Herausgeber:
Albrecht Gnauck

Modellierung und Simulation von Ökosystemen

Workshop Kölpinsee 2011

ASIM-Mitteilung AM 138

Berichte aus der Umweltinformatik

Albrecht Gnauck (Hrsg.)

Modellierung und Simulation von Ökosystemen

Workshop Kölpinsee 2011

Shaker Verlag
Aachen 2012

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 2012
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-0929-3
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

Die Fachgruppe 4.6.3 „Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften, Medizin und Biologie“ im Fachausschuss 4.6 „Umweltinformatik - Informatik für Umweltschutz, Nachhaltige Entwicklung und Risikomanagement“ der Gesellschaft für Informatik e.V. veranstaltete vom 26.10.2011 - 28.10.2011 in Zusammenarbeit mit der GI-ASIM-Fachgruppe „Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften, Medizin und Biologie“ den 15. Workshop „Modellierung und Simulation von Ökosystemen“. Der interdisziplinär ausgerichtete Workshop wurde vom Lehrstuhl für Ökosysteme und Umweltinformatik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus unter der wissenschaftlichen Leitung von *Univ.-Prof. Dr. habil. Albrecht Gnauck*, der den Workshop letztmalig moderierte, organisiert und durchgeführt.

Ziele des Workshops waren die Zusammenführung neuer mathematischer, systemtheoretischer, ökologischer und sozioökonomischer Erkenntnisse der Umweltforschung einschließlich ihrer modellmäßigen Ausprägungen und Interpretationen mittels Informatikmethoden und –werkzeugen. Das Programm des Workshops umfasste wesentliche Arbeitsrichtungen der Umweltinformatik. Unter Berücksichtigung des Nachhaltigkeitsaspektes und der durch den Klimawandel verursachten Umweltänderungen wurde der thematische Bogen von der Ökosystemmodellierung und Umweltsimulation über Ökosystemmanagement und Entscheidungsunterstützung bis hin zu Fragen eines innovativen Energiemanagements gespannt.

In seiner Begrüßung gab Prof. Gnauck seiner Freude darüber Ausdruck, dass auch beim 15. Workshop in Folge repräsentative Wissenschaftlergruppen des Instituts für Landschaftssystemanalyse des Leibniz-Zentrums für Agrarlandschaftsforschung e.V. (ZALF), Müncheberg, der Carl-von-Ossietzky Universität Oldenburg und des Instituts für Systemanalyse der Polnischen Akademie der Wissenschaften wiederum nach Kölpinsee angereist waren, um theoretische und praktische Entwicklungen auf dem Gebiet der Ökosystem- und Umweltsimulation sowie praktische Umsetzungen von Modellkonzepten zur Lösung von Aufgaben des Umweltmanagements zu diskutieren. Insbesondere begrüßte er die langjährigen Teilnehmer *Dr. Wilfried Mirschel* und *Dr. Ralf Wieland* (ZALF), *Dr. Jan Studzinski* und *Dr. P. Holnicki* (PAN Warschau) sowie *Prof. Jorge Marx-Gómez* und *Dr. Ute Vogel* (Universität Oldenburg). Prof. Gnauck betonte, dass der jährlich organisierte interdisziplinäre Workshop zur Diskussion neuer ökologischer, ingenieurtechnischer und sozioökonomischer Fragestel-

lungen auch nach 15 Jahren nichts von seiner Aktualität und wissenschaftlichen Anziehungskraft eingebüßt, sondern beispielhaft zur Diskussion theoretischer und praktischer Aspekte der Ökosystem- und Umweltmodellierung beigetragen hat.

