

Herausgeber:
Albrecht Gnauck

Modellierung und Simulation von Ökosystemen

Workshop Kölpinsee 2010



ASIM-Mitteilung AM 132

Berichte aus der Umweltinformatik

Albrecht Gnauck (Hrsg.)

Modellierung und Simulation von Ökosystemen

Workshop Kölpinsee 2010

Shaker Verlag
Aachen 2011

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 2011

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0499-1

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 27.10.2010 - 29.10.2010 in Zusammenarbeit mit der GI-ASIM - Fachgruppe „Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften, Medizin, Biologie und Biophysik“ den 14. Workshop „Modellierung und Simulation von Ökosystemen“. Der interdisziplinär orientierte Workshop wurde vom Lehrstuhl für Ökosysteme und Umweltinformatik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus unter der wissenschaftlichen Leitung von *Univ.-Prof. Dr. habil. Albrecht Gnauck* organisiert und moderiert.

Auch beim 14. Workshop in Folge waren wiederum neue Teilnehmer nach Kölpinsee gekommen. Insbesondere begrüßte *Prof. Gnauck* den Direktor des Instituts für Landschaftssystemanalyse des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung e.V. (ZALF), Müncheberg, *Prof. Wenkel*, sowie *Dr. Karimanzira* vom Anwendungszentrum Systemtechnik Ilmenau des Fraunhofer-Institutes für Optronik, Systemanalyse und Bildverarbeitung, Karlsruhe. *Prof. Gnauck* betonte, dass der jährlich organisierte interdisziplinäre Workshop zur Diskussion naturwissenschaftlicher, ingenieurtechnischer und sozioökonomischer Probleme auch nach 14 Jahren nichts von seiner Aktualität und wissenschaftlichen Anziehungskraft eingebüßt hat.

Ziele des Workshops waren die Zusammenführung neuer mathematischer, systemtheoretischer, ökologischer und sozioökonomischer Erkenntnisse der Umweltforschung einschließlich ihrer modellmäßigen Ausprägungen und Interpretationen mit Informatikmethoden und Softwarewerkzeugen. Unter Berücksichtigung des Klimawandels wurde der thematische Bogen von Ökosystemsimulationen und Entscheidungsunterstützungssystemen zur nachhaltigen Ökosystemnutzung über spezielle Probleme von Wassernutzungen und der Luftreinhaltung bis hin zu Fragen der Modell- und Parametersensitivität und ökologischen Dienstleistungen gespannt. Wissenschaftler von deutschen, polnischen und mexikanischen Universitäten und Forschungsinstituten sowie aus Bangladesh diskutierten theoretische und praktische Entwicklungen auf dem Gebiet der Ökosystem- und Umweltsimulation sowie praktische Umsetzungen von Modellkonzepten. Am Abend des 2. Workshoptages gab es einen zusätzlichen Vortrag von *M. Filetti, Cottbus*, über den Einsatz von Beamern unter Berücksichtigung von Umweltaspekten.

Die auf dem Workshop präsentierten 16 Fachbeiträge sind den Schwerpunkten Metadaten (2 Beiträge), Ökosystemsimulation (4 Beiträge), Decision Support Systeme (4 Beiträge), Wassernutzungen (2 Beiträge), Luftreinhaltung (2 Beiträge) und ökologische Dienstleistungen (2 Beiträge) zugeordnet. Die Vorträge und Diskussionen wurden in deutscher und englischer Sprache gehalten. Der vorliegende Band in der Reihe „Umweltinformatik“ des Shaker-Verlages, Aachen, enthält alle vollständig referierten und revidierten Fassungen der Workshopbeiträge.

Der Schwerpunkt „Ökosystemsimulation“ wird mit einem Beitrag von *A. Gnauck* und *W. Pillmann, Cottbus/Wien*, über die Notwendigkeit der Anwendung von Simulationsmodellen als Kommunikationswerkzeuge zur Nutzung komplexer und komplizierter Systeme eingeleitet. Auf der Grundlage neuer Erkenntnisse aus dem *EU - ICT-ENSURE* Projekt zeigen sie die Verwendung von Meta-Modellen zur Kommunikation zwischen sozio-ökonomischen Akteuren und ökologischen Prozessen auf. Am Beispiel der Wasserressourcenbewirtschaftung in einem Flussgebiet erläutern sie das Zusammenspiel von soziologischen, ökonomischen und politischen Entscheidungen mit naturwissenschaftlich-technischen Prozessen auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen und diskutieren anhand des DPSIR Konzeptes die verschiedenen Kommunikations- und Informationsprozesse.

