

Prozesszustandsorientierte Verfügbarkeitslenkung von Produktionsanlagen

Vom Fachbereich Maschinenbau
der Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte
Dissertation

von

Dipl.-Ing. Frank Niemeier
geboren am 16.03.1968 in Lübbecke

Hannover, 2001

1. Referent: Prof. Dr.-Ing. Georg Redeker

2. Referent: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Hans-Peter Wiendahl

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Manfred Gietzelt

Tag der

Promotion: 16. Juli 2001

Hannoversche Berichte zum Qualitätsmanagement

Band 7

Frank Niemeier

**Prozesszustandsorientierte Verfügbarkeitslenkung
von Produktionsanlagen**

Shaker Verlag
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Niemeier, Frank:

Prozesszustandsorientierte Verfügbarkeitslenkung von Produktionsanlagen/
Frank Niemeier.

Aachen : Shaker, 2001

(Hannoversche Berichte zum Qualitätsmanagement ; Bd. 7)

Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8265-9252-2

Copyright Shaker Verlag 2001

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-9252-2

ISSN 1435-6694

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

„Schreiben macht nie Spaß. Geschrieben (zu) haben macht Spaß.“

Hellmuth Karasek, 27.08.1999

Vorwort

Die vorliegende Dissertationsschrift entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Qualitätssicherung der Universität Hannover.

Dem Leiter des Instituts, Prof. Dr.-Ing. Georg Redeker, danke ich sehr für die wertvollen Anregungen und die wohlwollende Unterstützung dieser Arbeit sowie für die gewährten Freiräume zu deren Erstellung. Während meiner Institutszeit habe ich im fachlichen sowie im persönlichen Bereich viel von ihm gelernt.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Hans-Peter Wiendahl, dem Leiter des Instituts für Fabrikanlagen der Universität Hannover und Sprecher des Sonderforschungsbereichs 384 „Verfügbarkeitssicherung reaktionsschneller Produktionssysteme“, danke ich für die Übernahme des Korreferats und die wertvollen Hinweise nach Durchsicht der Dissertation.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Manfred Gietzelt danke ich für die Übernahme des Vorsitzes meines Promotionsverfahrens sowie das der Arbeit entgegengebrachte Interesse.

Allen Kolleginnen und Kollegen, die mich während meiner Institutszeit freundschaftlich begleitet sowie engagiert unterstützt haben und damit wesentlich zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben, danke ich für die sehr gute Zusammenarbeit. Stellvertretend seien hier Frau Ursula Gilke sowie die Herren Peik Bremer, Holger Brüggemann, Lars Keunecke, Thomas Meyer, Roy Sauer und Stefan Zischka genannt.

Ferner gilt mein Dank meinen Kolleginnen und Kollegen vom Sonderforschungsbereich 384 – hier insbesondere Carsten Köhrmann, Katja Schimmelpfeng und Holger Stritzke – für die vielen fachlichen Anregungen und Diskussionen. Auch allen Diplom- und Studienarbeitern sowie studentischen Hilfskräften, die mit ihren Ideen und Arbeiten zu meiner Dissertation beigetragen haben, danke ich für ihre Unterstützung und Mitarbeit.

Für den Rückhalt, die Unterstützung sowie ihr Verständnis danke ich meiner Frau Ute und meinem Sohn Philipp.

Mein besonderer Dank gilt meinen Eltern. Sie haben mir diesen Weg ermöglicht.

Hannover, im Juli 2001

Frank Niemeier

Kurzfassung

Die Anforderungen an die Verfügbarkeit von Produktionsanlagen sind in den letzten Jahren deutlich höher, vor allem jedoch dynamischer geworden. Als Resultat hat sich in fortschrittlichen Industrieunternehmen der umfangreiche Funktionskomplex des Verfügbarkeitsmanagements entwickelt. Bedingt durch die prozess- und gruppenorientierten Produktionsstrukturen dieser Unternehmen wird ein großer Teil der Aufgaben des Verfügbarkeitsmanagements an die Produktionsgruppen übertragen. Darunter sind zunehmend Analyse-, Planungs- und Entscheidungsaufgaben inklusive der Verantwortung für das Erreichen messbarer Zielvorgaben. Dadurch wird das Spannungsfeld aus gegensätzlichen Anforderungen, in dem sich die Produktionsgruppen nach der bereits erfolgten Übertragung vergleichbarer Aufgaben der Qualitätsprüfung und -lenkung sowie der operativen Produktionsplanung und -steuerung befinden, weiter verstärkt.

Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel dieser Arbeit, einen substantziellen Beitrag zur Unterstützung von Mitarbeitern in Produktionsgruppen bei der Erfüllung der verfügbarkeitsbezogenen Aufgaben im Zusammenspiel mit qualitäts- und produktionsbezogenen Forderungen zu leisten und so die zwischen den Aufgabenbereichen bestehenden Zielkonflikte zu lösen bzw. zu entschärfen.

Im Zuge der durchgeführten Grundlagenuntersuchungen wird die Verfügbarkeitslenkung als die Funktion des Verfügbarkeitsmanagements identifiziert, die es zu beherrschen gilt, um das gesteckte Ziel zu erreichen. Daher wird das Konzept der prozesszustandsorientierten Verfügbarkeitslenkung vorgestellt; einer Verfügbarkeitslenkung, die sich am aktuellen, bevorstehenden oder angestrebten Prozesszustand orientiert, um die wechselnden verfügbarkeitsbezogenen Anforderungen effizienter als bisher erfüllen zu können. Das Konzept besteht aus drei Bausteinen: der Prozesszustandsmodellierung, der Prozesszustandsanalyse sowie der prozesszustandsorientierten IH-Strategieplanung.

Als Basis der prozesszustandsorientierten Verfügbarkeitslenkung wird ein kennzahlenbasiertes Modell zur aussagefähigen Abbildung der Prozesszustände vorgeschlagen. Durch die nachfolgende Prozesszustandsanalyse können vorhandene Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen den Prozesszustandsmerkmalen ermittelt werden. Über die prozesszustandsorientierte IH-Strategieplanung entfaltet das Konzept seine Lenkungswirkung.

Zur optimalen informationstechnischen Unterstützung der Produktionsgruppe bei der prozesszustandsorientierten Verfügbarkeitslenkung wird das EDV-System PROCONTROL vorgestellt. Zum Abschluss der Arbeit erfolgt eine Demonstration der Funktionsfähigkeit der entwickelten Konzeptbausteine anhand eines durchgängigen Beispielszenarios aus der Kautschuk verarbeitenden Industrie.

Stichworte: Verfügbarkeitslenkung, Produktionsanlage, zustandsorientierte Instandhaltung, Produktionsgruppe, Qualitätsmanagement

Abstract

Since several years, demands on the availability of production systems are noticeably rising and getting increasingly dynamic. As a result, progressive industrial companies have developed an extensive availability management. Determined by the process- and group-oriented production structures of these companies, a large part of the availability management tasks is transferred into production groups. Among these are more and more analysis, planning and decision tasks including responsibility for reaching measurable goals. Because of that, the already existing conflict between antagonistic demands, which is put up by previous transferred tasks of quality inspection and control as well as operative production planning and control, becomes even more critical.

Considering this background, the objective of this thesis is to substantially support production group workers in fulfilling availability-related tasks, which are connected to quality- and production-related demands, so as to either solve or defuse the existing target conflicts between the different areas of responsibility

As a result of the performed basic research, availability control is identified as the crucial function to reach the set objective. Therefore, the concept of a process condition oriented availability control is presented. This availability control orients itself by an actual, forthcoming or aimed process condition to fulfill the varying availability-related demands more efficiently. The concept consists of three components: process condition modeling, process condition analysis and process condition oriented maintenance strategy planning.

As a basis of the process condition oriented availability control, a characteristic number model is proposed to expressively describe process conditions. Existant dependencies and interactions between process condition characteristics can be determined by the following process condition analysis. Through the process condition based maintenance strategy planning, the concept performs its control effect.

To provide the production group with optimal information concerning process condition oriented availability control, the software PROCONTROL is presented. Finally, the capability of the developed concept components is demonstrated by an industrial example process.

