

Herausgeber:
Albrecht Gnauck

Modellierung und Simulation von Ökosystemen

Workshop Kölpinsee 2005



ASIM-Mitteilung AMB 98

Berichte aus der Umweltinformatik

Albrecht Gnauck (Hrsg.)

Modellierung und Simulation von Ökosystemen

Workshop Kölpinsee 2005

Shaker Verlag
Aachen 2006

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.

Copyright Shaker Verlag 2006

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

Printed in Germany.

ISBN-10: 3-8322-5477-3

ISBN-13: 978-3-8322-5477-3

ISSN 1616-0886

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

Der 9. Workshop „Modellierung und Simulation von Ökosystemen“ der Fachgruppe 4.6.3. „Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften“, gleichzeitig Workshop der GI-ASIM Fachgruppe SUGMBB, fand vom 26.10. – 28.10.2005 im Ostseebad Kölpinsee/Usedom unter der wissenschaftlichen Leitung von Prof. Dr. Albrecht Gnauck, Lehrstuhl Ökosysteme und Umweltinformatik der Brandenburgischen TU Cottbus, statt. *A. Gnauck, Cottbus*, eröffnete den Workshop und begrüßte die Teilnehmer sehr herzlich. Die Wertschätzung, die der Workshop national und international genießt, kam durch die Teilnahme des Sprechers der ASIM in der GI, zum Ausdruck. *F. Breitenecker, Wien*, überbrachte Grußworte der ASIM. Er betonte dabei den hohen Stellenwert der durch die ASIM-Fachgruppe SUGMBB (Simulation in der Umwelt- und Geowissenschaft, der Medizin, der Biologie und Biophysik) geleisteten Arbeit, die mit jährlich zwei Workshops im Frühjahr (Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften; Leitung *J. Wittmann, Hamburg*) und im Herbst (dieser Workshop) wesentlich zum aktiven wissenschaftlich Leben der ASIM beiträgt. Insbesondere wurde von ihm die durch den Workshop gebildete interdisziplinäre Diskussionsplattform zwischen Naturwissenschaftlern, Ökologen, Informatikern und Ingenieuren als wertvoll hervorgehoben.

Ziel des Workshops war eine Bestandsaufnahme und Zusammenführung von Informatikmethoden mit neuen Erkenntnissen der Umweltforschung sowie Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Systemtheorie und Simulationstechnik. Wissenschaftler von deutschen, österreichischen und polnischen Universitätsinstituten und Forschungseinrichtungen diskutierten gemeinsam neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Ökosystemsimulation, des Data Mining und Softcomputing sowie neue praktische Anwendungen von Modellkonzepten und deren Umsetzung zu wirtschaftlich erfolgreichen Strategien. Die 18 deutsch- oder englischsprachigen Beiträge dieses Bandes sind nach den Medien Wasser, Luft, Boden sowie nach Informatikwerkzeugen und methodischen Entwicklungen geordnet.

F. Breitenecker, F. Judex und *G. Höfner, Wien*, nutzen den in der Informatik gut bekannten Begriff des zellulären Automaten und verweisen in ihrem Beitrag auf den Zusammenhang zwischen Automaten und Diffusionsprozessen in dynamischen Systemen. Sie berichten über die Kopplung von partiellen Differentialgleichungen mit Regelung und definieren ein neues ARGESIM-Benchmark auf dem Gebiet der Was-

serwirtschaft. Am Beispiel von Schadstoffausbreitungen im Grundwasser stellen sie optimale Steuerungen von Brunnen vor.

Die durch Monitoring-Programme erfasste Information über den Zustand der Umwelt lässt sich durch Zufallsereignisse interpretieren, zu deren Auswertung statistische, und unter Berücksichtigung der räumlichen verteilten Information, insbesondere geostatistische Methoden angewendet werden. *L. Bogdan* und *J. Studzinski, Warschau*, stellen aktuelle Arbeitsergebnisse zur mathematischen Modellierung von Niederschlagsereignissen unter Anwendung von Kriging-Algorithmen vor, die zur Approximation monatlicher und jährlicher Regenereignisse verwendet werden. Sie werten die Zeitreihen mit Semi-Variogrammen aus und diskutieren Vor- und Nachteile der Methode sowie offene Probleme der Datenauswertung.

