

# **Ein generisches Objektmodell zur Modellierung und Simulation operativer Entscheidungen in Produktionssystemen**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Ingenieurwissenschaften**

der Fakultät für Maschinenbau  
der Universität Karlsruhe

zugelassene

**Dissertation**

von  
Dipl.-Ing. Jörg W. Fischer

aus Karlsruhe

Tag der mündlichen Prüfung:	13.05.2004
Referent:	Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gert Zülch
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Siegfried Augustin



**ifab**

Forschungsberichte  
aus dem Institut für  
Arbeitswissenschaft und  
Betriebsorganisation der  
Universität Karlsruhe

Herausgeber  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Gert Zülch

Band 34 - 2004

**Jörg W. Fischer**

**Ein generisches Objektmodell zur  
Modellierung und Simulation operativer  
Entscheidungen in Produktionssystemen**

Shaker Verlag

**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.

Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2004

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-2937-X

ISSN 1436-3224

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

*für Stefanie,  
Katharina & Helena*



# Vorwort des Herausgebers

Zur Planung von Produktionssystemen werden heute bereits vielfach Simulationsverfahren eingesetzt. Zumeist bedient man sich dabei kommerzieller, materialflussorientierter Verfahren, die darauf ausgerichtet sind, Fertigungs-, Förder- und Lagermittel sowie ggf. die zu ihrem Betrieb notwendigen Steuerungsstrategien abzubilden. Dabei wird vielfach auf die explizite Abbildung des Personals verzichtet, weil man dieses nicht als Engpass im Produktionsablauf betrachtet. Wird dennoch das Personal modelliert, so erfolgt dies in aller Regel analog zur Modellierung von Betriebsmitteln. Das Verhalten des Personals wird dann so abgebildet, als ob es sich stets an den übergeordneten Zielen des Produktionssystems und an vorgegebenen Regeln orientieren würde.

Wie einschlägige Untersuchungen gezeigt haben, muss diese Annahme allerdings als zu vereinfacht angesehen werden. Wie bei automatisierter Entscheidungsfindung mittels Regeln und Algorithmen muss zwar auch bei menschlichen Entscheidungen die Entscheidungssituation mit berücksichtigt werden. Im Gegensatz zur automatisierten Entscheidungsfindung sind jedoch für den Menschen die Parameter der Entscheidungssituation wegen mangelnder Verfügbarkeit von Informationen nicht notwendigerweise unmittelbar erkennbar. Darüber hinaus kann die Umsetzung der Entscheidung je nach Informationslage des menschlichen Entscheiders und seiner Arbeitsweise unterschiedlich sein, was eine Modellierung verschiedener Umsetzungswege erforderlich macht.

Bisher wurden derartige Aspekte menschlicher Entscheidungsfindung nur in Einzelfällen in spezialisierten Simulationsverfahren berücksichtigt, während ein allgemeingültiger Ansatz für die Modellierung menschlicher Entscheidungen vollständig fehlt. Dies ist insofern unbefriedigend, als dass moderne Produktionsformen gerade den Menschen in den Mittelpunkt stellen wollen. Auch insofern erscheint eine allgemeingültige Modellierung menschlicher Entschei-

dungen als eine wesentliche Aufgaben für die Weiterentwicklung der Simulation von Produktionssystemen.

Die vorliegende Arbeit setzt sich zum Ziel, ein generisches, also ein in gewissen Grenzen allgemeingültiges Modell für die Simulation menschlicher Entscheidungen zu entwickeln. Hierfür wird eine objektorientierte Modellierung in Verbindung mit dem Simulationsverfahren *OSim* ausgewählt. Der angestrebte Anwendungsbereich sind dabei operative Entscheidungen im Produktionssystem.

Mit dem hier dargestellten Ansatz können bereits im Vorfeld von Maßnahmen zur Delegation von Verantwortung und damit von Entscheidungsbefugnissen deren Konsequenzen quantitativ abgeschätzt werden. Die quantitative Bewertung beruht dabei auf produktionslogistischen und monetären Kriterien. Mit dieser Erweiterung der Simulation lassen sich unterschiedliche Entscheidungsstrukturen modellieren und bewerten und somit die Auswahl derartiger Reorganisationsmaßnahmen absichern. Gegenstand können dabei sowohl ablauforganisatorische Maßnahmen (wie Entscheidungen getroffen werden sollen) und auch aufbauorganisatorische Maßnahmen (wer die Entscheidung treffen soll) sein.

o. Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
Gert Zülch

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der Formelzeichen	9
1. Delegationsproblematik in modernen Produktionssystemen	22
1.1 Restrukturierung von Produktionssystemen	22
1.2 Schwierigkeiten bei der Umsetzung neuer organisatorischer Gestaltungsansätze	24
1.3 Zielsetzung der vorliegenden Arbeit	26
1.4 Aufbau und Vorgehensweise	29
2. Stand der Technik	33
2.1 Handlungsspielraum und Delegation von Verantwortung	33
2.2 Ansätze zur Lösung des Delegationsproblems	35
2.3 Organisatorische Gestaltungsansätze im Hinblick auf die Delegationsproblematik	37
2.3.1 Ansätze zur Organisationsgestaltung	37
2.3.2 Rechnerunterstützte Hilfsmittel zur Organisationsgestaltung	39
2.3.3 Einsatz der Simulation zur Organisationsgestaltung	41
2.3.4 Anforderungen an eine prospektive Analyse von Entscheidungsstrukturen	42
2.3.5 Untersuchung themenverwandter Forschungsarbeiten	44
2.3.6 Exemplarische Untersuchung im erweiterten thematischen Rahmen	47
3. Entscheidungen in Produktionssystemen	50
3.1 Entscheidungstheoretische Grundlagen	50

3.1.1	Zum Begriff "Entscheidung"	50
3.1.2	Präskriptive und deskriptive Entscheidungstheorie	52
3.1.3	Möglichkeiten zur Auswahl von Handlungsalternativen	53
3.1.4	Grundlagen zur Abbildung von Entscheidungen in einem Rechnermodell	54
3.2	Entscheidungsebenen in Produktionssystemen	57
3.3	Entscheidungsdelegation zur Nutzung der Ressource Mensch	60
3.4	Auswahl der im Modell zu berücksichtigenden Entscheidungen	66
3.4.1	Vorbemerkungen	66
3.4.2	Begründung der Auswahl	67
3.4.2.1	Wahl alternativer Arbeitsvorgangsfolgen	68
3.4.2.2	Wahl alternativer Vorgangsreihenfolgen	68
3.4.2.3	Kurzfristiger Personaleinsatz	69
3.4.2.4	Kurzfristige Kapazitätssteuerung	69
4.	Diskussion des Modellierungsansatzes	71
4.1	Integriertes Objektmodell zur durchlaufplanorientierten Simulation von Produktionssystemen	72
4.2	Sichtenintegration im generischen Objektmodell	75
4.3	Notationsform	76
4.3.1	Die Modellierungssprache <i>UML</i>	77
4.3.2	Konventionen zur Notation	79
5.	Generisches Objektmodell zur Modellierung operativer Entscheidungen	82
5.1	Überblick	82
5.1.1	Entscheidungsaufgaben und ihre Modellierung	82
5.1.2	Elemente des Entscheidungsmodells	85
5.1.3	Bedeutung und Funktionalität von Entscheidungsstrategien	88
5.1.4	Informationen und Ziele als wesentliche Einflussgrößen operativer Entscheidungen	90

5.1.5	Entscheidungsstrukturen und Qualifikationsmodellierung	93
5.2	Prozessorientiertes Entscheidungsmodell	96
5.2.1	Objekttypen zur Abbildung von Entscheidungen	97
5.2.1.1	Objekttypen zur Bereitstellung von Basisfunktionalität	98
5.2.1.2	Simulation einer Entscheidung	99
5.2.1.3	Belegung von Entscheidungsträgern	101
5.2.1.4	Typen von Entscheidungsaufgaben	103
5.2.1.5	Objektklassen für die Anwendungsmodellierung	104
5.2.1.6	Objekttyp für alternative Arbeitsvorgangsfolgen	106
5.2.1.7	Objekttyp für veränderte Vorgangsreihenfolgen	107
5.2.1.8	Objekttyp für Entscheidungen zur kurzfristigen Kapazitätssteuerung	110
5.2.1.9	Objekttyp für kurzfristige Ressourcenzuordnungen	111
5.2.2	Modellierung der Durchführungszeit für Entscheidungsaufgaben	118
5.2.2.1	Diskussion der verwendeten Zeitarten	118
5.2.2.2	Generierung von Zufallszahlen	122
5.2.2.3	Verwendung der Betaverteilung zur Modellierung von Durchführungszeiten	123
5.2.3	Objekttypen zur dynamischen Auslösung von operativen Entscheidungen	127
5.3	Allgemeines Entscheidungsmodell	130
5.3.1	Überblick	130
5.3.2	Objekttypen zur Abbildung von Entscheidungsfeldern	132
5.3.3	Modellierung von Entscheidungsträgern	133
5.3.4	Objekttypen zur Abbildung des Zielsystems	135
5.3.5	Objekttypen zur Abbildung entscheidungsrelevanter Informationen	136