Nutzen und Grenzen paralleler Rechnerstrukturen bei der Umweltsimulation werden in der Arbeit von *R. Wieland, Müncheberg*, aufgezeigt. Ausgehend von theoretischen Grundlagen der Arbeit mit Rechner-Clustern stellt er eine Software-Lösung für eine effektive parallele Umweltsimulation mittels der Programmiersprache Python vor. Rechentechnische Probleme treten dabei durch die Parallelisierung der einzelnen Umweltprozesse auf. Zur Programmtestung wird das aus zwei Mehrprozessormaschinen mit je 48 Cores und 192 GB RAM bestehende ZALF – Cluster verwendet. Die gegenüber Einprozessormaschinen erreichten Speedups werden anhand von Beispielen wie der Winderosionssimulation, von Sensitivitätsanalysen bzw. der Parameteroptimierung von Ökosystemmodellen ausführlich diskutiert. Abschließend werden rechentechnische Vorteile und Nachteile von Clusterlösungen aufgezeigt und eingeschätzt.

Anthropogene Nutzungen beeinflussen stets eine nachhaltige Landschaftsentwicklung. Dies wird im Beitrag von *G. Lennartz* und *S. Siehoff, Aachen*, am Beispiel des für die Dreibröner Hochfläche des Nationalparks Eifel entwickelten dynamischen

GraS-Modells deutlich. Mit Hilfe dieses Modells lassen sich Landschaftsentwicklungen in Abhängigkeit von verschiedenen Nutzungen simulieren. Das Modell dient zur Prognose der Offenland - Sukzession und stellt ein Entscheidungshilfesystem zur Abschätzung der Auswirkungen von Renaturierungs- und Pflegemaßnahmen bezüglich der Vegetation dar. Neben laufenden Nutzungen wie Mahd und Schafbeweidung sowie Brache wird optional auch der Einfluss großer Weidetiere (Wisent, Heckrind, Konikpferd) auf die Landschaftsentwicklung berücksichtigt. Eine naturschutzfachliche Bewertung der verschiedenen Nutzungsmaßnahmen erfolgt mit dem Modell nicht.

Die Organisation und Verwaltung von Forschungsdaten aus verschiedenen Herkunftsbereichen mit unterschiedlicher zeitlicher und räumlicher Auflösung erfordern nicht nur große Sorgfalt, sondern insbesondere auch eine exakte Beschreibung der Metadaten. Am Beispiel heterogener Daten zum Gewässermanagement zeigen *M. Filetti* und *A. Gnauck, Cottbus*, die Struktur und die Arbeitsweise eines Informationssystems mit Metadaten und Georeferenzierung auf. Als IT-Kern verwenden sie die FOSS GeoNetwork Opensource. Die Komponenten des Informationssystems werden im Detail vorgestellt.

Der Schwerpunkt „Decision Support Systeme“ wird durch eine Arbeit von *K.-O. Wenkel, W. Mirschel, M. Berg, R. Wieland* und *B. Köstner, Müncheberg/Dresden*, über Grundlagen und Funktionsweise des nutzerfreundlichen modellbasierten interaktiven Informations- und Entscheidungsunterstützungssystems *LandCaRe-DSS* zur Klimafolgenabschätzung und Klimaanpassung in der Landwirtschaft eingeleitet. Das DSS kann für unterschiedliche räumliche Skalen angewendet werden und unterstützt Ensemble- sowie Langzeitsimulationen mit hoher räumlicher Auflösung. Die Simulationen umfassen agro-ökonomische Szenarien, die mit Klimaänderungen gekoppelt sind. Ein weiteres qualitatives Merkmal des DSS ist die hervorragende graphische Ausgabe mit Zoom-Funktion. Anwendungen des DSS werden vor allem für strategische Planungen in der Landwirtschaft und für eine nachhaltige Entwicklung in ländlichen Gebieten unter dem Aspekt des Klimawandels gesehen. Das DSS ist hinsichtlich seiner Modellbasis modular aufgebaut und erweiterbar. Am Beispiel zweier Regionen in Nordostdeutschland wird die Parametrisierung und Validierung von *LandCaRe-DSS* detailliert aufgezeigt.

