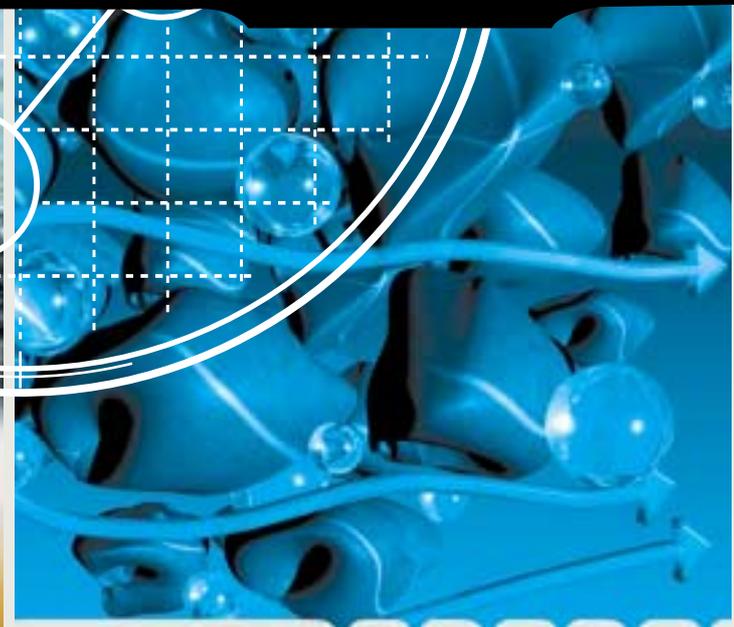
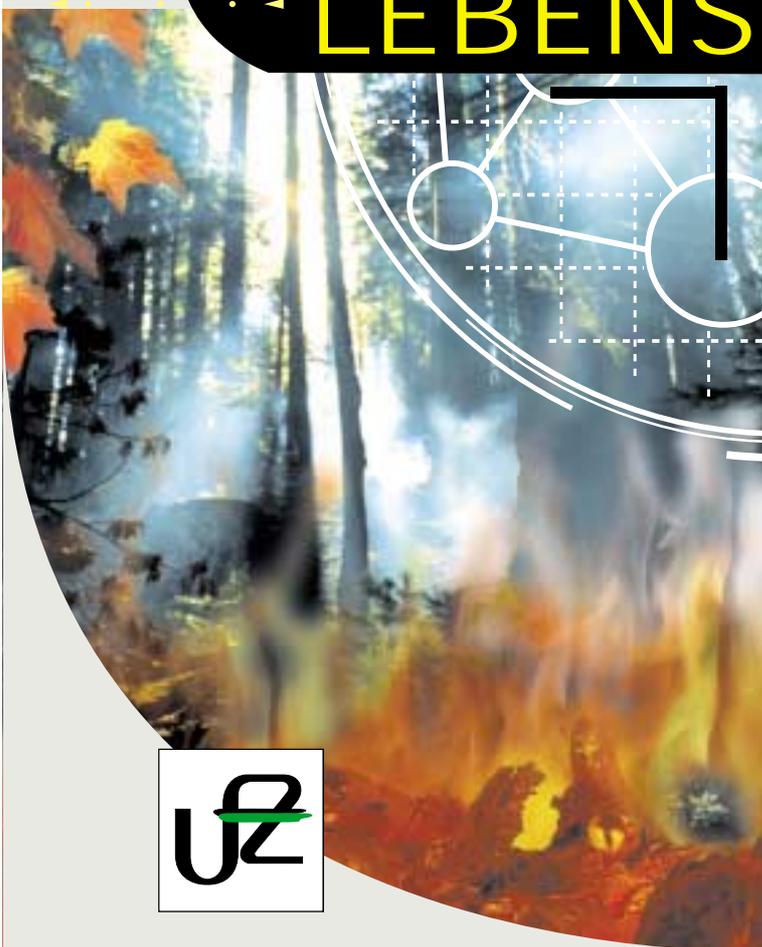


LEBENSRAÜME



SCHWERPUNKTTHEMA

MODELLE IN DER
UMWELTFORSCHUNG



Überall dort, wo Prozesse in der Natur zu langwierig oder zu komplex sind, um sie durch Messung und Beobachtung erfassen und verstehen zu können, leistet die Modellierung einen wichtigen Beitrag. Modelle in der Biodiversitätsforschung und Populationsökologie helfen sowohl Strukturen und Abläufe in Ökosystemen besser zu verstehen als auch konkret Überlebenswahrscheinlichkeiten für definierte Populationen abschätzen zu können. Mittlerweile hat sich die Modellierung und Simulation ökologischer

