigung das vorherrschende Zielkriterium: Rohde&Schwarz möchte bedarfsorientiert und in kleinen Losen den Kunden individuelle Produkte liefern.

Vor diesem Hintergrund treten gerade in der Fertigung der gedruckten Schaltungen bei Rohde&Schwarz immer wieder Fragen auf, wie der bestehende Fertigungsablauf nachhaltig beschleunigt werden kann: Welche dispositiven Parameter sind geeignet? Oder kann eine Änderung der Fertigungsstruktur die Durchlaufzeit signifikant verkürzen? Die Beantwortung dieser Fragen kann durch simulative Abbildung der Produktionslogistik unterstützt werden. In der Vergangenheit ist die Simulationstechnik für die Beantwortung dieser Fragen nicht herangezogen worden, weil ein zu großer Aufwand bei der Erstellung der Modelle und Experimente befürchtet wurde und darüber hinaus das notwendige Simulations-Know-how nicht vorhanden war. Durch den Einsatz des hier vorgestellten

Vorgehens zur Modellgenerierung können diese Ausschlussgründe umgangen werden.

Für die Umsetzung des Prototyps zur automatischen Simulationsmodellgenerierung wurde ein Teilbereich der Fertigung von gedruckten Schaltungen ausgewählt. Dieser Bereich ist heterogen in Werkstätten und Fertigungslinien strukturiert. Die produktiven Tätigkeiten im ausgewählten Bereich beschäftigen sich vor allem mit der automatischen und manuellen Bestückung von Flachbaugruppen, die von ca. 200 Mitarbeitern durchgeführt werden. Ein Großteil der Arbeitsplätze ist im Bereich der manuellen Bestückung angesiedelt. Die übrigen Mitarbeiter sorgen im Bereich der automatischen Bestückung für einen reibungsfreien Betrieb und für die Materialversorgungen der SMD-Bestückungslinien. Die Flachbaugruppen werden nach verschiedenen Prüfungen zu kompletten Anlagen montiert. Die Endmontage ist nicht im Rahmen der prototypischen Umsetzung betrachtet worden.

Die gesamte Versorgung der Arbeitsplätze und Maschinen geschieht über ein automatisiertes Logistiksystem. Dies betrifft sowohl die Versorgung mit Einzelteilen als auch die automatisierte Bereitstellung und den Weitertransport der Produkte (Flachbaugruppen). An das Logistiksystem ist die Betriebsdatenerfassung gekoppelt. Dies bedeutet, dass bei jeder Aus- und Einschleusung von Materialien und Produkten BDE-Meldungen vorgenommen werden. Dadurch ist gewährleistet, dass Rückmeldungen vollständig und in guter Qualität vorhanden sind. So ist die wesentlichste Voraussetzung für den Einsatz der automatischen Modellgenerierung nach dem vorgestellten Lösungskonzept gegeben.

Im Rahmen der Verifizierung des Lösungsansatzes standen insbesondere zwei Test-Fragestellungen im Fokus:

1. Wie verändert sich das Auftragsdurchlaufzeitverhalten, wenn unterschiedliche Abfertigungsstrategien bevorzugt werden?
2. Können Vorteile im Durchlaufzeitverhalten erreicht werden, wenn Einheiten aus den Werkstätten zu Fertigungsinseln zusammengefasst werden?

Besonders die zweite Frage ist nicht umfassend mit der Simulationstechnik allein zu beantworten, denn die Einführung von Fertigungsinseln kann Potenziale ansprechen, die nur schwer im Rahmen logistischer Untersuchungen berücksichtigt werden können (z.B. Steigerung der Arbeitseffizienz durch

bessere Abstimmung in der Gruppe, durch höhere Motivation etc.). Die Fragestellungen wurden jedoch gewählt, um die Handhabbarkeit des Systems bei größeren Modifikationen im Rahmen der Szenariodefinition zu testen. In der Tat hat sich gezeigt, dass die Definition von Szenarien prinzipiell problemorientiert möglich sind, jedoch eine weitergehende Unterstützung des Nutzers wünschenswert wäre. Gerade bei der Umgruppierung von Arbeitssystemen und der Neudefinition von Arbeitsplänen sollte das System die Verknüpfung von Änderungen zu bestehenden Elementen der Datenbasis aufzeigen können. Dieses Anforderungen werden in das Lösungskonzept noch zu integrieren sein.

Im Rahmen dieser Arbeit wird insbesondere auf die beispielhafte Verarbeitung von Abläufen der Produktionssteuerung eingegangen. Dazu werden zu den jeweiligen Ebenen bzw. Vorgehensschritten die jeweiligen Ergebnisse dargestellt.

Bei Rohde&Schwarz werden auf den unterschiedlichen Planungsebenen verschiedene Planungs- und Steuerungssysteme eingesetzt. Über Datenbankabfragen können Datensätze aus diesen Systemen extrahiert werden, die für die automatische Modellerstellung benötigt werden. Wichtiges Auswahlkriterium ist u.a. der Betrachtungszeitraum. Diese Datensätze können ohne große Aufwendungen in die 1. Schnittstelle eingelesen werden; der Zustand der Datensätze vor der Aufbereitung in der Schnittstelle ist ausschnittsweise in Abbildung 6–7 erkennbar.

## 6 Prototypische Anwendung

Microsoft Excel - eingangswdaten.110699.xls																
Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Daten Fenster ?																
175 100123																
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N			
22	0563040	10626409	02	623588	002	52		9	202617137	00120		07.01.99	3668	3669	3669	367
23	0569451	10626409	02	623588	002	58		9	202617137	00120		07.01.99	3669	3670	3669	367
24	0563011	40302713	02	625111	003	51		10	202617137	00120		07.01.99	3668	3669	3668	368
25	0563620	10626409	02	623588	002	59		10	202617137	00120		07.01.99	3669	3670	3669	367
26	0569573	10626409	02	623588	002	60		15	202617137	00120		07.01.99	3669	3670	3669	367
27	0591850	10626409	02	623588	002	61		21	202617137	00120		07.01.99	3669	3670	3669	367
28	0567127	40480306	02	625551	003	00		1	202617137	00120		08.01.99	3669	3670	3669	367
29	0566926	40480306	02	625551	003	50		27	202617137	00120		08.01.99	3669	3670	3669	367
30	0562570	40052559	02	626059	001	52		1	202617930	00005		11.01.99	3671	3671	3671	367
31	0579170	10522200	02	625043	003	01		2	202617930	00060		11.01.99	0	0	3669	368
32	0563617	10522200	02	625043	003	02		3	202617930	00060		11.01.99	0	0	3669	368
33	0560702	40052559	02	626059	001	51		3	202617980	00005		11.01.99	3671	3671	3671	367
34	0558114	40052559	02	626059	001	00		6	202617980	00005		11.01.99	3671	3671	3671	367
35	0568377	07422120	02	626131	002	00		6	202617980	00005		11.01.99	3670	3670	3670	367
36	0568429	10828659	02	616634	005	51		7	202617137	00120		11.01.99	3674	3675	3674	367
37	0558134	06418124	03	625952	001	00		8	202617980	00005		11.01.99	3670	3670	3670	367
38	0566161	40052559	02	626059	001	50		8	202617980	00005		11.01.99	3671	3671	3671	367
39	0538956	10828659	02	616634	005	00		11	202617137	00120		11.01.99	3674	3675	3674	367
40	0566919	10828659	02	616634	005	52		11	202617137	00120		11.01.99	3674	3675	3674	367
41	0565461	10828659	02	616634	005	50		17	202617137	00120		11.01.99	3674	3675	3674	367
42	0565732	10522200	02	625043	003	00		19	202617930	00060		11.01.99	0	0	3669	368
43	0568115	40303790	03	626069	003	00		24	202617980	00005		11.01.99	3669	3669	3670	367
44	0568193	60915250	02	625162	001	50		36	202617930	00060		11.01.99	3668	3668	3670	367
45	0560950	10512407	02	620351	001	51		47	202617140	00193		11.01.99	3695	3695	3664	368
46	0540656	20354857	02	828937	002	00		1	202657113	00196		12.01.99	3671	3671	3668	367
47	0562843	20354857	02	828937	002	05		1	202657113	00196		12.01.99	3671	3671	3668	367
48	0562570	40052559	02	626059	001	52		1	202617139	00008		12.01.99	3671	3671	3672	367
49	0562570	40052559	02	626059	001	52		1	202617930	00060		12.01.99	3671	3671	3671	367
50	0570945	60772512	02	624696	002	02		2	202657116	00196		12.01.99	3668	3670	3669	367
51	0566500	10849300	04	625488	002	50		2	202617138	00123		12.01.99	3669	3674	3669	367
52	0575421	20354857	02	828937	002	04		3	202657113	00196		12.01.99	3671	3671	3668	367
53	0560702	40052559	02	626059	001	51		3	202617139	00008		12.01.99	3671	3671	3672	367
54	0560702	40052559	02	626059	001	51		3	202617930	00060		12.01.99	3671	3671	3671	367
55	0567562	10832090	02	625771	001	00		4	202617980	00005		12.01.99	3670	3670	3670	367
56	0569277	10661760	05	627430	001	00		4	202617980	00005		12.01.99	3672	3672	3672	367
57	0568393	60143005	02	626189	003	00		4	202617980	00005		12.01.99	3670	3670	3670	367
58	0565730	20326159	03	823485	001	00		5	202617139	00008		12.01.99	3670	3670	3670	367

Abbildung 6-7: Ausschnitt aus den BDE-Daten bei Rohde&Schwarz

Zur Vorbereitung der Strategie-Interpretation ist Expertenwissen notwendig, um die theoretisch mögliche Gesamtheit der Strategien einzuschränken. Die möglichen Mustermerkmale des Strategieclusters werden dann wie in Kapitel 5.3.2 beschrieben ermittelt.

In Tabelle 6-1 ist das Zwischenergebnis eines Interpretationslaufs im Rahmen des Strategieclusters „Ressourcenauswahl“ dargestellt. Referenzobjekt ist das Arbeitssystem. Anwendungsorientierte Merkmale der Ressourcenauswahl sind der zu bearbeitende Arbeitsgang und die zu bearbeitende Produktgruppe. Die Basiskategorien (auslastungsorientiert, qualifikationsorientiert, rüsttechnische Basiskategorien) können in diesem Fall nicht eindeutig zugeordnet werden. Der gemeinsame Einfluss dieser Kategorien wird in der Wahrscheinlichkeit der jeweiligen Wahl des Arbeitssystems deutlich.

