

Herausgeber:
Albrecht Gnauck

Modellierung und Simulation von Ökosystemen

Workshop Kölpinsee 2009



ASIM-Mitteilung AM 126

Berichte aus der Umweltinformatik

Albrecht Gnauck (Hrsg.)

Modellierung und Simulation von Ökosystemen

Workshop Kölpinsee 2009

Shaker Verlag
Aachen 2010

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 2010

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8322-9410-6

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

Die Fachgruppe 4.6.3 „Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften“ im Fachausschuss 4.6 „Informatik im Umweltschutz“ der Gesellschaft für Informatik e.V. veranstaltete vom 28.10.2009 - 30.10.2009 in Zusammenarbeit mit der GI-ASIM-Fachgruppe „Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften, Medizin, Biologie und Biophysik“ den 13. Workshop „Modellierung und Simulation von Ökosystemen“. Die Organisation und Durchführung des interdisziplinär ausgerichteten Workshops erfolgte durch den Lehrstuhl für Ökosysteme und Umweltinformatik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus unter der wissenschaftlichen Leitung von *Univ.-Prof. Dr. habil. Albrecht Gnauck*, der auch den Workshop moderierte.

Ziele des Workshops waren die Zusammenführung von systemtheoretischen, mathematisch-naturwissenschaftlichen, ökologischen und sozioökonomischen Erkenntnissen der Umweltforschung einschließlich ihrer modellmäßigen Ausprägungen und Interpretationen mit Informatikmethoden und –werkzeugen. Im Rahmen des Klimawandels und der nachhaltigen Ökosystemnutzung wurde der thematische Bogen von Modellierungskonzepten für terrestrische Ökosysteme sowie zur Luftreinhaltung, über die Anwendung von Informatikwerkzeugen zur Ökosystemnutzung, über Probleme der Gewässereutrophierung, der Berücksichtigung des Klimawandels in Landnutzungsmodellen und umwelttechnologischer Probleme bis hin zu Fragen der Modellierung ökologischer Dienstleistungen gespannt. Wissenschaftler von deutschen, polnischen und chinesischen Universitäten und Forschungsinstituten sowie aus Bangladesh und Kamerun diskutierten theoretische und praktische Entwicklungen auf dem Gebiet der Ökosystem- und Umweltsimulation sowie die praktische Umsetzung von Modellkonzepten.

A. Gnauck, Cottbus, eröffnete den Workshop und begrüßte alle Teilnehmer sehr herzlich. Er gab seiner Freude darüber Ausdruck, dass er wieder neue Teilnehmer begrüßen konnte. Einleitend informierte er über die im September 2009 an der BTU Cottbus sehr erfolgreich durchgeführte Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM) mit mehr als 250 Teilnehmern.

Die auf dem Workshop präsentierten Fachbeiträge zur Modellierung und Simulation von Ökosystemen waren den Schwerpunkten Modellierungskonzepte (3 Beiträge), Informatikwerkzeuge (4 Beiträge), Landnutzung (1 Beitrag), Gewässereutrophierung

(2 Beiträge), Klimawandel (1 Beitrag) und ökologische Dienstleistungen (2 Beiträge) zugeordnet. Die Vorträge wurden in deutscher und englischer Sprache gehalten.

Der vorliegende Band in der Reihe „Umweltinformatik“ des Shaker-Verlages, Aachen, enthält bis auf einen Beitrag zu Informatikwerkzeugen alle vollständig referierten und revidierten Fassungen der Workshopbeiträge. Sie werden durch zwei Arbeiten aus der Forschungsgruppe von *Prof. Gnauck, Cottbus*, auf den Gebieten Landnutzung und ökologische Dienstleistungen sowie durch einen Beitrag einer Forschungsgruppe des Instituts für Systemanalyse der Polnischen Akademie der Wissenschaften unter der Leitung von *Dr. habil. Studzinski, Warsaw*, auf dem Gebiet Umwelttechnologie ergänzt.

Der Schwerpunkt „Modellierungskonzepte“ beginnt mit einem Beitrag von *X. Specka, R. Wieland, W. Mirschel* und *C. Nendel, Müncheberg*, über eine Methodik zur strukturellen Analyse von Ökosystemmodellen. Im Rahmen des Verbundprojektes „Standortangepasste Anbausysteme für die Produktion von Energiepflanzen (EVA II), Teilprojekt Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus“ ist das im ZALF entwickelte prozessbasierte Agrarökosystem-Modell MONICA zur Simulation des Stickstoff- und Kohlenstoffhaushaltes zu validieren und für Energiepflanzen zu parametrisieren. Dazu werden anhand von Plausibilitätstests das Systemverhalten des Bodentemperaturmodells und mittels Sensitivitätsanalysen die für die Modellierung der Bodentemperatur relevanten Parameter identifiziert. Zur Bestimmung des Einflusses der Bodenzusammensetzung wird eine Unsicherheitsanalyse auf MCM-Basis verwendet.