Natur simulieren

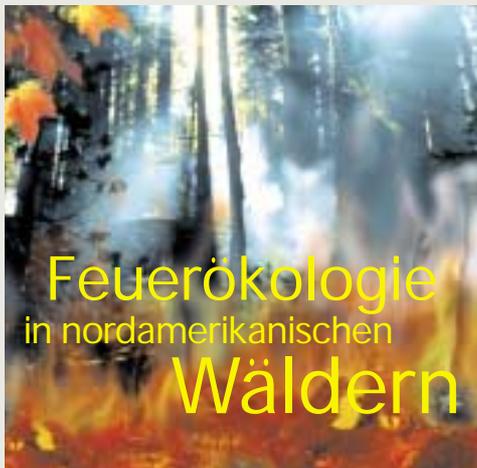
Prozesse als ein wertvolles Werkzeug für die praktische wissenschaftliche Arbeit und als wichtige Entscheidungshilfe im Naturschutz, im

Umwelt- und im Tierseuchenmanagement etabliert. Sie ist aus der modernen Umweltforschung nicht mehr weg zu denken. Vor allem die Sektion Ökosystemanalyse am UFZ entwickelt solche Werkzeuge.

Aber auch in einer Vielzahl von Projekten aus dem übrigen Themenspektrum des UFZ begleitet Modellierung die praktischen Arbeiten bzw. schafft erst die Grundlagen für deren Durchführung. Beispiele dafür sind die Grundwassersanierung im Bitterfelder SAFIRA-Projekt, die Gestaltung von Bergbaufolgelandschaften oder die Betrachtung von Stoffumsätzen und -austrägen in landwirtschaftlich genutzten Böden der Querfurter Platte. In der Umweltmedizin setzen UFZ-Wissenschaftler Modelle zur Sommersmog-Prognose ein (LEBENSRAUME 4/99), in der Chemischen Ökotoxikologie liefern Programme Aussagen zur Struktur-Wirkungs-Beziehung von Molekülen und in der Umwelt-Sozioökonomie werden Szenarien zur Bewertung von Landnutzungskonflikten modelliert (LEBENSRAUME 5/00).

Neben seiner interdisziplinären Ausrichtung ist damit die enge Verknüpfung von Theorie und Praxis, von Prognose und Validierung ein herausragendes Merkmal der Umweltforschung am UFZ.

Inhalt



Feuerökologie in nordamerikanischen Wäldern

Thema S.6

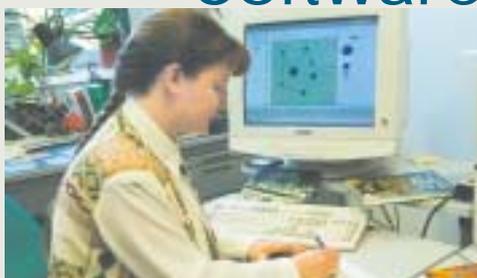
Simulationsmodelle helfen beim Abwägen, unter welchen Umständen und in welchem Umfang Brände zugelassen werden können.



Interview S.9

Interview mit Prof. Christian Wissel über die Bedeutung der Modellierung für die Praxis

Vom Modell zur Software



Thema S.16



S. 12

Bekämpfung gefährlicher Erreger am Computer und Tollwutvirus Fuchsbandwurm

Feuerökologie in nordamerikanischen Wäldern

Kanada gibt jährlich 250 Mio Dollar für die Waldbrandüberwachung und -bekämpfung aus. Ob Waldbrände generell als Katastrophe oder eher als nützliches Ereignis angesehen werden, ist eine Frage des Blickwinkels. Für die kanadische Holzwirtschaft geht es um den Exportartikel Nummer Eins und damit ist deren Einstellung klar. Ganz anders für Waldforscher wie M. G. Weber: „Fire is an ecosystem process.“ Er sieht das Feuer als natürlichen, vollständig integrierten Bestandteil des Ökosystems Wald. 6

Interview mit Prof. Christian Wissel,
Leiter der Sektion Ökosystemanalyse am UFZ. 9

Bekämpfung gefährlicher Erreger am Computer –
Tollwutvirus und Fuchsbandwurm
UFZ-Wissenschaftler begannen mit der theoretischen Frage nach dem Zustandekommen des Ausbreitungsmusters der Fuchstollwut und gelangten durch schrittweises Hinzufügen ökologischer Details zu einer Kaskade von Modellen, von denen jedes zu ganz konkreten Hinweisen für die praktische Bekämpfung der Seuche mit Impfködern führte. 12

