



HERBERT UTZ VERLAG WISSENSCHAFT

FORSCHUNGSBERICHTE

308

Emin Genc

Frühwarnsystem für ein adaptives Störungsmanagement

Emin Genc

**Frühwarnsystem für ein adaptives
Störungsmanagement**

Herbert Utz Verlag · München 2015

Forschungsberichte IWB
Band 308

EBook-Ausgabe:
ISBN 978-3-8316-7179-3 Version: 1 vom 24.11.2015
Copyright© Herbert Utz Verlag 2015

Alternative Ausgabe: Softcover
ISBN 978-3-8316-4525-1
Copyright© Herbert Utz Verlag 2015

Emin Genc

**Frühwarnsystem für ein adaptives
Störungsmanagement**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 308

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2015

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

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

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2015

ISBN 978-3-8316-4525-1

Printed in Germany
Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · 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.

Gunther Reinhart

Michael Zäh

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Projektgruppe für Ressourceneffiziente mechatronische Verarbeitungsmaschinen (RMV) des Fraunhofer-Instituts für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU in Augsburg sowie am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh, den Leitern dieses Instituts, gilt mein besonderer Dank für die wohlwollende Förderung und großzügige Unterstützung meiner Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Jan Aurich, dem Leiter des Lehrstuhls für Fertigungstechnik und Betriebsorganisation (FBK) der Technischen Universität Kaiserslautern, möchte ich mich für die Übernahme des Korreferates und die aufmerksame Durchsicht der Arbeit sehr herzlich bedanken. Herrn Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes. Ferner danke ich Herrn Prof. Neil Duffie für die Einladung an die University of Wisconsin-Madison und die damit verbundene Möglichkeit, meine Ansätze und Ergebnisse in einem internationalen Umfeld zu diskutieren und zu vertiefen.

Darüber hinaus bedanke ich mich sehr herzlich bei allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts sowie bei allen Studentinnen und Studenten, die mich bei der Erstellung meiner Arbeit unterstützt haben. Mein besonderer Dank gilt Philipp Engelhardt, Tobias Philipp und Cedric Schultz für die kritische Durchsicht meiner Arbeit. Herrn Martin Ostgathe danke ich für die fachlichen Diskussionen und Anregungen zu dieser Arbeit.

Schließlich möchte ich mich im ganz besonderen Maße bei meinen Eltern sowie meiner Schwester bedanken. Sie haben mir meine Ausbildung ermöglicht und mich auf meinem Lebensweg jederzeit liebevoll unterstützt.

München, im August 2015

Emin Genc

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abkürzungsverzeichnis.....	ix
Verzeichnis der Formelzeichen.....	xiii
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung.....	2
1.3 Zielsetzung	6
1.4 Aufbau der Arbeit	7
2 Grundlagen.....	11
2.1 Übersicht	11
2.2 Wertschöpfung in Netzwerken.....	11
2.2.1 Allgemeines.....	11
2.2.2 Supply Chain Management	12
2.2.2.1 Begriffsdefinitionen	12
2.2.2.2 Ebenen des Supply Chain Managements.....	13
2.2.2.3 Supply Chain Event Management	14
2.2.3 Einordnung und Eingrenzung der Arbeit	14
2.3 Planung und Steuerung von Abläufen in Wertschöpfungsnetzwerken ...	18
2.3.1 Allgemeines.....	18
2.3.2 Zielgrößen in Wertschöpfungsnetzwerken.....	19
2.3.3 Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung.....	20

2.4 Informationsmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken	23
2.4.1 Begriffsdefinitionen	23
2.4.2 Bedeutung für die Produktionsplanung und -steuerung.....	24
2.4.3 Potenziale von Informations- und Kommunikationstechnologien...	25
2.4.4 Informationssysteme zur Produktionsplanung und -steuerung	27
2.5 Zusammenfassung	29
3 Stand der Forschung und Technik.....	31
3.1 Übersicht.....	31
3.2 Ansätze zur unternehmensübergreifenden Wertschöpfung	31
3.2.1 Gestaltungsstrategien und Einsatz von Technologien	31
3.2.2 RFID-basierte Wertschöpfung in Netzwerken.....	33
3.2.2.1 Schwerpunkt Standardisierung und Integration	33
3.2.2.2 Schwerpunkt Optimierung.....	34
3.3 Störungsmanagement in Wertschöpfungsnetzwerken.....	36
3.3.1 Zeitlicher Verlauf und Klassifizierung von Störungen	36
3.3.2 Strategien des Störungsmanagements.....	38
3.3.3 Ansätze zur Entstörung inner- und überbetrieblicher Abläufe	39
3.3.4 Ansätze zur Frühwarnung	44
3.4 Modellierung von Produktions- und Logistikabläufen.....	47
3.4.1 Allgemeines.....	47
3.4.2 Darstellung von inner- und überbetrieblichen Prozessen	48
3.4.3 Darstellung von objektbezogenen Informationen	50
3.5 Zusammenfassung und Handlungsbedarf.....	51

