

Teubner Studienbücher

Mathematik

- Ahlswede/Wegener: **Suchprobleme**. DM 32,—
- Aigner: **Graphentheorie**. DM 29,80
- Ansorge: **Differenzenapproximationen partieller Anfangswertaufgaben**. DM 32,— (LAMM)
- Behnen/Neuhaus: **Grundkurs Stochastik**. 2. Aufl. DM 36,—
- Bohl: **Finite Modelle gewöhnlicher Randwertaufgaben**. DM 32,— (LAMM)
- Böhmer: **Spline-Funktionen**. DM 32,—
- Bröcker: **Analysis in mehreren Variablen**. DM 34,—
- Bunse/Bunse-Gerstner: **Numerische Lineare Algebra**. 314 Seiten. DM 36,—
- Clegg: **Variationsrechnung**. DM 19,80
- v. Collani: **Optimale Wareneingangskontrolle**. DM 29,80
- Collatz: **Differentialgleichungen**. 6. Aufl. DM 34,— (LAMM)
- Collatz/Krabs: **Approximationstheorie**. DM 29,80
- Constantinescu: **Distributionen und ihre Anwendung in der Physik**. DM 22,80
- Dinges/Rost: **Prinzipien der Stochastik**. DM 36,—
- Fischer/Sacher: **Einführung in die Algebra**. 3. Aufl. DM 23,80
- Floret: **Maß- und Integrationstheorie**. DM 34,—
- Grigorieff: **Numerik gewöhnlicher Differentialgleichungen**
Band 2: DM 34,—
- Hackbusch: **Theorie und Numerik elliptischer Differentialgleichungen**. DM 38,—
- Hainzl: **Mathematik für Naturwissenschaftler**. 4. Aufl. DM 36,— (LAMM)
- Hässig: **Graphentheoretische Methoden des Operations Research**. DM 26,80 (LAMM)
- Hettich/Zenke: **Numerische Methoden der Approximation und semi-infinitiven Optimierung**. DM 26,80
- Hilbert: **Grundlagen der Geometrie**. 13. Aufl. DM 28,80
- Jeggle: **Nichtlineare Funktionalanalysis**. DM 28,80
- Kall: **Analysis für Ökonomen**. DM 28,80 (LAMM)
- Kall: **Lineare Algebra für Ökonomen**. DM 24,80 (LAMM)
- Kall: **Mathematische Methoden des Operations Research**. DM 26,80 (LAMM)
- Kohlas: **Stochastische Methoden des Operations Research**. DM 26,80 (LAMM)
- Kohlas: **Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit**. DM 38,— (LAMM)
- Krabs: **Optimierung und Approximation**. DM 28,80
- Lehn/Wegmann: **Einführung in die Statistik**. DM 24,80
- Müller: **Darstellungstheorie von endlichen Gruppen**. DM 25,80
- Rauhut/Schmitz/Zachow: **Spieltheorie**. DM 34,— (LAMM)
- Schwarz: **FORTTRAN-Programme zur Methode der finiten Elemente**. DM 25,80
- Schwarz: **Methode der finiten Elemente**. 2. Aufl. DM 39,— (LAMM)
- Stiefel: **Einführung in die numerische Mathematik**. 5. Aufl. DM 34,— (LAMM)
- Stiefel/Fässler: **Gruppentheoretische Methoden und ihre Anwendung**. DM 32,— (LAMM)

Fortsetzung auf der dritten Umschlagseite

Teubner Studienbücher Mathematik

J. Kohlas

Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit

Leitfäden der angewandten Mathematik und Mechanik LAMM

Unter Mitwirkung von
Prof. Dr. G. Hotz, Saarbrücken
Prof. Dr. P. Kall, Zürich
Prof. Dr. Dr.-Ing. E. h. K. Magnus, München
Prof. Dr. E. Meister, Darmstadt

herausgegeben von
Prof. Dr. Dr. h. c. H. Görtler, Freiburg

Band 55

Die Lehrbücher dieser Reihe sind einerseits allen mathematischen Theorien und Methoden von grundsätzlicher Bedeutung für die Anwendung der Mathematik gewidmet; andererseits werden auch die Anwendungsgebiete selbst behandelt. Die Bände der Reihe sollen dem Ingenieur und Naturwissenschaftler die Kenntnis der mathematischen Methoden, dem Mathematiker die Kenntnisse der Anwendungsgebiete seiner Wissenschaft zugänglich machen. Die Werke sind für die angehenden Industrie- und Wirtschaftsmathematiker, Ingenieure und Naturwissenschaftler bestimmt, darüber hinaus aber sollen sie den im praktischen Beruf Tätigen zur Fortbildung im Zuge der fortschreitenden Wissenschaft dienen.

Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit

**Mathematische Modelle, Methoden
und Algorithmen**

Von Dr. phil. Jürg Kohlas
o. Professor an der Universität Freiburg i. Ue. (CH)

Mit zahlreichen Abbildungen und Algorithmen

Prof. Dr. phil. Jürg Kohlas

Geboren 1939 in Winterthur. Von 1960 bis 1965 Studium der Mathematik und Physik an der Universität Zürich. Von 1965 bis 1971 wiss. Mitarbeiter am Institut für Operations Research und Elektronische Datenverarbeitung an der Universität Zürich. 1967 Promotion, ab 1972 Privatdozent für angewandte Mathematik an der Universität Zürich. Von 1971 bis 1973 Tätigkeit als Wissenschaftler am Forschungszentrum der Firma Brown, Boveri & Cie., Baden (CH). Seit 1973 o. Professor für Operations Research und Informatik an der Universität Freiburg i. Ue. (CH). 1976 Präsident der Schweizerischen Vereinigung für Operations Research. Seit 1978 Direktor des Instituts für Automation und Operations Research an der Universität Freiburg i. Ue. (CH).

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Kohlas, Jürg:

Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit : math.

Modelle, Methoden u. Algorithmen / von

Jürg Kohlas. – Stuttgart : Teubner, 1987

(Leitfäden der angewandten Mathematik und
Mechanik ; Bd. 55)

(Teubner Studienbücher : Mathematik)

ISBN 978-3-519-02357-9

ISBN 978-3-322-99891-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-99891-0

NE: GT

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© Springer Fachmedien Wiesbaden 1987

Ursprünglich erschienen bei B.G. Teubner, Stuttgart 1987

Satz: Elsner & Behrens GmbH, Oftersheim

Umschlaggestaltung: M. Koch, Reutlingen

Vorwort

Die Zuverlässigkeitstheorie befaßt sich mit der Frage der Funktionstüchtigkeit oder Funktionssicherheit von technischen Systemen. Diese Problematik ist außerordentlich vielschichtig. Ein sehr wichtiger Fragenkomplex betrifft dabei die Beeinflussung der Zuverlässigkeit oder Verfügbarkeit eines Systems durch die *S t r u k t u r* des Systems. Gemeint ist damit die Empfindlichkeit oder Verletzlichkeit eines Systems gegenüber dem Ausfall oder dem fehlerhaften Funktionieren von einer oder von mehreren Komponenten, von Teilsystemen oder von Systemfunktionen. Diese Thematik ist Gegenstand dieses Buches.

Genauer gesagt geht es zunächst um die Beschreibung oder *M o d e l l i e r u n g* von funktionalen Systemstrukturen im Hinblick auf Zuverlässigkeits- und Verfügbarkeitsuntersuchungen. Sodann geht es um die Ansätze und die *M e t h o d e n z u r m a t h e m a t i s c h e n* Untersuchung dieser Modelle und ihrer Eigenschaften. Und schließlich geht es um die *A l g o r i t h m e n* zur computergestützten Analyse der Zuverlässigkeit und der Verfügbarkeit.

Es wird hier der Begriff der *m o n o t o n e n* Systeme in das Zentrum der Betrachtung gestellt (siehe Kapitel 6). Kommunikations- und Transport- oder Verkehrsnetzwerke sind besonders wichtige Fälle von monotonen Systemen, und sie finden hier dementsprechend auch besondere Beachtung. Es wird die *d e t e r m i n i s t i s c h e* und die *p r o b a b i l i s t i s c h e* Analyse der Verletzlichkeit oder Zuverlässigkeit solcher Systeme diskutiert. In beiden Fällen kommen *k o m b i n a t o r i s c h e* Methoden zum Tragen. Eine wichtige Methode zur Verbesserung der Zuverlässigkeit und der Verfügbarkeit komplexer Systeme besteht in der Reparatur und Wartung. Zur Darstellung und Untersuchung von Reparatur- und Wartungsprozessen werden *M a r k o f f s c h e* Modelle eingeführt und besprochen. Es ist in allen Teilen des Buches im Hinblick auf die computergestützte Zuverlässigkeitsrechnung großes Gewicht auf die *a l g o r i t h m i s c h e n* Aspekte der Modelle und Methoden gelegt.

Ein großer Teil der in diesem Buch besprochenen Methoden und Algorithmen wurden von *J. P a s q u i e r* und *C u n g B i n h D u y e t* in interaktiven, computergestützten Methoden- und Modellbanksystemen für die Zuverlässigkeitsanalyse implementiert und erprobt. *P. A. M o n n e y* hat den Text des Buches insbesondere in mathematischer Hinsicht überprüft und viele wertvolle Hinweise gegeben. Er hat zusammen mit *F. G e i n o z* auch die Druckfahnen korrigiert, wofür ich beiden sehr dankbar bin. Der Text des Buches wurde im Winter-Semester 1985/86 einem Seminar an der Universität Zürich zugrunde gelegt. Die Seminarteilnehmer, insbesondere *K. Frauendorfer*, *A. Ruszczynski*, *L. Rüst*, *F. Geinoz*, *N. Giagiozis*, *E. Duttweiler*, haben manche Fehler entdeckt und korrigiert und viele Ideen beigetragen.