Überleben als Metapopulation
Eine Metapopulation der Gefleckten Schnarrschrecke (*Bryodemus tuberculata*) hat seit Jahrhunderten auf Kiesbänken in der Oberen Isar überlebt. UFZ-Wissenschaftler haben für dieses Refugium der vom Aussterben bedrohten Art ein Modell erstellt, um ihre Überlebenswahrscheinlichkeit abschätzen zu können. 15

Vom Modell zur Software: Entscheidungshilfe in Naturschutz und
Landschaftsplanung durch META-X
Aus einer komplexen mathematischen Theorie wurde ein einfaches Simulationsmodell, mit dem dank einer benutzerfreundlichen Oberfläche auch Nicht-Modellierer arbeiten können. 16

Interview mit Prof. Hans Joachim Poethke, Leiter der Ökologischen
Station in Fabrikschleichach, einer Einrichtung des Biozentrums
der Universität Würzburg. 20



S. 23

Urwalddynamik aus dem Rechner

Urwalddynamik aus dem Rechner
Wie sah der Urwald aus, den unsere Urahnen in Germanien vorfanden?
Wir wissen es nicht, weil es im heutigen Deutschland keine ursprünglichen
Wälder mehr gibt. Wo Vergleichsmöglichkeiten in der Natur fehlen, können
ökologische Modelle Antworten geben... 23

Oxygen Bubble Walls – Schadstoffabbau im Grundwasser
durch Luftinjektion
Erste Anwendungen, z.B. in Australien, den Niederlanden und Italien, zeigen, dass
mit geringem technischen und finanziellen Aufwand der mikrobielle Schadstoffab-
bau beschleunigt werden kann. Die Modellierung des Schadstofftransports und
der wichtigsten Abbau- bzw. Sorptionsprozesse sowie der Wirkung der
Oxygen Bubble Wall sind Bestandteil der Technologie... 25

Interview mit Dr. Helmut Geistlinger, Sprecher der Arbeits-
gruppe Experimentelle Simulation und Modellierung in der Sektion
Hydrogeologie, UFZ Halle 27

Hydrodynamische Modellierung – wenn Kippen nasse Füße kriegen
Die hydraulischen Eigenschaften von Kippenböden in den Braunkohlefolgeland-
schaften Ostdeutschlands sind sehr schwierig abzuschätzen, weil regelrecht
das Unterste zu oberst gekehrt wurde und die natürliche Abfolge der Boden-
schichten nicht mehr gegeben ist. 29

CANDY – ein Programm zur Analyse von Agrarräumen
In der UFZ-Sektion Bodenforschung wurde ein Modell weiterentwickelt, das den
Einfluss der Bewirtschaftung auf den Kohlen- und Stickstoffkreislauf im Boden
und den Stickstoffaustrag in die Umwelt beschreibt... 30

Die ästhetische Seite der Ökologischen Modellierung..... 33



Interview | **S.20**

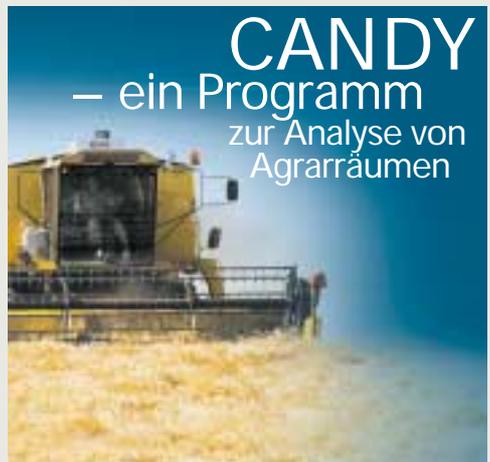
Interview mit Prof. Hans Joachim Poethke über die Nachwuchssituation in der Modellierung

Oxygen Bubble Walls – Schadstoffabbau im Grundwasser durch Luftinjektion



Thema | **S.25**

Ein neuartiges Verfahren zur Grundwasserdekontamination zeigt, dass mit geringem technischen und finanziellen Aufwand der mikrobielle Schadstoffabbau beschleunigt werden kann.



Thema | **S.30**

Mit dem Bundes-Bodenschutzgesetz werden das flächendeckende Monitoring des Bodenzustands und die Prognose der Auswirkungen von Nutzungsänderungen zu wichtigen Aufgaben.

