

**Herausgeber:  
Albrecht Gnauck**

**Theorie und  
Modellierung  
von Ökosystemen**

**Workshop Kölpinsee 2000**



ASIM-Mitteilung AMB 74

Berichte aus der Umweltinformatik

**Albrecht Gnauck (Hrsg.)**

**Theorie und Modellierung von Ökosystemen**

Workshop Kölpinsee 2000

Shaker Verlag  
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

**Theorie und Modellierung von Ökosystemen : Workshop**

**Kölpinsee 2000** / Albrecht Gnauck (Hrsg.).

Aachen : Shaker, 2002

(Berichte aus der Umweltinformatik)

ISBN3-8322-0200-5

Copyright Shaker Verlag 2002

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

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-0200-5

ISSN 1616-0886

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

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

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## VORWORT

Die natürlichen erneuerbaren und nichterneuerbaren Ressourcen der Erde werden durch die menschliche Gesellschaft intensiv zur Befriedigung wirtschaftlicher, sozialer und kultureller Bedürfnisse genutzt. Dadurch verändert der Mensch die Natur. Parallel zu den durch die Ökosystemnutzung bedingten raum-zeitlichen Beeinflussungen des Naturhaushaltes ändert sich auch kontinuierlich der Zustand der natürlichen Umwelt. Diese Änderungen unterscheiden sich von den anthropogen verursachten hinsichtlich ihres Charakters, ihrer Änderungsgeschwindigkeiten und -richtungen und hinsichtlich ihrer Intensitäten. Sie sind zeitlich und räumlich unterschiedlich ausgeprägt und verlaufen auf verschiedenen Skalen. Zur Erfassung der Komplexität dieser Wechselwirkungen wurden seit den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts mathematische Modelle entwickelt, mit deren Hilfe einerseits Kenntnisse über die Veränderungen der Umwelt abgeleitet wurden, andererseits aber auch die Auswirkungen von anthropogenen Eingriffen in Ökosysteme teilweise simuliert werden konnten. Die historisch von verschiedenen Ausgangspunkten her entwickelten Systemkonzepte der Mechanik, der Physik, der Biologie, der Chemie, der Ökologie und der Systemtheorie haben dazu eigenständige Beiträge geleistet und stellten Begriffssysteme und Methoden mit allgemeiner Anwendbarkeit zur Verfügung. Jeder natürlich abgegrenzte Teil der Umwelt wird zusammen mit einigen als wesentlich betrachteten Zustandsvariablen und seinen Wechselwirkungen mit der stofflichen Struktur der Umwelt als konkretes Ökosystem betrachtet. Die wesentlichen Zustandsgrößen eines Öko- bzw. Umweltsystems sind in der Regel nicht voneinander unabhängig. Zwischen ihnen bestehen bestimmte Relationen, die in Raum und Zeit variieren. Meist sind sie von der Vorgeschichte, das heißt, von der Evolution des betrachteten Ökosystems und seiner Teilsysteme abhängig. Die Relationen legen das Raum-Zeit-Verhalten des Ökosystems fest, wobei sich Teilsysteme mit gleichem Verhalten aber unterschiedlicher biozönotischer Struktur zeitweilig in ihrer Funktion ersetzen können.

Bei der Übertragung insbesondere systemtheoretischer Denkmodelle auf ökologische Erkenntnisse treten zwei Grundaufgaben auf:

1. Quantifizierung ökologischer Aussagen mittels geeigneter mathematischer Systemmodelle mit dem Ziel der direkten Anwendbarkeit. Mathematische Modellierung und

Simulation ökologischer Systeme sind die darauf beruhenden speziellen Arbeitsgebiete der Umweltinformatik.

2. Abstraktion und Generalisierung ökologischer Ergebnisse sowie Ausarbeitung neuer systemtheoretischer Strukturen zur Ableitung und Erklärung von Wirkungszusammenhängen zur Lösung ökologischer Aufgaben. Diese führen zu einer Theoriebildung in der Ökologie auf der Basis relationaler Verknüpfungen.

