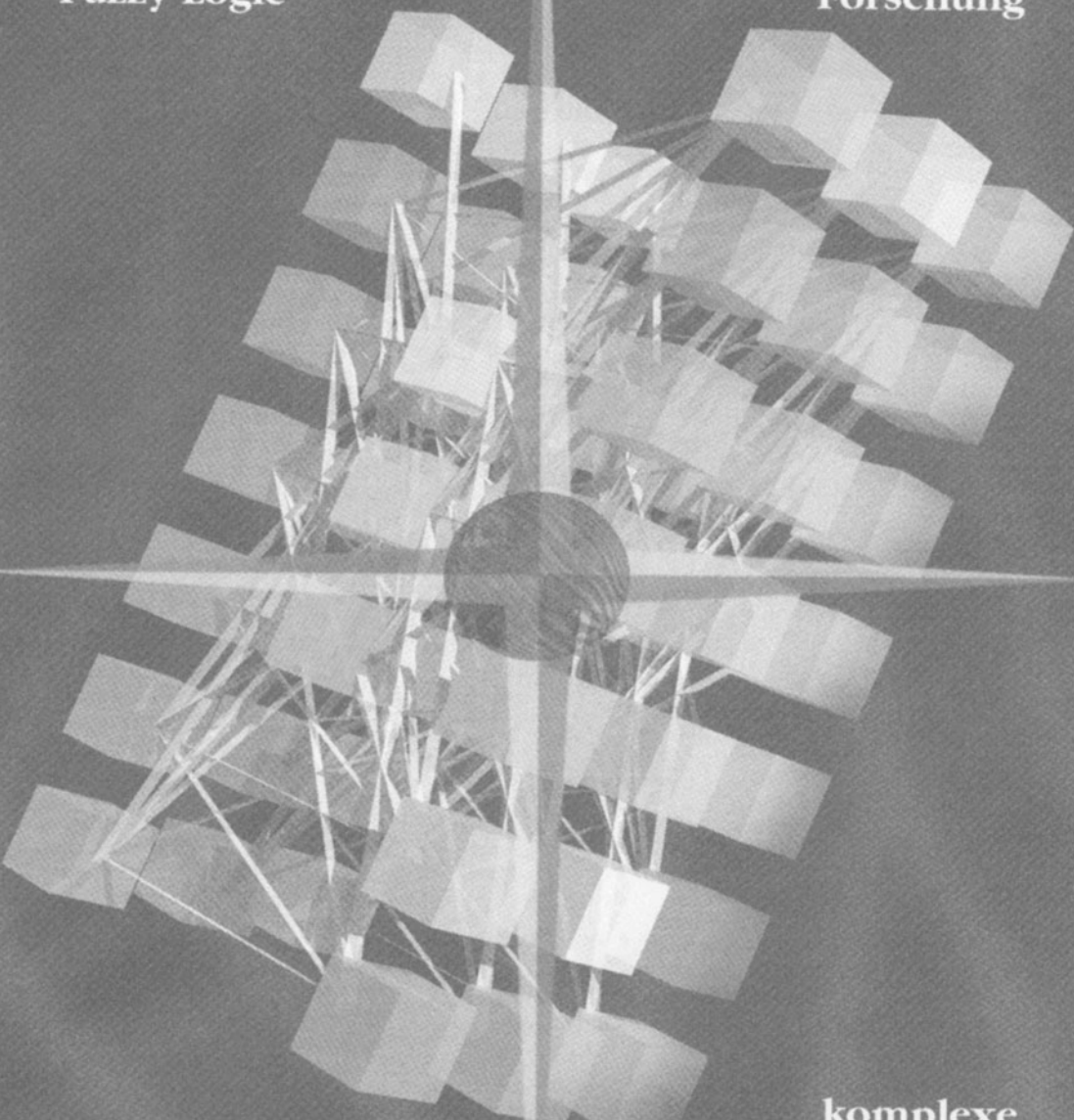




neuronale Netze
Fuzzy Logic



wirtschaftsnahe
Forschung



Sprach- und
Bildererkennung



komplexe
Simulationen
künstliche Intelligenz



Rolf Grützner
(Hrsg.)