Daran anknüpfend berichten *M. Berg, W. Mirschel, R. Wieland* und *K.-O. Wenkel, Müncheberg*, über die rechentechnische Umsetzung von *LandCaRe-DSS* und de-

monstrieren an Beispielen die Funktionsweise des Informations- und Entscheidungsunterstützungssystems. *LandCaRe-DSS* ist als interaktives Informations- und Entscheidungsunterstützungs-System eine strategisch ausgerichtete Software für Akteure im Bereich der Landwirtschaft (Landwirte, Beratungsdienste, landwirtschaftliche Behörden, Versicherungen, usw.), welches Ableitungen von Entscheidungen bezüglich der Anpassung der Landwirtschaft an den zu erwartenden Klimawandel erleichtern soll. Die rechentechnische Umsetzung und Implementierung des DSS - Prototyps wird durch die Endnutzer-Orientierung auf einen konzeptionell einfachen Zugang zu den genutzten Daten und Modellen, durch den Umfang der auszuführenden Berechnungen sowie durch die Entwicklung moderner Computer-Hardware beeinflusst. Der DSS - Prototyp ist in C++/Qt implementiert und stellt eine Kombination von Web-/Desktop-Technologien unter Nutzung von Zooming-User-Interface Prinzipien dar. Praktische Beispiele werden für die Uckermark (Brandenburg) und den Weißeritzkreis (Sachsen) angegeben.

Wasserversorgungssysteme sind allgemein wesentliche Bestandteile einer nachhaltigen Entwicklung von städtischen Gebieten und urbanisierten Landschaften. Zur Optimierung der oft konkurrierenden Zielvorstellungen unterschiedlicher Nutzergruppen sind Entscheidungsunterstützungssysteme erforderlich. Am Beispiel der chinesischen Hauptstadt Peking berichten *D. Karimanzira, T. Rauschenbach, H. Linke, T. Pfützenreuter, T. Bernard, O. Krol* und *M. Jacobi, Ilmenau/Karlsruhe*, über die Entwicklung eines DSS zur Planung und zum Management eines Wasserversorgungssystems (BjWDSS) mittels mehrkriterieller Entscheidungsverfahren in semi-ariden Gebieten. Ausgehend von den natürlichen Wasserressourcen im Einzugsgebiet werden technische, technologische und sozioökonomische Komponenten in das Entscheidungssystem eingebunden. Es werden das Gesamtkonzept vorgestellt und bisher erreichte Ergebnisse diskutiert.

Die Entwicklung eines innovativen Geräte- und Entscheidungshilfesystems zur nachhaltigen Nutzbarmachung historischer Wasserversorgungssysteme ist Gegenstand der Arbeit von *S. Raschke* und *O. Blumenstein, Potsdam*. In ariden Gebieten stehen im Allgemeinen keine Fließgewässer mit ganzjähriger Wasserführung zur Deckung des Trink- und Brauchwasserbedarfs zur Verfügung. Aus diesem Grunde werden Untersuchungen zur Reaktivierung vorhandener unterirdischer Wasserversorgungssysteme im Mittleren Osten vorgenommen. Auf der Grundlage dieser Analysen wird ein Konzept zur Nutzung der Wasserressourcen und Optimierung mittels eines Gerä-

te- und Entscheidungshilfesystems entwickelt. Die Autoren stellen erste Ergebnisse vor.

Im Schwerpunkt „Wassernutzung“ berichten *J. Studzinski* und *L. Bartkiewicz*, *Warschau*, über die Anwendung von Fuzzy- und Zeitreihenmodellen zur Vorhersage der hydraulischen Belastungen von Wasserversorgungs- und Abwassernetzen in Polen. Am Beispiel des Abwasserzuflusses zu einer Kläranlage werden stochastische Datenmodelle erläutert und die Ergebnisse detailliert diskutiert. Durch Vergleich der verschiedenen Modellansätze lassen sich die Ergebnisse miteinander vergleichen, so dass für eine operative Steuerung der Kläranlage der jeweils günstigste Modellansatz ausgewählt werden kann.