Zufallsereignisse wirken sich auch auf die Modellierung und Simulation der Gewässergüte aus. *K.-E. Lindenschmidt, Potsdam*, und *M. von Saleski, Magdeburg*, untersuchen Probleme der Parameterschätzung von Wassergütemodellen verschiedener Komplexitätsstufen bei unzureichender Datenbasis. Zur Modellierung verwenden sie das Teilmodell DYNHYD des Wassergütemodells WASP5. Ausgehend von einer HLA-Architektur der Modelle vergleichen sie Schätzungen hydrodynamischer Parameter am Beispiel der Saale. Insbesondere werden strukturelle Unsicherheiten und Regressorfehler der Modelle diskutiert.

Ein anderes Problem der Wassergütemodellierung wird von *J. D. Alegue Feugo* und *A. Gnauck, Cottbus* aufgezeigt. Gegenstand ihres Beitrages sind signalanalytische Untersuchungen autokorrelierter Zeitreihen der Gewässergüte der Potsdamer Havel mit hoher zeitlicher Auflösung. Zur Modellierung der Zeitstrukturen solcher Zeitreihen werden häufig Fourier-Polynome verwendet. Aufgrund fester Frequenzanteile in den Polynomen einerseits, und durch externe Triebkräfte hervorgerufene stochastische Modulationen ökologischer Prozesse kommt es zu Verschiebungen zwischen realer Zeitreihe und dem approximierenden Signalmodell. Die Verwendung solcher Teilm Modelle in Gewässergütemodellen führt zu inkorrekten Simulationsergebnissen.

Die Visualisierung der Gewässergüte für komplexe Gewässergeometrien liefert bei Anwendung eines Standard-GIS-Verfahrens nur ungenügende Ergebnisse. Mittels Kopplung von zellulären Automaten und GIS-Funktionalitäten kann jedoch die Aussagequalität erhöht werden. Unter Berücksichtigung von Wachstums- und Abbauprozessen lassen sich Konzentrationsgefälle interpolieren und darstellen. Am Beispiel

von Seen der Unteren Havel-Wasserstraße zeigt *R. Heinrich, Cottbus*, die Vorgehensweise auf und diskutiert bislang erreichte theoretische und praktische Ergebnisse dieser Visualisierungstechnik.

Neben Gewässerbelastungen spielen Luftbelastungen eine wesentliche Rolle im Umweltschutz. *P. Holnicki, Warschau*, diskutiert in seinem Beitrag die optimale Auswahl einer Technologie zur Verringerung der Luftbelastung bei einer gegebenen Menge von Kraftwerken. Für jedes Kraftwerk wird eine entsprechende Technologie gesucht, so dass insgesamt die vorhandenen Umweltstandards bei Minimierung der Kosten eingehalten werden. Er formuliert die Aufgabe als ganzzahliges statisches Optimierungsproblem und gibt numerische Algorithmen zur Ableitung mehrkriterieller optimaler Strategien an. Zur Lösung wird die Methode der Gradientenoptimierung verwendet. Die theoretischen Modelle werden anhand der Beispielsregion Schlesien unter Berücksichtigung der Entschwefelungstechnologie auf ihre praktische Relevanz überprüft.

Parallel dazu untersucht *A. Kaluszko, Warschau*, in seinem Beitrag Allokationsprobleme und den Verlust an Umweltqualität durch Luftbelastungen. Er formuliert die optimale Auswahl einer Strategie zur Verringerung der Luftbelastung dynamisches Optimierungsproblem. Investitions- und Betriebskosten sowie die Art der Reinigungstechnologie sind die zu optimierenden Variablen. Mit Hilfe der Methode der Dynamischen Programmierung wird das Optimierungsproblem gelöst und am Beispiel der Region Schlesien unter Einbeziehung von 20 Kraftwerken und 8 Reinigungstechnologien getestet.