## 6.2 Industrieller Einsatz des prototypischen Systems

---

Arbeitsgang	Produktgruppe	Arbeitssystem	Wahrscheinlichkeit
5		20 261 7980	100%
196	0	20 265 7111	58%
196	0	20 261 7114	42%
196	1	20 261 7114	91%
196	1	20 265 7113	9%
196	2	20 265 7113	93%
196	2	20 265 7115	7%

*Tabelle 6-1: Zwischenergebnis (Ausschnitt) eines Interpretationslaufs (Strategiecluster „Ressourcenauswahl“)*

Reihenfolgeentscheidungen bilden den zweiten Strategiecluster, der berücksichtigt wurde. In diesem Cluster sind eine Reihe von Grundregeln (z.B. KOZ, FiFo) enthalten, die in der Praxis kaum in reiner Form ermittelt werden können. In Abbildung 6–8 wird anschaulich das reale Reihenfolgeverhalten für ein Arbeitssystem bei Rohde&Schwarz dargestellt. Ein Punkt im Koordinatensystem repräsentiert die Rückmeldung eines Auftragsloses. Die Korrelation der eingetragenen Punkte mit der Winkelhalbierenden der Koordinatenachsen zeigt die Einhaltung der Grundregel FiFo auf. Das Streuungsverhalten macht deutlich, dass diese Grundregel zumindest durch weitere Regeln überlagert wird.



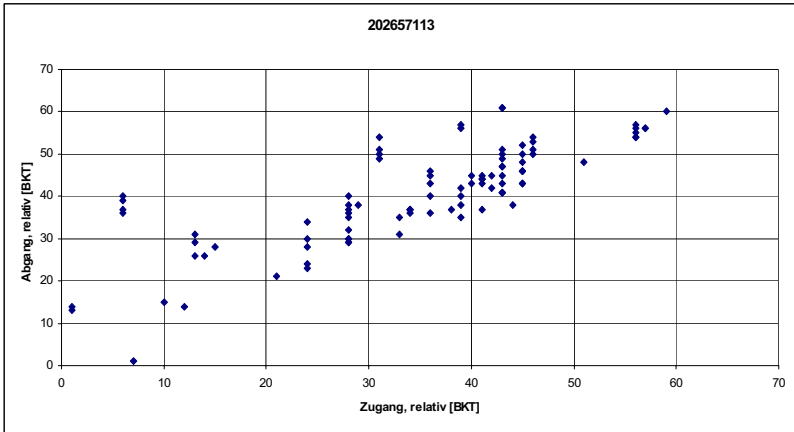


Abbildung 6–8: beispielhafte Korrelationsuntersuchung zur Identifizierung der Grundregel FiFo (Strategiecluster „Reihenfolgeregeln“)

In ähnlicher Form können weitere (Grund-)Regeln überprüft werden. In Tabelle 6-2 sind entsprechende Ergebnisse für eine Reihe von Arbeitssystemen (Referenzobjekt) für die Regeln KOZ und dringendster Soll-Fertigstellungstermin („Termin“) ausgeführt. Als besonderes anwendungsbezogenes Kriterium wurde hierbei noch die Auslastung der Arbeitssysteme zum Zeitpunkt der Reihenfolgeentscheidung in der Auswertung miteinbezogen.

Arbeits-system	Unterdurchschnittliche Belastung			überdurchschnittliche Belastung		
	FiFo	KOZ	Termin	FiFo	KOZ	Termin
20 265 7113	81%	8%	11%	64%	21%	15%
20 265 7111	54%	28%	19%	45%	10%	45%
20 261 7161	62%	25%	14%	95%	0%	5%
20 261 7131	72%	8%	20%	85%	3%	12%

Tabelle 6-2: beispielhaftes Ergebnis der Datenaufbereitung zur Reihenfolgebestimmung

## 6.2 Industrieller Einsatz des prototypischen Systems

Das Ergebnis der Identifikation und Interpretation der Abläufe der Produktionssteuerung wird im entwickelten Metamodell fixiert. In Abbildung 6–9 ist für das Strategiecluster „Losgrößenbildung“ eine Strategie zum Vorabliefern in der Notation des Beschreibungsmodells an einem Arbeitssystem bei Rohde&Schwarz dargestellt.

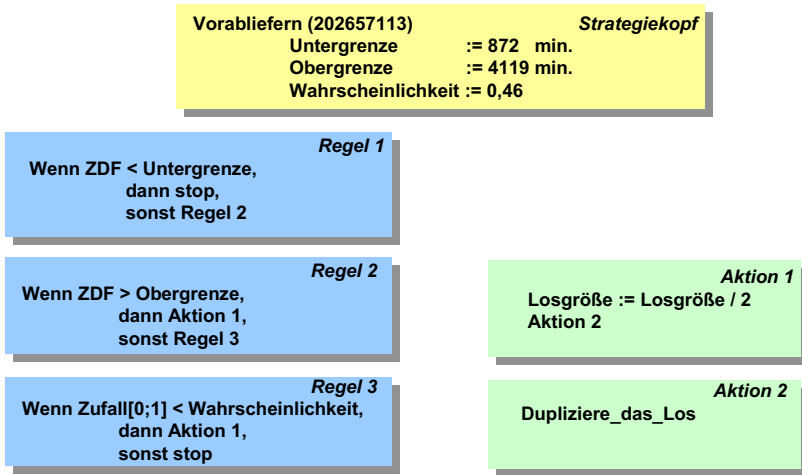


Abbildung 6–9: beispielhafte Darstellung der Strategie „Vorabliefern“

In dem Beispiel werden zunächst mit dem Arbeitsinhalt (ZDF = Durchführungszeit) des Auftragsloses technische Bedingungen geprüft. Für diese technischen Bedingungen gibt es eindeutige Grenzwerte, bei deren Über- bzw. Unterschreiten das aktuelle Auftragslos geteilt oder nicht geteilt wird (siehe Regel 1 und Regel 2). Zwischen diesen technischen Grenzwerten werden kapazitive, terminliche und sonstige anwendungsbezogene Kriterien zu einer Wahrscheinlichkeit aggregiert (Regel 3).

Bei der anschließenden Simulationmodellgenerierung wird auf diese Informationen aus dem Datenmodell zurückgegriffen und werden entsprechende Verknüpfungen in die Modellbausteine integriert sowie Steuerungsparameter zugeordnet.

Der Einsatz der Vorgehensweise bei Rohde&Schwarz hat die prinzipielle Eignung für die Praxis bewiesen. Um einen überhöhten Aufwand bei der Einführung der Vorgehensweise zu vermeiden, wäre der Zugriff auf eine Bibliothek von möglichen Formen von Strategien und Abläufen und ihre jeweiligen Entschei-

dungsgrößen sinnvoll. Solange dies nicht der Fall ist, muss eine intensive Phase der Betriebsdatenanalyse der Einführung der automatischen Simulationsmodellgenerierung vorausgehen.

---

## 7 Bewertung

Mit der entwickelten Vorgehensweise zur Interpretation und Beschreibung von Abläufen und Strategien der Produktionssteuerung sind die Anforderungen erfüllt, um die betriebsbegleitende Simulation auch in turbulenten betrieblichen Umfeldern effizient einsetzen zu können (siehe Tabelle 7-1).

	Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an die betriebsbegleitende Simulation
A1	Das zugrunde liegende Simulationsmodell muss schnell und effizient an die aktuelle Betriebssituation der Produktion anpassbar sein.
A2	Der hohe Detaillierungs- und Vertrauensgrad der Simulationsergebnisse muss eine direkte Umsetzung ermöglichen.
A3	Die betriebsbegleitende Simulation muss in die alltäglichen Abläufe der Produktionsplanung und -steuerung integrierbar sein.

*Tabelle 7-1: Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an die betriebsbegleitende Simulation (vgl. Tabelle 3-3)*

Durch die Möglichkeit der Automatisierbarkeit der Vorgehensweise ist insbesondere die Integration in die alltäglichen Abläufe der Produktionsplanung und –steuerung möglich (A3). Die Berücksichtigung von Abläufen und Strategien bei der automatisierten Modellgenerierung lässt einen hohen Detaillierungs- und Vertrauensgrad zu (A2). Schließlich ist durch die Verwendung von realen Betriebsdaten bei der Vorgehensweise zur automatischen Simulationsmodellgenerierung eine schnelle Anpassung an eine reale und wechselnde Situation gegeben (A1).

Damit ist das vorrangige Ziel dieser Arbeit, die betriebsbegleitende Simulation im Kurzfristbereich dazu zu nutzen, die Entscheidungsunterstützung im Rahmen von Fragestellungen der Produktionsplanung und –steuerung zu verbessern (siehe Kapitel 4), erreicht: Es wurden Methoden und Vorgehensweisen definiert, um die dynamischen Zusammenhänge der Produktion, die sich in den logistischen Abläufen niederschlagen, auf effiziente Art für eine Verwendung bei der Simulationsmodellgenerierung einsetzen zu können. Somit ist eine automatische und damit effiziente Generierung von Simulationsmodellen möglich. Es können letzt-

lich ausreichend valide und aufwandsarm erzeugte Simulationsmodelle zur Verfügung gestellt werden.

An dieser Stelle kann über die technische Bewertung hinaus auch die Wirtschaftlichkeit der Lösung positiv diskutiert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Vorgehensweise zur Beschreibung und Interpretation von Abläufen und Strategien zur Produktionssteuerung auf informationstechnischen, digitalen Werkzeugen und vor allem Methodiken aufbauen. Diese wiederum werden von Mitarbeitern bzw. Ressourcen in Planungsprozessen eingesetzt; erfolgswirksam sind nur die Planungsprozesse. Der Erfolg der Planungsprozesse hängt weiterhin auch von den Einsatzbedingungen und der Komplexität des jeweiligen Planungsobjekts ab. Es ist daher nicht möglich, anhand von Planungsaufwendungen und den Planungsergebnisse direkt auf die Wirkung digitaler Werkzeuge oder Methoden zu schließen, weil durch die Art und Weise des Ressourceneinsatzes und der Prozessgestaltung mögliche Einflüsse überlagert und verändert werden (siehe Abbildung 7-1).