Feuerökologie in nordamerikanischen Wäldern

Kanada gibt jährlich 250 Mio Dollar für die Waldbrandüberwachung und -bekämpfung aus. Ob Waldbrände generell als Katastrophe oder eher als nützliches Ereignis angesehen werden, ist eine Frage des Blickwinkels. Für die kanadische Holzwirtschaft geht es um den Exportartikel Nummer Eins und damit ist deren Einstellung klar. Ganz anders für Waldforscher wie M. G. Weber: „Fire is an ecosystem process.“ Er sieht das Feuer als natürlichen, vollständig integrierten Bestandteil des Ökosystems Wald. Damit stecken die nordamerikanischen Nationalparkverwaltungen in einem Dilemma. Wenn sie das Abbrennen ausgedehnter Flächen, ja ganzer Parks, als natürliches Ereignis zulassen, bleiben einige Zeit die Besucher und damit die Einnahmen aus der Tourismus-Industrie aus. Simulationsmodelle helfen beim Abwägen zwischen Gefahren und Nutzen – kurz- wie langfristig –, damit erkennbar wird, unter welchen Umständen und in welchem Umfang Brände zugelassen werden können.

Seit 1972 gibt es für den Yellowstone Nationalpark einen Feuer-Management-Plan, der natürlich entstandene Feuer in kontrollierbarem Umfang zulässt. Als im August 1988 mehrere Waldbrände außer Kontrolle gerieten und 36% der Gesamtfläche in Flammen standen, fürchteten viele, dass dies das Ende des berühmtesten Nationalparks der USA sei. Doch viel schneller als erwartet erholten sich Flora und Fauna auf den verkohlten Flächen. Nach einem solchen Feuer schlägt die Stunde der Arten, die spezielle Überlebensstrategien entwickelt haben. Die Ponderosa-Kiefer, die Westliche Lärche und die Douglas-Tanne verfügen über eine besonders dicke Borke zum Schutz des Stamminnen vor den hohen Temperaturen eines

Feuers. Einige Kiefernarten schützen ihre Samen in harten Zapfen, die sich erst bei extremer Hitze öffnen. Solche Spezialisten profitieren nicht nur vom Feuer, sie sind sogar darauf angewiesen.

Ob Waldbrände generell als Katastrophe oder eher als nützliches Ereignis angesehen werden, ist eine Frage des Blickwinkels.

Brände diktieren die räumliche und die Altersstruktur in den Wäldern der nördlichen Hemisphäre; sie beeinflussen die Zusammensetzung und die Häufigkeit der einzelnen Arten. Es ent-

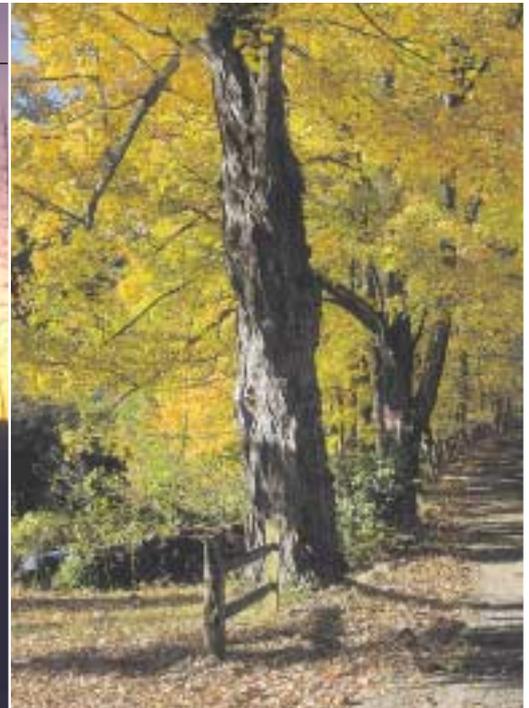
steht eine Wechselwirkung: Das Feuer strukturiert die Vegetation und die Brennbarkeit der Vegetation beeinflusst wiederum das Feuerregime. Werden Brände in solchen Wald-Ökosystemen stets bekämpft, verändern sich langfristig Diversität und Stabilitätseigenschaften des Systems.

Um zu wissen, unter welchen Umständen Brände in bestimmten Waldschutzgebieten zugelassen werden sollten, müssen eine Reihe von Fragen geklärt werden: Wie wird ein Feuer sich ausbreiten, welche Strukturen wird es schaffen und auf welcher Zeitskala werden die zu erwartenden Veränderungen liegen? Erste Verständnisgrundlagen liefert ein Simulationsmodell, das Physiker Armin Ratz am UFZ entwickelte. Wichtig dabei war die Zusammenarbeit





Seit 1972 gibt es für den Yellowstone Nationalpark einen Feuer-Management-Plan, der natürlich entstandene Feuer in kontrollierbarem Umfang zulässt. Simulationsmodelle helfen beim Abwägen zwischen Gefahren und Nutzen.