4	Anforderungen an ein ereignisbasiertes Frühwarnsystem.....	53
4.1	Übersicht	53
4.2	Unternehmensübergreifender Zugriff auf Informationen	53
4.3	Identifikation kritischer Ereignisse	54
4.4	Absicherung der innerbetrieblichen Produktion	55
4.5	Technische und nutzerorientierte Anforderungen	55
5	Referenzmodell für die ereignisbasierte Frühwarnung.....	57
5.1	Übersicht	57
5.2	Modellierung der Wertschöpfung in Netzwerken.....	59
5.2.1	Konzeption einer Referenz-Lieferkette	59
5.2.2	Prozessuale Konkretisierung	60
5.2.2.1	Baukasten für die Prozessbeschreibung.....	60
5.2.2.2	Prozessbausteine im Bereich der Produktion.....	61
5.2.2.3	Prozessbausteine im Bereich der Logistik	62
5.2.2.4	Modellierung der Prozessbausteine	63
5.3	Ereignisbasierte Abbildung von Auftragsmerkmalen.....	64
5.3.1	Entwicklung der Ereignisstruktur.....	64
5.3.2	Matrix zur prozessspezifischen Ereignisdetaillierung.....	65
5.4	Referenzarchitektur für das Informationsmanagement.....	66
5.4.1	Konzeption der Referenzarchitektur.....	66
5.4.2	Innerbetriebliche Integration von Assistenzsystemen	67
5.5	Zusammenfassung.....	68
6	Ereignisbasiertes System zur Frühwarnung.....	71
6.1	Übersicht	71

6.2	Ablauf der Frühwarnung.....	71
6.3	Kategorisierung von kritischen Ereignissen	74
6.3.1	Einführung von Frühwarnkategorien	74
6.3.2	Kategorie Produkt	75
6.3.3	Kategorie Prozess.....	76
6.3.4	Kategorie Lieferant	76
6.4	Identifikation von kritischen Ereignissen	77
6.4.1	Übersicht	77
6.4.2	Modellierung der Wissensbasis.....	78
6.4.3	Verfahren zur Analyse von Ereignisdaten	79
6.4.3.1	Allgemeines	79
6.4.3.2	Produktbezogene Verfahren	79
6.4.3.3	Prozessbezogene Verfahren.....	83
6.4.3.4	Lieferantenbezogene Verfahren	89
6.4.4	Erweiterung der Wissensbasis.....	92
6.4.4.1	Allgemeines	92
6.4.4.2	Initialisierung der Wissenserweiterung	94
6.4.4.3	Mustererkennung	95
6.4.4.4	Spezifikation der Wissensseinheit.....	97
6.5	Frühwarnung.....	98
6.5.1	Allgemeines.....	98
6.5.2	Formalisierung der Situationsbeschreibung.....	98
6.5.3	Regelwerk zur Informationsverteilung	99
6.6	Zusammenfassung	100

7	Adaptives Störungsmanagement.....	101
7.1	Übersicht	101
7.2	Ablauf des Störungsmanagements	101
7.3	Einflussgrößen.....	103
7.3.1	Allgemeines	103
7.3.2	Restriktionen.....	103
7.3.3	Zielgrößen.....	104
7.4	Strategien zur Entstörung.....	111
7.4.1	Allgemeines	111
7.4.2	Produktbezogene Strategien	111
7.4.3	Prozessbezogene Strategien.....	113
7.4.4	Lieferantenbezogene Strategien	114
7.4.5	Adaptive Bestimmung von Maßnahmen.....	116
7.5	Zusammenfassung.....	117
8	Technische Umsetzung und Validierung.....	119
8.1	Übersicht	119
8.2	Technische Umsetzung	119
8.2.1	Prototypische Implementierung in einer Versuchsumgebung	119
8.2.1.1	Allgemeines	119
8.2.1.2	Aufbau und eingesetzte Hardware	120
8.2.1.3	Produktionsszenario	121
8.2.1.4	Informationstechnische Vernetzung	123
8.2.1.5	Frühwarnbasiertes Störungsmanagement	124
8.2.2	Prototypische Implementierung in der Automobilindustrie.....	126

8.2.2.1	Allgemeines	126
8.2.2.2	Anwendungsszenario	127
8.2.2.3	RFID-basiertes Informationsmanagement	128
8.3	Simulationstechnische Validierung	130
8.3.1	Allgemeines	130
8.3.2	Frühwarnsystem zur Absicherung der Wertschöpfung in der Lieferkette	131
8.3.2.1	Simulationsmodell und Produktionsszenario	131
8.3.2.2	Ergebnisse der Simulation	133
8.3.3	Frühwarnsystem zur Absicherung der innerbetrieblichen Wertschöpfung	135
8.3.3.1	Simulationsmodell und Produktionsszenario	135
8.3.3.2	Ergebnisse der Simulation	138
8.4	Bewertung	139
8.4.1	Anforderungsbezogene Bewertung	139
8.4.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	141
8.4.2.1	Allgemeines	141
8.4.2.2	Beispielhaftes Produktionsszenario	143
8.5	Zusammenfassung	146
9	Zusammenfassung und Ausblick	147
9.1	Zusammenfassung	147
9.2	Ausblick	148