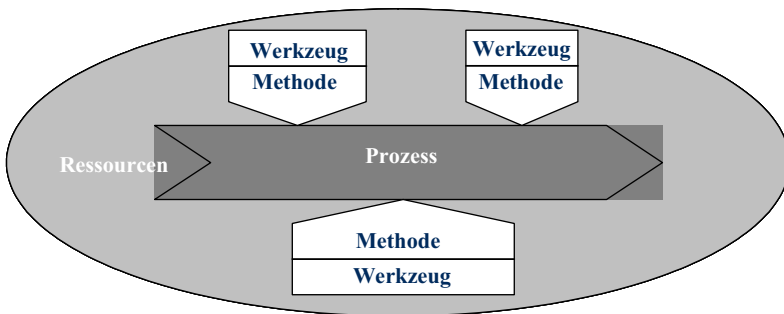


Abbildung 7-1: Modell zur Wirkkette der entwickelten Vorgehensweise

In der Theorie wäre damit der Nutzen der vorgestellten Vorgehensweise nur dann quantifizierbar, wenn unter vergleichbaren Voraussetzungen derselbe Planungsprozess in zwei gleichen Systemen einmal mit und einmal ohne entwickelte Vorgehensweise durchgeführt würde. Dies ist im Rahmen dieser Arbeit nicht zu bewerkstelligen. Derartige Laborbedingungen können bei einem industriellen Einsatz in der produktionstechnischen Forschung ausgeschlossen werden.

Um dennoch die wirtschaftlichen Wirkzusammenhänge auch unter quantitativen Gesichtspunkten einschätzen zu können, werden in einem Treiberbaum zusätzliche Aufwendungen und zusätzlicher Nutzen der automatischen Modellgenerie-

rung unter Verwendung der erarbeiteten Vorgehensweise einander gegenübergestellt (siehe Abbildung 7–2).

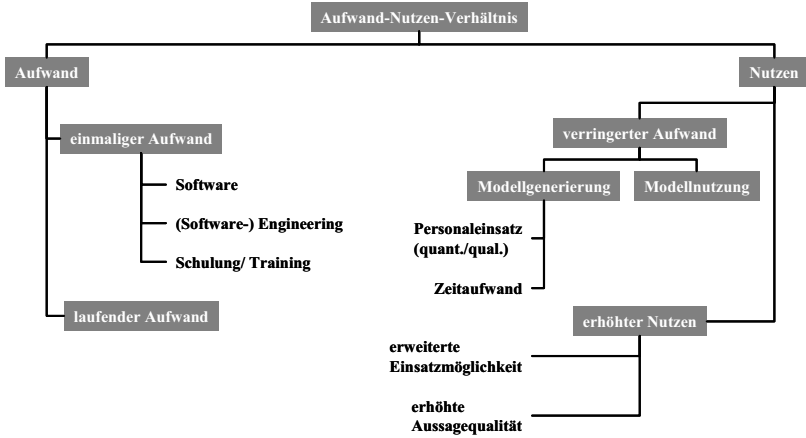


Abbildung 7–2: Aufwand–Nutzen–Verhältnis der automatischen Simulationsmodellgenerierung

**Einmaliger Aufwand:**

Der einmalige Aufwand für die Implementierung einer Vorgehensweise zur automatischen Modellgenerierung umfasst auf der einen Seite Kosten für Software und auf der anderen Seite Software–Engineeringkosten. Die Softwarekosten im Rahmen der prototypischen Entwicklung sind zu vernachlässigen. Die verwendeten Standardprogramme MS–Excel und MS–Access sind zumeist Teil der Grundausstattung eines industriellen Büro–PCs. Die Kosten für eine ereignisdiskrete Simulationssoftware können hingegen je nach Programm zwischen 10.000 bis 40.000 € betragen. Die im Prototyp zum Einsatz gekommene Software SIMPLE++ (eM–Plant) ist dabei dem oberen Preissegment zuzuordnen. Da es sich an dieser Stelle allerdings um eine wirtschaftliche Betrachtung der automatischen Modellgenerierung im Vergleich zur konventionellen Modellerstellung geht, könnte davon ausgegangen werden, dass eine Simulationssoftware bereits beim Anwender vorhanden ist. Aufgrund der veränderten Einsatzbedingungen und der hohen Anforderungen an die Simulationssoftware werden Änderungen in Art und Umfang der Lizenzierung wahrscheinlich sein.

Weitere einmalige Aufwendungen sind mit der Schulung der Nutzer verbunden. Allerdings ist es gerade ein Ziel der Automatisierung, keine Simulationsexperten für die Simulationsmodellerstellung einsetzen zu müssen. Daher kann dieser Aufwand sicherlich unter eine Personen–Woche begrenzt werden.

Ein deutlich höherer Aufwand ist dem Software–Engineering zuzurechnen: Zur Einführung müssen in einer Analyse–Phase die „gelebten“ Strategien identifiziert und die Grundmuster der Strategien um anwendungsspezifische Eigenschaften ergänzt werden. Weiterhin ist sowohl zur Einführung als auch bei größeren strukturellen Änderungen eine Anpassung der Modellgenerierung als auch der Simulationsbausteine sinnvoll. Ebenso ist einmalig eine Gestaltung der Schnittstelle zum Betriebsdatenerfassungssystem notwendig. Dies umfasst die Identifizierung der benötigten Datensätze und die Beschreibung einer entsprechenden Abfrageroutine. Die genannten Aufwendungen sind vom Umfang des Modells, der Komplexität und Variabilität der Abläufe sowie der Qualität der bereitgestellten Daten abhängig. Ein Aufwand größer als drei Personen–Monate ist unwahrscheinlich.

### **Laufender Aufwand:**

Im Vergleich zur konventionellen Modellgenerierung sind bei der automatisierten Simulationsmodellgenerierung keine hohen laufenden Aufwendungen zu erwarten. Ggf. kann der regelmäßige Bedarf an aktuellen Betriebsdaten Aufwand verursachen. Auf der anderen Seite ist dieser Aufwand nach der Definition einer entsprechenden Abfrageroutine sehr gering. Auf keinen Fall ist er vergleichbar mit dem Aufwand, der heute zur Datenbeschaffung für konventionelle, planungsbegleitende Simulationsprojekte aufgebracht werden muss.

### **Verringerter Aufwand:**

Bei konventionell durchgeführten Simulationsprojekten sind 59% des Zeitaufwands den Tätigkeiten Datenakquisition, Datenbereinigung und Modellierung zugeordnet [REINHART & FELDMANN 1997] (siehe Abbildung 3–5). Diese Tätigkeiten fallen bei der automatischen Modellgenerierung nahezu vollständig weg. Bei einer mittleren Größe eines Simulationsprojekts von sechs Personen–Monaten entspricht das Einsparungen von gut drei Personenmonaten bei der automatischen Simulationsmodellgenerierung. Allerdings ist die Zahl tendenziell als untere Grenze zu bewerten, weil bei der betriebsbegleitenden Simulation die Anzahl der Simulationsstudien und damit auch die Anzahl der verschiedenen Simulationsmodelle höher als bei der konventionellen, planungsbegleitenden Simulation ist.

---

Neben der erhöhten Effizienz bei der Modellerstellung, die sich im geringeren Zeitaufwand widerspiegelt, ist auch die notwendige Qualifikation der Nutzer eine andere: Eigens ausgebildete Simulationsexperten sind für die Modellerstellung nicht mehr notwendig, ebenso wenig eine spezielle Simulationsausbildung für den täglichen Einsatz der betriebsbegleitenden Simulation. In den Vordergrund treten die produktionslogistischen Kenntnisse des Nutzers bei der Definition der Simulationsexperimente und der Bewertung der Ergebnisse. Die etablierten Mitarbeiter der Produktionsplanung und –steuerung können die betriebsbegleitenden Simulationsexperimente betreuen.

### **Erhöhter Nutzen:**

Ein erhöhter Nutzen der Simulation unter Verwendung der automatischen Modellgenerierung ist zum einen in den erweiterten Einsatzmöglichkeiten und zum anderen in der erhöhten Qualität der Simulationsergebnisse zu erkennen.

Gerade der oben beschriebene geringe Aufwand bei der Definition eines Simulationsexperiments und der Verzicht auf Simulationsexperten macht es möglich, kurzfristig auf die Simulationstechnik zurückzugreifen. Bei dem Ausfall von Kapazitäten, der Annahme eines neuen Produktionsauftrags oder ähnlichen Ereignissen kann die Simulation eingesetzt werden, um einerseits die Auswirkungen auf logistische Kenngrößen darzustellen und andererseits adäquate Reaktionen der Produktionsplanung und –steuerung zu bewerten. Insgesamt ist mit einer deutlichen Zunahme der Transparenz in der Produktionssteuerung zu rechnen. Dies ist allerdings nur dann möglich, wenn bei der automatischen Modellgenerierung auch die eingesetzten Abläufe und Strategien der Produktionssteuerung berücksichtigt werden, wie sie in dem hier vorgestellten Konzept vorgesehen werden. Nur dann können die Simulationsergebnisse das Maß an Detaillierung aufweisen, das für einen betriebsbegleitenden Einsatz notwendig ist.

Es ist unbestreitbar, dass sich eine erhöhte Transparenz und die Kenntnis der Wirkweisen einzelner Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung positiv auf Liefertreue, Durchlaufzeit, Umlaufbestände und Leistung auswirken können. Allerdings kann es aus oben beschriebenen Gründen (siehe Abbildung 7–1) an dieser Stelle nicht gelingen, direkt quantitative Faktoren zu nennen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die zusätzlichen Aufwendungen für die automatische Modellgenerierung im Vergleich zu den bestehenden Personal- und Sachaufwendungen in der Produktionsplanung und –steuerung gering sind.



Weiterhin sind die Aufwendungen zumeist einmalig und damit gut kontrollier- und limitierbar. Hingegen ist der Nutzen auf der anderen Seite dauerhaft über die gesamte Einsatzdauer. Der mögliche wirtschaftliche Erfolg der betriebsbegleitenden Simulation ist groß, allerdings nicht direkt berechenbar.

Bei einem kleinen und gut kontrollierbaren Aufwand für den Einsatz von betriebsbegleitenden Simulationsmethoden in der Produktionsplanung auf der einen und einem von keinem Experten in Frage gestellten deutlichen Nutzen, der aber kaum quantifiziert werden kann, auf der anderen Seite, ist das Risiko einer Fehlentscheidung beim Aufbau einer betriebsbegleitenden Simulationsumgebung gering.

---

## 8 Zusammenfassung und Ausblick

Nachdem die Arbeit entsprechend der Zielsetzung abgeschlossen wurde, wird an dieser Stelle das Vorgehen kurz zusammengefasst und in einem Ausblick Hinweise für mögliche weiterführende Arbeiten gegeben.