Fotos: R. Feldmann

Werden Brände stets bekämpft, verändern sich langfristig Diversität und Stabilitätseigenschaften in Wald-Ökosystemen.



mit Waldforscher Weber, der dem Theoretiker erklärte, welche Faktoren für die Dynamik in kanadischen Waldschutzgebieten wesentlich sind. Im Modell wird eine 90km² große Waldfläche simuliert, die sich aus 22.500 Parzellen zusammensetzt. Ein Zufalls-generator lässt den Blitz einschlagen und in Abhängigkeit von der altersspezifischen Brandwahrscheinlichkeit ein Feuer entstehen. Von jeder so entzündeten Parzelle kann das Feuer auf die Nachbarzelle überspringen, wenn deren Brandwahrscheinlichkeit ausreichend hoch ist. Diese Brandwahrscheinlichkeit wiederum hängt vom Alter des Baumbestandes in der Parzelle ab: Je länger das letzte Feuer in

dieser Zelle zurückliegt, desto mehr brennbares Material hat sich angesammelt und desto höher ist die Brandwahrscheinlichkeit.

Dieser Algorithmus der Feuerausbreitung wird so lange durchlaufen, bis keine Parzelle mehr brennt. Es entsteht ein Mosaik aus Flächen in unterschiedlichen Altersstadien. Die Form und Größe der vom Modellfeuer erfassten Flächen und der verschont gebliebenen Inseln wird ebenfalls mit mehreren Maßen analysiert und mit empirischen Daten von realen Feuern verglichen. Es ergibt sich eine gute quantitative und qualitative Übereinstimmung zwischen Modell und Realität.

Die Modellergebnisse bringen neue Erkenntnisse für die Waldforschung. Die Daten aus zahllosen Programmläufen weisen darauf hin, dass es sich bei Waldökosystemen, deren Dynamik maßgeblich vom Feuer gesteuert wird, um sogenannte selbstorganisierte kritische Systeme kurz vor einem Phasenübergang handelt. Ein Vergleich macht deutlich, was gemeint ist: Sandkörner rieseln auf einen Haufen, bis dieser eine kritische Höhe erreicht hat und auseinander rutscht. Darauf wächst er erneut, bis wieder eine kritische

Steilheit erreicht ist und Sandlawinen nach unten rutschen. Die Analogie zum Waldmodell besteht darin, dass auch der Wald wächst, bis die Feuergefahr, u.a. durch den Totholzanteil, einen kritischen Punkt erreicht und es gehäuft zu Bränden kommt, die das System in einen jüngeren, unkritischen Zustand zurückversetzen, worauf wieder das Wachstum einsetzt usw. So wie es unterschiedlich große Sandlawinen gibt, treten im Wald unterschiedlich starke Brände auf. Ein typisches Merkmal selbstorganisierter kritischer Systeme vor dem Phasenübergang ist eine hohe strukturelle Vielfalt und genau diese, verbunden mit hoher Artenvielfalt, lässt sich auch in feuerdominierten Waldökosystemen finden. ■



Internet-Angebot

<http://www.nps.gov/yell/nature/fire/wildfire.htm>
http://www.fs.fed.us/rm/main/labs/miss_fire.html

Interview

mit Prof. Christian Wissel, Leiter der Sektion Ökosystemanalyse am UFZ

FRAGE: Herr Prof. Wissel, was ist ökologische Modellierung und wo wird sie eingesetzt?

PROF. WISSEL: Ökologische Modellierung braucht man vor allem deshalb, weil in sehr vielen Projekten eine Menge an Detailwissen angesammelt wird, es dann aber überhaupt nicht klar ist, inwieweit die einzelnen Details das gesamte System, also eine Population, eine Artengemeinschaft oder ein Ökosystem bestimmen. Die Modellierung kann nun folgendes tun: Sie nimmt dieses Detailwissen auf, verknüpft es logisch in einem Modell und leitet dann daraus ab, wie sich das Gesamtsystem verhalten wird, wie der Einfluss der Detailgrößen auf das Gesamtsystem aussieht. Das ist der wesentliche Grund, warum man die Modellierung braucht.

Man kann mit Modellen ganz verschiedene Ziele angehen. Häufig wird irrtümlich angenommen, dass Modelle nur da sind, um Prognosen zu machen. Das Hauptziel von Modellen ist aber, ein Verständnis für die funktionellen Zusammenhänge, für das, was draußen in der Natur passiert, zu bekommen; also Abläufe zu verstehen, denn das ist die Voraussetzung, wenn ich eingreifen und Management betreiben will. Natürlich kann man auch versuchen, mit Modellen Prognosen zu machen, sofern die Datengrundlage gut genug ist. Solche Prognosen sind vor allem dann wichtig, wenn es um lange Zeiträume geht, die sich prinzipiell durch rein empirische Untersuchungen nicht erschließen lassen. Dann gibt es auch das Problem, dass man in der Freilandforschung häufig die Daten nicht auf großen Flächen erheben kann, sondern nur an einzelnen Punkten. Modelle ermöglichen hier die Extrapolation auf die gesamte Fläche.