Ökologische Systeme lassen sich als komplexe Übertragungssysteme auffassen. Jeder Systemzustand ist verantwortlich für eine bestimmte Transformation der Eingangssignale in die Ausgangssignale. Zeitdauer und Intensität der ökologischen Wechselwirkungen sowie die räumliche Komposition der Teilsysteme sind dabei hervorgehobene Merkmale. Die systemtheoretische Modellierung ökologischer Systeme ist dabei stets an die internen Speicheränderungen sowie an die Wandlung der entsprechenden Signale gekoppelt. Relativistische Effekte treten immer dann meßbar auf, wenn die Zeitintervalle zwischen dem Abschicken einer Information an ein anderes Teilsystem und der Antwort des anderen Systems nicht vernachlässigt werden können. Aus diesem Grunde spielen die bei Übergangsprozessen auftretenden Verzögerungszeiten eine große Rolle. Während zu Beginn der mathematischen Modellierungen von Ökosystemen mit einem hohen Zeitaufwand stets neue Prozeß- und Systemmodelle ausgearbeitet wurden, bietet die Anwendung komplexer Simulationswerkzeuge auch im nichttechnischen Bereich bezüglich Entwicklungszeit und genereller Anwendbarkeit enorme Vorteile. Die Ökosystemnutzung erfordert eine aktive, die menschliche Gesellschaft zufriedenstellende Steuerung derart, daß die gewünschten Änderungen der Ökosystemzustände im gewissen Sinn optimal sind. Die Auswertung von Zeitreihen ökologischer Daten mit komplexen Simulationswerkzeugen stellt eine aktuelle Aufgabe der Umweltinformatik dar, um die Effekte von Maßnahmen der Umweltplanung auf den Naturhaushalt abschätzen zu können.

Die wissenschaftliche Zielsetzung des 4. Workshops "Theorie und Modellierung von Ökosystemen" bestand deshalb folgerichtig in der Ausnutzung von Informatikwerkzeugen zur Verbindung von systemtheoretischen, mathematischen und ökologischen Erkenntnissen der Umweltforschung. Der Schwerpunkt lag dabei auf dem Gebiet der Modellierung und Simulation von Ökosystemen. Es wurden insgesamt 16 theoretische Beiträge und praktische, prozeß- bzw. ökosystemorientierte Studien zur Modellbildung und

zur Modellanwendung von Ökosystemen vorgestellt und ausführlich diskutiert. Der mehr theoretisch orientierte erste Teil umfaßt neun Beiträge, während im praxisorientierten zweiten Teil sieben Arbeiten enthalten sind. Davon sind drei Beiträge im terrestrischen Bereich und vier Beiträge im aquatischen Bereich angesiedelt.

*R. Grützner* gab in seinem Beitrag einen Überblick über moderne methodische Ansätze zur Modellierung und Simulation. Im Vordergrund seiner Betrachtungen standen individuen-orientierte Ansätze und virtuelle Welten. In den von ihm vorgestellten Simulationsexperimenten wird das Sozialverhalten von Menschen und anderer Lebewesen berücksichtigt.

*A. Schultz* diskutiert theoretische Aspekte von kausaler und empirischer Modellierung in der Ökologie sowie spezielle Möglichkeiten ausgewählter empirischer Verfahren für praktische Problemlösungen. Ausgangspunkt seiner Analyse ist die Tatsache, daß unter empirischer und datengetriebener Modellierung oft nur eine relativ einfache mathematische Beschreibung ökologischer Sachverhalte erfolgt bei gleichzeitiger Assoziation eines fehlenden theoretischen Hintergrundes und mangelnder Vorhersagefähigkeit des Modells.

Parallel dazu erläutern *M. Sonnenschein* und *T. Clemen* aktuelle Methoden des Software-Engineerings. Sie betonen die Notwendigkeit, daß nicht nur die Simulationssoftware, sondern auch die Entwicklung von Prognosemodellen mit ingenieurmäßigen Methoden erfolgen muß. Der Vorteil dieses Vorgehens besteht nach Meinung der Autoren in der Reduzierung von Modellentwicklungszeiten und Qualitätsgewinnen bezüglich der Modellanwendungen.