### 8.1 Zusammenfassung

Es wurde aufgezeigt, dass das neue Paradigma - nicht nur in der produzierenden Industrie - die ständige Veränderung ist. Entsprechend müssen auch die Methoden der Prognose, der Planung und der Steuerung der Produktion auf diese Unsicherheit mit neuen Ansätzen der Wandlungsfähigkeit reagieren können. Dabei wurde auch deutlich, dass die betriebsbegleitende Simulation das Potenzial besitzt, im Rahmen der Produktionsplanung und -steuerung kurzfristige Maßnahmen und Ansätze im Umgang mit der Veränderung des Umfelds zu bewerten.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wurde geprüft, inwieweit bestehende Lösungen in Praxis und Forschung auch in turbulenten Umfeldern geeignet sind. Dabei wurden sowohl allgemeine Methoden und Werkzeuge der Prognose und Planung als auch insbesondere die betriebsbegleitende Simulation betrachtet. In diesem Zusammenhang wurde deutlich, dass in erster Linie der automatischen Modellgenerierung im Zusammenhang mit der betriebsbegleitenden Simulation große Bedeutung zugemessen werden kann, weil einerseits die Qualität der Modelle gesichert als auch der Aufwand zur Modellerstellung reduziert werden kann. Allerdings wurde ebenso festgestellt, dass derzeit Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung noch nicht in ausreichendem Maße bei der automatischen Modellgenerierung Berücksichtigung finden konnten.

Somit hat sich als Zielstellung für diese Arbeit die Identifikation und Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung zur automatischen Simulationsmodellgenerierung ergeben. Nachdem zunächst ein Beschreibungsmodell für Abläufe und Strategien der Produktionssteuerung entwickelt wurde, konnten anschließend diese Beschreibungen genutzt werden, um Muster von Strategien und Abläufen in betrieblichen Informationssystemen zu identifizieren und zu interpretieren. Damit waren die Grundlagen definiert, um abschließend diese Form der Interpretation in ein Vorgehen zur automatischen Simulationsmodellgenerierung zu integrieren.

Das beschriebene Lösungskonzept wurde in einem prototypischen System zur automatischen Simulationsmodellgenerierung umgesetzt. Zunächst erfolgte eine nähere Beschreibung des informationstechnischen Umfelds. Im zweiten Schritt wurden dann die Möglichkeiten eines industriellen Einsatzes am Beispiel der betriebsbegleitenden Simulation bei der Rohde&Schwarz Messgerätebau GmbH vorgestellt.

Es folgte eine abschließende Bewertung der Lösung sowohl vor dem Hintergrund der gestellten inhaltlichen Anforderungen an die Beschreibung und Identifikation von Strategien der Produktionssteuerung als auch hinsichtlich der wirtschaftlichen Relevanz.

### 8.2 Ausblick

Im Rahmen der Thematik der betriebsbegleitenden Simulation im Allgemeinen und der automatischen Simulationsmodellgenerierung im Speziellen konnten in dieser Arbeit nicht alle Bereiche hinreichend bearbeitet werden. Sowohl für die theoretische Absicherung der Vorgehensweise zur Modellgenerierung unter besonderer Berücksichtigung der Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung als auch für die praktische, industrielle Umsetzung kann durch zukünftige Forschungsprojekte nach Antworten in einigen Bereichen gesucht werden.

Weitere Forschungsarbeiten zur automatischen Modellgenerierung können sich vor allem auf Regeln zur Abfolge bei der Identifikation und Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung, auf Konzepte zum Ausgleich von Unschärfen und Konzepte zur Berücksichtigung von Potenzialbeschreibungen ausrichten.

Regeln zur Abfolge bei der Identifikation und Interpretation können zum Ziel haben, die Effizienz bei der automatischen Modellgenerierung deutlich zu steigern. So wurde bereits im Rahmen dieser Arbeit darauf hingewiesen, dass das Vorhandensein bestimmter Abläufe und Strategien die Vermutung bestätigen kann, dass auch eine oder mehrere andere abhängige Abläufe und Strategien in der untersuchten Produktion zum Einsatz kommen. Diese Abhängigkeiten konnten in der vorliegenden Arbeit nur unzureichend behandelt werden. Eine Vertiefung kann zur einer schnelleren und sicheren Modellerstellung führen.

Ebenfalls wurde in dieser Arbeit darauf hingewiesen, dass die Ursache für die Durchführung bestimmter Abläufe der Produktionssteuerung häufig außerhalb des Betrachtungssystems der Produktion liegt. Damit einher geht auch die Tatsache, dass für diese Abläufe nur eine stochastische, deskriptive Darstellung entwickelt werden konnte. Durch den Einsatz geeigneter Werkzeuge (ggf. Fuzzy-Sets, Neuronale Netze) könnten diese externen Einflüsse auf die vorgefundenen Abläufe in der Produktion bezogen werden. Damit wären kausale Beschreibungsformen möglich und stochastische Unschärfen ausgleichbar.

Der hier vorgestellte Ansatz zur Identifikation und Beschreibung der Abläufe und Strategien der Produktionssteuerung, aber auch aller weiteren Eingangsinformationen für die Simulationsgenerierung unter Verwendung von Betriebsdatenerfassungssystemen, impliziert den prinzipiellen Nachteil, dass nur die Elemente der Produktion in dem Simulationsmodell abgebildet werden können, die tatsächlich im Betrachtungszeitraum an Produktionsprozessen beteiligt gewesen sind. Ist der Betrachtungszeitraum hinreichend groß, kann mit diesem Vorgehen durchaus ein valides Simulationsmodell generiert werden. Allerdings lassen sich unerschlossene Potenziale oder Ressourcen, die im Betrachtungszeitraum nicht zum Einsatz gekommen sind, auf diese Weise nicht automatisiert im Simulationsmodell berücksichtigen. Ein Ansatz zur systematischen Einbeziehung ungenutzter Ressourcen und anderer Potenziale würde daher die Gültigkeit des in dieser Arbeit entwickelten Konzepts erweitern.

Der hier vorgestellte Prototyp ist durchaus geeignet, die Gültigkeit des Ansatzes zu belegen. Für einen täglichen Einsatz eignet er sich allerdings noch nicht. Insbesondere fehlt es für den Praxiseinsatz an einem intuitiv bedienbaren Modell- und Versuchseditor. Mit Hilfe dieses Editors sollte der Ingenieur der Produktionsplanung und -steuerung in der Lage sein, sicher und schnell Simulationsexperimente zu definieren. Dazu ist zum einen nötig, dass gewünschte Modifikationen an Modellelementen einfach und schnell ausführbar sind. Es ist allerdings auch sehr wichtig, dass Plausibilitätsprüfungen eingeschlossen sind, die Fehleingaben weitestgehend unmöglich machen. Dabei müssen mögliche Fehler sowohl auf produktionstechnischer Ebene (z.B. Kombination sich ausschließender Steuerungsstrategien) als auch auf simulationstechnischer Ebene (z.B. zu kurze Simulationsdauer bei hoher Varietät der Modellkomponenten) ausgeschlossen werden.

Sowohl die Erarbeitung der vorgeschlagenen Forschungsthemen als auch das zuletzt genannte Beispiel zur Verbesserung der Praxistauglichkeit sind geeignet,

die Methodik der betriebsbegleitenden Simulation mittelfristig in der Produktionsplanung und –steuerung der Produktionsunternehmen zu etablieren. Dabei darf allerdings nie übersehen werden, dass auch die Simulation nur eine Methode ist, um die Auswirkung von Maßnahmen und Ereignissen darzustellen und zu bewerten. Sie soll und kann die Arbeit in der Produktionsplanung und –steuerung erleichtern und die Qualität der Arbeit erhöhen. Eine Optimierung der Abläufe und die Auswahl adäquater Strategien bleiben jedoch weiterhin den Mitarbeitern überlassen.

---

## 9 Literaturverzeichnis

[ANSORGE U.A. 1999A]

Ansorge, D.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Spielerisch die Realität erfahren. fertigung, März 1999; S. 68 – 69.

[ANSORGE U.A. 1999B]

Ansorge, D.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Simulationsmodelle erleichtern die PPS- und Leitsystemeinführung. VDI-Z (Spezial C-Techniken) März 1999; S. 60 – 62.

[ANSORGE U.A. 1999C]

Ansorge, D.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Neues Schulungskonzept – Logistische Wirkzusammenhänge in der Produktion müssen verstanden werden. Maschinenmarkt (MM) 105 (1999) 12; S. 70 – 73.

[ANSORGE U.A. 1999D]

Ansorge, D.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Produktionslogistik besser verstehen. In: Log-in 1999: Vom Kostendruck zur Innovationsdynamik: Tagung München, 19. und 21. Mai 1999, VDI-Gesellschaft FML. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1999 (VDI-Berichte; 1481).

[ANSORGE U.A. 2000]

Ansorge, D.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Understanding MRP and Using it Correctly. In: Zülch, G.; Rinn, A.(Hrsg.): Design and Application of Simulation Games in Industry and Services Proceedings of the 5th International Workshop on Simulation Games in Production Management. Karlsruhe. Volume 3 – 2000. Shaker, 2000, S. 212 – 221.

[BABEL 1997]

Babel, W.: Einsatzmöglichkeiten Neuronaler Netze in der Industrie. Renningen-Malmsheim: expert verlag, 1997.

[BAUMGARTEN U.A. 2003]

Baumgarten, H.; Sommer-Dittrich, T.; Friese, M.: Einsatz von Realoptionen zur effizienten Simulation wandlungsfähiger industrieller Strukturen. In: Simulation und Visualisierung 2003 (Tagungsband), 6. – 7. März, 2003, Magdeburg, S. 21 – 34.

[BLESSING U.A. 1996]

Blessing, S.; Kugelmann, D.; Reinhart, G.: Sichere Handhabung mit 3D-Simulation und visueller Sensorik. In: Schmidt, G.; Freyberger, F.(Hrsg.): Autonome mobile Systeme 1996. Berlin u.a.: Springer, 1996.