Zum 15. Workshop waren prominente Gäste nach Kölpinsee gekommen, insbesondere der Sprecher des Fachausschusses 4.6 der GI, *Dr. Werner Pillmann*, *Wien*, der Sprecher der Fachgruppe 4.6.3, *Prof. Jochen Wittmann*, *Berlin*, *Prof. Gerhard Wiegleb*, Leiter des Lehrstuhls für Allgemeine Ökologie und Dekan der Fakultät für Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus sowie *Prof. Michael Sonnenschein*, Leiter der Abteilung Umweltinformatik der Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg. Mit großer Freude verlas Prof. Gnauck auch ein Grußwort von *Prof. Thinh, Dortmund*, der in den vergangenen Jahren oft den Workshop durch seine Fachbeiträge bereichert hatte. Aufgrund der Übernahme einer Professur in der Fakultät für Raumplanung der Universität Dortmund konnte er aus zeitlichen Gründen nicht am Workshop teilnehmen. Am Abend des 2. Workshoptages gab es eine Abendveranstaltung zur Ökosystemnutzung und zu Ökosystemdienstleistungen, mit der sich Prof. Gnauck bei allen Teilnehmern für die langjährige Unterstützung des Workshops bedankte.

Der vorliegende Band enthält die referierten und revidierten Beiträge des Workshops sowie einen zusätzlichen Beitrag aus der Forschungsgruppe des Lehrstuhls für Ökosysteme und Umweltinformatik der BTU Cottbus. Die auf dem Workshop präsentierten 18 Fachbeiträge waren den Schwerpunkten Modellierung und Simulation (10 Beiträge), Ökosystemmanagement und Entscheidungsunterstützung (4 Beiträge), sowie Energiemanagement (3 Beiträge) zugeordnet. Der abschließende Beitrag enthält eine Übersicht über 15 Jahre Workshop „Modellierung und Simulation“ in Kölpinsee. Die Reihenfolge der Beiträge im Buch weicht von der Reihenfolge der Vorträge des Workshops zugunsten einer thematisch orientierten Kompaktheit ab.

Der thematische Schwerpunkt „Modellierung und Simulation“ wird durch einen Beitrag von *W. Pillmann* und *A. Gnauck, Wien/Cottbus*, über die Einbindung von Ökosystemmodellen in die Nachhaltigkeitsmodellierung eingeleitet. Ausgehend von einer generellen Beschreibung des Teilsystems Mensch und Umwelt sowie der weltweiten Verfügbarkeit von Umweltdaten werden konzeptionelle Metamodelle als geeignete Instrumente des Wissensmanagements in einem globalen Informationsraum diskutiert. Die Umweltmodellierung einschließlich Entscheidungsunterstützung wird als

Link zwischen der Umweltforschung und der Legislative angesehen. Die Verknüpfung von Modellen als verallgemeinerte Wissensbasis zur Entscheidungsfindung und Politikberatung sowie zur Beeinflussung von Umweltprozessen wird exemplarisch mittels des DPSIR - Konzeptes dargestellt.

Unsicherheiten bei der modellgestützten Klimafolgenabschätzung ist das Thema des Beitrages von *W. Mirschel, K.-O. Wenkel, M. Berg, C. Nendel* und *R. Wieland, Müncheberg*. Sie gruppieren die Unsicherheiten in „Daten-Unsicherheiten“ und „strukturelle Unsicherheiten“. Als wesentliche Quellen der Unsicherheit benennen sie die Emissionsszenarien des IPCC, die Aussagen mittels globaler Klimamodelle, die regionalorientierten Skalierungsprobleme sowie Wirkmodelle, die zur Klimafolgenabschätzung verwendet werden. Für landwirtschaftlich relevante Kenngrößen werden die Unsicherheiten der Modellergebnisse anhand zahlreicher Beispiele für Emissionsszenarien und Downscaling - Methoden quantifiziert und diskutiert.

Langfristige Ökosystemveränderungen erfordern ein adäquates Monitoring, wie es im Rahmen von LTER praktiziert wird. Zum Erkennen kurzzeitiger hochfrequenter dynamischer Wechselwirkungen in terrestrischen Ökosystemen sind räumlich-vertikal und zeitlich hochaufgelöste Daten notwendig. *C.-G. Schimming, B. Burkhard, F. Müller* und *U. Ulrich*, *Kiel*, stellen in ihrem Beitrag über Trendanalysen der Biogeochemie eines Buchenwaldökosystems Konzepte zur Identifizierung und Indikation von Ökosystemfunktionen vor. Neben langfristigen Trends werden kurzfristige Oszillationen der Pufferdynamik identifiziert und funktionale Zusammenhänge zwischen chemischen Reaktionen und Ökosystemantworten hergestellt.