Als drittes Anwendungsziel sind Modelle sehr gut geeignet, Unterstützung für das Management zu geben. Man kann mit Modellen verschiedene Managementstra-



Foto: N. Neuheiser

FRAGE: Inwieweit ist ökologische Modellierung heute ein Instrument für Entscheider in Planung und Praxis?

PROF. WISSEL: Wie schon gesagt, eignet sich Modellierung gerade im Managementbereich. Konkret läuft es so ab, dass sich jemand aus der Praxis an die Modellierer wendet. Man muss dann sehen, wieviele Informationen vorhanden sind. Im

nächsten Schritt versucht man, mit diesem Partner aus der Praxis Alternativen für das Management aufzustellen und dann prüfen wir, mit welcher Alternative das Managementziel am besten erreicht werden kann.

FRAGE: Sind die Ergebnisse der Modellierung selbst erklärend oder müssen sie interpretiert und dem „Auftraggeber“ erklärt werden?

PROF. WISSEL: Wir liefern unsere Ergebnisse nicht einfach bei den Entscheidern ab, sondern wir kooperieren im wirklichen Sinne. Das heißt, wir müssen mit dem Entscheider reden, müssen uns auf seine Fragen einlassen und erkennen, was seine Probleme sind. In gleicher Weise diskutieren wir am Ende die Ergebnisse mit ihm.

In Deutschland ist die Akzeptanz der Modellierung in der Praxis und bei den Planern noch nicht so deutlich ausgeprägt wie in anderen Ländern. In den USA wird die Modellierung schon sehr viel stärker in der Praxis eingesetzt – auch in Südafrika in den Nationalparks. Inzwischen hat das Interesse an den Modellen auch in Deutschland deutlich zugenommen. Heute kommen bereits sehr viele Leute auf uns zu und es ist bereits so, dass wir hier in Deutschland Partner aus der Praxis haben, mit denen wir ganz eng zusammen arbeiten. Da ist z.B. die Bundesforschungsanstalt für Viruserkrankungen der Tiere, mit denen wir epidemiologische Fragen klären, oder da sind die Nationalparkverwaltungen Bayerischer Wald und Berchtesgarden. Wir machen auch sozusagen Politikberatung in Österreich; dort breitet sich nämlich der Braunbär von Slovenien ↗

tegien ausprobieren und gerade in der Ökologie draußen im Freiland verbieten sich ja oft Versuche, weil sie zu Schäden führen können. Man kann durch das Testen verschiedener Szenarien im Modell herausfinden, welche Alternative die günstigste sein wird.

Foto: WOHLFAHRT



Braunbären in Österreich – Prognosen zur Ausbreitung sind auch Politikberatung.



Luchse in Spanien – das UFZ unterstützt das Nationalpark-Management.

Foto: WOHLFAHRT



Die relativ einfachen Ökosysteme in afrikanischen Trockengebieten ermöglichen es, viele Dinge prinzipiell zu erlernen.

Fotos: C. Wissel

kommend aus. Die Politiker wollen wissen, wann und wo man mit dem Auftreten des Braunbären rechnen kann. Auch wird das Management des Luchses in Nationalparks in Spanien in Kooperation mit uns durchgeführt.

Außerdem haben wir – um den Übergang in die Praxis zu verbessern – neue Methoden entwickelt, die es uns erlauben, unsere Modellierungsergebnisse besser mit der Praxis zu verknüpfen. Gemeint ist ein multi-kriterielles Bewertungsverfahren, eine Entscheidungsanalyse, die es erlaubt, zwischen ökonomischen und ökologischen Erfordernissen abzuwägen.

Besondere Möglichkeiten gibt es dann, wenn Standardsituationen vorliegen. Hier kann man ein vorgefertigtes Modell benutzen, um dieses Standardproblem zu lösen. Wir haben für solche Fälle Software mit benutzerfreundlicher Oberfläche entwickelt. In Verbindung mit ausführlichen Manuals stellen wir sicher, dass das Modell vom Benutzer so eingesetzt werden kann, wie das von uns gedacht ist.

FRAGE: *Wie sehen Sie den Stellenwert der Arbeit Ihrer Sektion innerhalb des UFZ und deutschland- und weltweit?*

PROF. WISSEL: Die Modellierung ist – da sie wie ich ja schon sagte Detailinformationen logisch verarbeitet – ein integrierendes Element. Diese Aufgabe erfüllt innerhalb des UFZ die Sektion Ökosystemanalyse. Enge Kooperationen existieren mit der Sektion Biozönoseforschung, der Sektion Ökonomie, Soziologie und Recht sowie mit dem Projektbereich Naturnahe Landschaften und Ländliche Räume. Wir haben hier eine breite Palette von Verfahren, die es uns erlauben mit verschiedenen Leuten zu kooperieren.