Zum Schluß noch einige formale Hinweise zum Aufbau des Buches: Das Ende von Beweisen ist mit ■ markiert. Die Formeln sind in jedem Abschnitt, beginnend ab (1),

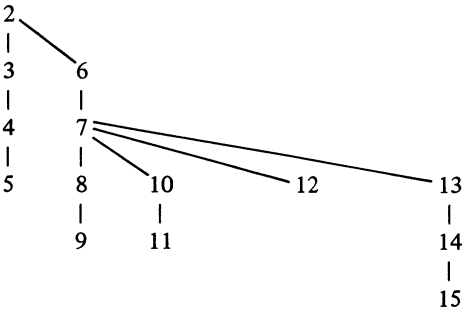
6 Vorwort

neu nummeriert. Der Hinweis auf eine Formel (k) im Abschnitt j des Kapitels i lautet daher (i.j.k). Am Ende jedes Kapitels ist ein Kommentar eingefügt, der Hinweise auf die Literatur enthält. Es soll damit einerseits auf die Originalarbeiten zum Stoff der jeweiligen Kapitel hingewiesen werden, andererseits aber auch auf Lehrbücher oder Monographien, die ergänzenden Stoff enthalten. Das Literaturverzeichnis selbst befindet sich am Ende des Buches.

Freiburg i. Ü. (CH), Ende 1986

J. Kohlas

Diagramm der Abhängigkeiten der Kapitel:



Inhalt

1	Einführung	9
---	----------------------	---

Teil I Deterministische Analyse

2	Grundlagen	14
2.1	Graphentheoretische Grundbegriffe	14
2.2	Bäume	19
2.3	Darstellung von Graphen in Computern	22
2.4	Suche in Graphen	23
3	Maximale Flüsse und Schnitte minimaler Kapazität	29
3.1	Das MAXMIN-Theorem	29
3.2	Algorithmus zur Bestimmung des maximalen Flusses	34
3.3	Berechnung von Knoten-Zusammenhängen	36
4	Kohäsion von Graphen	44
4.1	System der Bogen-Zusammenhänge	44
4.2	Systeme von Schnitten	46
4.3	Der Algorithmus von Gomory-Hu	50
5	Zusammenhang von Graphen	57
5.1	Berechnung des Zusammenhangs eines Graphen	57
5.2	System der Knoten-Zusammenhänge	59
6	Struktur monotoner Systeme	65
6.1	Monotone Systeme	65
6.2	Dualität bei monotonen Systemen	69
6.3	Monotone Boolesche Funktionen	72
6.4	Domination	78
6.5	Moduln kohärenter Systeme	82
6.6	Modulare Zerlegung kohärenter Systeme	89

Teil II Probabilistische Analyse

7	Zuverlässigkeit monotoner Systeme	96
7.1	Berechnungsmethoden: Eine erste Übersicht	96
7.2	Zuverlässigkeitsfunktionen	104
7.3	Zuverlässigkeitsfunktionen monotoner Systeme	110
8	Spezielle Strukturen: Reduktion und Zerlegung	113
8.1	Serie- und Parallel-Reduktionen	113

8	Inhalt	
8.2	Polygon-zu-Ketten-Reduktionen	117
8.3	Berechnung von Serie-Parallel-Graphen	122
8.4	Reduktion trizusammenhängender Komponenten	130
9	Faktorisierung	136
9.1	Anwendungsbeispiele und Grundlagen	136
9.2	Dominationen und Faktorisierung	141
9.3	Optimale Faktorisierung von Graphen	144
10	Erzeugung aller minimaler Verbindungen und minimaler Trennungen	148
10.1	Erzeugung aller elementarer Pfade in einem Graphen	148
10.2	Erzeugung aller spannenden Bäume	152
10.3	Erzeugung von Bogen-Schnittmengen	158
11	Zerlegungsverfahren	164
11.1	Intervall-Zerlegungen für kohärente Systeme	164
11.2	Erzeugung modifizierter Trennungen bei Netzwerkproblemen	169
11.3	Konstruktion von modifizierten Trennungen aus minimalen Trennungen	174
12	Schranken und Abschätzungen für die Zuverlässigkeit	177
12.1	Abschätzungen auf Grund von Serie- und Parallelformen	177
12.2	Verbesserung der Schranken bei modularer Zerlegung	180
12.3	Schranken zweiter Ordnung	183
Teil III Reparatur und Wartung		
13	Markoffsche Modelle	189
13.1	Einführende Beispiele	189
13.2	Grundlagen Markoffscher Modelle	195
13.3	Verfügbarkeit reparierbarer Systeme	203
13.4	Zuverlässigkeitsfunktion reparierbarer Systeme	208
14	Unabhängige Reparatur	216
14.1	Verfügbarkeit von komplexen Systemen	216
14.2	Ausfallfreie Zeiten	217
14.3	Die erwartete Intaktzeit	223
14.4	Alternierende Erneuerungsprozesse	225
15	Warteschlangen-Netzwerkmodelle	230
15.1	Geschlossene Systeme	230
15.2	Anwendungsbeispiele	233
15.3	Algorithmen zur Berechnung von Bedienungs-Netzwerken	237
Anhang		241
Literaturverzeichnis		245
Sachverzeichnis		250