

# Umweltmodelle: Welche Zukunft ist möglich?

Von Michael Sonnenschein, Hans-Peter Bäumer, Claudia Kemfert, Michael Kleyer und Michael Rudner

Das Ziel der Umweltmodellierung besteht darin, komplexe ökologische Systeme zu verstehen, ihr Verhalten in Raum und Zeit zu extrapolieren und schließlich das Management ökologischer Ressourcen zu unterstützen. Wir präsentieren beispielhaft gemeinschaftliche Projekte von Mitgliedern des Zentrums für Umweltmodellierung an der Universität Oldenburg in diesem Forschungsbereich.

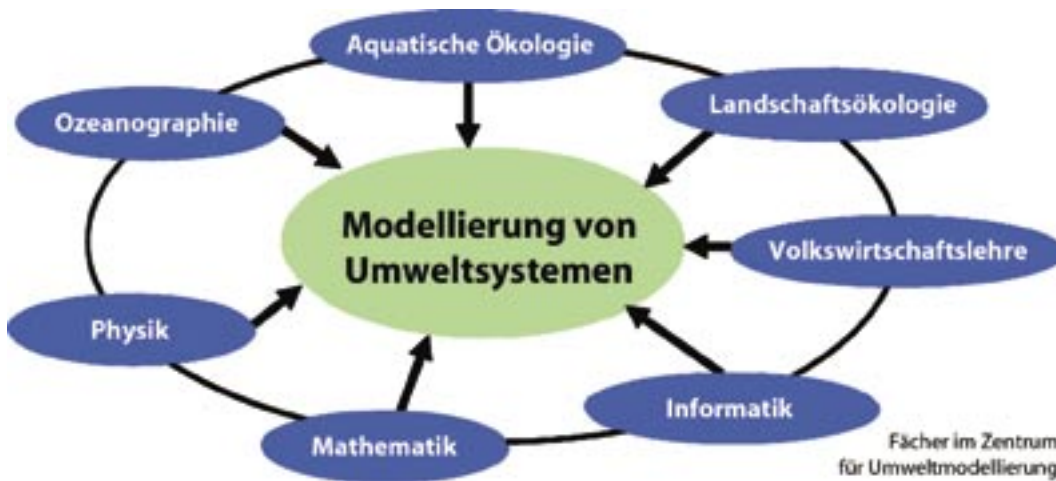
The objective of environmental modelling is to understand complex ecological patterns and processes, to extrapolate their behavior in time and space, and finally to support the management of ecological resources. Below, we present examples of collective projects in this field from the Centre for Environmental Modelling (CEM) at the University of Oldenburg.



Naturschutzmaßnahmen an der Müritz sind Gegenstand eines Oldenburger Forschungsprojekts zur Umweltmodellierung (MOSAİK). Auch die Auswirkungen der landwirtschaftlichen Nutzung finden Eingang in die Untersuchungen.

In den letzten Jahren und Jahrzehnten haben wir gelernt, dass unsere Umwelt ein gleichermaßen komplexes wie empfindliches System ist, das auf Störungen durch menschliche Eingriffe durchaus drastisch reagieren kann. Meldungen zu klimatischen Veränderungen, zum Artenschwund oder zu Auswirkungen von Umweltgiften auf die Natur und den Menschen gehören beinahe schon zur „Tagesordnung“. Was können wir aber unternehmen, um die teils irreversiblen Folgen unseres Handelns schon vor ihrem Entstehen abschätzen und alternative Handlungsweisen entwickeln zu können? Umweltsysteme zeichnen sich durch das