*R. Wieland et al.* setzen sich mit der objekt-orientierten Modellentwicklung und rechen-technischen Implementation von Teilmodellen am Beispiel des Modellsystems SOCRA-TES auseinander. Sie diskutieren dazu unterschiedliche Techniken. Ausgangspunkt dieser Arbeit sind Überlegungen der Autoren zur rationalen Softwareentwicklung in einem Team. Wichtig ist dabei, daß der Strukturentwurf in einer formalen Entwurfssprache erfolgt.

Besondere Sorgfalt muß in der ökologischen Modellbildung auf die Gewinnung und Analyse von Primärdaten gelegt werden. Diesem Aspekt ist der Beitrag von *F. W. Dahmen* gewidmet, der über ein Matrizenmodell zur Erfassung und Abbildung der Beziehungen zwischen Pflanzen und Standorten berichtete. Er verknüpft im Modell empiri-

sche Standortfaktoren mit Faktoren der pflanzlichen Standortfähigkeit und ermittelt daraus mehrfaktorielle Standortpotentiale. Dies erlaubt die Auswahl von Arten als potentiell natürliche Fauna (pnF). Am Beispiel des Wildpflanzen-Datenbank- und Informationssystems TERRA BOTANICA wird das Matrizenmodell dargestellt. Die Standorte werden durch Ökoschlüssel beschrieben, während die Standortfähigkeiten in mehrfaktoriellen Ökodiagrammen visualisiert werden.

In gleicher Weise diskutieren *O. Stüdemann* und *S. Ody* zunächst Paradigmen und Axiome, die in der Landschaftsforschung unter Berücksichtigung des Konzeptes der nachhaltigen Entwicklung von Landschaften verwendet werden. Am Beispiel des Rostocker Freiland - Ozon-Monitorings (RHOM), das auf Erweiterungen des Geoökosystem-Konzeptes beruht, stellen sie neue Methoden, Verfahren und Techniken in der Ozonwirkungsforschung vor.

*B. Luther*, *R. Brüggemann* und *A. Gnauck* informieren über multivariate Datenanalysen mittels partieller Ordnungen. Basierend auf der Hassediagrammtechnik (HDT) werden die Komplexität und die Stabilität von Datenstrukturen analysiert. Durch methodische Ergänzungen der HDT (z. B. Datenpreprocessing mittels Clusteranalyse können ordinale und metrische Dateninformationen für die ökologische Modellbildung genutzt werden.

Die Bedeutung der Fuzzy Logic für die Modellierung von Unschärfekategorien in Umweltbewertungssystemen erläutert *C. Herzog*. Schwerpunkt seiner Ausführungen sind die methodischen Möglichkeiten der Modellierung von Veränderungen in Mensch-Umwelt-Systemen mittels intelligenter Paradigmen des Soft Computings. Anwendungen eines fuzzy logic-gestützten Umweltbewertungssystems werden auf dem Gebiet des Ökosystemmanagements gesehen.

In seinem Beitrag zur Einschätzung der Zuverlässigkeit von Ökosystemen diskutiert *A. Gnauck* die Möglichkeiten der Übertragung von Zuverlässigkeitsmaßzahlen, die für technische Systeme entwickelt worden sind, auf Ökosysteme. Diese werden als multi-terminale Kommunikationsnetze betrachtet. Er formuliert Maßzahlen, die die Funktionsfähigkeit bzw. den Ausfall von Teilsystemen beschreiben. Die Ausfallereignisse der Knoten und Kanten werden als stochastisch unabhängig angenommen.

Der zweite Teil beginnt mit einer Arbeit von *R. Brüggemann et al.* über eine praktische Anwendung der Theorie partieller Ordnungen. Am Beispiel eines Feuchtgebietes wer-

den mittels Hassediagrammtechnik Zusammenhänge zwischen Habitatbedingungen und der Ausbildung von Artengemeinschaften aufgezeigt.