- [BLUMBERG 1991]  
Blumberg, F.: Wissensbasierte Systeme in der Produktionsplanung und –steuerung. Heidelberg: Physica Verlag, 1991.
- [BRÖDNER 1998]  
Brödner, P.: PPS – ein oft wirkungsloses Wundermittel. In: Maucher, I.(Hrsg.): Wandel der Leitbilder zur Entwicklung und Nutzung von PPS-Systemen. München: Hampp, 1998, S. 15 – 44.
- [BRONSTEIN & SEMENDJAJEW 1989]  
Bronstein, I.N.; Semendjajew, K.A.: Taschenbuch der Mathematik. Frankfurt a.M.: Verlag Harri Deutsch, 1989.
- [BÜNZ 1987]  
Bünz, D.: Die GRAI-Methode zur Analyse und zum Entwurf von Produktionsmanagement-Systemen. In: CIM Management 4 (1987) Nr. 2, S. 43 – 47.
- [CIOS U.A. 1998]  
Cios, K. J.; Pedrycz, W.; Swiniarski, R. W.: Data Mining Methods for Knowledge Discovery. Boston u.a.: Kluwer, 1998.
- [CISEK & SELKE 2002]  
Cisek, R.; Selke, C.: Mobile Produktion. In: Automobilproduktion (2002) 2.
- [CISEK U.A. 2002]  
Cisek, R.; Habicht, C.; Neise, P.: Gestaltung wandlungsfähiger Produktionssysteme. ZwF 97 (2002) 9.
- [DANGELMAIER & WARNECKE 1997]  
Dangelmaier, W.; Warnecke, H.-J.: Fertigungslenkung. Berlin u.a.: Springer, 1997.
- [DITTRICH 1996]  
Dittrich, J.: Simulationsgestützte Analyse und Konfiguration von PPS-Parametern. In: Fortschritte in der Simulationstechnik, Bd. 10. Braunschweig: Vieweg, 1996, S. 125 – 130.
- [DOMEINGTS 1984]  
Domeingts, G.: Methodology to Design Computer Integrated Manufacturing and Control of Manufacturing Unit. In: Rembold, U. (Hrsg.): Methods and Tools for Computer Integrated Manufacturing. Berlin u.a.: Springer, 1984.
- [DÜRRSCHMIDT & SELKE 2000]  
Dürschmidt, S.; Selke, C.: Erst denken – dann wandeln. Die Neue Fabrik 2000. Landsberg a.L.: mi-Verlag, 2000, S. 20–23.

- 
- [EFFERT & SELKE 1999]  
Selke, C.; Effert, C.: Fabrikplanung – Ablaufsimulation als Integrationskern. *iwb newsletter* 7 (1999) 4, S. 6.
- [ENNS & SUWANRUJI 2003]  
Enns, S. T.; Suwanruji, P.: A Simulation Test Bed for Production and Supply Chain Modeling. In: Chick, S.; Sanchez, P.; Ferrin, D.; Morrice, D. J. (Hrsg.): Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, IEEE, New Jersey.
- [FANDEL U.A. 1994]  
Fandel, G.; Francois, P.; Gubitz, K.-M.: PPS-Systeme. Berlin u.a.: Springer, 1994.
- [FELDMANN 1998]  
Feldmann, C.: Simulation für Produktionsplanung und Steuerung im Zusammenspiel mit SAP R/3. In: Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Ablaufsimulation – Anlagen effizient und sicher planen und betreiben. München: Utz, 1998, S. 109 – 119. (*iwb Seminarbericht* 35)
- [FELDMANN & REINHART 1997]  
Feldmann, K.; Reinhart, G. (Sprecher): Simulationsbasierte Entscheidungshilfsmittel für Organisation und Produktion. Ergebnisbericht zum 1. Forschungsjahr des Bayerischen Forschungsverbunds Simulationstechnik. Erlangen, Passau, München: Universität Erlangen–Nürnberg, Passau und TU München, 1997.
- [GAUSEMEIER U.A. 2003]  
Gausemeier, J; Grafe, M.; Matyscok, C.: Management industrieller Produktionsprozesse mit mobilen IT-Systemen. In: *Industrie Management*, 19 (2003) 6, S. 9-12.
- [GRONAU U.A. 2004]  
Gronau, N.; Wildemann, H.; Zäh, M.-F.: Entwicklung und Betrieb wandlungsfähiger Auftragsabwicklungssysteme. *Industrie Management*, 20 (2004) 2, S. 25 – 30.
- [GUMPERT & RITZSCHKE 1996]  
Gumpert, U.; Ritzschke, M.: Entwicklung eines simulationsgestützten Arbeitsplatzes für den Produktionsplaner. In: *Fortschritte in der Simulationstechnik*, Bd. 10. Braunschweig: Vieweg, 1996, S. 65 – 70.
- [GÜNZEL 1993]  
Günzel, U.: Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative und strategische Probleme der Produktionsplanung und –steuerung. München: Hanser, 1993. (*Fertigungstechnik–Erlangen* Nr. 34)



- [HARDER 1997]  
Harder, K.: Simulationsgestützter Leitstand. In: Kuhn, A.; Wenzel, S. (Hrsg.): Fortschritte in der Simulationstechnik, Bd. 11. Braunschweig: Vieweg, 1997, S. 119 – 127.
- [HEITMANN 1999]  
Heitmann, K.: Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle. München: Utz, 1999. (*iwb* Forschungsbericht Nr. 133)
- [HIRSCH 2000]  
Hirsch, B. E.: Generierung eines neutralen Formates zur Beschreibung von Simulationsmodellen für zu projektierende Fertigungsanlagen. In: Modellierung der Produktion, Abschlusskolloquium zum DFG–Schwerpunktprogramm, Hannover. Hannover: Institut für Fabrikanlagen, 2000.
- [JACOB & HÖHN 2000]  
Jacob, D.; Höhn, M.: Assembly of Semiconductors Based Microsystems with Sensor Guided Tools. In: Reichl, H. (Hrsg.): System Integration in Micro Electronics. Berlin: VDE, 2000, S. 193 – 202.
- [JULKA U.A. 2004]  
Julka, N.; Lendermann, P.; Chong, C. S.; Liow, L.-F.: Analysis and Enhancement of Planning and Scheduling Applications in a Distributed Simulation Testbed. In: Ingalls, R. G.; Rossetti, M. D.; Smith, J. S.; Peters, B. A. (Hrsg.): Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference, IEEE, New Jersey, S. 1799 – 1806.
- [JÜNEMANN 1996]  
Jünemann, R.: Logistiksysteme. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): Produktion und Management „Betriebshütte“. Berlin u.a.: Springer, 1996, S. 16–1 – 16–119.
- [KLUBMANN U.A. 1996]  
Klußmann, J.; Vöge, M; Krauth, J.: Neutrales Produktdatenmodell zur Einbindung der Simulation in betriebliche Abläufe. *wt–Produktion und Management* 86 (1996), S. 333 – 336.
- [KOBYLKA & WIRTH 1997]  
Kobylka, A.; Wirth, S.: Beitrag zur adaptiven Kopplung von statischer und dynamischer Fabrikplanungssoftware. Chemnitz: TU Chemnitz Zwickau, IBF, 1997. (Wissenschaftliche Schriftenreihe des IBF, Heft 13)

- 
- [KRIEG 1997]  
Krieg, M.: Gestaltung eines modularen Steuerungskonzeptes für die Materialflußsimulation unter Verwendung der Fertigungsleittechnik. Dresden: Fakultät für Maschinenwesen der TU Dresden, 1997.
- [KRIEG U.A. 1996]  
Krieg, M.; Völer, M.; Geipel, T.: Interaktive Kopplung zwischen Fertigungsleitstand und Materialflußsimulator. In: Fortschritte in der Simulationstechnik, Bd. 10. Braunschweig: Vieweg, 1996, S. 61 – 66.
- [KUHLE & SUMANT 2003]  
Kuhl, M. E.; Sumant, S. G.: A Flexible Procedure for Modeling Arrival Processes. In: Chick, S.; Sanchez, P.; Ferrin, D.; Morrice, D. J. (Hrsg.): Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, IEEE, New Jersey, 399 – 407.
- [KÜPPERS 1999]  
Küppers, B.: Data Mining in der Praxis. Frankfurt am Main: Peter Lang Verlag, 1999.
- [KURBEL 1993]  
Kurbel, K.: Produktionsplanung und –steuerung. München: Oldenbourg, 1993.
- [LORENZ 1998]  
Lorenz, P.: Simulationstechnik 1998: Chancen und Herausforderungen. In: Mertins, K.; Rabe, M. (Hrsg.): Erfahrungen aus der Zukunft. 8. ASIM–Fachtagung Simulation in Produktion und Logistik, Berlin, 16.–17. Februar 1998. Berlin: IPK Eigenverlag, 1998, S. 1 – 20.
- [LULAY 1999]  
Lulay, W.E.: Hybrid–hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen. München: Utz, 1999. (*iwb* Forschungsbericht Nr. 129)
- [MATERNE 1993]  
Materne, J.: Prognoseverfahren und –ergebnisse zur Technikentwicklung in der Produktionswissenschaft. München: 1993. (Produktionstechnik – Berlin)
- [MAUCHER & KIRLI 1998]  
Maucher, I.; Kirli, M.: PPS–System–Generationen – Konzepte, Schwachstellen, Alternativen. In: Maucher, I.: Wandel der Leitbilder zur Entwicklung und Nutzung von PPS–Systemen. München: Hampp, 1998, S. 45 – 105.

- [MEIER & HANENKAMP 2003]  
Meier, H.; Hanenkamp, N.: Monitoringsystem zur adaptiven Fabrikplanung – Entwurf integrierter Regelkreise zur Optimierung der Produktionsleistung. *wt Werkstattstechnik online*, 93 (2003) 4, S. 271 – 274.
- [MEIER U.A. 2000]  
Meier, H.; Bäcker, M.; Schallner, H.: MOBILEIT–S: Modellbasierte Simulation zur Entscheidungsunterstützung für die Fertigungssteuerung. *Industrie Management* 16 (2000) 3, S. 9 – 13.
- [MEIER U.A. 2004]  
Meier, H.; Tomko, P.; Hanenkamp, N.: Gestaltung wandlungsfähiger PPS-Systeme. In: *PPS Management* 9 (2004) 2, S. 10-12.
- [MERTENS 1996]  
Mertens, P.: Funktionen und Phasen der Produktionsplanung und –steuerung. In: Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.): *Produktion und Management „Betriebshütte“*. Berlin u.a.: Springer, 1996, S. 14–11 – 14–58.
- [MERTINS U.A. 1994]  
Mertins, K.; Süssenguth, W.; Jochem, R.: *Modellierungsmethoden für rechnerintegrierte Produktionsprozesse*. München: Hanser, 1994.
- [MILBERG 2003]  
Milberg, J.: Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art. In: Hoffmann, H.; Milberg, J.; Reinhart, G.; Zäh, M. (Hrsg.): *Münchener Kolloquium 2003*. München: Utz, 2003, S. 11 – 12.
- [MILBERG & SELKE 2002]  
Milberg, J.; Selke, C.: Automatic Building of Simulation Models. In: *Annals of the German Academic Society for Production Engineering*, 2002.
- [MILBERG U.A. 1997]  
Milberg, J.; Reinhart, G.; Löffler, T.: Audio Monitoring of Joining Processes. In: *Annals of the German Academic Society for Production Engineering IV (1997)* 2.
- [NITTKA 1996]  
Nittka, F.: Koordinierung der Fertigung in teilautonomen Bereichen durch Bestandsregelung und Simulation. Düsseldorf: VDI, 1996. (Fortschritts–Berichte VDI Reihe 2 Nr. 371)
- [NYHUIS & WIENDAHL 1999]  
Nyhuis, P.; Wiendahl, H.–P.: *Logistische Kennlinien*. Berlin u.a.: Springer, 1999.

