

Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Dr.-Ing. Christian Munzinger
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Stephan Niggeschmidt

Ausfallgerechte Ersatzteilbereitstellung im Maschinen- und Anlagenbau mittels lastabhängiger Lebensdauerprognose

Band 155

Ausfallgerechte Ersatzteilerbereitstellung im Maschinen- und Anlagenbau mittels lastabhängiger Lebensdauerprognose

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
der Fakultät für Maschinenbau
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte
Dissertation
von

Stephan Niggeschmidt
aus Olpe

Tag der mündlichen Prüfung: 29. April 2010
Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Korreferent: Prof. Dr.-Ing. Jan C. Aurich

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.

Zugl.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2010

Copyright Shaker Verlag 2010

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9168-6

ISSN 0724-4967

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Die schnelle und effiziente Umsetzung innovativer Technologien wird vor dem Hintergrund der Globalisierung der Wirtschaft der entscheidende Wirtschaftsfaktor für produzierende Unternehmen. Universitäten können als "Wertschöpfungspartner" einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der Industrie leisten, in dem sie wissenschaftliche Grundlagen sowie neue Methoden und Technologien erarbeiten und aktiv den Umsetzungsprozess in die praktische Anwendung unterstützen.

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieser Schriftenreihe über aktuelle Forschungsergebnisse des Instituts für Produktionstechnik (wbk) des Karlsruher Institut für Technologie (KIT) berichtet werden. Unsere Forschungsarbeiten beschäftigen sich sowohl mit der Leistungssteigerung von Fertigungsverfahren und zugehörigen Werkzeugmaschinen- und Handhabungstechnologien als auch mit der ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung des gesamten Produktionssystems. Hierbei werden jeweils technologische wie auch organisatorische Aspekte betrachtet.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Dr.-Ing. Christian Munzinger

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Instituts für Produktionstechnik (wbk) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT).

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza für die Übernahme des Hauptreferats sowie ihre persönliche Unterstützung und Förderung. Ihr Vertrauen sowie die fachlichen und persönlichen Diskussionen haben meine berufliche Entwicklung maßgeblich geprägt und die vorliegende Arbeit ermöglicht. Weiterhin danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Jan Aurich für das entgegengebrachte Interesse und die Übernahme des Korreferats sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Kai Furmans für den Prüfungsvorsitz.

Dem Karlsruher House of Young Scientist (KHYS) möchte ich an dieser Stelle für die Förderung meines Forschungsaufenthalts an der University of California, Berkeley danken.

Ich danke den Kollegen am wbk und insbesondere des Bereichs Produktionssysteme für eine hervorragende Zeit im und außerhalb des Instituts. Ich verdanke ihnen viele motivierende Stunden und anregende Gespräche, die mir immer in Erinnerung bleiben werden. Ganz besonders viel bedeuten mir die Freundschaften, die daraus entstanden sind. In diesem Rahmen möchte ich mich bei Benjamin Behmann, Jochen Peters und Patrick Werner für die hilfreichen Diskussionen und konstruktiven Anmerkungen zu meiner Arbeit bedanken. Mein aller höchster Respekt und Dank gebührt den vielen Studenten, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Stellvertretend möchte ich Dominik Kutra für seine mehrjährige Unterstützung danken.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern und meiner Schwester mehr als herzlich dafür bedanken, dass sie mir zu jeder Zeit Rückhalt und ihre volle Unterstützung gegeben haben und diesen Weg somit erst ermöglichten.

Karlsruhe, im Mai 2010

Stephan Niggeschmidt

Abstract

Recent research in the field of mechanical engineering shows that the sale of spare parts represents the core business of the after sales market. The provision of these spare parts, however, is becoming ever complexer due to the fact that customer requirements are rising, the degree of individualization is increasing, the variety of parts is growing and innovation cycles are becoming shorter.

Therefore, the dissertation aims towards the development of a methodology for the identification and evaluation of optimal spare part provision strategies in relation to specific load dependent reliability and cost characteristics.

The intended solution addresses different aspects such as the identification of critical spare parts, the characteristics and type of provision that is most suitable and the determination of the optimal time for providing the parts. Besides a comprehensive cost assessment, this adds a load-dependent reliability analysis and prediction to the field of spare parts management. Achieving a high level of spare part availability while, at the same time, reducing the cost of capital lockup resulting from large spare part inventories is particularly important.