Zusammenwirken dynamischer Prozesse auf verschiedenen zeitlichen und räumlichen Skalen aus. Es gibt viele „Teilnehmer“ aus der belebten und unbelebten Natur. Zudem treten Ursachen und beobachtete Wirkung oft zeitlich versetzt auf und sind deterministisch nicht zu beschreiben. Von großem Interesse ist darüber hinaus oft der Zusammenhang des Umweltsystems mit der Dynamik unserer wirtschaftlichen und sozialen Systeme. Zum Verständnis derart komplexer Systeme können Modelle beitragen. Modelle sind uns aus vielen wissenschaftlichen Disziplinen seit langem bekannt - sie helfen durch Abstraktion und Beschränkung auf das Wesent-



liche komplexe Zusammenhänge formal zu beschreiben, zu erklären und mögliche Entwicklungen in die Zukunft fortzuschreiben. Mit der Modellierung von Umweltsystemen sind einzelne Disziplinen alleine jedoch oftmals überfordert. Hier müssen Mathematiker, Informatiker, Physiker, Ökologen und Umweltökonomeng eng zusammenarbeiten, häufig auch mit Vertretern weiterer Disziplinen und im Dialog mit interessierten gesellschaftlichen Gruppen. Aufbauend auf einem fundierten Verständnis der Zusammenhänge in Umweltsystemen sind Umweltmodelle ein wichtiger Baustein beim Management ökologischer Ressourcen.

Aber nicht nur unterschiedliche fachliche Disziplinen in Bezug auf die beteiligten Systeme sind bei der Modellierung gefordert. Auch die Methoden zur Modellierung von Umweltsystemen bilden ein breites Spektrum, das eine Zusammenarbeit insbesondere zwischen den Fachwissenschaften wie etwa der Landschaftsökologie oder der Volkswirtschaftslehre auf der einen Seite und den Methodenwissenschaften Mathematik und Informatik auf der anderen Seite erforderlich macht. Man kann beispielsweise folgende Typen von Umweltmodellen unterscheiden:

- Prozessmodelle zur Simulation und Analyse von Umweltdynamik in Zeit und Raum,
- Statistische Modelle zur Analyse von Zusammenhängen zwischen verschiedenen Umweltparametern oder zwischen Umweltparametern und ökonomischen Parametern,
- Datenmodelle mit Raum- und Zeitbezug, z.B. Geographische Informationssysteme und Datenbanken,

In der Praxis gibt es durchaus Syntheseprojekte für verschiedene Modelltypen, z.B.

Integrated Assessment Modelle von Ökonomie, Klima und Ökosystem. Mathematik gilt dabei als Werkzeug zum Organisieren funktioneller Zusammenhänge, während die Informatik beispielsweise die Grundlagen für Werkzeuge zur Simulation dynamischer Systeme liefert.

An der Universität Oldenburg bildet das Zentrum für Umweltmodellierung einen geeigneten Rahmen für die erforderliche interdisziplinäre Zusammenarbeit ([www.cem.uni-oldenburg.de](http://www.cem.uni-oldenburg.de)). Im Folgenden wollen wir einige Beispiele aus laufenden Projekten geben.

### Prozessmodelle zum Integrated Assessment

Der Klimawandel ist ein äußerst komplexes und vielschichtiges Problem, da es mehrere eng miteinander in Wechselwirkung stehende Systeme umfasst: abiotische Systeme, wie den Ozean oder die Atmosphäre,