---

[ORTMANN 1997]

Ortmann, L.: Zeitdynamische Simulation – neue Qualität für PPS–System und Leitstände. In: Kuhn, A.; Wenzel, S. (Hrsg.): Fortschritte in der Simulationstechnik, Bd. 11. Braunschweig: Vieweg, 1997, S. 128 – 135.

[PETERMANN 1996]

Petermann, D.: Modellbasierte Produktionsregelung. Düsseldorf: VDI, 1996. (Fortschrittsberichte VDI, Reihe 20)

[PETERMANN U.A. 2000]

Petermann, J.; Schlegel, A.; Weber, T.; Wefelscheid, J.: Simulationsunterstützungen für betriebliche Entscheidungen im operativen und dispositiven Bereich. *Industrie Management* 16 (2000) 3, S. 14 – 18.

[PUPPE 1988]

Puppe, F.: Einführung in Expertensysteme. Berlin u.a.: Springer, 1988.

[QIAO U.A. 2003]

Qiao, G.; Riddick, F.; McLean, C.: Data Driven Design and Simulation System based on XML. In: Chick, S.; Sanchez, P.; Ferrin, D.; Morrice, D. J. (Hrsg.): Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, IEEE, New Jersey.

[RAUH 1997]

Rauh, E.: Methodische Einbindung der Simulation in die betrieblichen Planungs- und Entscheidungsabläufe. Erlangen: Universität Erlangen, 1997.

[REINHART & ANSORGE 2001]

Reinhart, G.; Ansoerge, D.: Flexible Job Control with Degrees of Planning Scope. In: *Annals of the German Academic Society for Production Engineering VIII* (2001) 1, S. 117 – 122.

[REINHART & FELDMANN 1997]

Reinhart, G.; Feldmann, K.: Simulationstechnik – Schlüsseltechnologie der Zukunft? München: Utz, 1997.

[REINHART & SELKE 1999A]

Reinhart, G.; Selke, C.: Effiziente Erstellung von Simulationsmodellen durch Integration ins informationstechnische Umfeld. Feldmann, K.; Reinhart, G. (Hrsg.): *Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion*. Berlin u.a.: Springer, 1999, S. 253 – 277.

[REINHART & SELKE 1999B]

Reinhart, G.; Selke, C.: Supply Chain Management. Tagungsband: *Automobil Forum 1999*, Stuttgart, 8./9. Juni 1999.

- [REINHART & SELKE 2002]  
Reinhart, G.; Selke, C.: Information Becomes Knowledge – Automatic Building of Simulation Models. In: Proceedings of the 35th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, 13–15 May 2002, Seoul, Korea.
- [REINHART 1999]  
Reinhart, G.: Simulation – ein Experiment am digitalen Modell. In: Feldmann, K.; Reinhart, G. (Hrsg.): Simulationsbasierte Planungssysteme für Organisation und Produktion. Berlin u.a.: Springer, 1999.
- [REINHART U.A. 1999A]  
Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Wandel – Bedrohung oder Chance?. *io management* 68 (1999) 5, S. 20–24.
- [REINHART U.A. 1999B]  
Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Hirschberg, A.; Selke, C.: Reaktionsfähigkeit für Unternehmen. Eine Antwort auf turbulente Märkte. *ZWF* 94 (1999) 1–2, S. 21–24.
- [REINHART 2000]  
Reinhart, G.: Im Denken und Handeln wandeln. In: Reinhart, G.; Hoffmann, H. (Hrsg.): ...nur der Wandel bleibt. München: Utz, 2000.
- [REINHART U.A. 2000A]  
Reinhart, G.; Ansoorge, D.; Selke, C.: Supply Chain Management. In: Reinhart, G.: Virtuelle Fabrik – Wandlungsfähigkeit durch dynamische Unternehmenskooperation. München: TCW 2000 (TCW–report Nr. 21), S. 69 – 78.
- [REINHART U.A. 2000B]  
Reinhart, G.; Selke, C.; Weber, V.: Supply Chain Management – der Erfolgsfaktor im Neuen Jahrtausend? *Zuericher PPS–Tage 2000*, 29./30.03.2000.
- [REINHART U.A. 2001]  
Reinhart, G.; Lotter, B.; Selke, C.; Weber, V.: Magazinierte Produktion – ein Modell mit Zukunft? *wt Werkstattstechnik* 91 (2001) 8, S. 493–497.
- [REINHART U.A. 2002]  
Reinhart, G.; Berlak, J.; Effert, C.; Selke, C.: Wandlungsfähige Fabrikgestaltung. *ZWF* (2002) 1–2, S. 18–23.
- [ROBINSON 1994]  
Robinson, S.: Successful Simulation. London u.a.: McGraw–Hill, 1994.

---

[SAUER 2000]

Sauer, W.: Optimierung von Fertigungsprozessen in der Elektronikproduktion durch prozessbegleitende Simulation. In: Modellierung der Produktion, Abschlusskolloquium zum DFG-Schwerpunktprogramm, Hannover. Hannover: Institut für Fabrikanlagen, 2000.

[SAUER U.A. 1996]

Sauer, W.; Weigert, G.; Goerigk, P.: Ein lernfähiges Simulationssystem zur Planung von flexiblen Fertigungssystemen. In: Fortschritte in der Simulationstechnik, Bd. 10. Braunschweig: Vieweg, 1996, S. 71 – 76.

[SCHALKHOFF 1992]

Schalkhoff, R.J.: Pattern Recognition: Statistical, Structural and Neural Approaches. New York u.a.: John Wiley & Sons, 1992.

[SCHOLTISSEK & SELKE 1998]

Scholtissek, P.; Selke, C.: Simulationsgestützte Entwicklung eines neuartigen Fertigungskonzeptes. Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Ablaufsimulation. München: Utz, 1998 (Seminarberichte – *iwb*; 35).

[SCHOLTISSEK 1996]

Scholtissek, P.: Simulationsprüfstand für Logistikkonzepte der Produktion. Düsseldorf: VDI, 1996. (Fortschritt-Berichte VDI Reihe2, Nr. 377)

[SCHOTTEN 1998]

Schotten, M.: Produktionsplanung und -steuerung. Berlin u.a.: Springer, 1998.

[SCHULZE U.A. 1998]

Schulze, T.; Schumann, M.; Blümel, E.; Hintze, A.: Generierung von Simulationsmodellen aus einer integrierten Planungsumgebung. In: Lorenz, P.; Preim, B. (Hrsg.): Simulation und Visualisierung. Proceedings der Tagung "Simulation und Visualisierung '98", 5.–6. März 1998, Magdeburg. Delft (NL) u.a.: SCS – Society for Computer Simulation Int., 1998, S. 141 – 154.

[SELKE 1998A]

Selke, C.: Einfache Modellbildung durch Integration in das informationstechnische Umfeld. Mertins, K.; Rabe, M. (Hrsg.): Erfahrungen aus der Zukunft. 8.ASIM-Fachtagung. Berlin IPK-Eigenverlag, 1998, S. 93–102.

- [SELKE 1998B]  
Selke, C.: Effiziente Modellerstellung. Milberg, J.; Reinhart, G. (Hrsg.): Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation. München: Utz, 1998 (Seminarberichte – *iwb*; 46).
- [SIHN U.A. 1999]  
Sihn, W.; Lickefett, M.; Pirron, J.: Simulation–based Planning and Control of Production Fractals. In: Institute of Electrical und Eletronics Engineers –IEEE–: International Conference on Control Applications (CCA), Kohala/Hawaii. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press, 1999, S. 1632 – 1635.
- [SIHN U.A. 2000]  
Sihn, W.; März, L.; Richter, H.: Wandlungsfähigkeit planen durch objektorientierte Modellierung. *Industrie Management* 16 (2000) 3, S. 42 – 46.
- [SPATH U.A. 2001]  
Spath, D.; Baumeister, M.; Dill, C.: Ist Flexibilität genug? Zum Management von Turbulenzen sind neue Fähigkeiten gefragt. *ZwF* 96 (2001) 5, S. 235 – 241.
- [SPLANEMANN 1995]  
Splanemann, R.: Teilautomatische Generierung von Simulationsmodellen aus systemneutral definierten Unternehmensdaten. Bremen: Universität Bremen, 1995.
- [STEIN 1996]  
Stein, T.: PPS–Systeme und organisatorische Veränderungen: ein Vorgehensmodell zum wirtschaftlichen Systemeinsatz. Berlin u.a.: Springer, 1996.
- [UHLMANN 2002]  
Uhlmann, E.: Wandel der Produktion durch informationstechnische Vernetzung. In: Maintenance 2010, EUROFORUM-Konferenz (2002), S. 1 – 13.
- [VDI 3633]  
VDI–Richtlinie 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik–, Materialfluß– und Produktionssystemen. Berlin: Beuth, 1993.
- [WARNECKE 1992]  
Warnecke, H.–J.: Die Fraktale Fabrik. Berlin u.a.: Springer, 1992.
- [WENZEL 2000]  
Wenzel, S.: Modellbildung in der Simulation logistischer Systeme. *Industrie Management* 16 (2000) 3, S. 28 – 32.

- 
- [WESTKÄMPER U.A. 1994]  
Westkämper, E.; Zahn, E.; Aupperle, G.; Gagsch, B.; Herbst, C.: Simulation als Instrument zur ganzheitlichen Marktausrichtung. ZWF (94) 1–2, S. 29 – 32.
- [WESTKÄMPER U.A. 1997]  
Westkämper, E.; Schmidt, Th.; Lickefett, M.; Dudenhausen, H.–M.: Kapazitätsgeprüfte Lieferterminbestimmung mit künstlich neuronalen Netzwerken in Echtzeit. wt Werkstattstechnik 87 (1997), S. 515 – 518.
- [WIEDEMANN 1999]  
Wiedemann, T.: Database Oriented Modeling with Simulation Microfunctions. In: Farrington, P. A.; Nembhard, H. B.; Sturrock, D. T.; Evans, G. W. (Ed.): Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference, S. 586 – 590.
- [WIENDAHL & HERNANDEZ 2000]  
Wiendahl, H.–P.; Hernández, R.: Wandlungsfähigkeit – neues Zielfeld in der Fabrikplanung. Industrie Management 16 (2000) 5, S. 37 – 41.
- [WIENDAHL 1989]  
Wiendahl, H.–P.: Betriebsorganisation für Ingenieure. München, Wien: Hanser, 1989.
- [WIRTH U.A. 2001]  
Wirth, S.; Hildebrand, T.; Redelstap, P.: Die wandlungsfähige Fabrik in logistikorientierten Produktionsnetzwerken. wt Werkstattstechnik 91 (2001) 4, S. 184 – 185.
- [WUTTKE 2000]  
Wuttke, C.C.: Mehrfachnutzung von Simulationsmodellen in der Produktionslogistik. Saarbrücken: Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM, Universität des Saarlandes, 2000. (Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 20)
- [ZINN & KURZ 1990]  
Zinn, H.–J.; Kurz, E.: Marktspiegel – Expertensysteme auf dem Prüfstand. TÜV Rheinland, 1990.
- [ZÄH U.A. 2004]  
Zäh, M. F.; Müller, N.; Prasch, M.; Sudhoff, W.: Methodik zur Erhöhung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. Zwf 99 (2004) 4, S. 173 – 177.
- [ZÜLCH 1989]  
Zülch, G.: Der strategische Steuerungsraum – ein Ansatz zur Systematisierung von Strategien der Fertigungssteuerung. VDI-Zeitschrift, Bd. 131, Nr. 5, 1989, S. 58 – 65.



