

This series aims to report new developments in mathematical economics and operations research and teaching quickly, informally and at a high level. The type of material considered for publication includes:

1. Preliminary drafts of original papers and monographs
2. Lectures on a new field, or presenting a new angle on a classical field
3. Seminar work-outs
4. Reports of meetings

Texts which are out of print but still in demand may also be considered if they fall within these categories.

The timeliness of a manuscript is more important than its form, which may be unfinished or tentative. Thus, in some instances, proofs may be merely outlined and results presented which have been or will later be published elsewhere.

Publication of *Lecture Notes* is intended as a service to the international mathematical community, in that a commercial publisher, Springer-Verlag, can offer a wider distribution to documents which would otherwise have a restricted readership. Once published and copyrighted, they can be documented in the scientific literature.

Manuscripts

Manuscripts are reproduced by a photographic process; they must therefore be typed with extreme care. Symbols not on the typewriter should be inserted by hand in indelible black ink. Corrections to the typescript should be made by sticking the amended text over the old one, or by obliterating errors with white correcting fluid. Should the text, or any part of it, have to be retyped, the author will be reimbursed upon publication of the volume. Authors receive 75 free copies.

The typescript is reduced slightly in size during reproduction; best results will not be obtained unless the text on any one page is kept within the overall limit of 18 x 26.5 cm (7 x 10 1/2 inches). The publishers will be pleased to supply on request special stationery with the typing area outlined.

Manuscripts in English, German or French should be sent to Prof. Dr. M. Beckmann, Department of Economics, Brown University, Providence, Rhode Island 02912/USA or Prof. Dr. H. P. Künzi, Institut für Operations Research und elektronische Datenverarbeitung der Universität Zürich, Sumatrastraße 30, 8006 Zürich.

Die „*Lecture Notes*“ sollen rasch und informell, aber auf hohem Niveau, über neue Entwicklungen der mathematischen Ökonometrie und Unternehmensforschung berichten, wobei insbesondere auch Berichte und Darstellungen der für die praktische Anwendung interessanten Methoden erwünscht sind. Zur Veröffentlichung kommen:

1. Vorläufige Fassungen von Originalarbeiten und Monographien.
2. Spezielle Vorlesungen über ein neues Gebiet oder ein klassisches Gebiet in neuer Betrachtungsweise.
3. Seminararbeiten.
4. Vorträge von Tagungen.

Ferner kommen auch ältere vergriffene spezielle Vorlesungen, Seminare und Berichte in Frage, wenn nach ihnen eine anhaltende Nachfrage besteht.

Die Beiträge dürfen im Interesse einer größeren Aktualität durchaus den Charakter des Unfertigen und Vorläufigen haben. Sie brauchen Beweise unter Umständen nur zu skizzieren und dürfen auch Ergebnisse enthalten, die in ähnlicher Form schon erschienen sind oder später erscheinen sollen.

Die Herausgabe der „*Lecture Notes*“ Serie durch den Springer-Verlag stellt eine Dienstleistung an die mathematischen Institute dar, indem der Springer-Verlag für ausreichende Lagerhaltung sorgt und einen großen internationalen Kreis von Interessenten erfassen kann. Durch Anzeigen in Fachzeitschriften, Aufnahme in Kataloge und durch Anmeldung zum Copyright sowie durch die Versendung von Besprechungsexemplaren wird eine lückenlose Dokumentation in den wissenschaftlichen Bibliotheken ermöglicht.

Lecture Notes in Operations Research and Mathematical Systems

Economics, Computer Science, Information and Control

Edited by M. Beckmann, Providence and H. P. Künzi, Zürich

Series: Institut für Gesellschafts- und Wirtschaftswissenschaften
der Universität Bonn. Advisers: H. Albach, F. Ferschl, W. Krelle

18

Manfred Wolff

Optimale
Instandhaltungspolitiken
in einfachen Systemen



Springer-Verlag

Berlin · Heidelberg · New York 1970

Manfred Wolff
7100 Heilbronn, Im Kreuzgrund 60
z. Z.: Department of Operations Research
Cornell University, Ithaca/NY

Advisory Board

H. Albach · A. V. Balakrishnan · F. Fersch
W. Krelle · N. Wirth

ISBN-13: 978-3-540-04942-5 e-ISBN-13: 978-3-642-87726-1
DOI: 10.1007/978-3-642-87726-1

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned, specifically those of translation, reprinting, re-use of illustrations, broadcasting, reproduction by photocopying machine or similar means, and storage in data banks.

Under § 54 of the German Copyright Law where copies are made for other than private use, a fee is payable to the publisher, the amount of the fee to be determined by agreement with the publisher.