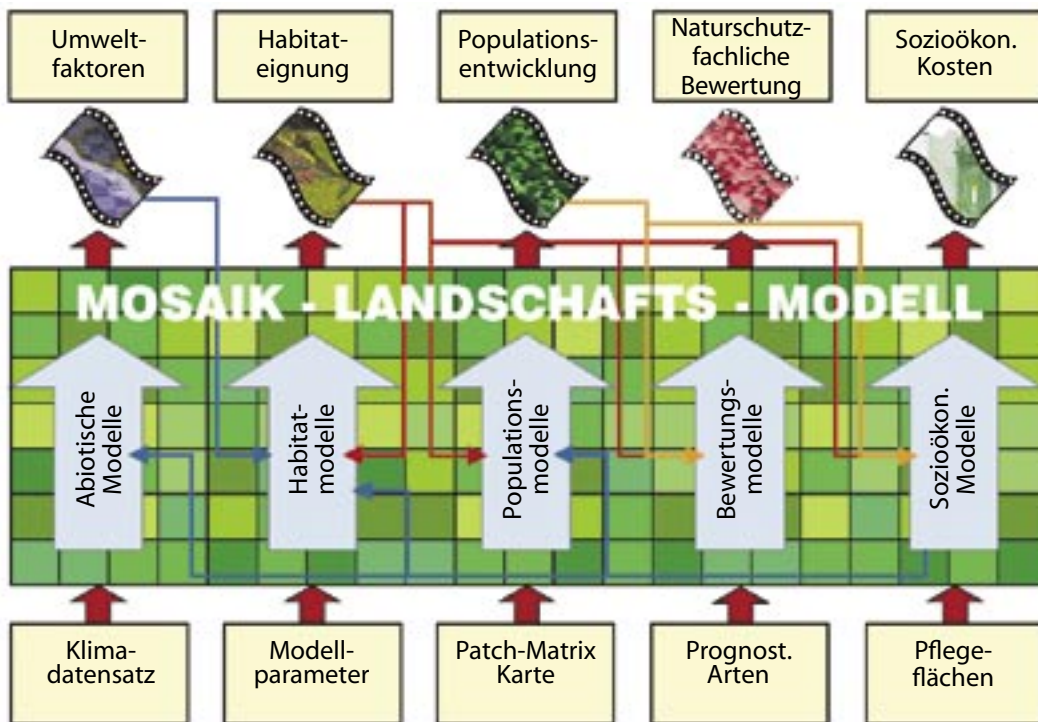
biotische Systeme, wie den Meeresraum und die terrestrische Biosphäre, und menschliche und ökonomische Systeme, wie den Landwirtschafts-, Transport- oder Energiebereich. Um die Wechselwirkungen zwischen diesen unterschiedlichen Komponenten genau verstehen zu können, bedarf es der detaillierten Abbildung der jeweiligen Subsysteme und deren Kopplungsmechanismen. Der erfolgversprechendste Weg zur Erreichung dieses Ziels ist die Konstruktion eines integrierten, regionalisierten Weltmodells, welches als Modellbausteine „state-of-the-art“-Modelle der grundlegenden Subsysteme Biosphäre, Klima und Ökonomie vereint. Die angesprochenen Forschungsfragen betreffen einen Themenbereich, der in Wissenschaft und Öffentlichkeit derzeit hohe Aktualität besitzt und in Zukunft voraussichtlich von noch höherer Bedeutung sein wird.

Die Hauptintention des von der Volkswagen Stiftung finanzierten Projekts ECOBICE unter der Leitung von Prof. Dr. Claudia Kemfert ist die Entwicklung verbesserter und detaillierterer Modelle zur Simulation dynamischer ökonomischer Prozesse, der globalen Klimaänderungen - anhand eines regional auflösenden, multivariablen Klimamodells - sowie der ökologischen Auswirkungen der Klimaänderungen. Diese Komponenten werden anschließend zu einem gekoppelten, integrierten, global vernetzten Modell zusammengeführt. Das integrierte Modell soll dazu genutzt werden, die ökonomi-

sierten Weltmodells, welches als Modellbausteine „state-of-the-art“-Modelle der grundlegenden Subsysteme Biosphäre, Klima und Ökonomie vereint. Die angesprochenen Forschungsfragen betreffen einen Themenbereich, der in Wissenschaft und Öffentlichkeit derzeit hohe Aktualität besitzt und in Zukunft voraussichtlich von noch höherer Bedeutung sein wird.



Beweidung an der Müritz: Die Frage ist, mit welcher Beweidungsintensität die Verbuschung verhindert werden kann, andererseits die beweidungsempfindlichen Pflanzen vor dem Aussterben geschützt werden können.