Modellierung und
Simulation
im Umweltbereich

Fortschritte in der Simulationstechnik im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM) herausgegeben von G. Kampe und D. Möller

- Band 1 F. Breitenecker, I. Troch, P. Kopacek (Hrsg.)
Simulationstechnik
6. Symposium in Wien, September 1990
- Band 2 F. Breitenecker, H. Ecker, I. Bausch-Gall
Simulation mit ACSL
- Band 3 Dj. Tavangarian
Simulation und Entwurf elektronischer Schaltungen
- Band 4 Dj. Tavangarian (Hrsg.)
Simulationstechnik
7. Symposium in Hagen, September 1991
- Band 5 O. Rathjen
Digitale Echtzeitsimulation
- Band 6 A. Sydow (Hrsg.)
Simulationstechnik
8. Symposium in Berlin, September 1993
- Band 7 A. Kuhn, A. Reinhardt, H.-P. Wiendahl (Hrsg.)
Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik
- Band 8 J. Biethahn, J. Hummeltenberg, B. Schmidt, Th. Witte (Hrsg.)
Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe
- Band 9 G. Kampe, M. Zeitz (Hrsg.)
Simulationstechnik
9. Symposium in Stuttgart, Oktober 1994
- W. Krug (Hrsg.)
Simulationstechnik
10. Symposium in Dresden, September 1996
- Rolf Grützner (Hrsg.)
Modellierung und Simulation im Umweltbereich

Rolf Grützner
(Hrsg.)

Modellierung und Simulation im Umweltbereich

Mit 119 Abbildungen



Herausgeber der Reihe im Auftrag der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM):

Prof. Dr.-Ing. G. Kampe, Esslingen

Prof. Dr. D. Möller, Clausthal

Alle Rechte vorbehalten

© Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden 1997

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1997

Der Verlag Vieweg ist ein Unternehmen der Bertelsmann Fachinformation GmbH.



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 insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

<http://www.vieweg.de>

ISSN 0945-6465

ISBN 978-3-322-90907-7

ISBN 978-3-322-90906-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-90906-0

Vorwort des Herausgebers

Der Umwelt wird heute verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt. Das liegt darin begründet, daß man ihre Endlichkeit, ihre Verletzlichkeit aber auch ihre Bedeutung für das menschliche Leben erkannt hat. Bedingt durch die immer stärker werdenden Einwirkungen auf die Umwelt treten Veränderungen ein, die ihrerseits wieder auf das menschliche Sein zurückwirken können. Trotz großer Aufwendungen ist es dann oft nicht möglich, diese Umweltveränderungen wieder rückgängig zu machen. Sollte es möglich sein, dann handelt es sich meistens um einen sehr langen und aufwendigen Prozeß.

Die Einwirkungen ergeben sich aus den menschlichen Aktivitäten. Dazu gehören vor allem:

- die Nutzung nicht regenerierbarer natürlicher Ressourcen (z.B. Erdöl, Kohle, Wasser) und
- die Einwirkung auf Umweltprozesse durch anthropogene Aktivitäten (z.B. auf Ökosysteme durch Produktion, Konsumption, Bauten).

Zur Realisierung und Bewahrung angemessener Lebensbedingungen auf dem Planeten Erde müssen die menschlichen Aktivitäten jedoch so gestaltet werden, daß auch die nachfolgenden Generationen menschenwürdige Lebensbedingungen vorfinden. Wir sprechen in diesem Zusammenhang davon, daß sich die durch den Menschen bedingten umweltrelevanten Prozesse nachhaltig entwickeln müssen. Zur Gewinnung von Einsichten in die Dynamik der Umweltprozesse, zur Ermittlung der Umweltveränderungen und -schädigungen durch anthropogene Aktivitäten und zur Abschätzung der Wirksamkeit von Umweltschutzmaßnahmen spielen Modellbildung und Simulation eine wichtige Rolle. Die Modellbildung und Simulation im Umweltbereich entwickelte sich deshalb in den letzten Jahren immer stärker zu einem eigenen Fachgebiet, in dem systemtheoretische Ansätze, Methoden der Modellbildung und Simulation, moderne Werkzeuge und Konzepte der Informatik – speziell der Umweltinformatik – und das Fachwissen der betroffenen Fachgebiete (z.B. Ökologie, Geologie, Bodenkunde, Meteorologie, Ingenieurwissenschaften, Gesellschaftswissenschaften und vieler weiterer) im Mittelpunkt stehen.

Insbesondere hat die Umweltinformatik in diesem interdisziplinären Rahmen eine integrative Funktion. Sie ist nicht Hilfswissenschaft, die anderen Fachgebieten ausschließlich Werkzeuge bereitstellt, sondern sie liefert systemanalytisch begründete methodische Grundlagen, um die notwendigen Forschungs-, Entwicklungs- und Lehraufgaben im Umweltbereich zu realisieren.