Key words: Availability control, production systems, condition based maintenance, production groups, quality management

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Abkürzungen	III
1 Einleitung und Zielsetzung	1
1.1 Aufwertung der Anlagenverfügbarkeit schafft neue Herausforderungen	1
1.2 Weiterentwicklung verfügbarkeitsbezogener Strategien und Techniken	2
1.3 Organisatorische Veränderungen im Umfeld der Produktionsanlage	3
1.4 Aufgabenstellung	4
1.4.1 Problemfeld	4
1.4.2 Ziel der Arbeit und Vorgehensweise	5
1.4.3 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstands	5
1.5 Aufbau der Dissertation	6
2 Grundlagen zur Verfügbarkeitslenkung	7
2.1 Definitionen des Begriffes Verfügbarkeit	7
2.2 Begriffe und Inhalte des Verfügbarkeitsmanagements	9
2.3 Inhalte und vorhandene Gestaltungsansätze der Verfügbarkeitslenkung ...	12
2.3.1 Grundstrategien zur Instandhaltung	13
2.3.2 Bestehende Gestaltungsansätze zu Elementen der Verfügbarkeits- lenkung	16
2.4 Verknüpfungen zwischen Verfügbarkeit, Qualität und Produktion	18
2.4.1 Verknüpfungen zwischen Verfügbarkeits- und Qualitäts- management	19
2.4.2 Verknüpfungen zwischen Verfügbarkeitsmanagement und Produktion	20
2.5 Zwischenbilanz der bestehenden Gestaltungsansätze und Verknüpfungen	21
3 Verfügbarkeitslenkung in Unternehmensprogrammen	22
3.1 Total Productive Maintenance (TPM)	22
3.1.1 Definition und Merkmale von TPM	23
3.1.2 Zielerfassung und Fortschrittsmessung bei TPM	23
3.1.3 Bausteine des TPM-Konzepts	25
3.1.4 Von TPM inspirierte Verfügbarkeitsprogramme	28
3.2 Reliability-centred Maintenance (RCM)	30
3.2.1 Ziele von RCM	30
3.2.2 Vorgehensweise bei RCM	31
3.2.3 Risk Based Inspection (RBI)	33
3.3 Berücksichtigung der Verfügbarkeitslenkung in den Programmen	34
3.4 Fazit der Konzepte und Konkretisierung des Ziels der Arbeit	36

4	Prozesszustandsorientierte Verfügbarkeitslenkung	37
4.1	Prinzipien der prozesszustandsorientierten Verfügbarkeitslenkung	38
4.1.1	Verlustfunktion nach Taguchi	38
4.1.2	Wertfunktion der Qualität nach Masing	40
4.2	Konzept der prozesszustandsorientierten Verfügbarkeitslenkung	40
4.3	Prozesszustandsmodellierung	42
4.3.1	Abnutzungszustand der Produktionsanlage	46
4.3.2	Qualitätszustand des Produkts	50
4.3.3	Leistungszustand des Prozesses	51
4.3.4	Effiziente Ermittlung von Abnutzungsmerkmalen	54
4.4	Prozesszustandsanalyse	56
4.4.1	Matrixgestützte qualitative Relationenanalyse	57
4.4.2	Retrograde statistische Versuchsmethodik	61
4.5	Prozesszustandsorientierte Instandhaltungsstrategieplanung	67
4.5.1	Auswahl von Instandhaltungsgrundstrategien	68
4.5.2	Kontinuierliche Anpassung der Instandhaltungsstrategieparameter ..	70
4.5.3	Wechsel der Instandhaltungsgrundstrategien	79
5	EDV-System zur prozesszustandsorientierten Verfügbarkeitslenkung	83
5.1	Entwicklung der Struktur des EDV-Systems PROCONTROL	84
5.1.1	Vorstellung der grundlegenden Systemanforderungen	84
5.1.2	Entwicklung eines anforderungsgerechten Systemmodells	85
5.1.3	Auswahl einer objektorientierten Datenbank	86
5.2	Beschreibung der Module des EDV-Systems PROCONTROL	87
5.2.1	Systembasismodul PROCON-I zur Informationsverwaltung	87
5.2.2	Systemmodul PROCON-M zur Prozesszustandsmodellierung	88
5.2.3	Systemmodul PROCON-A zur Prozesszustandsanalyse	91
5.2.4	Systemmodul PROCON-IH zur Instandhaltungsstrategieplanung ..	93
5.3	Einsatzerfahrungen und Perspektiven	95
6	Anwendung der prozesszustandsorientierten Verfügbarkeitslenkung	96
6.1	Chronologischer Ablauf der Konzeptdurchführung	98
6.2	Zustandsmodellierung des Beispielproduktionsprozesses	100
6.3	Zustandsanalyse des Beispielproduktionsprozesses	106
6.3.1	Qualitative Prozesszustandsanalyse	106
6.3.2	Quantitative Prozesszustandsanalyse	110
6.4	Prozesszustandsorientierte Instandhaltungsstrategieplanung für den Beispielprozess	114
7	Zusammenfassung und Ausblick	117
8	Literaturverzeichnis	119