Die Wasserversorgung der städtischen Bevölkerung steht im Mittelpunkt des Beitrages von *J. P. Gomez-Jaregui Abdo* und *A. Gnauck*, *Guadalajara/Cottbus*. Zur Einschätzung der Nachhaltigkeit des Wasserverbrauchs von Privathaushalten geben sie einen auf 8 Indikatorengruppen beruhenden Index an. Insgesamt verwenden sie 27 einzelne Indikatoren, die den Komponenten Umwelt, Soziales und Ökonomie zugeordnet werden. Am Beispiel der mexikanischen Großstadt Guadalajara mit 4,6 Mio. Einwohnern zeigen sie, dass der gegenwärtige private Wasserverbrauch in Guadalajara nicht nachhaltig ist. Anhand der zeitlichen Entwicklung belegen sie, dass ein klarer Trend zu einer kontinuierlichen Verbesserung und damit zur Verringerung des Wasserverbrauchs besteht.

Der Schwerpunkt „Luftreinhaltung“ wird durch einen bemerkenswerten Beitrag von *P. Holnicki*, *Warschau*, eingeleitet. Er berichtet über die Unsicherheiten der zur Vorhersage der Luftqualität verwendeten Modelle und die daraus resultierenden Auswirkungen auf die Politik zur Steuerung von Emissionen. Infolge der hohen Komplexität der zu modellierenden Prozesse existieren nach wie vor viele Unsicherheitsquellen bei der Modellierung der Luftverschmutzung. Insbesondere diskutiert er die Unsicherheiten in den Eingangsdaten der Modelle und deren Auswirkungen auf die Vorhersage der jährlichen Mittelwerte der Luftverschmutzung. Anhand der Stofftransportmodelle REGFOR3 und CALPUFF werden für zwei ausgewählte Regionen die Effekte analysiert und diskutiert. Zur Unsicherheitsanalyse der Eingangsdaten wird die Monte Carlo Methode verwendet.

Im zweiten Beitrag dieses Schwerpunktes diskutieren *J. Stańczak*, *P. Pałka* und *Z. Nahorski*, *Warschau*, die Verwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz zur

Simulation von Transaktionen für CO₂ – Zertifikate. Dazu präsentieren sie ein dynamisches multi-agenten Modell auf der Basis von evolutionären Algorithmen. Damit sind sie in der Lage, verteilte und zentralisierte Strukturen für den Emissionshandel zu simulieren. Die auf diese Weise erhaltenen Ergebnisse werden im Detail diskutiert.

Zum Schwerpunkt „Sensitivität“ stellen *X. Specka* und *R. Wieland, Müncheberg*, grundlegende Untersuchungen mittels der Morris-Methode und der Monte-Carlo-Methode für komplexe Agrar-Ökosystemmodelle vor. Zentraler Punkt ist dabei die Implementierung beider Methoden unter Nutzung der Programmiersprache Python / SWIG und die Realisierung der Simulation auf einem Rechnercluster mittels mpi4py. Beide Methoden werden auf das im ZALF entwickelte Agrar-Ökosystemmodell MONICA angewendet, wobei das Modell im Rahmen des Projektes EVA2 für den Energiepflanzenanbau neu kalibriert werden muss. Die Autoren diskutieren die Unterschiede beider Methoden zur Sensitivitätsanalyse im Detail.

B. Luther und *A. Gnauck, Cottbus*, stellen Analysen zur analytischen Parametersensitivität des Cottbuser Eutrophierungssimulators (CEUS) in den Mittelpunkt der Diskussion. Auf der Grundlage von Sensitivitätsabschätzungen sind simultane Parametervariationen möglich. Für spezielle Parameterkombinationen erhalten sie Änderungen der Ausgangsvariablen ergeben sich dabei für spezielle Parameterkombinationen.

Der Schwerpunkt „Ecosystem Services“ umfasst zwei Beiträge. Über die Modellierung ökologischer Dienstleistungen auf landschaftsökologischer Skala berichten *E. A. Fongwa*, *A. Gnauck* und *F. Müller, CottbusKiel*. Am Beispiel des UNESCO - Biosphärenreservates Spreewald diskutieren sie die Anwendungsmöglichkeiten von Petrinetzen zum Management ökologischer Dienstleistungen.