Bedingt durch die Komplexität der Systeme und die häufig noch fehlenden, geringen oder unscharfen Systemkenntnisse sind spezielle Modellierungskonzepte notwendig. Dazu gehören u.a. Fuzzy-Systeme, neuronale Netze, regelbasierte Systembeschreibungen und Expertensysteme, qualitative Simulation – d.h. Methoden der modernen Informatik.

Es muß jedoch betont werden, daß durch solche Methoden das fehlende Wissen über die zugrunde liegenden Systeme nicht ersetzt werden kann.

Zur Verringerung dieser Wissenslücken stehen theoretische und experimentelle Forschungen gleichberechtigt gegenüber. Da jedoch aktive Experimente mit den Umweltsystemen meist nur eingeschränkt möglich oder sogar unmöglich sind, spielen die mathematische Modellierung und die Simulation eine bedeutende Rolle. Das verlangt die Verfügbarkeit von Methoden zur Analyse, zur objektiven Bearbeitung von Analyseergebnissen sowie zur Trendeinschätzung und Vorhersage von Umweltveränderungen.

Der vorliegende Band der Reihe »Fortschritte in der Simulationstechnik« enthält ausgewählte Beiträge, um den Entwicklungsstand auf dem Gebiet der Modellbildung und Simulation im Umweltbereich vorzustellen. Die Beiträge fassen wesentliche Ergebnisse von Workshops zusammen. Dabei handelt es sich um die Workshops: »Treffen des AK5: Werkzeuge für die Simulation und Modellbildung in Umweltsanwendungen«, durchgeführt von der gleichnamigen Fachgruppe der Arbeitsgemeinschaft Simulation – ASIM – und des Fachausschusses »Informatik im Umweltschutz« der Gesellschaft für Informatik. Seit 1992 wurden sieben Workshops durchgeführt, deren Ergebnisse jeweils in den »Wissenschaftlichen Berichten« des Forschungszentrums Karlsruhe publiziert wurden.

Im vorliegenden Band wird einerseits der Versuch unternommen, für wesentliche Schwerpunktgebiete den Stand sowie die Probleme vorzustellen und andererseits über bedeutsame Konzepte und Methoden zu berichten. Die Orientierung liegt vor allem auf der Vermittlung eines Überblickes über Zusammenhänge, Fragestellungen, methodische Konzepte und Werkzeuge, um den Leser die Möglichkeit zu geben, eigene Fragestellungen wiederzufinden und – ich hoffe – sogar einen möglichen Lösungsansatz auswählen zu können. Konkrete Modelle, Algorithmen und Softwarewerkzeuge werden in der Regel nicht im Detail vorgestellt, dafür sind ausreichend Literaturverweise vorhanden. Augenmerk wurde auch auf die Auswahl der Beiträge gelegt, um die notwendige Interdisziplinarität in der Arbeitsweise deutlich zu machen.

Der Band beginnt mit einem Übersichtskapitel. Im Beitrag von *R.Grützner* (Kapitel 1) werden Begriffe und Definitionen, die Einsatzgebiete der Modellbildung und Simulation im Umweltbereich, Methoden und Werkzeuge sowie Probleme und Entwicklungstendenzen vorgestellt. Ihm folgen zunächst eine Reihe von Beiträgen, die Methoden und Konzepte für die Modellierung, Analyse und Entscheidungsfindung im Umweltbereich vorstellen. Im Kapitel 2 von *H.B.Keller* werden regelbasierte Expertensysteme, Fuzzy-Systeme zur unscharfen Informationsverarbeitung, evolutionäre Algorithmen zur Optimierung sowie maschinelle Lernverfahren vorgestellt und ihre Anwendung an ausgewählten Beispielen gezeigt. Im Kapitel 3 geben *J.Gebhard* und *R.Kruse* einen Einblick in den semantischen Hintergrund possibilistischer Netze im Vergleich zu probabilistischen Netzen. Possibilistische Netze bilden einen Ansatz, um bei Tolerierung approximativer Schlußfolgerungsmechanismen neben Unsicherheit auch Nichtpräzision zu modellieren.

Die Grundlagen neuronaler Netze, ihre Anwendung sowie zugehörige Simulationswerkzeuge bilden den Schwerpunkt des Kapitels 4 von *H.B.Keller*. Die Anwendungen konzentrieren sich auf die Steuerung technischer Prozesse mit Umweltwirkung.