Komponenten des Landschaftsmodells im Rahmen des MOSAIK-Projektes der AG Landschaftsökologie.

schen und ökologischen Konsequenzen des Klimawandels zu verstehen und alternative Entwicklungspfade zu untersuchen und zu bewerten. Ein solches gekoppeltes Ökonomie-Biosphäre-Klima-Modell kann aber umgekehrt auch verwendet werden, um langfristige ökonomische und ökologische Folgeeffekte bestimmter wirtschaftlicher Entwicklungen oder politischer Entscheidungen zu untersuchen und zu bewerten. Um ein grundsätzliches Verständnis der Wirkungszusammenhänge in diesem komplexen System auch Anwendern außerhalb dieses Projekts zu eröffnen, ist es geplant, ein benutzerfreundliches Instrumentarium zu schaffen, mit dem alle Interessensgruppen unterschiedliche Entwicklungspfade simulieren und in ihren voraussichtlichen Konsequenzen abschätzen können.

Die Arbeitsgruppe SPEED unter der Leitung von Prof. Dr. Claudia Kemfert und die Arbeitsgruppe Umweltinformatik unter der Leitung von Prof. Dr. Michael Sonnenschein erarbeiten zusammen ein solches benutzerfreundliches Modellinstrumentarium. Hierzu werden zunächst die Schnittstellen der einzelnen Modelle inhaltlich wie technisch weiterentwickelt. Die hier zu lösenden Probleme betreffen einerseits die Teilmodelle selber, deren Parametrisierung an die Anforderungen der anderen Teilmodelle angepasst werden

muss. Andererseits muss in softwaretechnischer Hinsicht eine Kopplung der Teilmodelle zu einer zusammenhängend nutzbaren Software erfolgen. An ein Lösungskonzept zu dieser Kopplung sind neben den Anforderungen einer einfachen und schnellen Umsetzung auch Fragen der Erweiterbarkeit um weitere Teilmodelle geknüpft. In weiteren Schritten soll dann auch für Modellanwender außerhalb des Projekts ein vereinfachter Zugriff auf das gekoppelte Modell ermöglicht werden.

### Statistische Modelle

Der weiter fortschreitende Landnutzungswandel gefährdet ökologisch wertvolle Flächen der historischen Kulturlandschaft durch zunehmende Intensivierung landwirtschaftlicher Produktion einerseits oder Aufgabe landwirtschaftlicher Nutzung andererseits. Dies stellt den Naturschutz vor große Probleme. Es muss entschieden werden, welche Flächen weiter gepflegt, also vor Verbuschung bewahrt werden, da eine Pflege aller relevanten Flächen aus Kostengründen nicht durchgeführt werden kann. Einen Ausweg bieten hier alternative Pflegemaßnahmen. Um die Wirksamkeit neuer Pflegevarianten in ökologischer und ökonomischer Hinsicht zu klären, ist eine Modellierung beider Aspekte unumgänglich, da eine Felduntersuchung zur Ermittlung lokaler Aussterberaten von Pflan-

zen- und Tierarten zu lange Zeit in Anspruch nehmen würde.

In dem MOSAIK-Projekt unter der Leitung von Prof. Dr. Michael Kleyer werden die Chancen alternativer Pflegeverfahren untersucht sowie ökologische und ökonomische Modelle in einem integrierten Landschaftsmodell zusammengeführt (<http://www.uni-oldenburg.de/mosaik/mosaik.htm>). Die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens einer Reihe von Tier- und Pflanzenarten unter verschiedenen Managementvarianten wird mit statistischen Modellen prognostiziert. Dabei gehen sowohl abiotische als auch biotische Variablen, die raumabhängig sind, in die Modelle ein. Diese räumliche Abhängigkeit der betrachteten Variablen gilt es einerseits zu identifizieren und andererseits in dem jeweiligen Modell angemessen zu berücksichtigen. Wird dieser Raumbezug vernachlässigt und werden Modelle der klassischen Statistik eingesetzt, kann dies zu Schlussfolgerungen führen, die schließlich weniger geeignete Pflegevarianten oder allgemeiner inadäquate Managementmaßnahmen nach sich ziehen. Die Vorhersagen sollen einen direkten Flächenbezug haben. Gerade in Fällen hoher Variabilität der betrachteten Variablen und beinahe unkontrollierbaren zu beprobenden Grundgesamtheiten ist die Kenntnis des Vorhersagerfehlers von beson-

derem Wert. Bei der Rekonstruktion eines räumlichen Phänomens mit Modellen der räumlichen Statistik lässt sich insbesondere dieser Vorhersagefehler quantifizieren.