Über die Anwendung von Habitatmodellen zur Verbesserung von Prognosen der Umweltauswirkungen von anthropogenen Eingriffen oder von Kompensations- und Pflegemaßnahmen in der Umweltplanung und im Naturschutzmanagement berichtet *B. Schröder*. Ziel der Habitatmodellierung ist es, die Beziehung zwischen den Umweltbedingungen und den Habitatansprüchen von Arten zu quantifizieren und deren räumliche Verteilung vorherzusagen. Am Beispiel von Niedermooren wird die Leistungsfähigkeit der Habitatmodelle diskutiert.

Auf der Grundlage des Modellsystems SOCRATES wird von *W. Mirschel et al.* ein objektorientiertes, einheitlich strukturiertes Pflanzenwachstumsmodell für Ackerstandorte beschrieben. Dabei wird die Fruchtartbezug des Modells durch spezifische Parametersätze erreicht. Für die Fruchtart Winterweizen werden Modellsätze, Algorithmen und Simulationsergebnisse vorgestellt.

Einen Schwerpunkt innerhalb der Umweltmodellierung und -simulation bilden wasserwirtschaftliche Modelle. *F. Schlaeger* und *J. Königeter* vermitteln in ihrem Beitrag einen intensiven Einblick in die Wasserhaushaltsproblematik der Lausitzer Bergbaufolgelandschaft. Dabei kommt der Spree besondere Bedeutung zu. Ziel der Modellierung ist die Ausarbeitung eines Instrumentariums, das Analysen und Prognosen wasserwirtschaftlicher Prozesse ermöglicht und Entscheidungsprozesse unterstützt. In der Arbeit werden die Modellgrundlagen, die Simulationsergebnisse und weiterführende Ansätze zur gekoppelten Modellierung von Wassermenge und Wassergüte im Rahmen eines Verbundprojektes diskutiert.

Parallel zu den Modellierungsaktivitäten im Ober- und Mittellauf der Spree werden auch für den durch zahlreiche Stauhaltungen gekennzeichneten Unterlauf der Spree Wassergütesimulationen durchgeführt. *R. Eidner* versucht mit Hilfe des Wassergütemodells QSIM der Bundesanstalt für Gewässerkunde die Frage zu beantworten, ob zwischen dynamischen Langzeitsimulationen der Wassergüte und stationären Planungsrechnungen ein Widerspruch besteht, mit einem klaren Nein. Am Beispiel des kühl- und abwasserbelasteten Teltowkanals diskutiert sie Qualitätsprobleme der Eingabedaten, der Modellvalidierung und der Berücksichtigung stochastischer Prozesse.



*U. Simon* und *R. Brüggemann* zeigen, daß die Hassediagrammtechnik, ergänzt durch die Turnier-Theorie zur vergleichenden Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen angewendet werden kann. Sie bewerteten einen Satz von 40 Managementoptionen im Einzugsgebiet eines kleinen Fließgewässers anhand von 15 Indikatoren und schränken diesen auf 8 „optimale“ Optionen ein. Durch Anwendung der Turnier-Theorie ermittelten sie zwei Optionen, die für die Gewässerentwicklung geeignet sind.

Modellbasierte Decision Support Systeme (DSS) zum Wassergütemanagement von Flußgebieten sind seit Mitte der achtziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts bekannt und wurden für wasserwirtschaftliche Planungen verwendet. Abschließend stellt *A. Gnauck* in seinem Beitrag die Entwicklung dieses Werkzeugs zum Umweltmanagement, insbesondere zur Wassergütebewirtschaftung von Flußgebieten dar. Als Kernstück eines modellbasierten DSS sieht er die Einbettung eines Simulationsmodells in Prozeduren zur mehrkriteriellen Optimierung. Mit Hilfe des DSS REHSROX werden Pareto-optimale Lösungen zur Wassergütebewirtschaftung von Fließgewässern angegeben.