Der Kraftfahrzeugverkehr ist nach wie vor ein wesentlicher Verursacher der Luftverschmutzung. Administrative Maßnahmen zur Luftreinhaltung erfordern deshalb eine realitätsnahe Beschreibung des Verkehrsflusses. In ihrem Beitrag über die dynamische Modellierung und Simulation von verkehrsbedingten Emissionen in innerstädtischen Bereichen stellen *R. Potyka, G. Hammer* und *D. K. Maretis, Osnabrück*, ein Modell vor, das eine fahrzeugorientierte hochaufgelöste Simulation des Verkehrsflusses erlaubt. Der Simulator bildet den Straßenverkehr in Form von bewegten und interagierenden Fahrer-Fahrzeug-Einheiten mit diskreten, frei wählbaren Zeitschritten ab. Das Emissionsverhalten der verschiedenen Fahrzeugtypen liegt in einer Datenbank vor. Mittels des Simulators können Veränderungen der Verkehrsstrukturen oder

der Bebauung bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Luftqualität realitätsnah zu untersucht sowie Planungsvarianten (Szenarien) miteinander zu vergleichen werden.

Gegenstand des Beitrages von *Z. Zhang, R. Wieland, M. Reiche, R. Funk, C. Hoffmann, Y. Li, und M. Sommer, Müncheberg/Beijing* ist die Vorstellung, die Implementierung in SAMT und die Validierung eines CFD Wind-Modells zur Simulation der Bodenerosion. Zunächst diskutieren sie das auf den Navier-Stokes-Gleichungen beruhende CFD-Modell (Computational Fluid Dynamics) und dessen Implementierung in SAMT (Spatial Analysis and Modelling Tool), das ebenfalls im *ZALF, Müncheberg*, entwickelt worden ist (s. Workshop Kölpinsee 2005). Zur Parametrisierung des Modells werden Windkanal-Experimente herangezogen. Unter Verwendung eines DEM werden für das Beispielsgebiet des Graslandes der Inneren Mongolei realistische 2D- und 3D-Windfelder simuliert, mit deren Hilfe die daraus resultierenden Erosionswirkungen in der Landschaft analysiert werden können.

Der Schwerpunkt „Informatikwerkzeuge“ umfasst 3 Beiträge. *J. Lomotoski und M. Paluch-Puk, Wroclaw*, berichten über die Entwicklung eines Beratungs- und Entscheidungsunterstützungssystems zur Steuerung von Kläranlagen in Polen. Modellierungstechnische Probleme entstehen u. a. dadurch, dass einerseits nur nichtlineare Modelle zur dynamischen Beschreibung technologischer Prozesse in Klärwerken gültig sind. Andererseits stehen oft nur ungenügend kalibrierte und validierte Black-box Modelle zur Verfügung. Am Beispiel der Kläranlage in Ladek Zdroj werden Modelle zur Steuerung von Klärwerksprozessen beschrieben. Zum Datenmanagement und zur Prozesssteuerung wird das SCADA-System (Supervisory Control and Data Acquisition System) verwendet. Im Mittelpunkt der Diskussion stehen Steuerungsprobleme der Prozessführung bei instationären Zulaufbedingungen in Abhängigkeit von meteorologischen Ereignissen und hohen BSB-Konzentrationen.

Über einen konzeptionellen Ansatz eines Entscheidungshilfesystems zum Einsatz von Bodenhilfsstoffen auf Extremstandorten, wie sie durch Spülhalden, Abraumflächen und Halbwüsten gegeben sind, informieren *S. Meyer, O. Blumenstein, H. Schachtzabel und H. Tobler, Golm/Potsdam*. Kernstück der Untersuchungen ist die Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems zum Ökosystemmanagement. Der konzeptionelle Ansatz wurde bereits auf dem Workshop 2008 vorgestellt. Ziel ist eine Renaturierung bzw. Wiederbegrünung von Extremstandorten. Zur Lösung dieser Problematik entwickeln die Autoren ein Konzept für den Einsatz von verschiedenen

Bodenhilfsstoffen vor, die auf natürlichen Ausgangsstoffen basieren. Die Komplexität der Entscheidungsfindung führt zu einer Verknüpfung von KNN mit Entscheidungsbaumstrategien, was eine Reduzierung des Komplexitätsgrades und eine Integration von Expertenwissen in die Entscheidungsprozesse ermöglicht.