Wesentlich für die Entscheidung über das Flächenmanagement sind neben der Aussicht auf ökologische Wirksamkeit auch die zu erwartenden Kosten für die Pflege. Diese soll innerhalb des MOSAIK-Landschaftsmodells für auszuwählende Verfahren, wie z.B. das Fräsen von Flächen in einem festzulegenden Zeitabstand und eine entsprechende Flächenauswahl, berechnet werden. Ziel ist es, mit dem integrierten Landschaftsmodell eine Entscheidungsgrundlage für das Flächenmanagement im Naturschutz zu schaffen, die sowohl regional als auch vom Spektrum der Biotoptypen her erweitert werden kann.

## Datenmodelle am Beispiel von Pflanzenmerkmalen

**V**eränderungen in der Landnutzung, Fragmentierung der Landschaften, Umweltverschmutzung und andere menschliche Einwirkungen sind große Herausforderungen für den Naturschutz zur Wahrung der Biodiversität in Europa. Es ist dringend erforderlich, die Dynamik derart „gestörter“ natürlicher Systeme noch besser zu verstehen. Dann kann prognostiziert werden, wie sich Veränderungen im Lebensraum von Pflanzen und Tieren auf die Populationen auswirken können und ob sich Spezies in gestörten Lebensräumen regenerieren bzw. neue Habitate besiedeln können. Notwendige Voraussetzungen für solche Prognosen sind umfassende Datenbestände über biologische Eigenschaften von Pflanzen und Tieren.

Solche Datenbestände finden sich heute in der Regel verstreut in der Literatur sowie in unterschiedlichen kleineren Datenbanken und Tabellen bei verschiedenen wissenschaftlichen Arbeitsgruppen in Europa. Voraussetzung für effektive Maßnahmen ist jedoch eine Integration solcher verstreuten Datenbestände im Rahmen eines gemeinsamen Datenstandards und einer zentralisierten Datenbank („Traitbase“). Dieses Ziel hat sich ein Konsortium von zehn europäischen Partnern im Rahmen des EU-Projekts LEDA für die Flora Nordwest-Europas gesetzt ([www.leda.traitbase.org](http://www.leda.traitbase.org)). LEDA wird von Prof. Dr. Michael Kleyer, AG Landschaftsökologie der Universität Oldenburg, geleitet - die softwaretechnische Realisierung der Datenbanksoftware erfolgt durch eine

Arbeitsgruppe bei OFFIS unter Leitung von Prof. Dr. Michael Sonnenschein.

Die LEDA-Traitbase, die online über das Web verfügbar sein wird, beinhaltet nach Fertigstellung ca. 30 Merkmale zu Persistenz, Regeneration und zum Ausbreitungsvermögen von ca. 3000 Pflanzen Nordwest-Europas. Eine zentrale Aufgabe bestand zunächst darin, einen gemeinsamen Datenstandard zu entwickeln, in den vorhandene Datenbestände konvertiert werden können und den neue Daten selbstverständlich einhalten müssen. Dieser Standard, der neben „technischen“ Angaben zu Datenformaten auch Messprotokolle festlegt, wurde in ein relationales Datenbankmodell umgesetzt, das der Datenbank und ihren Online-Eingabemöglichkeiten zugrunde liegt. Um die Datenqualität auch langfristig zu sichern, werden alle externen Eingaben in die Datenbank zunächst durch ein „LEDA Editorial Board“ - vergleichbar den Herausgebern einer Zeitschrift - auf die Erfüllung der inhaltlichen Datenstandards überprüft. Erst nach erfolgter Freigabe können die Daten dann über eine Web-Schnittstelle zusammen mit den vorhandenen Daten auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus Anwendern in Verwaltungen, Beratungsbüros oder in der Forschung zur Verfügung gestellt werden.