B. Luther und *A. Gnauck, Cottbus*, greifen den Aspekt der Datenverfügbarkeit auf und beschäftigen sich mit der Informationsbasis für ökologische Prozessmodelle. Dazu prüfen sie Zeitreihen von Indikatoren und Variablen der Wassergüte auf ihre Konsistenz. Am Beispiel von Datensätzen der Gewässergüte diskutieren sie verschiedene Möglichkeiten der Datenrekonstruktion. Im Vergleich mit linear interpolierten Datensätzen ergeben sich für die mit Wavelets rekonstruierte Datensätze wesentlich bessere Ergebnisse. Die Vorgehensweise wird am Beispiel des Eutrophierungsmodells CEUS demonstriert.

Genauere Simulationsergebnisse werden häufig durch eine verbesserte Modellparametrisierung erzielt. *X. Specka, R. Wieland* und *C. Nendel, Müncheberg*, berichten über die Parameteroptimierung des Agrarökosystemmodells MONICA, das für den

Vergleich verschiedener Anbausysteme und zur Bewertung der abiotischen Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus eingesetzt wird. Nach der Ermittlung sensitiver Modellparameter wird die Software HOPSPACK zur optimalen Parametrisierung des Modells MONICA verwendet. Kalibrierung und Validierung des Modells erfolgen durch Vergleiche von Modellsimulation und Realsystem für verschiedene Fruchtfolgen an verschiedenen Standorten. Durch Vorgabe von geeigneten Startwerten und Begrenzung des Suchraumes der Optimierung werden sehr gute Simulationsresultate erzielt.

Einen weiteren interessanten Aspekt zur Modelloptimierung von Ökosystemen fügt *R. Hohmann, Magdeburg*, der Nachhaltigkeitsdiskussion hinzu. Er analysiert anhand eines in der Literatur angegebenen Populationsmodells Strategien für eine nachhaltige, wirtschaftlich erfolgreiche Binnenfischerei. Nachhaltigkeit wird als stationärer Zustand verstanden, bei dem langfristig die Zustandsgrößen (Anzahl der Boote, Fischbesatz) nahezu konstant bleiben. Bei einem dichteabhängigen Fang erfolgt eine Profitoptimierung in Abhängigkeit vom Investitionsanteil für neue Boote bzw. neue Technik durch Reduktion des Ungenauigkeitsintervalls nach der Methode des Goldenen Schnittes. Die Optimierungsstrategien werden an unterschiedlichen Beispielen vorgestellt und hinsichtlich ihres Effektes eingeschätzt.

Zur Simulation komplexer Systeme gibt es verschiedene Strategien. Neben der Parameteroptimierung erhält man oft durch Kopplung verschiedener Simulatoren sehr gute Simulationsergebnisse. *M. Meyer, J. Sallwey* und *P.-W. Gräber, Dresden/Pirna*, betrachten in ihrer Arbeit über Beschleunigung und Kopplung von Simulationsmodellen der gesättigten und ungesättigten Bodenzone Strömungs- und Transportprozesse, die als Entscheidungsgrundlagen für einen ressourcen- und umweltschonenden Abbau von Braunkohle von hoher Bedeutung sind. Im Projekt EGSIM wird dazu ein auf GIS und HPC beruhender gekoppelter Simulationsmodul entwickelt, der auf den Simulatoren PCSiWaPro und PCGeofim beruht. Ausführlich werden modell- und softwaretechnische Probleme sowie die Parallelisierung der Codes zur Verringerung der Simulationslaufzeiten diskutiert.