Grundwasser ist eine bedeutende Quelle für die Trinkwasserversorgung in Deutschland. Aus diesem Grunde sind Grundwasserstandsprognosen von enormer Wichtigkeit für die Versorgung von Bevölkerung, Industrie und Landwirtschaft. Die Anwendung von Methoden des maschinellen Lernens zur operationellen Entscheidungsunterstützung ist dabei oft eine Alternative zu numerischen Modellen um eine Übernutzung der Grundwasservorräte zu vermeiden. *P. Göbel und U. Rüppel, Darmstadt* verwenden ML-Methoden zur aktiven Grundwasserbewirtschaftung. In ihrem Beitrag stellen sie in Weiterführung der bisherigen Arbeiten (s. Workshops 2007 u. 2008) neue Ergebnisse der Untersuchungen zur Anwendung von KNN und Support Vektor Maschinen für Grundwasserstandsprognosen vor. In beeindruckender Weise demonstrieren sie die Zusammenhänge zwischen KNN und Datenlast. Sie vergleichen dazu verschiedene ML-Methoden für eine effiziente Verwaltung von Grundwasserressourcen.

Der Schwerpunkt „Landnutzung“ wird eingeleitet durch einen Beitrag von *C. Kölking, R. Schaldach, J. Koch, D. M. Lapola, D. Bartocha und O. Giese, Kassell/Hamburg*, über die Modellierung von globalen Änderungen in der Nutzung von Ackerflächen mittels des Modells LandSHIFT unter historischen und gegenwärtigen biophysikalischen, sozio-ökonomischen und klimatischen Bedingungen. Insbesondere werden Fragen der globalen Modellierung (Makroebene) und der regionalen bzw. lokalen Bewertung der Landnutzung (Mikroebene) diskutiert. Zur Anwendung des Modells identifizieren sie Eintrittswahrscheinlichkeiten von Ackerflächen anhand von 11 Einflussfaktoren für 18 verschiedene agro-ökologische Zonen der Erde. Unter Nutzung der Software „R“ verwenden sie logistische Regressionen zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit der Faktorenkombinationen. Das Gewicht der jeweiligen Parameter bestimmen mittels AHP.

Eine Übernutzung von Acker- und Weideflächen in der Sahel-Zone in Afrika wird nicht nur durch klimatische Veränderungen, sondern auch durch einseitige Landnutzungen von Jahr zu Jahr geringer. In Verbindung mit einem gering entwickelten ökologischen Verständnis über das Funktionieren komplexer Ökosysteme sind die nega-

tiven Auswirkungen anhand der Produktivitätskennziffern deutlich sichtbar. *E. Fongwa* und *A. Gnauck, Bamenda/Cottbus*, berichten über die aktuelle Situation der Landnutzungsänderung in der Sahel-Zone. Sie analysieren die Möglichkeiten für nationale und internationale Aktivitäten zur nachhaltigen Erhaltung und den Schutz der Biodiversität sowie zum Schutz der Ökosysteme, deren Funktionieren auch die natürlichen ökologischen Dienstleistungen umfasst. Sie plädieren für eine ganzheitliche Sichtweise bei internationalen Entwicklungsprogrammen unter Beteiligung der einheimischen Bevölkerung und nationaler Umweltprogramme.

Der Schwerpunkt „Eutrophierung“ umfasst zwei Arbeiten. In seinem Beitrag über die Modellierung und Simulation sowie das Management der Gewässereutrophierung betont *A. Gnauck, Cottbus*, einerseits die Komplexität der zu modellierenden ökologischen Prozesse sowie den Umfang und die Qualität der notwendigen Daten. Andererseits sind Teilprozesse, die im Rahmen des Klimawandels an Bedeutung gewonnen haben (z. B. Rücklösungsprozesse von Nährstoffen aus dem Sediment), zu wenig berücksichtigt, so dass die Ergebnisse von Simulationsmodelle nur eingeschränkt zur rechnergestützten Entscheidungsfindung beitragen. Für eine Entscheidungsunterstützung sind die Bildung von Kompromissstrategien auf der Basis von Parameteroptimierungen und mehrkriteriellen Zielfunktionen erforderlich. Für das Management von Eutrophierungsprozessen in einem Gewässereinzugsgebiet ist eine Kopplung verschiedener Software-Tools notwendig.