## 10 Abbildungs-, Tabellen- und Formelverzeichnisse

Abbildung 2–1:	Aufbau der Arbeit	5
Abbildung 3–1:	Hauptaufgaben der PPS [SCHOTTEN 1998, S. 16]	8
Abbildung 3–2:	Beispiele für Simulationsmethoden in der Produktion [nach REINHART 1999, S. 20]	14
Abbildung 3–3:	Vorgehen bei der simulationsgestützten Analyse produktionslogistischer Problemstellungen [nach SCHOLTISSEK 1996, S. 93]	15
Abbildung 3–4:	Notwendige Daten zum Aufbau von Modellen (ereignisdiskrete Ablaufsimulation)	16
Abbildung 3–5:	Verteilung des Aufwands auf die Phasen eines Simulationsprojektes [REINHART & FELDMANN 1997, S. 22]	19
Abbildung 5–1:	Gegenüberstellung von Anforderungen und Lösungseigenschaften zur betriebsbegleitenden Simulation	38
Abbildung 5–2:	Aufbau des Lösungskonzepts zur Identifikation und Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktions- steuerung zur automatischen Simulationsmodellgenerierung	39
Abbildung 5–3:	Lösungsvorgehen – aktueller Status in der Arbeit	40
Abbildung 5–4:	Strukturbaum zur Darstellung von Ziel, Strategie und Ablauf [nach FELDMANN & REINHART 1997, S. 9]	42
Abbildung 5–5:	Aufgaben der Eigenfertigungsplanung und -steuerung [nach SCHOTTEN 1998, S. 43]	44
Abbildung 5–6:	Relevante Cluster von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung	45
Abbildung 5–7:	Lösungseigenschaften im Zusammenhang mit den Spezifika von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung	51
Abbildung 5–8:	Elemente im GRAI-Netz [nach BÜNZ 1987, S. 46]	54
Abbildung 5–9:	Aufbau einer Entscheidungstabelle (vereinfacht)	55
Abbildung 5–10:	Schematische Beschreibung des Metamodells zur Beschreibung von Strategien und Abläufen der Produktions- steuerung	56
Abbildung 5–11:	Beispielhafter Ablauf „Vorabliefern“	59

---

Abbildung 5–12: Beschreibungsmodell der Strategie „Vorabliefern“ (Beispiel)	60
Abbildung 5–13: Ablauf der Regeln und Aktionen am Beispiel der Strategie „Vorabliefern“	61
Abbildung 5–14: Lösungsvorgehen (aktueller Status)	64
Abbildung 5–15: Schema einer Mustererkennung (Klassifikation) für Abläufe der Produktionssteuerung	65
Abbildung 5–16: Ausschnitt aus einer BDE–Tabelle (Beispiel)	66
Abbildung 5–17: Muster zur Interpretation von Strategien des Clusters „Losgrößengestaltung“ (Beispiel)	69
Abbildung 5–18: Methode und Ergebnis (Beispiel) zur Reduktion des Musters auf charakteristische Eigenschaften (Losgrößengestaltung)	70
Abbildung 5–19: Muster zur Interpretation von Strategien des Clusters „Ressourcenbelegung“ (Beispiel)	71
Abbildung 5–20: Ergebnis (Beispiel) der Reduktion des Musters auf charakteristische Eigenschaften (Ressourcenbelegung)	72
Abbildung 5–21: Muster zur Interpretation von Strategien des Clusters „Reihenfolgegestaltung“ (Beispiel)	73
Abbildung 5–22: Ergebnis (Beispiel) der Reduktion des Musters auf charakteristische Eigenschaften (Reihenfolgegestaltung)	75
Abbildung 5–23: Merkmalsausprägungen im zweidimensionalen Raum und eine mögliche Trennfunktion (Beispiel)	76
Abbildung 5–24: Lossplittung in Abhängigkeit der Durchführungszeit (Beispiel)	80
Abbildung 5–25: Lossplittung in Abhängigkeit der mit der Auslastung des nachfolgenden Arbeitssystems gewichteten Durchführungszeit (Beispiel)	82
Abbildung 5–26: Vorgehensweise zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung	84
Abbildung 5–27: Lösungsvorgehen (aktueller Status)	85
Abbildung 5–28: Struktur des Vorgehensmodells zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung	86

Abbildung 5–29: Makrostruktur – Strategiecluster „Reihenfolgeentscheidung“	88
Abbildung 5–30: Makrostruktur – Strategiecluster „Losgrößenbildung“	89
Abbildung 5–31: Makrostruktur – Strategiecluster „Ressourcenauswahl“	90
Abbildung 5–32: Struktogramm zur Ermittlung fallspezifischer Merkmale (hier: Reihenfolgeregel)	91
Abbildung 5–33: Struktogramm zur Ermittlung fallspezifischer Merkmale (hier: Losgrößengestaltung)	92
Abbildung 5–34: Struktogramm zur Ermittlung fallspezifischer Merkmale (hier: Ressourcenzuordnung)	92
Abbildung 5–35: Prinzipielle Beziehung zwischen den Strategien der Produktionssteuerung	93
Abbildung 5–36: Vorgehensmodell zur Interpretation von Strategien und Abläufen der Produktionssteuerung	95
Abbildung 6–1: Gegenüberstellung von Anforderungen und Lösungseigenschaften zur betriebsbegleitenden Simulation (vgl. Abbildung 5–1)	97
Abbildung 6–2: Ablaufstruktur zur automatischen Modellgenerierung	99
Abbildung 6–3: systemische Struktur des Prototypen zur automatischen Simulationsmodellgenerierung	100
Abbildung 6–4: prototypische Benutzeroberfläche der 1. Schnittstelle	101
Abbildung 6–5: prototypische Benutzeroberfläche der integrierten Datenbank (Modelleditor)	102
Abbildung 6–6: Beispiel eines automatisch generierten Simulationsmodells	103
Abbildung 6–7: Ausschnitt aus den BDE–Daten bei Rohde&Schwarz	107
Abbildung 6–8: beispielhafte Korrelationsuntersuchung zur Identifizierung der Grundregel FiFo (Strategiecluster „Reihenfolgeregel“)	109
Abbildung 6–9: beispielhafte Darstellung der Strategie „Vorabliefern“	110
Abbildung 7–1: Modell zur Wirkkette der entwickelten Vorgehensweise	113
Abbildung 7–2: Aufwand–Nutzen–Verhältnis der automatischen Simulationsmodellgenerierung	114

---

Tabelle 3–1: Prognoseverfahren im Rahmen der Absatzplanung [nach SCHOTTEN 1998, S. 150]	9
Tabelle 3–2: Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an Planung und Prognose in der Produktion	12
Tabelle 3–3: Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an die betriebsbegleitende Simulation	22
Tabelle 5–1: Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an die betriebsbegleitende Simulation (vgl. Tabelle 3–3)	35
Tabelle 5–2: Strategien zur Losgrößengestaltung (Beispiele)	46
Tabelle 5–3: Strategien zur Ressourcenbelegung (Beispiele)	47
Tabelle 5–4: Strategien zur Reihenfolgegestaltung (Beispiele)	48
Tabelle 5–5: Spezifika von Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung	50
Tabelle 5–6: Spezifika von Strategien und Abläufe der Produktionssteuerung (siehe auch Tabelle 5–5)	62
Tabelle 5–7: Gütekriterium für verschiedene Trennfunktionen (Beispiel)	81
Tabelle 5–8: Gütekriterium für die gewichtete Trennfunktion (Beispiel)	82
Tabelle 6–1: Zwischenergebnis (Ausschnitt) eines Interpretationslaufs (Strategiecluster „Ressourcenauswahl“)	108
Tabelle 6–2: beispielhaftes Ergebnis der Datenaufbereitung zur Reihenfolgebestimmung	109
Tabelle 7–1: Anforderungen aus dem turbulenten Umfeld an die betriebsbegleitende Simulation (vgl. Tabelle 3–3)	112

Formel 5–1:	Bestimmung des Korrelationskoeffizienten $r$ [nach BRONSTEIN & SEMENDJAJEW 1989, S. 692]	74
Formel 5–2:	Bestimmung von Dimensionen zur geometrischen Klassifikation	77
Formel 5–3:	Bestimmung der Güte einer Trennfunktion	79

# iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streifinger, E.*  
**Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel**  
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*  
**Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen**  
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*  
**Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern**  
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*  
**Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen**  
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*  
**Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen**  
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*  
**Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung**  
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, J.*  
**Schneiderodierte Oberflächen**  
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*  
**Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen**  
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*  
**Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung**  
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*  
**Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen**  
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*  
**Rechnerunterstützte Entwicklung flexibel automatisierter Montageprozesse**  
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*  
**Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze**  
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*  
**Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion**  
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Grohe, A.*  
**Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme**  
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*  
**Klipsmontage mit Industrierobotern**  
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*  
**Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung**  
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*  
**Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems**  
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*  
**Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung**  
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*  
**Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme**  
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*  
**Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen**  
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Sauerer, Ch.*  
**Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen**  
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*  
**Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung**  
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*  
**Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems**  
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*  
**Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage**  
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Witba, P.*  
**Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik**  
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelshäuser, P.*  
**Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung**  
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*  
**Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie**  
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*  
**Prozeßkommunikation und Rechnerverbund in der Produktion**  
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfrang, W.*  
**Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze**  
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*  
**Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung**  
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*  
**Systematische Planung komplexer Produktionssysteme**  
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Hartberger, H.*  
**Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme**  
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuczek, H.*  
**Inspektion von Karosseriepreßteilen auf Risse und Einschränkungen mittels Methoden der Bildverarbeitung**  
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*  
**Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten**  
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*  
**3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen**  
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8
- 36 *Naber, H.*  
**Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente**  
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*  
**Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen**  
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*  
**Dynamisches Verhalten von Kreissägen**  
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*  
**Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile**  
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*  
**3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsteilung**  
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*  
**Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme**  
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*  
**Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen**  
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*  
**Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen**  
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-5520-0
- 44 *Petry, M.*  
**Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmabaukastens für robotergeführte Klebprozesse**  
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*  
**Integrierte Diagnose in Produktionszellen**  
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*  
**Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades**  
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*  
**Prozeßuntersuchungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen**  
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schräfer, N.*  
**Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung**  
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*  
**Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen**  
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*  
**Laserbearbeitung mit Robotern**  
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*  
**Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe**  
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glaas, W.*  
**Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung**  
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helm, H.J.*  
**Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose**  
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*  
**Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung**  
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*  
**Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage**  
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bomm, H.*  
**Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme**  
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*  
**Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen**  
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*  
**Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung**  
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*  
**Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen**  
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*  
**Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von  
Zubringeinrichtungen**  
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*  
**Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer  
Zellenrechnersoftware**  
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56889-5
- 62 *Stetter, R.*  
**Rechnergestützte Simulationswerkzeuge zur  
Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes**  
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dindorfer, A.*  
**Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage**  
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*  
**Simulation des Schwingungsverhaltens spanender  
Werkzeugmaschinen**  
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*  
**Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-  
Layoutoptimierung**  
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummelsteiner, G.*  
**3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur  
Planung manueller Montagesysteme**  
1994 · 62 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*  
**Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen  
Automatisierung von Produktionssystemen**  
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*  
**Simulationsgestützte CAD/ICAM-Kopplung für die 3D-  
Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik**  
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*  
**Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen**  
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*  
**Automatische Inbetriebnahme  
geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler**  
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*  
**Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von  
Produktionssystemen**  
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*  
**Rechnergestütztes Projektinformations- und  
Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld**  
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*  
**Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur  
Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge**  
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*  
**Verfahren zur simulationsgestützten  
Produktionsregelung in der Einzel- und  
Kleinserienproduktion**  
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*  
**Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung**  
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*  
**Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer  
flexiblen Fertigung**  
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Rath, P.*  
**Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in  
der Arbeitsvorbereitung**  
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*  
**Strömungstechnische Optimierung von  
Produktionssystemen durch Simulation**  
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zäh, M. F.*  
**Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen**  
1995 · 95 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanzer, N.*  
**Technologisches Prozeßmodell für die  
Kugelschleifbearbeitung**  
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanov, P.*  
**Konstruktionsbegleitende Kalkulation von  
Werkzeugmaschinen**  
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*  
**Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen  
Fertigungszellen**  
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*  
**Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der  
Hartbearbeitung**  
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*  
**Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in  
flexiblen Produktionszellen**  
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*  
**Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung  
und logistisches Störungsmanagement**  
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*  
**Systematische Planung anwendungsspezifischer  
Materialflußsteuerungen**  
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rockland, M.*  
**Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in  
Montageanlagen**  
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Limmer, St.*  
**Konzept einer integrierten Produktentwicklung**  
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*  
**Integrierte Planung von Informationssystemen für  
rechnergestützte Produktionssysteme**  
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deuschle, U.*  
**Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in  
mittelständischen Unternehmen**  
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*  
**Recyclingintegrierte Produktentwicklung**  
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1



- 92 *Hechl, Chr.*  
**Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte**  
 1995 · 73 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*  
**Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen**  
 1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*  
**Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren**  
 1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*  
**Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme**  
 1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*  
**Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen**  
 1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*  
**Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme**  
 1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*  
**Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung**  
 1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*  
**Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie**  
 1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*  
**Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung**  
 1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*  
**Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten**  
 1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*  
**Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion**  
 1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Köhler, R.*  
**Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten**  
 1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*  
**Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung**  
 1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*  
**Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem**  
 1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*  
**Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe**  
 1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*  
**Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen**  
 1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Krämer, U.*  
**Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung**  
 1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*  
**Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service**  
 1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*  
**Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion**  
 1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*  
**Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozeß mit Produktmodellen**  
 1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*  
**Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung**  
 1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*  
**Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz**  
 1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*  
**Akustische Überwachung automatisierter Fügeprozesse**  
 1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindermeier, R.*  
**Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen**  
 1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, J.*  
**Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung**  
 1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*  
**Leitfaden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen**  
 1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*  
**Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung**  
 1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*  
**Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen**  
 1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Pfob, E.*  
**Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen**  
 1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*  
**Erfahrungsgleitete Planung von Laseranlagen**  
 1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

# Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen  
und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim  
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, utz@utzverlag.com

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**  
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**  
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**  
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**  
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**  
86 Seiten · ISBN 3-931327-76-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-77-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ist das Ziel**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-78-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**  
120 Seiten · ISBN 3-931327-79-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**  
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**  
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**  
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**  
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**  
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**  
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**  
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**  
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungsmontage und zum Dichtmittelauftrag**  
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**  
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**  
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**  
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**  
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**  
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**  
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**  
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**  
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätsteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**  
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**  
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**  
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibel und schneller mit modernen Kooperationen**  
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**  
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**  
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**  
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikroteilen**  
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**  
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**  
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1
- 47 **Virtuelle Produktion - Prozeß- und Produktsimulation**  
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**  
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8

- 49 **Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
- 50 **Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion**  
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 **Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle**  
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien**  
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 **Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung**  
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 54 **Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation**  
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 55 **e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
- 56 **Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
- 57 **Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen**  
150 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien**  
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 **Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik**  
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 **Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln**  
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 62 **Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien**  
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 **Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge**  
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 **Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial**  
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 **Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen**  
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 **Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder**  
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 **Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder**  
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 **Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik**  
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 **Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**  
134 Seiten · ISBN 3-89675-069-0
- 70 **Mechatronik · Strukturdynamik von Werkzeugmaschinen**  
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 **Klebertechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten**  
ISBN 3-89675-071-2 · erscheint 12/04
- 72 **Fabrikplanung 2004 · Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen**  
ISBN 3-89675-072-0 · erscheint 12/04
- 73 **Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen**  
ISBN 3-89675-073-9 · erscheint 12/04
- 74 **Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik**  
ISBN 3-89675-074-7 · erscheint 12/04
- 75 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 76 **Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle**  
ISBN 3-89675-076-3 · erscheint 12/04
- 77 **ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen**  
ISBN 3-89675-077-7 · erscheint 03/05
- 78 **Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen**  
ISBN 3-89675-078-X · erscheint 04/05

# Forschungsberichte iw b

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen  
und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Forschungsberichte iw b ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim  
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, utz@utzverlag.de

- 122 Schneider, Burghard  
**Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile**  
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd  
**Modellgestützte Geschäftsprozeßgestaltung in der Produktentwicklung**  
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößner, Helmut E.  
**Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme**  
1999 · 164 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Gräser, Ralf-Gunter  
**Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern**  
1999 · 167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Trossin, Hans-Jürgen  
**Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik**  
1999 · 162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Kugelmann, Doris  
**Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern**  
1999 · 168 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Diesch, Rolf  
**Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen**  
1999 · 160 Seiten · 69 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Lulay, Werner E.  
**Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen**  
1999 · 182 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Murr, Otto  
**Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen**  
1999 · 178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Macht, Michael  
**Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping**  
1999 · 170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-638-9
- 132 Mehler, Bruno H.  
**Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden**  
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut  
**Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle**  
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan  
**Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen**  
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can  
**Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik**  
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan  
**Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken**  
 2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.  
**Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung**  
 2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra  
**Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen**  
 2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander  
**Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen**  
 2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.  
**Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken**  
 2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprenzel, Andreas  
**Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung**  
 2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas  
**Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion**  
 2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf  
**Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen**  
 2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 144 Schneider, Christian  
**Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion**  
 2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X
- 145 Jonas, Christian  
**Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen**  
 2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich  
**Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen**  
 2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof  
**Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss**  
 2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank  
**Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen**  
 2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Höhn, Michael  
**Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme**  
 2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn  
**Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung**  
 2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert  
**Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben**  
 2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X
- 152 Stephan Dürrschmidt  
**Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion**  
 2001 · 914 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0023-6
- 153 Bernhard Eich  
**Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung**  
 2001 · 132 Seiten · 48 Abb. · 6 Tabellen · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0028-7

- 154 Wolfgang Rudorfer  
**Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke**  
 2001 · 207 Seiten · 89 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0037-6
- 155 Hans Meier  
**Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe**  
 2001 · 162 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0044-9
- 156 Gerhard Nowak  
**Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen**  
 2001 · 203 Seiten · 95 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0055-4
- 157 Martin Werner  
**Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen**  
 2001 · 191 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0058-9
- 158 Bernhard Lenz  
**Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung**  
 2001 · 150 Seiten · 47 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0094-5
- 159 Stefan Grunwald  
**Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung**  
 2002 · 206 Seiten · 80 Abb. · 25 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0095-3
- 160 Josef Gartner  
**Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen**  
 2002 · 165 Seiten · 74 Abb. · 21 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0096-1
- 161 Wolfgang Zeller  
**Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen**  
 2002 · 192 Seiten · 54 Abb. · 15 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0100-3
- 162 Michael Loferer  
**Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen**  
 2002 · 178 Seiten · 80 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0118-6
- 163 Jörg Fährer  
**Ganzheitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses**  
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner  
**Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler**  
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte  
**Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik**  
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger  
**Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess**  
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob  
**Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik**  
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer  
**System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen**  
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel  
**Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen**  
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross  
**Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung**  
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun  
**Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess**  
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen  
**Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen**  
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer  
**Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe**  
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen  
**Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme**  
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton  
**Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsenster Montagesysteme**  
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser  
**Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke**  
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breitingner  
**Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen**  
 2003 · 156 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0227-1
- 178 Johann von Pieverling  
**Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling**  
 2003 · 163 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0230-1
- 179 Thomas Baudisch  
**Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine**  
 2003 · 190 Seiten · 67 Abb. · 8 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0249-2
- 180 Heinrich Schieferstein  
**Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems**  
 2003 · 132 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0251-4
- 181 Joachim Berlak  
**Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen**  
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr  
**Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung**  
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber  
**Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken**  
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt  
**Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern**  
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer  
**Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten**  
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger  
**Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme**  
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl  
**Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing**  
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch  
**Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie**  
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl  
**Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme**  
2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron  
**Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung**  
2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek  
**Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen**  
2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer  
**Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen**  
2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 192 Carsten Selke  
**Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung**  
2005 · 145 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9