Einen anderen Aspekt der Nachhaltigkeitsmodellierung greifen *E. Fongwa, A. Gnauck* und *F. Müller*, *Cottbus/Kiel*, und stellen Ergebnisse der diskreten Modellierung ökologischer Dienstleistungen auf landschaftsökologischer Skala mittels Petri – Netze vor. Im Beitrag wird eine Methodologie zur simultanen Modellierung ökolo-

gisch-ökonomischer Prozesse entwickelt und am Beispiel des UNESCO - Biosphärenreservates Spreewald dargestellt. Die mit dem realen Modell erzielten Simulationsergebnisse werden hinsichtlich des Managements ökologischer Dienstleistungen analysiert.

Das Eindringen von Salzwasser in fruchtbare asiatische Deltagebiete infolge Klimaänderungen verbunden mit einem enormen Bevölkerungswachstum führt zu starken Schädigungen der Ökosysteme und zu Einschränkungen der für die Nahrungsmittelproduktion genutzten ökologischen Dienstleistungen. In ihrem Beitrag über den Einfluss von Klimaänderungen auf die nachhaltige Verfügbarkeit ökologischer Dienstleistungen in asiatischen Flussdelta-Regionen stellen *S. N. Islam* und *A. Gnauck, Dhaka/Cottbus*, die Bedingungen dar, die zu einer Verknappung von Nahrungsmitteln und Konfliktsituationen zwischen Ökonomie und Ökologie in asiatischen Küstenregionen führen. Es werden Empfehlungen für ein nachhaltiges, modellgestütztes Ökosystemmanagement gegeben.

Eine erfolgreiche Realisierung von Umweltprojekten erfordert oft eine Zusammenarbeit von Arbeitsgruppen verschiedener Institutionen. Einschränkungen sind durch die jeweils vorhandenen unterschiedlichen Informations- und Kommunikationsstrukturen gegeben. Datenmanagement, interaktiver Datenaustausch und Datenspeicherung stehen deshalb im Vordergrund der von *M. Filetti, R. Obst* und *A. Gnauck*, *Cottbus/Lübben*, präsentierten virtuellen Forschungsumgebung für die Nachsorgephase und die Rekultivierung einer Altablagerung. Als IT-Kern verwenden sie die FOSS GeoNetwork Open Source (GNOS), mit der Metadaten interoperabel verwaltet und der Zugriff auf Daten durch verschiedene Benutzergruppen geregelt wird.

Die Kampagne IT-for-Green hat das Ziel, mit Mitteln der Informationsverarbeitung Unternehmen und ihre Prozesse umweltfreundlicher zu gestalten und dabei einen Wechsel von operativen hin zu strategischen Informationssystemen zu vollziehen. Dieses Anliegen ist Gegenstand des den Schwerpunkt „Modellierung und Simulation“ abschließenden Beitrages von *J. Marx Gómez, Oldenburg*. Damit die bereits implementierten BUIS den Anforderungen der Nachhaltigkeitsdebatte gerecht werden, müssen dafür Ansätze bereits in der Produktentwicklung sowie bei der strategischen Entscheidungsfindung vorhanden sein. Dem rechtzeitigen Erkennen von Ursache-Wirkungs-Beziehungen kommt deshalb eine große Bedeutung zu, um Umweltauswirkungen aktiv begegnen und wesentliche Potenziale für einen prophylaktischen

Umweltschutz nutzen zu können. Zur Lösung rechentechnischer Aufgaben wird auf cloud computing - Technologien hingewiesen.

Der Schwerpunkt „Ökosystemmanagement und Entscheidungsunterstützung“ wird durch einen Beitrag über rechnergestützte Entscheidungshilfen für kommunale Wasserwerke eingeleitet. *J. Studzinski, Warschau*, gibt einen Einblick in die Steuerung und Führung eines Wasserwerkes und der zugehörigen Wasserverteilungsnetze mittels eines integrierten Informationssystems. Die zu erfüllenden Aufgaben sind einerseits mit der Modellbildung und Simulation nichtlinear wirkender Teilsysteme, und andererseits mit der Kalibrierung und Optimierung von Betriebszuständen verbunden. Praktische Ergebnisse werden anhand eines niederschlesischen Wasserwerkes vorgestellt und ausführlich diskutiert.