Eine besonders interessante Aufgabe ist es nun, in den Datenbeständen der LEDA-Datenbank Zusammenhänge zu ermitteln. Solche Zusammenhänge können beispielsweise zwischen verschiedenen Merkmalen von Pflanzen bestehen, aber auch zwischen Bodenarten, Regionen, Höhenlagen etc. auf der einen und Pflanzenmerkmalen auf der anderen Seite. Die Aufdeckung solcher Zusammenhänge kann durch Methoden des Data-Mining und der Clusteranalyse erfolgen.

Daten zur Verbreitung von Pflanzen in Europa finden sich in einer Reihe von Geodatenbanken zu unterschiedlichen europäischen Regionen. Eine Kombination dieser Verbreitungsdaten mit den Merkmalsdaten in der Traitbase eröffnet neue Möglichkeiten. Einerseits können zu den Spezies einer Region, die aus einer Geodatenbank ermittelt werden, die interessierenden Attributwerte aus der Traitbase ermittelt werden. Andererseits ist es möglich, Spezieslisten zu bestimmten Attributwerten aus der LEDA-Datenbank zu extrahieren und nun die Verbreitung dieser Spezies über eine Geodatenbank zu ermitteln. Dies kann eine wertvolle Hilfe beispielsweise in der Landschaftsplanung bieten.

## Die AutorInnen



Prof. Dr. Michael Sonnenschein (r.), seit 1991 Hochschullehrer an der Universität Oldenburg und Leiter der Abteilung Umweltinformatik, promovierte und habilitierte sich im Fach Informatik an der Rheinisch-Westfälische Hochschule Aachen in den Bereichen „Compilerbau“ und „Petri-Netz-Modellierung“. Sein aktueller Forschungsschwerpunkt: Werkzeuge zur Modellierung und Simulation von Umweltsystemen.

Dr. Hans-Peter Bäumer (M.), studierte Mathematik, Geographie und Biologie an der Freien Universität Berlin, wo er auch promovierte. Seit 1978 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Hochschulrechenzentrum der Universität Oldenburg, wo er sich schwerpunktmäßig mit Angewandter Statistik befasst.

Prof. Dr. Claudia Kemfert (l.), bisher Juniorprofessorin und Leiterin der Forschungsnachwuchsgruppe SPEED an der Universität Oldenburg, ist seit Sommersemester 2004 Abteilungsleiterin „Energie, Verkehr und Umwelt“ am Deutschen Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) in Berlin und Professorin für Ökonomie an der Humboldt Universität. Kemferts Forschungsschwerpunkt: Bewertung der ökonomischen und umweltökonomischen Auswirkungen von Umwelt- und Energiepolitiken anhand mathematischer Modellierungsansätze.

Prof. Dr. Michael Kleyer (2.v.r.), seit 1999 Hochschullehrer für Landschaftsökologie an der Universität Oldenburg, promovierte und habilitierte sich als Agrarbiologe am Institut für Landschaftsplanung und Ökologie der Universität Stuttgart. 1996 wurde er zum Professor für Landschaftsökologie an die Universität Rostock berufen, bevor er nach Oldenburg kam. Seine Forschungsschwerpunkte: Wechselbeziehungen zwischen Vegetation und Landnutzungsänderungen.

Michael Rudner (2.v.l.), Diplom-Geoökologe, war nach seinem Studium an der Universität Bayreuth von 1992 bis 1998 in der Umweltplanung als Projektmanager im Büro Froelich & Sporbeck, Plauen, tätig, dann wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Geobotanik der Universität Freiburg. Seit 2001 ist Rudner wissenschaftlicher Mitarbeiter der AG Landschaftsökologie, wo er mit dem MOSAIK-Projekt betraut ist.