Die Modellierung der Stoffflüsse in Produktionssystemen zur Erfassung und Verringerung schädlicher Emissionen nehmen in der Umweltsimulation einen wachsenden Raum ein. *A.Tuma* u.a. zeigen im Kapitel 5, wie Fuzzy-Petri-Netze – eine modifizierte Form

der Platz-Transitions-Netze – zur Bilanzierung von Stoff- und Energieströmen einsetzbar sind. Fuzzy-Petri-Netze werden definiert und exemplarisch an einem Produktionssystem aus der Textilindustrie erprobt.

In der klassischen kontinuierlichen Simulation werden für die Modellgleichungen die Parameterwerte benötigt. Liegen diese nicht vor oder sind sie nur näherungsweise bekannt - Größenordnung, Vorzeichen - dann kann der Einsatz der qualitativen Simulation helfen. *R.Hohmann* und *E.Möbus* stellen im Kapitel 6 die qualitative Simulation und ihre Anwendung auf Ökosysteme vor. Die qualitative Simulation ermittelt die ganze Lösungsvielfalt der betrachteten Systeme.

In den Kapiteln 7 bis 10 werden Anwendungen in ausgewählten Umweltbereichen vorgestellt. *L.M.Hilty* zeigt in Kapitel 7 eine Anwendung auf Verkehrssysteme und die Nutzung eines objektorientierten Modellbanksystems, basierend auf den Arbeiten im Forschungsprojekt MOBILE. Im Kapitel 8 vergleichen *B.Page* u.a. die Eignung unterschiedlicher Softwarewerkzeuge (E4CHEM, STELLA, EXTEND) zur Modellierung und Berechnung der Ausbreitung von Chemikalien im Boden. Vor- und Nachteile der Werkzeuge werden an einem Beispiel diskutiert.

Die Anwendung der Modellbildung und Simulation auf den Bereich der Regionalplanung (ländlich - touristischer Bereich) beschreibt *N.Grebe* im Kapitel 10. Es wird das auf dem Simulationssystem SIMPLEX (Universität Passau) aufbauende Werkzeug REGIOPLAN⁺ an Hand ausgewählter Beispiele vorgestellt. Dabei werden die Zusammenhänge zwischen Wirtschaft, Finanzen, Tourismus, Bevölkerung und Umwelt analysiert. Diesem Kapitel folgt eine Darstellung der Entwicklung und Nutzung komplexer Simulationsmodelle für die Raumentwicklung am Beispiel des Landes »Sachsen« durch *N.X.Thinh* im Kapitel 10. Er führt das Konzept der »integrativen Systemanalyse« ein.

Als klassische Modelle im Umweltbereich gelten die Ausbreitungsmodelle. Im Zusammenhang mit dem DYMOS Modell System berichten *A.Sydow* u.a. im Kapitel 11 über neuere Ansätze und Anwendungen auf diesem Teilgebiet. DYMOS dient als Grundlage für Vorhersagen und operative Entscheidungen bei Luftverschmutzungen, speziell bei Sommersmog. Anwendungen im Raum Berlin und München runden die Darstellung.

In der Mehrzahl der existierenden Modelle ist eine umfangreiche Ansammlung von Wissen enthalten. Zu seiner Bewahrung und zur vollständigen Dokumentation von ökologischen Basismodellen wurde das Dokumentationssystem ECOBAS entwickelt. Über Aufbau, Funktion und Nutzung berichten *J.Benz* und *R.Hoch* im Kapitel 12.

Die letzten Kapitel 13 bis 16 beschäftigen sich mit der Anwendung von Fuzzy-Systemen zur Modellierung im Umweltbereich. Im Kapitel 13 werden durch *G.Lutze* und *R.Wieland* für die Analyse und Bewertung von Landschaftsnutzungs- und Naturschutzstrategien notwendige Instrumentarien vorgestellt und an zwei Beispielen der Habitatsmodellierung mit Neuro-Fuzzy-Technologien beschrieben. Die Auswirkungen von Landschaftsveränderungen auf Tierpopulationen werden damit adäquat modelliert.

P.W.Gräber gibt im Kapitel 14 einen Überblick über Ansätze und Methoden für die Modellierung und Simulation wesentlicher Prozesse im Grundwasserbereich. Die Anforderungen an Softwarewerkzeuge werden anhand eines ausgewählten Systems diskutiert.