Ergänzend dazu analysiert *P. Bartoszcuk, Warschau*, verschiedene optimale Varianten des internationalen Handels mit Emissionszertifikaten. Er untersucht dazu vier großräumige Regionen: Japan, EU (1992), andere europäische Länder sowie die frühere Sowjetunion. Unter Berücksichtigung unsicherer Information über die tatsächliche Luftbelastung diskutiert er die Vor- und Nachteile des Zertifikatehandels anhand praktischer Beispiele für diese Regionen.

Modellierung und Simulation terrestrischer Ökosysteme sind stark vernetzte interdisziplinäre Aufgaben. Dies kommt besonders im Beitrag von *N. X. Thinh, Dresden*, zum Ausdruck. In seiner Arbeit zum Monitoring langfristiger Flächennutzungsänderungen in Stadtregionen spannt er den Bogen von der Analyse und Bewertung bis hin zu Simulationsmodellen von Siedlungsmustern. Ausgehend von zellulären Auto-

maten entwickelt er ein Simulationsmodell, das für die Praxis der Stadt- und Regionalplanung ein wichtiges Informatik-Werkzeug darstellt. Das räumliche Ordnungsgefüge von Stadtregionen wird dazu mit Hilfe eines GIS charakterisiert und visualisiert. Die Simulationsergebnisse werden am Beispiel der Entwicklung der Stadt Dresden demonstriert und diskutiert.

R. Wieland, G. A. Korn und X. Holtmann, Müncheberg, dokumentieren die Integration der dynamischen Simulationsumgebung DESIRE in die räumliche Simulationsumgebung SAMT. Ziel ist dabei die Verbindung von räumlichen Daten (SAMT) mit dynamischen Strukturen (DESIRE). Durch Kombination beider Simulationsumgebungen wird die Lösung eindimensionaler Prozesse in n Raumpunkten, wie sie bei der Agro-ökosystemmodellierung und der 1D-Modellierung und Simulation von Fließgewässern auftreten, erleichtert. Die Autoren zeigen dies beispielhaft an einem Temperaturprozess im Boden.

W. Mirschel, R. Wieland, J. Kiesel, G. Lutze und A. Schultz, Müncheberg, verwenden das Tool SAMT zur regionalen Abschätzung der Klimatischen Wasserbilanz, des Naturalertrags und Bedeckungsgrades. Am Beispiel der Gemarkung Ziethen diskutieren sie Quantifizierungen von Landschaftsindikatoren anhand einfacher Modellansätze, die statische und dynamische Komponenten umfassen. Unter Verwendung von Witterungsdaten der Vergangenheit und Trends für zukünftige Klimaszenarien sowie zu erwartender Fortschritte in der Pflanzenzüchtung und beim Ökosystemmanagement werden Szenarien für den Kulturpflanzenanbau abgeleitet und ausführlich diskutiert.

Über ein Web-basiertes Werkzeug zum Data Mining auf ökologischen Daten berichten *M. Stadler und M. Sonnenschein, Oldenburg*. Grundlage dazu bildet eine von ihnen entwickelte Pflanzendatenbank über Merkmale von Pflanzenarten Nordwesteuropas. Zur Bedienung der Datenbank wird ein Web-Browser verwendet, der die Anwendung von Data Mining-Algorithmen gestattet. Insbesondere werden symbolische Lernverfahren für Klassifikatoren zur Mustererkennung in den Daten verwendet. Die Autoren demonstrieren die Vorteile der von ihnen entwickelten neuen Data Mining Toolbox an praktischen Beispielen, wobei sie besonderen Wert auf eine einfache Benutzerführung und Unanhängigkeit von Einzelproblemen legen.