5.3.6	Objekttypen zur Abbildung von Entscheidungsstrategien	137
6.	Katalog entscheidungsrelevanter Informationen	141
6.1	Vorbemerkung	141
6.2	Definitionen für Zeiträume	143
6.3	Mengendefinitionen	145
6.3.1	Durchlaufpläne	145
6.3.2	Durchlaufplanknoten	147
6.3.3	Wege im Durchlaufplan	148
6.3.4	Belegungsressourcen	149
6.3.5	Prozessobjekte	151
6.4	Informationen zu Durchlaufplanauslösern	153
6.4.1	Prognosegrößen der Durchlaufplanauslöser	153
6.4.1.1	Prognostizierter Kapazitätsbedarf	153
6.4.1.2	Prognostizierte Durchlaufzeit	154
6.4.2	Zustandsgrößen der Durchlaufplanauslöser	155
6.4.2.1	Restliche Durchführungszeit des Auftrags	155
6.4.2.2	Fertigungsfortschritt eines Auftrages	155
6.4.2.3	Verweildauer des Auftrags	156
6.4.3	Kenngößen der Durchlaufplanauslöser	156
6.4.3.1	Liefertermintreue des Auftrags	156
6.4.3.2	Terminabweichung des Auftrags	157
6.5	Informationen für Durchlaufplanknoten	157
6.5.1	Prognosegrößen der Durchlaufplanknoten	158
6.5.1.1	Prognostizierte Anzahl zukünftig auf einen Knoten zukommender Aufträge	158
6.5.1.2	Prognose des zukünftigen Arbeitsinhalts eines Knotens auf Basis der bereits eingestellten Aufträge	158
6.5.1.3	Zukünftiges Kapazitätsangebot des Knotens	159
6.5.2	Zustandsgrößen der Durchlaufplanknoten	160
6.5.2.1	Anzahl der wartenden Prozessobjekte eines Durchlaufplanknotens	160

6.5.2.2	Arbeitsinhalt vor einem Durchlaufplan-	161
	knoten wartender Prozessobjekte	
6.5.3	Kenngröße der Durchlaufplanknoten	161
6.6	Informationen zu Durchlaufplänen	163
6.6.1	Prognosegrößen der Durchlaufpläne	163
6.6.1.1	Anzahl zukünftiger Auslösungen im	
	Zustandsintervall	163
6.6.1.2	Arbeitsinhalt zukünftiger Auslösungen	
	im Zustandsintervall	163
6.6.2	Zustandsgrößen der Durchlaufpläne	164
6.6.2.1	Aktuelle Durchlaufzeit des Durchlauf-	
	plans	164
6.6.2.2	Anzahl wartender Prozessobjekte des	
	Durchlaufplans	165
6.6.2.3	Arbeitsinhalt der wartender Prozess-	
	objekte des Durchlaufplans	165
6.6.3	Kenngrößen der Durchlaufpläne	165
6.6.3.1	Liefertermintreue des Durchlaufplans	165
6.6.3.2	Mittlere Terminabweichung des Durch-	
	laufplans	166
6.6.3.3	Mittlere Flexibilität des Durchlaufplans	166
6.6.3.4	Durchlaufzeit des Durchlaufplans	167
6.7	Informationen zu Prozessobjekten	167
6.7.1	Prognose- und Kenngrößen von Prozessobjekten	167
6.7.2	Zustandsgrößen der Prozessobjekte	169
6.7.2.1	Restlicher Arbeitsinhalt	169
6.7.2.2	Abgearbeiteter Arbeitsinhalt	169
6.7.2.3	Priorität des Prozessobjektes	169
6.7.2.4	Wartezeit in der Warteschlange	170
6.8	Informationen zu Belegungsressourcen	171
6.8.1	Prognosegrößen der Belegungsressourcen	171
6.8.1.1	Prognostiziertes Kapazitätsangebot	171
6.8.1.2	Prognose der Anzahl zukünftig anste-	
	hender Auslösungen	173
6.8.1.3	Prognose des zukünftigen Kapazitäts-	
	bedarfs	174