Formelzeichen

AB_{Ist}	[Std.]	Istabgang pro Periode
b_R	[mm]	Riemenbreite
c_{pk}	[1] ¹	Prozessfähigkeitsindex
c_{pkb}	[1]	Prozessfähigkeitsindex der Riemenbreite
c_{pkh}	[1]	Prozessfähigkeitsindex der Riemenhöhe
FS_m	[...] ²	mittlere Faktorstufe
FS_o	[...]	obere Faktorstufe
FS_u	[...]	untere Faktorstufe
F_t	[N]	tangentiale Schleifkraft
$g_{LA,MA}$	[1]	Gewichtungsfaktoren für Lebensdauer- und Merkmalsabweichungsgrad
$g_{LL,LM}$	[1]	Gewichtungsfaktoren für logistischen und Mengenleistungsgrad
h_R	[mm]	Riemenhöhe
i	[1]	Zählindex
IHI_b	[...]	bestehendes Instandhaltungsintervall
IHI_n	[...]	neues Instandhaltungsintervall
j	[1]	Zählindex
k	[1]	konstanter Faktor
KAP	[Std.]	Kapazität des Produktionsprozesses pro Periode
L	[...]	allgemeine Verlustfunktion
LDG	[1]	Lebensdauergrad
LDG_D	[1]	Lebensdauergrad der Kühlmitteldüsen
LDG_S	[1]	Lebensdauergrad der Stripperbacken
LG_L	[1]	logistischer Leistungsgrad
LG_M	[1]	Mengenleistungsgrad
LG_{MR}	[1]	Mengenleistungsgrad der Anzahl produzierter Riemen
LG_{MW}	[1]	Mengenleistungsgrad der Anzahl produzierter Wickel
l_R	[mm]	Riemenlänge

1 [1]: Die „1“ steht als Einheit bei Formelzeichen, die dimensionslose Größen symbolisieren.

2 [...]: Diese Darstellung symbolisiert, dass die Einheit vom jeweils ausgewählten Merkmal abhängig ist.