Schwerpunkt des Beitrages von *J. Finke, Oldenburg*, ist die Verwendung von Methoden des Softcomputing zur Erfassung anthropogener Populationsstörungen, beispielsweise durch Straßenbau und Errichtung von Windkraftanlagen. Prinzipielle

Schwierigkeiten bei der Datenerfassung sowie unsichere Information erschweren in hohem Maße die Modellierung und Simulation solcher Probleme. Der Autor stellt ein Werkzeug vor, das die Modellierung solcher Prozesse mit unsicherer Information erleichtert. Mit Hilfe von Methoden des Softcomputing sind genauere Abschätzungen von Auswirkungen anthropogener Eingriffe in den Naturhaushalt sowie eine verbesserte qualitative Bewertung unterschiedlicher Handlungsszenarien möglich.

Die Umweltberichterstattung hat nicht nur einen hohen Stellenwert im Umweltmanagement und stellt einen wesentlichen Beitrag zur Wissensvermittlung im Umweltbereich dar, sondern ist auch zeit- und kostenintensiv. Die Zusammenfassung ökologischer, sozial-ökonomischer und unternehmerischer Daten ist zudem oft mit einem hohen Personalaufwand verbunden. Zur Reduzierung von Kosten und Aufwand stellen *R. Isenmann, T. Jordan* und *J. Marx Gómez, Bremen, Magdeburg* und *Oldenburg*, in ihrem Beitrag ein Werkzeug zur workflow-gestützten Erstellung und Verwaltung XML-basierter Nachhaltigkeitsberichte vor. Dieses Werkzeug ermöglicht eine automatisierte und effiziente Berichterstellung.

Parallel dazu informieren *C. Hermann, R. Isenmann* und *J. Marx Gómez, Freiburg, Bremen* und *Oldenburg*, über Konzept und Implementierung eines Softwaretools zur automatisierten Anpassung internet-basierter Nachhaltigkeitsberichte. Es beruht auf einem Content-Publishing-System mit integriertem Empfehlungssystem, das Benutzer über verfügbare Inhalte von Nachhaltigkeitsberichten informiert. Mit Hilfe des Softwaretools Nymphoon können Unternehmen ihre Nachhaltigkeitsberichte in praktikabler Weise erstellen und an verschiedene Zielgruppen automatisiert verteilen.

Ein GIS-basiertes Werkzeug wurde von *T. Matyus, M. Peev, M. Steiner, C. Wartha, W. Stark* und *W. Frühwirth, Seibersdorf/Wien*, vorgestellt. Sie erläutern ein GIS-basiertes, dynamisch diskretes Simulationsmodell mit integrierter ökologischer und ökonomischer Bewertung zur Abschätzung abfallwirtschaftlicher Stoffströme. Mit Hilfe einer graphischen Oberfläche demonstrieren sie den Wert des Softwaretools als Planungsinstrument sowie für Monitoring und Erfolgskontrolle an praktischen Beispielen. Die Ergebnisse werden als MS Access Berichte ausgegeben.

Entscheidungs- und Bewertungsprozesse spielen in der Ökologie und im Ökosystemmanagement eine wesentliche Rolle. *B. Luther, Cottbus*, greift das in der Entscheidungstheorie gut bekannte Konzept der Präferenzstruktur auf, dessen axiomatischer Ansatz eine formale Beschreibung konsistenter Präferenzen und prozeduraler

Rationalitäten erlaubt. Am Beispiel der multikriteriellen Bewertung von Probenahmestellen der Wassergüte der Unteren Havel vergleicht er die Effizienz von Outrankingverfahren (HDT, ELECTRE I) mit AHP. Im Ergebnis seiner Untersuchung diskutiert er Möglichkeiten der Bewertung von Modellszenarien mit entscheidungstheoretischen Methoden.

Über methodische Aspekte der Modellierung von Ökosystemen mittels Kategorien informiert A. Gnauck, Cottbus. Ausgangspunkt ist ein automatentheoretisches Modellkonzept für aquatische (limnische) Ökosysteme, das den hierarchischen Aufbau sowie die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Kompartimenten repräsentiert. Im Mittelpunkt seines Beitrages stehen die Abbildung der hierarchischen Struktur ökologischer Systeme und die Formulierung ökologischer Prozesse mit algebraischen Hilfsmitteln. Insbesondere werden Kopplungsmechanismen zwischen den Kompartimenten analysiert und formalisiert.