Abschließend präsentieren *S. N. Islam* und *A. Gnauck, Dhaka/Cottbus*, Ergebnisse ihrer Modelluntersuchungen über die Nahrungsmittelsicherheit in der Küstenregion von Bangladesch. Reduzierte Süßwasserzuflüsse des Ganges und die damit verbundene verringerte Sedimentation suspendierten Materials sowie das Eindringen von Salzwasser in das Einzugsgebiet verursachen intensive negative Änderungen in den ökologischen Dienstleistungen des Ganges Deltas.

Der Workshop wurde von allen Teilnehmern als sehr konstruktiv und erfolgreich eingeschätzt. Die Ziele des Workshops wurden inhaltlich nicht nur erreicht, sondern

durch die anregenden Diskussionen und Pausengespräche sowie die durch die neu entstandenen wissenschaftlichen Kontakte weit übertroffen. 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. Ebenso danke ich allen Gutachtern der Beiträge für ihre Arbeit. Meinen Mitarbeitern, Herrn Dr. Bernhard Luther, Herrn Dipl.-Ing. Mirko Filetti und Frau Gabriele Richter, danke ich für redaktionelle und technische Zuarbeiten. Dem Shaker Verlag Aachen, insbesondere Frau Leany Maaßen, bin ich für die stets ermutigenden Gespräche, die unkomplizierte Herausgabe des Buches in der Reihe „Umweltinformatik“ sowie für die ausgezeichnete verlegerische Betreuung zu großem Dank verpflichtet.

Cottbus, im Juli 2011

Albrecht Gnauck

Inhalt

<i>Gnauck, A. and W. Pillmann</i> Environmental Meta-Models: The ICT-ENSURE-Project.....	1
<i>Wieland, R.</i> Nutzung paralleler Prozesse bei der Umweltsimulation.....	17
<i>Lennartz, G. und S. Siehoff</i> Das GrasS-Modell – ein dynamisches Simulationsmodell zur Prognose der Offenlandsukzession unter verschiedenen Management - Regimes (entwickelt für den Nationalpark Eifel)	28
<i>Filetti, M. und A. Gnauck</i> Organisation und Verwaltung von Forschungsdaten zum Gewässermanagement.....	44
<i>Wenkel, K.-O., W. Mirschel, M. Berg, R. Wieland and B. Köstner</i> The LandCaRe Decision Support System – Basic Principles, Architecture and Methodology	60
<i>Berg, M., W. Mirschel, R. Wieland und K.-O. Wenkel</i> Technische Umsetzung des LandCaRe – DSS Prototyps	75
<i>Karimanzira, D., T. Rauschenbach, H. Linke, T. Pfüzenreuter, T. Bernard, O. Krol and M. Jacobi</i> A Complex Water Allocation Decision Support System for Beijing	90
<i>Raschke, S. und O. Blumenstein</i> Entwicklung eines innovativen Geräte- und Entscheidungshilfesystems zur nachhaltigen Nutzbarmachung historisch angelegter Wasserversorgungssysteme (Qanate) – Ansatz und erste Ergebnisse.....	107
<i>Studzinski, J. und L. Bartkiewicz</i> Mathematische Modelle zur Vorhersage des Abwasserzuflusses zu einer Kläranlage.....	124
<i>Gomez-Jauregui Abdo, J. P. and A. Gnauck</i> On the Use of a Composite Index to Measure Sustainability of Domestic Water Consumption: A Preliminary Analysis of the City of Guadalajara, Mexico.....	138

<i>Holnicki, P.</i> Uncertainty in Computer Analysis of Air Quality	164
<i>Stańczyk, J., P. Pałka and Z. Nahorski</i> Artificial Intelligence Methods in the CO ₂ Permission Market Simulation.....	185
<i>Specka, X. und R. Wieland</i> Realisierung von Sensitivitätsanalysen am Ökosystemmodell MONICA.....	206
<i>Luther, B. und A. Gnauck</i> Zur Parametersensitivität von CEUS	217
<i>Fongwa, E. A., A. Gnauck and F. Müller</i> Modelling of Ecosystem Services at the Landscape Scale: A Case Study of UNESCO Biosphere Reserve Spreewald	233
<i>Islam, S. N. and A. Gnauck</i> Food Security and Ecosystem Services under Threat in the Coastal Region of Ganges Delta in Bangladesh.....	258