6.8.1.4	Anzahl zukünftig auf eine Ressource zukommender Aufträge	175
6.8.1.5	Prognose des eingelasteten Arbeitsinhalts	176
6.8.1.6	Prognose der Wartezeit eines Prozessobjektes	177
6.8.2	Zustandsgrößen für Belegungsressourcen	177
6.8.2.1	Anzahl vor einer Belegungsressource wartender Prozessobjekte	177
6.8.2.2	Arbeitsinhalt der vor einer Belegungsressource wartenden Prozessobjekte	178
6.8.2.3	Warte- bzw. Brachzeit einer Belegungsressource	178
6.8.2.4	Tätigkeitszeit einer Belegungsressource	180
6.8.2.5	Anzahl erfüllter und vergeblicher Anfragen im Zustandsintervall	181
6.8.2.6	Anzahl augenblicklich geschalteter Zuordnungen	182
7.	Entwicklung von Entscheidungsstrategien	184
7.1	Prinzipieller Aufbau einer Entscheidungsstrategien	184
7.1.1	Verwendende Terminologie	185
7.1.2	Modellierungskonzept	186
7.1.3	Phasen einer Entscheidungsstrategie	188
7.2	Vorgehensmodell zur Entwicklung von Entscheidungsstrategien	190
7.3	Entwicklung beispielhafter Entscheidungsstrategien	192
7.3.1	Strategie zur kurzfristigen Personalzuordnung	192
7.3.2	Strategie zur kurzfristigen Kapazitätssteuerung	196
7.3.3	Generische Strategie zur Auswahl alternativer Arbeitsvorgangsfolgen	199
7.4	Bewertung der Güte von Entscheidungen	204
7.4.1	Bewertung der Zielerreichung von Entscheidungsstrukturen	204
7.4.2	Gütebewertung einzelner Entscheidungen	205
7.4.3	Gütebewertung von Entscheidungsprozessen	206

7.5	Konzept zur Ausgabe entscheidungsrelevanter Informationen	206
8.	Das Simulationsverfahren <i>OSim-Ent</i>	209
8.1	Aufbau des Verfahrens	209
8.1.1	Objektorientierter Modellierungsansatz	209
8.1.2	Implementierung des Verfahrens	210
8.2	Benutzungsoberfläche von <i>OSim-Ent</i>	211
8.2.1	Konzeptionelle Vorgaben	211
8.2.2	Modellierung von Entscheidungsaufgaben	212
8.2.3	Modellierung von Entscheidungsstrukturen	213
8.2.4	Modellierung des Informationssystems	214
8.2.5	Eingabedialoge für Entscheidungsstrategien	215
9.	Anwendung am Fallbeispiels eines Reparatur-Arbeitssystems	217
9.1	Ausgangssituation	217
9.1.1	Beschreibung des Arbeitssystems	217
9.1.2	Zielkriterium Servicequote	218
9.1.3	Gestaltungsmaßnahme Arbeitsflexibilisierung	219
9.2	Aufbau des Ausgangsmodells	220
9.2.1	Modellierung des Ausgangszustands	220
9.2.2	Validierung des Simulationsmodells	224
9.3	Simulationsuntersuchung bezüglich flexibler Arbeitszeiten	226
9.3.1	Modellierung unterschiedlicher Arbeitszeitmodelle	226
9.3.2	Bildung und Auswertung der Modellvarianten	226
9.3.2.1	Modellvarianten	226
9.3.2.2	Variation der Arbeitszeitfenster	228
9.3.2.3	Variation der Kapazitätsbedarfsprognose	231
9.4	Einbeziehung von Strategien zur kurzfristigen Personalsteuerung	233
9.5	Fazit der Untersuchung	236
10.	Zusammenfassung und weiterführende Aspekte	238

10.1 Zusammenfassung	238
10.2 Ausblick auf weiterführende Aspekte	239
11. Literaturverzeichnis	241
11.1 Quellen	241
11.2 Verwendete Software	271
11.3 Verwendete Abkürzungen	271
11.4 Verzeichnis der Objekttypen	272
12. Anhang	274
12.1 Zusätzliche Daten zum Anwendungsmodell	274
12.2 Algorithmus zur Erzeugung betaverteilter Zufallszahlen	276
12.3 Stereotypen für die Objekttypen	279