Möglichkeiten der Erweiterung eines bereits bestehenden DSS um endnutzerorientierte Modelle sind Gegenstand des Beitrages von *M. Berg* und *W. Mirschel, Müncheberg*. Auf der Grundlage von *LandCaRe-DSS*, eines am ZALF entwickelten modular aufgebauten und modellbasierten interaktiven Informations- und Entscheidungsunterstützungssystems zur Klimafolgenabschätzung und zur strategischen Anpassung der Landwirtschaft an die Auswirkungen prognostizierter Klimaänderungen, wird beispielhaft die Umwandlung eines C++ -Modells in ein QT-Plug-in dargestellt, das vom DSS ausgeführt werden kann. Das DSS kann für unterschiedliche räumliche Skalen eingesetzt werden und unterstützt Ensemble- sowie Langzeitsimulationen mit hoher räumlicher Auflösung. Durch die Erweiterung wird das *LandCaRe-DSS* selbst zur Modellumgebung. Weiterhin werden die einem Modell zur Verfügung stehende Infrastruktur sowie Ideen zur zukünftigen Entwicklungen des DSS vorgestellt.

Unsicherheiten in den Ergebnissen komplexer Modellsysteme, die als Entscheidungsgrundlagen zur Vorhersage der Luftreinhaltung verwendet werden, stehen im Mittelpunkt der Ausführungen von *P. Holnicki, Warschau*. Hauptsächliche Quellen der Unsicherheit sind sowohl die meteorologischen Eingangsdaten und Emissionsdaten, als auch die vereinfachten mathematischen Beschreibungen und Parametrisierungen der grundlegenden physikalischen Prozesse. Zur Unsicherheitsanalyse wird das regional skalierte Euler-Modell REGFOR3 verwendet. Die Modellaussagen dienen als Eingangsinformation für Entscheidungsprozesse, deren Ergebnisse meist qualitativen Charakter haben. Am Beispiel des Gebietes Oberschlesien werden die Probleme ausführlich dargestellt und mit zahlreichen Beispielen illustriert.

Im letzten Beitrag dieses thematischen Schwerpunktes diskutiert *A. Kałuszko, Warschau*, effiziente ökonomische Instrumente zur Reduzierung der CO_2-Belastungen bei gegebenen Emissionsquellen über einen längeren Zeitraum. Die Gesamtkosten für den Einsatz neuer Technologien werden in Investitionskosten und in Betriebskosten aufgeteilt. Das zu lösende Optimierungsproblem besteht in der Kostenminimierung für alle Emissionsquellen (Kraftwerke). Als Lösungsansatz dient eine heuristische, auf der dynamischen Programmierung beruhende Methode. Am Beispiel von 20 polnischen Kraftwerken werden effiziente Lösungen für unterschiedliche Zielfunktionen aufgezeigt.

Der Schwerpunkt „Energiemanagement“ beginnt mit einem Beitrag von *J. Wittmann* und *R. Morana, Berlin*. Sie stellen ein Konzept für eine web-basierte Spielumgebung zum CO_2-Zertifikatehandel vor, das die wesentlichen Agenten beim Zertifikatehandel abbildet und einen Rahmen für eine simulationsbasierte Lernumgebung auf der Basis einer Web 2.0-Konzeption liefert. Dazu wird ein neuer Modellansatz und dessen Umsetzung im Sinne eines im Web verteilt ablaufenden Gesamtmodells diskutiert. Es werden ein Überblick über das System des Handels mit Zertifikaten gegeben und didaktische Zielstellungen des Konzeptes aufgezeigt.