m	[1]	Anzahl aufgestellter Lebensdauergrade
μ	[...]	Mittelwert
MAG	[1]	Merkmalsabweichungsgrad
MAG_{BR}	[1]	Merkmalsabweichungsgrad der Riemenbreite
MAG_D	[1]	Merkmalsabweichungsgrad des Trennmittel-Volumenstroms
MAG_F	[1]	Merkmalsabweichungsgrad der tangentialen Schleifkraft
MAG_{HR}	[1]	Merkmalsabweichungsgrad der Riemenhöhe
MAG_K	[1]	Merkmalsabweichungsgrad des Kesseldrucks
MAG_{LR}	[1]	Merkmalsabweichungsgrad der Riemenlänge
MAG_P	[1]	Merkmalsabweichungsgrad der Maschinenleistung
MAG_T	[1]	Merkmalsabweichungsgrad des Trommelinnendrucks
MAG_Z	[1]	Merkmalsabweichungsgrad des Ausdrückzylinderdrucks
M_{Ist}	[...]	Istwert eines betrachteten Merkmals
n	[1]	Anzahl aufgestellter Merkmalsabweichungsgrade
n_A	[1]	Anzahl Ausfälle
n_{A_b}	[1]	Anzahl Ausfälle bei einem bestehenden Instandhaltungsintervall bzw. bestehenden Merkmalstoleranzgrenzen
n_{A_n}	[1]	Anzahl Ausfälle bei einem neuen Instandhaltungsintervall bzw. neuen Merkmalstoleranzgrenzen
n_R	[Stück/h]	Anzahl produzierter Riemen
n_W	[Stück/h]	Anzahl produzierter Wickel
p_K	[bar]	Kesseldruck
P_M	[KW]	Maschinenleistung
PM_{Ist}	[...]	Istproduktionsmenge pro Zeiteinheit
PM_{Max}	[...]	Maximale Produktionsmenge pro Zeiteinheit
p_T	[bar]	Trommel-Innendruck
p_Z	[bar]	Druck des Ausdrückzylinders
\dot{q}_l	[l/min]	Durchflussmenge an Trennmittel
RED_A	[%]	relative Ausfallreduktion
s	[...]	Standardabweichung der Stichprobe
σ	[...]	Standardabweichung der Grundgesamtheit

t_A	[...]	aktuelle Bauteilbetriebsdauer
t_{AD}	[Std.]	aktuelle Betriebsdauer der Kühlmitteldüsen
τ_D	[Std.]	mittlere Lebensdauer der Düsen zur Kühlmittelzuführung
τ_L	[...]	mittlere Bauteillebensdauer
T_o	[...]	obere Toleranzgrenze
T_{o_b}	[...]	bestehende obere Toleranzgrenze
T_{o_n}	[...]	neue obere Toleranzgrenze
τ_S	[Lastsp.]	mittlere Lebensdauer der Stripperbacken
T_u	[...]	untere Toleranzgrenze
T_{u_b}	[...]	bestehende untere Toleranzgrenze
T_{u_n}	[...]	neue untere Toleranzgrenze
v_c	[m/s]	Schnittgeschwindigkeit
VP_{max}	[...]	maximaler Versuchsparameterwert
VP_{min}	[...]	minimaler Versuchsparameterwert
Z_A	[1]	Abnutzungszustand der Produktionsanlage
Z_L	[1]	Leistungszustand des Produktionsprozesses
ZM	[...]	Prozesszustandsmerkmal
ZM_A	[...]	Abnutzungszustandsmerkmal
$ZM_{A_{Soll}}$	[...]	Abnutungs-Sollzustandsmerkmalswert
ZM_{Ist}	[...]	Prozess-Istzustandsmerkmalswert
ZM_{Soll}	[...]	Prozess-Sollzustandsmerkmalswert
\vec{Z}_P	[1, 1, 1]	Prozesszustandsvektor
Z_Q	[1]	Qualitätszustand des Produkts

Abkürzungen und Akronyme

AWF	Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung e. V.
BKT	Betriebskalendertag
DGQ	Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V.
DIN	Deutsche Industrienorm
DoE	Design of Experiments
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EMP	Evolutionäres Management von Produktionsanlagen
IH	Instandhaltung
IPS	Instandhaltungsplanung und -steuerung
MDT	Mean Down Time
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTF	Mean Time To Failure
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OMT	Object Modeling Technique
OVIS	Objektorientiertes Informationsmodell zur Verfügbarkeitssicherung
PFI	Prozessfähigkeitsindex
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PROCON-TROL	Process Condition Based Availability Control
PZ	Prozesszustand
QFD	Quality Function Deployment
QM	Qualitätsmanagement
RBI	Risk Based Inspection
RCM	Reliability Centred Maintenance
RSVM	Retrograde statistische Versuchsmethodik
SFB	Sonderforschungsbereich
SVM	Statistische Versuchsmethodik
TEEP	Total Effective Equipment Productivity
TPM	Total Productive Maintenance
TQM	Total Quality Management
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
WWW	World Wide Web