© by Springer-Verlag Berlin · Heidelberg 1970. Library of Congress Catalog Card Number 70 – 106195
Title No. 3767

Inhaltsverzeichnis

0. Einführung	1
0.1 Problemstellung und Überblick	1
0.2 Eingrenzung und Zielsetzung	7
I. GRUNDLEGUNG	
1. Der Begriff des stochastischen Prozesses	11
1.1 Allgemeines; Zufallsprozesse	11
1.2 Definition und Klassifikation stochastischer Prozesse	11
2. Erneuerungsprozesse (regenerative, stochastische Prozesse)	15
2.1 Erneuerungssysteme und ihre betriebswirtschaft- lichen Interpretationsmöglichkeiten	15
2.2 Einfache Erneuerungsprozesse	18
2.3 Exkurs: Verzögerte und stationäre Erneuerungsprozesse	22
2.4 Verteilung und asymptotisches Verhalten der Prozeßvariablen eines einfachen Erneuerungsprozesses	25
2.4.1 Zeitpunkt der n. Erneuerung	25
2.4.2 Die Erneuerungsfunktion	26
2.4.3 Restlebensdauer einer gebrauchten Einheit	29
2.4.4 Die Rekurrenzzeiten	30
2.5 Erneuerungsprozesse mit Erneuerungszeiten	32
3. Alternative Zielfunktionen	36

II. DIE OPTIMALE STEUERUNG ZEITLICH UNBEGRENZTER INSTANDHALTUNGSPROZESSE (STATIONÄRE POLITIKEN)	40
4. Altersabhängige, vorbeugende Erneuerungen	40
4.1 Systemcharakteristik	41
4.2 Vorbedingungen für die Überlegenheit einer Politik vorbeugender Erneuerungen	43
4.2.1 Die Ausfallsrate	44
4.2.2 Kosten und Dauer der Erneuerungen	48
4.3 Die optimale, altersabhängige Erneuerungspolitik	49
4.3.1 Vorbemerkung	49
4.3.2 Maximierung des Laufzeitanteils	52
4.3.3 Minimierung der Kosten pro Betriebszeiteinheit	58
4.3.4 Minimierung der Kosten pro Laufzeiteinheit	63
4.4 Zur numerischen Bestimmung des optimalen Erneuerungszeitpunktes	68
4.4.1 WEIBULL-Verteilungen	70
4.4.2 Abgeschnittene Normalverteilungen	74
4.4.3 Gamma-Verteilungen	76
4.5 Erweiterungen	77
5. Blockweise, vorbeugende Erneuerungen	78
5.1 Vorbemerkung	79
5.2 Die optimale Blockerneuerungspolitik in Systemen mit vernachlässigbar kleinen Erneuerungszeiten	81
5.2.1 Eigenschaften der Prozeßvariablen	82
5.2.2 Minimierung der Kosten pro Betriebszeiteinheit	84
5.3 Exkurs: Ruhezeiten des Systems	87
5.4 Die optimale Blockerneuerungspolitik in Systemen mit Erneuerungszeitverteilungen	90
5.4.1 Maximierung des Laufzeitanteils	91
5.4.2 Minimierung der Kosten pro Laufzeiteinheit	92
5.4.3 Minimierung der Kosten pro Betriebszeiteinheit	93
5.5 Zur numerischen Behandlung	94
5.6 Die optimale Blockerneuerungspolitik bei minimaler Reparatur; komplexe Systeme	95
5.6.1 Maximierung des Laufzeitanteils	97
5.6.2 Minimierung der Kosten pro Laufzeiteinheit	98

III. ZUR OPTIMALEN STEUERUNG ZEITLICH BEGRENZTER INSTANDHALTUNGSPROZESSE (SEQUENTIELLE POLITIKEN)	100
6. Der kontinuierliche Entscheidungsprozeß zur Lösung des sequentiellen Erneuerungsproblems	100
7. Die optimale, altersabhängige Erneuerungspolitik in Systemen mit vernachlässigbaren Erneuerungszeiten	103
7.1 Minimierung der Kosten	103
7.2 Einige Erweiterungen	106
8. Die optimale, altersabhängige Erneuerungspolitik in Systemen mit Erneuerungszeitverteilungen	109
8.1 Vorbemerkung	109
8.2 Semi-MARKOV-Entscheidungsprozesse	111
8.2.1 Semi-MARKOV-Prozesse	111
8.2.2 Der Entscheidungsraum	113
8.2.3 Bewertung eines Semi-MARKOV-Prozesses	114
8.2.4 Der Entscheidungsprozeß	115
8.3 Neuformulierung des Erneuerungsproblems als Semi-MARKOV-Entscheidungsprozeß; Lösungsansatz	117
8.3.1 Definition der Prozeßgrößen unter einer vorbeugenden, altersabhängigen Erneue- rungspolitik	117
8.3.2 Maximierung der Laufzeit	120
8.3.3 Minimierung der Kosten (Maximierung des Ertrages)	122
8.4 Zur numerischen Behandlung	125
8.5 Erweiterungsmöglichkeiten des Ansatzes	127
ANHANG Die für das Erneuerungsproblem wichtigsten Ausfallsverteilungen und ihre Eigenschaften	129
Literaturverzeichnis	135