J. Malinowski, Warschau, greift die Unsicherheitsprobleme im Energiemanagement auf und präsentiert einen mathematisch-theoretischen Ansatz zur Einbeziehung der Variationsbreite in die Modellierung und Vorhersage des dynamischen Verhaltens von erneuerbaren Energieressourcen. Die relevanten Prozesse werden als semi-Markovsche Prozesse in einem endlichen Zustandsraum beschrieben. Die Werte der Umweltvariablen werden dazu in eine endliche Zahl von Intervallen (Klassen) eingeteilt, in denen Prozessänderungen zu zufälligen Zeitpunkten erfolgen. Es wird gezeigt, wie sich die Prozessparameter zur Vorhersage der Energieerzeugung mittels Laplace-Transformation abgeschätzt werden können.

Mit einem sehr innovativen Beitrag von *M. Sonnenschein* und *U. Vogel, Oldenburg*, über naturinspirierte Verfahren für eine nachhaltige Stromversorgung mit erneuerbaren Energien wird der Schwerpunkt abgeschlossen. Die Integration neuer Formen der Energieerzeugung in ein bestehendes, hierarchisch strukturiertes Stromversorgungssystem ist eine neue und enorm hohe Herausforderung an die Kraftwerksbetreiber. Da eine kontinuierliche Stromeinspeisung von Photovoltaik- und Windkraftanlagen mit Unsicherheiten behaftet ist, wird eine Ausnutzung von Lastverschie-

bungspotenzialen auf Seiten der Stromverbraucher angestrebt, um einen optimalen Ausgleich von Stromerzeugung und Stromverbrauch zu erreichen. Es werden umfangreiche Untersuchungen vorgestellt und diskutiert, wie dies gewährleistet werden kann.

Im letzten Beitrag gibt *A. Gnauck, Cottbus*, eine Übersicht über die 15jährige Serie der vom Lehrstuhl Ökosysteme und Umweltinformatik veranstalteten Workshops „Theorie, Modellierung und Simulation von Ökosystemen". Während in den ersten Jahren des Workshops stärker theoretische Beiträge zur Theorie und Modellbildung von Ökosystemen diskutiert worden waren, sind in der zweiten Hälfte der Workshopserie verstärkt Anwendungen von Ökosystem- und Umweltmodellen zum Umweltmanagement einschließlich Entscheidungsunterstützungssysteme Gegenstand der Diskussionen. Für die Zukunft werden neue Themenfelder aus Ökologie und Umweltinformatik aufgezeigt.

Insgesamt wurde der Workshop von allen Teilnehmern als sehr konstruktiv und erfolgreich, verbunden mit vielen neuen Erkenntnissen und Ideen, eingeschätzt. Die Ziele des Workshops wurden nicht nur inhaltlich erfüllt, sondern durch die anregenden Diskussionen und Pausengespräche sowie durch neu entstandene wissenschaftliche Kontakte weit übertroffen. Prof. Gnauck verabschiedete alle Teilnehmer mit herzlichen Worten und lud sie zum 16. Workshop „Modellierung und Simulation von Ökosystemen" vom 31.10. – 02.11.2012 wieder nach Kölpinsee ein. Der Workshop wird dann wissenschaftlich von *Prof. Nguyen Xuan Thinh, Dortmund*, organisiert und geleitet werden.

Dass der Workshop zum 15. Mal in Folge im Hotel „Zur Ostsee" stattfinden konnte, ist einerseits der hohen wissenschaftlichen Wertschätzung dieser Veranstaltung durch die Teilnehmer zu danken. Andererseits haben die Hotelbesitzer, die Familie Kirsch, stets für ausgezeichnete und fürsorgliche Arbeitsbedingungen und einen äußerst gastfreundlichen und wohltuenden Aufenthalt gesorgt. Auch ungewöhnliche Wünsche wurden schnell erfüllt. Im Namen aller Teilnehmer danke ich der Familie Kirsch und dem gesamten Hotelteam für die langjährige Unterstützung des Workshops.