10	Literaturverzeichnis	151
11	Verzeichnis betreuter Studienarbeiten	175
12	Abbildungsverzeichnis	177
13	Tabellenverzeichnis	181
14	Anhang	183
14.1	Modellierung der Prozessbausteine	183
14.2	Ereignismatrix	196
14.3	Genutzte Softwareprodukte	197

Abkürzungsverzeichnis

APS	Advanced Planning and Scheduling
Auto-ID	automatische Identifikation
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
bzw.	beziehungsweise
d. h.	das heißt
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
DTW	Dynamic Time Warping
e. V.	eingetragener Verein
eEPK	erweiterte Ereignisgesteuerte Prozesskette
engl.	englisch
EPC	Electronic Product Code (elektronischer Produktcode)
EPCIS	Electronic Product Code Information Service
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERP	Enterprise Resource Planning
ES	Ereignisspeicher
et al.	et alii
EV	Ereignisverwalter
Fraunhofer IPA	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
Fraunhofer IWU	Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
FTS	Fahrerloses Transportsystem
HF	high frequency

Hrsg.	Herausgeber
ISO	International Organization for Standardization
IuK-Technologie	Informations- und Kommunikationstechnologie
<i>iwb</i>	Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München
JIS	Just-in-Sequence
JIT	Just-in-Time
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LDL	Logistikdienstleister
ME-System	Manufacturing Execution System
MRP	Material Requirements Planning
Nr.	Nummer
OEM	Original Equipment Manufacturer
OPP	Order Penetration Point
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
REFA	Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung
RFID	Radio Frequency Identification
S.	Seite
SAP ECC	SAP ERP Central Component
SAP MII	SAP Manufacturing Integration and Intelligence
SAP PCo	SAP Plant Connectivity
SCC	Supply Chain Council
SCM	Supply Chain Management
SCEM	Supply Chain Event Management

SCOR-Modell	Supply Chain Operations Reference Modell
SFB	Sonderforschungsbereich
SPC	Statistical Process Control
TUM	Technische Universität München
UHF	ultra high frequency
VDA	Verband der Automobilindustrie e. V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

Verzeichnis der Formelzeichen

$ A_{j'}^{M_E} $	Anzahl der Aufträge der Planungsperiode P_j , die bei Umsetzung der Maßnahme M_E eine Änderung erfahren
$ A_j^{EntM_E} $	Anzahl der Aufträge, die bei Umsetzung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j im Gegensatz zur originären Planung entfallen
$ A_j^{M_E} $	Anzahl der Aufträge, die bei Umsetzung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j bearbeitet werden
$A_{ij'}^{M_E}$	Binärvariable zur Angabe, ob ein der Planungsperiode P_j zugeordneter Auftrag A_i bei Umsetzung der Maßnahme M_E eine Änderung erfährt
C_p	Prozessfähigkeit
C_{pk}	Kritische Prozessfähigkeit
$D(M_z, M_y)$	Distanzmaß zwischen Muster M_z und Muster M_y
K_{ij}	Gesamtkosten für Abwicklung von Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
K_{ij}^{Adapt}	Adaptionskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
$K_{ij}^{FixAdapt}$	Fixe Adaptionskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
K_{ij}^{Log}	Kosten der Logistikprozesse für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
K_{ij}^{Opp}	Opportunitätskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
K_{ij}^{Prod}	Kosten der Produktionsprozesse für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
K_{ij}^{Proz}	Prozessspezifische Kosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j

$K_{ij}^{Stör}$	Störkosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
$K_{ij}^{VarAdapt}$	Variable Adaptionkosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
K_{ij}^{Verz}	Verzugskosten für Auftrag A_i in der Planungsperiode P_j
K_j^{Ges}	Gesamtkosten in der Planungsperiode P_j
$MA_{P_j}^{ME}$	Menge der Aufträge, die in der Planungsperiode P_j bei Umsetzung der Maßnahme M_E bearbeitet werden
MA_{P_j}	Menge der Aufträge, die in der Planungsperiode P_j bearbeitet werden
OGW	Oberer Grenzwert
PS_j^{ME}	Planungsstabilität in Bezug auf ein Arbeitssystem bei Umsetzung der Maßnahme M_E in der Planungsperiode P_j
t_{AZ}	Amortisationszeit
$te_{A_{ij}}^{ME}$	Soll-Endtermin des Auftrages A_i in der Planungsperiode P_j bei Umsetzung der Maßnahme M_E
$te_{A_{ij}}$	Soll-Endtermin des Auftrages A_i in der Planungsperiode P_j
UGW	Unterer Grenzwert
$\bar{x}$	Mittelwert
$\bar{\bar{x}}$	Mittelwert der Mittelwerte der Stichproben
x_v	Merkmalsausprägung des Musters M_z an dem Punkt v
y_v	Merkmalsausprägung des Musters M_y an dem Punkt v
Z_{krit}	Minimaler Abstand des Mittelwertes zur Toleranzgrenze
σ	Standardabweichung