Initially, the basic conditions of the developed optimization process have to be determined by characterizing the individual spare parts and provision strategies by technical, organizational, logistics-related and economic aspects. In the next step the development and use of approaches of load dependent reliability analysis increases the quality of the prediction of spare part demand. Finally, the cost for the provision of a specific spare part can be calculated. The application of the optimization process identifies the cost optimal provision strategies for a spare parts portfolio under the constraints of a defined availability and limited storage capacities.

The calculation steps were implemented in corresponding software environments taking their practical application and functionality into consideration. A practical application of the method to a reference scenario shows its benefit in the form of achieved cost savings potentials.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abkürzungen und Formelzeichen	III
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung und Motivation	2
1.3 Zielsetzung und Aufbau der Arbeit	5
2 Grundlagen	6
2.1 Ersatzteilmanagement	6
2.1.1 Definitionen, Kennzahlen und Ersatzteilklassifikation	6
2.1.2 Strategien zur Ersatzteilibereitstellung	8
2.1.3 Elemente einer Ersatzteilkostenkalkulation	11
2.2 Zuverlässigkeitstheorie	12
2.2.1 Mathematische Beschreibung des Ausfall- und Reparaturprozesses	12
2.2.2 Typologisierung von Belastungen	17
3 Stand der Forschung und Technik	21
3.1 Methoden des Ersatzteilmanagements	21
3.1.1 Methoden der Bedarfsberechnung und -prognose	22
3.1.2 Abstimmung des Instandhaltungs- und Ersatzteilmanagements	27
3.1.3 Ableitung von Bereitstellungs- und Versorgungsstrategien	29
3.1.4 Einordnung der Ansätze des Ersatzteilmanagements	30
3.2 Methoden der Zuverlässigkeitstheorie	33
3.2.1 Analyse- und Prognosemethoden für Komponenten und zur Systembetrachtung	34
3.2.2 Methoden zur Integration von Vorkenntnissen	37
3.2.3 Zuverlässigkeitsanalyse auf Basis von Expertenwissen	39
3.2.4 Modellierung von Lebensdauer-Last-Beziehungen	43
3.2.5 Methoden der Betriebsfestigkeitslehre	48
3.2.6 Einordnung der Ansätze der Zuverlässigkeitstheorie	53
3.3 Defizite in der Forschung und Technik	56
4 Lösungsansatz	58
5 Ausfallgerechte Ersatzteilibereitstellung	61
5.1 Definition des Optimierungsmodells	61
5.1.1 Beschreibung der Modellwelt und Systemeingrenzung	61

5.1.2	Eingangsparameter des Optimierungsmodells	65
5.1.3	Mathematische Formulierung des Modells	70
5.2	Strukturanalyse	72
5.2.1	Identifikation, Charakterisierung und Klassifikation von Ersatzteilen	73
5.2.2	Identifikation, Charakterisierung von Bereitstellungsstrategien	75
5.2.3	Kriterien zur Vorselektion	81
5.2.4	Ergebnis	84
5.3	Bedarfsermittlung und Prognosemethodik	86
5.3.1	Belastungsintegration in die Zuverlässigkeitsanalyse	87
5.3.2	Analyse des Ausfallverhaltens bei unvollständiger Datengrundlage	94
5.3.3	Analyse des Ausfallverhaltens unter Verwendung von Vorwissen	98
5.3.4	Bestimmung erwarteter Ausfallzeiten in begrenzten Zeitintervallen	100
5.3.5	Ergebnis	103
5.4	Kostenberechnung und Ersatzteilllokation zur optimalen Bereitstellungsstrategie	104
5.4.1	Kostenberechnung der Basisstrategien	105
5.4.2	Kostenberechnung der ausfallgerechten Bereitstellungsstrategien	114
5.4.3	Kostenberechnung der Bereitstellungsstrategien für Verschleißteile	125
5.4.4	Ersatzteilllokation zur optimalen Bereitstellungsstrategie	128
5.4.5	Lebenszyklusbegleitende Steuerung der Ersatzteillbereitstellung	129
5.4.6	Ergebnis	131
6	Anwendung und Evaluierung der Methode	133
6.1	Praktische Anwendung der Methode	133
6.1.1	Anwendungsfall und Randbedingungen	135
6.1.2	Durchführung der Strukturanalyse	136
6.1.3	Bedarfsermittlung und -prognose	141
6.1.4	Kostenberechnung und Ermittlung optimaler Bereitstellungsstrategien	148
6.2	Bewertung der Methode und Ausblick	156
7	Zusammenfassung	161
	Literaturverzeichnis	I
	Beitragende Studien und Diplomarbeiten	XXIX
	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	XXXI
	Anhang	XXXIV