Mein herzlicher Dank gilt allen Teilnehmern, Vortragenden und Diskussionsrednern der jährlichen Workshops. Den Autoren der Beiträge schulde ich nicht nur großen Dank für die Mühe der Ausarbeitung und Korrektur ihrer Vortragsmanuskripte, son-

dern auch für die Geduld bei der Herausgabe des Buches. Insbesondere gilt mein Dank Herrn Dr. Bernhard Luther und Herrn Dipl.-Ing. Mirko Filetti für die wertvolle Zusammenarbeit bei der Formatierung der oft komplizierten Texte, Abbildungen und Tabellen sowie für den technischen Support bei der Fertigstellung des Manuskriptes. Für die haushälterische und verwaltungstechnische Begleitung der Buchpublikation danke ich Frau Gabriele Richter. Dem Shaker Verlag Aachen, insbesondere Frau Leany Maaßen, bin ich für alle ermutigenden Gespräche, die unkomplizierte Herausgabe des Buches in der Reihe „Umweltinformatik“ sowie für die ausgezeichnete verlegerische Betreuung zu großem Dank verpflichtet.

Cottbus, im Februar 2012 Albrecht Gnauck

Inhalt

Pillmann, W. und A. Gnauck
Einbindung von Ökosystem- und Umweltmodellen
in die Nachhaltigkeitsmodellierung 1

Mirschel, W., K.-O. Wenkel, M. Berg, C. Nendel und R. Wieland
Unsicherheiten bei der modellgestützten Klimafolgenabschätzung 12

Schimming, C.-G., B. Burkhard, F. Müller und U. Ulrich
Trendanalyse der Biogeochemie eines Buchenwaldökosystems -
Konzepte zur Identifizierung und Indikation von Ökosystemfunktionen 30

Luther, B. und A. Gnauck
Zur Datenrekonstruktion in Zeitreihen von
ökologischen Langzeituntersuchungen 49

Specka, X., R. Wieland und C. Nendel
Entwicklung einer Umgebung zur Optimierung sensitiver Parameter
im Agrarökosystemmodell MONICA 60

Hohmann, R.
Optimierung einer nachhaltigen Binnenfischerei 72

Meyer, M., J. Sallwey und P.-W. Gräber
Beschleunigung und Kopplung von Simulationsmodellen
der gesättigten und ungesättigten Bodenzone 85

Fongwa, E. A., A. Gnauck and F. Müller
Petri Net Modelling of Ecosystem Services: Methodological Development 99

Islam, S. N. and A. Gnauck
Climate Change Impact and Management of Coastal Ecosystem Services
in the Asian Mega Deltas 119

Filetti, M., R. Obst und A. Gnauck
Virtuelle Forschungsumgebung zur Rekultivierung einer Altablagerung
auf der Basis von Open Source 135

Marx Gómez, J.
IT-for-Green: Umwelt-, Energie- und Ressourcenmanagement
mit BUIS der nächsten Generation 153

Studzinski, J.
Rechnergestützte Entscheidungshilfe für kommunale Wasserwerke
mittels mathematischer Modelle, Krigingapproximation und Optimierung 160

Berg, M. und W. Mirschel
Möglichkeiten zur Erweiterung des LandCaRe-DSS
um Endnutzer-orientierte Modelle..... 172

Holnicki, P.
Environmental Decision Support under Uncertainty – Case Study Analysis 185

Kałuszko, A.
A Method of Efficient Allocation of Financial Means
for CO_2 Emission Reduction in a Set of Sources..... 205

Wittmann, J. und R. Morana
Konzept für eine web-basierte Spielumgebung zum CO_2-Zertifikatehandel 215

Malinowski, J.
Modeling Variability of Renewable Energy Sources
by a semi-Markov Process for Power Generation Prediction..... 226

Sonnenschein, M. und U. Vogel
Naturinspirierte Verfahren für eine nachhaltige Stromversorgung 235

Gnauck, A.
15 Years Workshop on Theory, Modelling and Simulation of Ecosystems
held at Kölpinsee/Usedom..... 250