Häufig sind diese Kooperationen auf ganz konkrete Ziele ausgerichtet. Wir beschäftigen uns natürlich auch mit Grundlagenforschung, die deswegen so wichtig ist, weil wir in Zukunft nicht für jedes Detailproblem ein eigenes Modell erstellen können.

Man muss zu Generalisierungen kommen und zu Faustregeln mit einem größeren Geltungsbereich in der Ökologie.

Die Methoden, die wir speziell bei uns in der Sektion einsetzen, beruhen auf regelbasierten Modellen. Früher stand nur die Mathematik zur Verfügung, um Modelle zu erstellen. Man hat sich stark an die Physik angelehnt, weil es dort mit der Mathematik sehr gut funktionierte. In der Biologie ist das viel schwieriger. Die Mathematik ist wenig geeignet, um das Verhalten von Individuen zu beschreiben. Deshalb sind wir übergegangen zu einer anderen Art der Modellierung, die man regelbasiert nennt. Das bedeutet, die Modelle beruhen nicht auf mathematischen Formeln, sondern sie werden als Wenn-Dann-Regeln in einem Computerprogramm formuliert. Das biologische Wissen kann man zunächst in biologische Regeln fassen und diese Regeln können dann 1 zu 1 in das Programm integriert werden. Auf diese Weise hat man nun ein sehr großes Forschungsgebiet eröffnet und für räumlich-zeitliche Probleme erschlossen, die früher mit Mathematik kaum zu behandeln waren. Durch die Weiterentwicklung der regelbasierten Modellierung sind wir zu gitterbasierten Modellen gelangt. Dies ist die spezielle Expertise, die wir haben und die auch weltweit abgefragt wird.

Daraus ergeben sich eine ganze Menge Verbindungen zum Ausland. Es kommen sehr viele Gäste hierher, gerade deshalb, weil wir bestimmte Verfahren entwickelt haben, mit denen wir weltweit führend sind. Unsere besondere Stärke ist die räumliche Modellierung. Unsere Partner aus Europa und aus Übersee kommen für kurze Aufenthalte, zum Teil auch für länger, um diese Expertise abzufragen. Das ist auch der Grund, warum wir von der EU als Marie-Curie Trainings-Site ausgewählt wurden, damit Doktoranden aus Europa zu uns kommen können, um die Methoden, die wir hier entwickelt haben, zu erlernen.

FRAGE: *Ihre Projekte sind rund um den Globus angesiedelt. Was bewegt Sie und Ihre Mitarbeiter, nicht nur vor der Haustür zu forschen, sondern sich mit den Pflanzengemeinschaften in der südafrikanischen Karoo oder mit Riesenottern in Peru zu beschäftigen?*

PROF. WISSEL: Man muss vorausschicken, dass die ökologische Modellierung in Deutschland eine relativ junge Disziplin ist. Als ich mit dieser Fachrichtung begonnen hatte, brauchte ich Kooperationspartner in der Freilandökologie und die waren zu der Zeit in Deutschland schwer für die neuen Ansätze zu gewinnen. Daher die Orientierung auf das Ausland. Solange es in Deutschland noch nicht mehr Modellierung gibt, ist es sehr wichtig, dass wir uns am internationalen Standard messen, dass wir also mit dem Ausland kooperieren, um zu sehen, was dort gemacht wird, und um sich auf diesem internationalen Niveau zu halten.

Ein weiterer wichtiger Grund, warum man im Ausland arbeitet, z.B. in den afrikanischen Trockengebieten, ist, dass dort die Systeme relativ einfach sind. Wir können an diesen Systemen viele Dinge prinzipiell erlernen. Viele Methoden haben wir dort zum ersten Mal entwickelt, die dann in den europäischen Raum übertragen werden konnten. Ein typisches Beispiel ist die Kombination zwischen Ökonomie und Ökologie. Diese ist gerade in Deutschland nicht einfach, weil die ökonomische Situation relativ kompliziert ist. Anders ist es in solchen Trockengebieten, wo die Farmer klare und überschaubare ökonomische Interessen haben. Hier konnten wir interessanten Fragestellungen in Bezug auf die Beweidung dieser Systeme nachgehen und damit erste Erfahrungen in dem Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie sammeln.