Den Fragen der Verbesserung der Aussageschärfe der Wahrscheinlichkeitsverteilung bei Monte Carlo Simulation und der Zugehörigkeitsfunktion bei Fuzzy-Ansätzen widmet

sich *W.Paul* im Kapitel 15. Eine Verbesserung wird durch Korrelation und Regeln erreicht.

Im Kapitel 16 stellen *D.F.P.Möller* u.a. den Einsatz von neuronalen Netzen und Fuzzy-Klassifikatoren zur umweltgerechten Steuerung eines Kohlekraftwerkes vor. Aus kleinsten Veränderungen der Systemparameter werden frühzeitig die aus ihnen folgenden Zustandsänderungen erkannt und gegensteuernde Maßnahmen vorgenommen.

Es wird erwartet, daß mit dem vorliegenden Band ein Beitrag zur Dokumentation des wissenschaftlichen und anwendungsorientierten Standes der Modellbildung und Simulation in einigen wesentlichen Teilgebieten des Umweltbereiches geleistet werden konnte. Bedingt durch den verfügbaren Platz mußte eine Auswahl erfolgen. So fehlen solche wichtigen Teilgebiete wie z.B. Kopplung von Geoinformations- und Simulationssystemen, sozio-ökologische Systeme, ökologisch-ökonomische Systeme sowie Global- und Klimamodelle.

Für Anregungen, Vorschläge und Verbesserungen der vorgestellten Konzepte, Methoden und Werkzeuge sind Herausgeber und Autoren dankbar. Das betrifft auch eventuell noch vorhandene Druckfehler.

Allen Autoren sei an dieser Stelle gedankt für die Anfertigung ihres Beitrages. Dank sei auch dem Verlag für die qualitativ anspruchsvolle Gestaltung des Bandes gesagt.

Insbesondere möchte ich aber meiner Mitarbeiterin Frau Dipl.Ing. Nadja Schlungbaum für ihren hohen Einsatz bei der technischen Aufbereitung, Formatierung und Durchsicht der Manuskripte danken. Ohne ihre umsichtige Hilfe wäre ein Erscheinen kaum denkbar gewesen.

Rostock, im Sommer 1997

Rolf Grützner

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Herausgebers	V
1 <i>R. Grützner</i> Stand, Probleme und Aufgaben der Umweltsimulation	1
2 <i>H.B. Keller</i> Moderne Informatikmethoden für die Umwelttechnik	33
3. <i>J. Gebhardt; R. Kruse</i> Possibilistische graphische Modelle.....	55
4 <i>H.B. Keller; B. Müller</i> Anwendungen neuronaler Netze im Umweltbereich	71
5 <i>A. Tuma; G. Siestrup; H.D. Haasis</i> Stoffstrommanagement auf der Basis von Fuzzy-Petri-Netzen	87
6 <i>R. Hohmann; E. Möbus</i> Qualitative Simulation von Ökosystemen.....	103
7 <i>L.M. Hilty</i> Umweltorientierte Verkehrsmodellierung und ihre Unterstützung durch ein objektorientiertes Modellbanksystem	121
8 <i>B. Page; W. Kreutzer; V. Wohlgemuth; R. Brüggemann</i> Ein Anwendungsvergleich ausgewählter graphischer Modellierungs- werkzeuge in der Expositionsanalyse von Chemikalien in der Umwelt	147
9 <i>N. Grebe</i> Das Modell REGIOPLAN+ und seine Anwendungsmöglichkeiten	173
10 <i>Nguyen Xuan Thinh</i> Entwicklung komplexer Simulationsmodelle ökologische Raumentwicklung.....	189

11	<i>A. Sydow; T. Lux; P. Mieth; M. Schmidt; S. Unger</i> The DYMOS Model System for the Analysis and Simulation of Regional Air Pollution	209
12	<i>J. Benz; R. Hoch</i> ECOBAS - Ein Modelldokumentationssystem.....	221
13	<i>G. Lutze; R. Wieland</i> Fuzzy in der Landschaftsforschung und -modellierung.....	233
14	<i>P.W. Gräber</i> Modellierung und Simulation von Grundwasserprozessen.....	249
15	<i>W. Paul</i> Monte Carlo und Fuzzy Methoden zur Behandlung von Modellunsicherheiten	265
16	<i>D.P.F. Möller; M. Reuter; A. Berger; C. Zemke; J. Jungblut</i> Neuro-Fuzzy-Systeme und deren Anwendung in der Umwelttechnik	281
	Autorenverzeichnis.....	303