Workshops bilden einen wesentlichen Bestandteil der interdisziplinären Diskussion zwischen verschiedenen Fachbereichen. Mein Dank gilt deshalb allen Autoren, die sich vor der Mühe der Ausarbeitung ihres Beitrages nicht gescheut haben. Insbesondere bin ich dem Shaker Verlag für die Herausgabe des Buches in der Reihe Umweltinformatik zu großem Dank verpflichtet. Mein besonderer Dank gilt meinem Mitarbeiter Herrn Dipl.-Ing. Hartmut Nemitz für seinen enormen Einsatz bei der oft komplizierten technischen Bearbeitung der einzelnen Beiträge sowie allen an der Fertigstellung des druckreifen Manuskriptes beteiligten Mitarbeitern meines Lehrstuhls.

Cottbus, im Dezember 2001

Albrecht Gnauck

# Inhaltsverzeichnis

|   |     |
|---|-----|
| <i>R. Grützner</i><br>Modellbildung und Simulation - Grundlagen für Entscheidungen<br>im Umweltbereich .....  | 1   |
| <i>A. Schultz</i><br>Empirische Modellierung von ökologischen Prozessen oder:<br>Wieviel Theorie braucht der Ökosystemmodellierer? .....  | 18  |
| <i>M. Sonnenschein, Th. Clemen</i><br>Ökologische Modellbildung auf der Grundlage<br>objektorientierter Softwarewerkzeuge .....   | 38  |
| <i>R. Wieland, W. Mirschel, H. Jochheim, K. Ch. Kersebaum,<br/>M. Wegehenkel, K-O. Wenkel</i><br>Objektorientierte Modellentwicklung am Beispiel<br>des Modellsystems SOCRATES .....        | 57  |
| <i>W. Dahmen</i><br>Ein Matrizenmodell zur Erfassung und Abbildung<br>der Beziehungen zwischen Pflanzen und Standorten .....  | 76  |
| <i>O. Stüdemann, S. Ody</i><br>Umweltsystemanalyse –<br>Ein Beitrag zur Methodologie der Analytik der Umweltsystemforschung .....   | 95  |
| <i>B. Luther, R. Brüggemann, A. Gnauck</i><br>Multivariate Datenanalyse mit partiellen Ordnungen .....  | 119 |
| <i>Ch. Herzog</i><br>Bedeutung der Fuzzy Logic für die Modellierung<br>von Unschärfekategorien in Umweltbewertungssystemen .....  | 134 |
| <i>A. Gnauck</i><br>Zur Einschätzung der Zuverlässigkeit von Ökosystemen .....  | 158 |
| <i>R. Brüggemann, F. Fredrich, Ch. Wolter, St. Pudenz, Ch. Steinberg</i><br>Partielle Ordnungen:<br>Ein Hilfsmittel zur Beschreibung von Artengemeinschaften.....                           | 173 |
| <i>B. Schröder</i><br>Habitatmodelle für ein modernes Naturschutzmanagement.....  | 201 |
| <i>W. Mirschel, R. Wieland, H. Jochheim, K. Ch. Kersebaum,<br/>M. Wegehenkel, K.-O. Wenkel</i><br>Einheitliches Pflanzenwachstumsmodell für Ackerkulturen<br>im Modellsystem SOCRATES ..... | 225 |

*F. Schlaeger, J. Köngeter*

Entwicklung eines Langfrist-Bewirtschaftungsmodells  
zur Prognose von Wassermenge und Wasserqualität  
in einem bergbaubeeinflussten Flussgebiet.....244

*R. Eidner*

Dynamische Langzeitsimulation der Wassergüte zur  
Analyse stationärer Planungsvarianten – ein Widerspruch?.....266

*U. Simon, R. Brüggemann*

Ansätze aus der diskreten Mathematik zur  
Bewertung von wasserwirtschaftlichen Maßnahmen.....285

*A. Gnauck*

Modellbasiertes Decision Support Systeme  
zum Wassergütemanagement von Flusseinzugsgebieten.....314