Darauf aufbauend stellen *B. Luther* und *A. Gnauck, Cottbus*, Ergebnisse zur Untersuchung der Ausgangsvariablen in Abhängigkeit von Parameteränderungen sowie zur Parameteroptimierung des Cottbuser EutrophierungsSimulators (CEUS) für flache Gewässer vor. Den Ausgangspunkt bilden empirische Parameterschätzungen aus Mess- und Beobachtungsdaten, wobei die Prozessparameter isoliert und unabhängig voneinander geschätzt werden. Auf der Grundlage von Sensitivitätsabschätzungen sind simultane Parametervariationen möglich. Größere Änderungen der Ausgangsvariablen ergeben sich ausschließlich nur für spezielle Parameterkombinationen. Am Beispiel der Seen und Fließstrecken der Unteren Havel geben sie praktische Beispiele für spezielle Parameterkombinationen, insbesondere für die Variablen Algenbiomasse, Stickstoff und Phosphor.

Der Anstieg der mittleren CO₂-Konzentration in der Atmosphäre verursacht bei Wild- und Kulturpflanzen positive direkte und indirekte Effekte auf Biomasse und Ertrag.

Eine Wachstumsförderung erfolgt dabei sowohl über die Photosyntheseleistung, als auch über Transpirations- und Wassertransportprozesse. Im Schwerpunkt „Klimawandel“ diskutieren *W. Mirschel, K. C. Kersebaum, C. Nendel, K.-O. Wenkel, R. Manderscheid* und *H.-J. Weigel, Müncheberg/Braunschweig*, die Berücksichtigung des CO₂-Effektes auf Biomasse und Ertrag in Agrarökosystem- und Ertragsschätzmodellen. Unter Einbeziehung verschiedener Prozessmodelle des CO₂-Effektes in die Modelle HERMES, AGROSIM und YIELDSTAT wurden Simulationsergebnisse und Modellvergleiche sowie Szenarien bei möglichen Klimaänderungen an verschiedenen Standorten in Deutschland verglichen. Als Vergleichsdaten dienten die Ergebnisse eines mehrjährigen FACE-Experimentes.

Die Bewirtschaftung von Wasserressourcen in der Küstenregion von Bangladesh ist Gegenstand des Beitrages von *J. Akter, S. N. Islam* und *A. Gnauck Dhaka/Cottbus*. Durch die Flüsse Ganges, Brahmaputra und Meghna werden jährlich enorme Mengen an Wasser und Sediment in den Golf von Bengalen eingetragen. Die Küstenregion versorgt ca. 35 Mio. Einwohner. Durch ungeplante und unkontrollierte Eingriffe in den Wasserhaushalt kommt es nicht nur zu hohen Wasserverlusten, sondern auch zur Reduzierung der Biodiversität und zu negativen sozio-ökonomischen Auswirkungen. Die Autoren diskutieren Möglichkeiten der Entwicklung eines integrierten Managementplans zum nachhaltigen Schutz der Wasserressourcen in der Küstenregion und zur stabilen Versorgung der Bevölkerung mit Nahrungsmitteln und Wasser unter dem Aspekt des Klimawandels.

Zum Schwerpunkt „Ökologische Dienstleistungen“ werden zwei Beiträge präsentiert. Anknüpfend an den Beitrag zum Gewässermanagement in der Küstenregion von Bangladesh berichten *S. N. Islam* und *A. Gnauck, Cottbus*, über Veränderungen in der Landnutzung im Einzugsgebiet des Gorai Rivers in Bangladesh und deren negative Auswirkungen auf die ökologischen Dienstleistungen des Gewässereinzugsgebiets. Ein reduzierter Süßwasserzufluss und die damit verbundene verringerte Sedimentation suspendierten Materials sowie das Eindringen von Salzwasser in das Einzugsgebiet verursachen drastische Änderungen in den ökologischen Dienstleistungen des Flusses.

Von *E. Fongwa, A. Gnauck, Cottbus* und *F. Müller, Kiel*, wird ein Konzept zur modellmäßigen Erfassung und Entwicklung ökologischer Dienstleistungen auf der Grundlage eines Hybridmodells für vorgestellt. Dazu werden die Komponenten eines

Ökosystems und die zwischen ihnen bestehenden ökologischen Wechselwirkungen, auf deren Basis das Funktionieren eines Ökosystems und die damit verbundenen ökologischen Dienstleistungen garantiert sind, mit ökonomischen Aktivitäten zur Erhaltung und Weiterentwicklung dieser Dienstleistungen im Rahmen einer Sekundärdatenbank (Data Warehouse) miteinander kombiniert. Am Beispiel des Biosphärenreservates Spreewald teilen die Autoren erste Ergebnisse der Modellierungsarbeiten mit.