Insgesamt wurde der Workshop von allen Teilnehmern als sehr konstruktiv mit vielen neuen Erkenntnissen und Ideen eingeschätzt. Deshalb gilt mein herzlicher Dank allen Teilnehmern, Vortragenden und Diskussionsrednern des Workshops. Den Autoren der Beiträge schulde ich nicht nur großen Dank für die Mühe der Ausarbeitung ihrer Vortragsmanuskripte, sondern auch für ihre Geduld bis zur Herausgabe des Buches. Insbesondere gilt mein Dank Herrn Dipl.-Ing. Hartmut Nemitz, der die technische Bearbeitung der oft komplizierten Texte und Abbildungen mit bewundernswürdiger Geduld und vielen neuen Ideen durchgeführt sowie die Fertigstellung des druckreifen Manuskriptes intensiv betreut hat. Dem Shaker Verlag Aachen, insbesondere Frau Leany Maaßen, bin ich für die unkomplizierte Herausgabe des Buches in der Reihe „Umweltinformatik“ und die ausgezeichnete verlegerische Betreuung zu großem Dank verpflichtet.

Inhalt

<i>Breitenecker F., F. Judex and G. Höfner</i> Pollution in Groundwater Flow - a new ARGESIM Comparison	1
<i>Bogdan, L. und J. Studzinski</i> Mathematische Modellierung und Kriging-Algorithmen zur Approximation von Niederschlagsereignissen.....	12
<i>Lindenschmidt, K.-E. and M. von Saleski</i> Uncertainty Analysis of a Hydrodynamic Model of a Regulated River	22
<i>Alegue Feugo, J. D. and A. Gnauck</i> Using Fourieranalysis in Investigating Water Quality Indicators	42
<i>Heinrich, R.</i> Visualisierung der Gewässergüte in GIS mittels Zellulärer Automaten.....	55
<i>Holnicki, P</i> The Optimal Strategy of Emission Reduction – a Static Problem Formulation	81
<i>Kaluszko A.</i> The Optimal Strategy of Emission Reduction – a Dynamic Problem Formulation	97
<i>Bartoszczuk, P.</i> The Model of Emission Trading with Uncertainty.....	107
<i>Thinh, N. X.</i> Von der Analyse und Bewertung zur Simulation von Siedlungsmustern – ein Beitrag zum Monitoring langfristiger Flächennutzungsänderungen in Stadtregionen	118
<i>Wieland, R., G. A. Korn und X. Holtmann</i> SAMT/DESIRE – eine neue Software zur Landschaftssimulation	139
<i>Mirschel, W., R. Wieland, J. Kiesel, G. Lutze und A. Schultz</i> Regionale Abschätzung von Klimatischer Wasserbilanz, Naturalertrag und Bedeckungsgrad mit SAMT, dargestellt am Beispiel der Gemarkung Ziethen	149
<i>Stadler, M. und M. Sonnenschein</i> Ein Web-basiertes Werkzeug zum Data Mining auf ökologischen Daten	173
<i>Finke, J.</i> Softcomputing zur Modellierung von anthropogenen Populationsstörungen.....	183

<i>Isenmann, R., T. Jordan und J. Marx Gómez</i> Software-Werkzeug zur workflow-gestützten Erstellung und Verwaltung XML-basierter Nachhaltigkeitsberichte	196
<i>Hermann, C., R. Isenmann und J. Marx Gómez</i> Automatisierte Anpassung internet-basierter Nachhaltigkeitsberichte – Konzept und Implementierung.....	206
<i>Matyus, T., M. Peev, M. Steiner, C. Wartha, W. Stark und W. Frühwirth</i> Material Flow Decision Support Tool – GIS-basiertes, dynamisch diskretes Simulationsmodell mit integrierter ökologischer und ökonomischer Bewertung	215
<i>Luther, B.</i> Methodenvergleich in der Entscheidungstheorie	221
<i>Gnauck, A.</i> Zur kategorientheoretischen Modellierung von Ökosystemen.....	236