Über umwelttechnologische und sicherheitstechnische Probleme sowie Methoden zur Abschätzung von Risiken, die beim Betrieb von kommunalen Wassernetzen auftreten können, berichten *J. R. Rak, A. Studzinski und J. Studzinski, Rzeszow/Warschau*. Sie analysieren mögliche Havariesituationen, die die Betriebssicherheit kommunaler Wassernetze beeinträchtigen. Zur Risikoabschätzung wird ein Risikowert verwendet, in dem die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Havarie, die damit verbundenen Verluste und die notwendigen Schutzmaßnahmen zur Schadensbegrenzung bzw. Schadensabwehr integriert sind (sog. Drei-Parameter-Methode). Die Parameter werden in die Kategorien niedrig, mittel und hoch eingeteilt. In Abhängigkeit vom Risikowert lässt sich dann ein Risiko bewerten.

Mein herzlicher Dank gilt deshalb 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 die Geduld bei der Herausgabe des Buches. Insbesondere gilt mein Dank Herrn Dr. Bernhard Luther für die Formatierung der komplizierten Texte und Abbildungen sowie Herrn Dipl.-Ing. Mirko Filetti für den technischen Support. Dem Shaker Verlag Aachen, insbesondere Frau Leany Maaßen, bin ich für die ermutigenden Gespräche, die unkomplizierte Herausgabe des Buches in der Reihe „Umweltinformatik“ sowie für die ausgezeichnete verlegerische Betreuung zu großem Dank verpflichtet.

Cottbus, im Juli 2010

Albrecht Gnauck

Inhalt

<i>Specka, X., R. Wieland, W. Mirschel und C. Nendel</i> Vorstellung einer Methodik zur strukturellen Analyse von Ökosystemmodellen	1
<i>Potyka, R., G. Hammer und D. K. Maretis</i> Modellierung und Simulation von verkehrsbedingten Emissionen in innerstädtischen Bereichen	19
<i>Zhang, Z., R. Wieland, M. Reiche, R. Funk, C. Hoffmann, Y. Li and M. Sommer</i> A CFD Wind Model for Simulation of Wind Erosion in Inner Mongolia	27
<i>Lomotowski, J. and M. Paluch-Puk</i> Expert Systems Used in Sewage Treatment Plant	49
<i>Meyer, S., O. Blumenstein, H. Schachtzabel und H. Tobler</i> Methodischer Rahmen der Entwicklung eines Entscheidungshilfesystems für bodenmeliorative Maßnahmen	62
<i>Göbel, P. und U. Rüppel</i> Maschinelles Lernen in der aktiven Grundwasserbewirtschaftung	74
<i>Kölking, C., R. Schaldach, J. Koch, D. M. Lapola, D. Bartocha and O. Giese</i> Assessing Factors of Relevance for the Global Occurrence of Cropland	87
<i>Fongwa, E. and A. Gnauck</i> Land Use Degradation in the African Sahel Region: The Importance of Ecosystem Development to Fight against Desertification	102
<i>Gnauck, A.</i> General Aspects of Modelling, Simulation and Management of Eutrophication	120
<i>Luther, B. und A. Gnauck</i> Ausgangsvariable und Zielfunktionen bei der Parameteroptimierung eines Eutrophierungssimulators für flache Gewässer	132
<i>Mirschel, W., K. C. Kersebaum, C. Nendel, K.-O. Wenkel, R. Manderscheid und H.-J. Weigel</i> Ansätze zur Berücksichtigung des CO ₂ -Effektes auf Biomasse und Ertrag in Agrarökosystem- und Ertragsmodellen	146

<i>Akter, J., S. N. Islam and A. Gnauck</i> Water Resources Management in the Coastal Region of Bangladesh	167
<i>Islam, S. N. and A. Gnauck</i> Changing Morphology and Threatened Ecosystem Services of Gorai River Catchment of Ganges Delta	186
<i>Fongwa, E., A. Gnauck and F. Müller</i> A Hybrid Model for Sustainable Development of Ecosystem Services	204
<i>Rak, J. R., A. Studzinski und J. Studzinski</i> Betriebssicherheit von kommunalen Wassernetzen	224