Ein weiterer Grund, warum wir gerne ins Ausland gehen, ist, dass die Anwender dort sehr offen für Modellierung sind und direkt auf uns zugehen, wenn sie denken, dass wir helfen können.



FRAGE: *Es gibt Pläne zum Aufbau eines „Service Centers für Entwicklung und Vermittlung von Modellen und Methoden im Umwelt- und Naturschutz“. Welche Ziele werden damit verfolgt?*

PROF. WISSEL: Ich würde zwei Zielgruppen für das Service-Center sehen. Das sind einmal die Leute aus der Anwendung, die wir gerade angesprochen haben und zum anderen sind es Wissenschaftler. Wie ich gerade schon sagte, ist die ökologische Modellierung eine relativ neue Disziplin in Deutschland und deshalb gibt es relativ großen Nachholbedarf in der Ausbildung. Da wir eine große Sektion sind, mit vielen Expertisen in verschiedene Richtungen, gibt es auch viel, was wir an junge Wissenschaftler weitergeben können. Mitarbeiter von uns werden sich darauf spezialisieren, im Service-Center Fortbildungen zu organisieren. Die zweite Zielgruppe sind die Naturschutzpraktiker. Noch ist die Bereitschaft der Praktiker, Modelle bei Entscheidungen im Naturschutz-Management zu nutzen, nicht besonders groß. Deswegen sehe ich eine Aufgabe des Service-Centers, auch dort eine Bewußtseinsänderung herbeizuführen. Dies könnte geschehen, indem man z.B. Auftragsforschung macht oder auch, indem man gezielt für bestimmte Anwendungen Software entwickelt, vermarktet und pflegt. Auch daraus ergibt sich wieder die Notwendigkeit von Fortbildungsmaßnahmen, damit die Anwender die Standard-Software einsetzen können.

FRAGE: *Was sind die neuen Herausforderungen für Ihre Sektion, was für die Modellierung allgemein?*

PROF. WISSEL: Die große Herausforderung, die wir derzeit in unserer Sektion sehen, ist die Verknüpfung zwischen Ökonomie und Ökologie. Wir arbeiten ja als Modellierer stets interdisziplinär; viele von uns kommen nicht aus der Biologie, haben aber gelernt, zusammen mit den Biologen biologisch sinnvolle Dinge zu machen und jetzt müssen wir auch das ökonomische Denken lernen. Wir

müssen uns an die andere Sprache, an die andere Herangehensweise gewöhnen. In einem ersten gemeinsamen Projekt haben wir mit den Umweltökonom Strategien zum Schutz des Weißstorchs erarbeitet. Es wurden Bewirtschaftungsmethoden vorgeschlagen, die einerseits das Überleben des Weißstorchs sichern und andererseits keinen ökonomischen Schaden für die Landwirte bringen.

Genauso wollen wir in Zukunft verstärkt kooperieren zwischen Soziologie und Ökologie. Es gibt traditionelles Wissen in der Bevölkerung, das wissenschaftlich noch gar nicht erfasst ist. Vielfach haben die Leute durch Versuch und Irrtum Verfahren gefunden, wie sie mit ihrer Umwelt nachhaltig umgehen können. Z.B. haben einige Volksstämme in den Trockengebieten Afrikas gut überlebt, weil sie wissen, wie sie mit den wechselnden klimatischen Bedingungen umgehen müssen und haben sehr intelligente Nutzungsformen gefunden. Ähnlich ist es bei uns in Deutschland bei den Forstwirten. Da gibt es sehr viel Erfahrung, die man nicht ohne weiteres wissenschaftlich

erfassen kann. Wenn man sie in die Wissenschaft einbringen will, wird das nicht ohne Zusammenarbeit zwischen Soziologen und Ökologen funktionieren. Wir machen also in Zukunft nicht nur Modelle für die Natur, sondern solche, die die Auswirkungen des menschlichen Handelns mit berücksichtigen. Das ist das Neue und da sehen wir die besondere Herausforderung.

Im Hinblick auf stärkere Anwendungsbeziehung wird sicherlich auch das Thema Ausbreitung von Seuchen in Zukunft eine noch größere Rolle spielen. Wichtig wird auch sein, dass wir von den etwas einfacheren Situationen, mit denen wir zunächst angefangen haben, wegkommen und das wir zunehmend mehr Modelle entwickeln, die einen Landschaftsbezug haben, in die also konkrete Landschaftsdaten einfließen. Die Landnutzung hat Auswirkungen auf die Landschaft und die Landschaft wirkt sich in ihrer Struktur auf die Ökologie aus. Diese Linie müssen wir in Zukunft noch stärker verfolgen.

Wir werden sicherlich auch in Zukunft in ariden Gebieten arbeiten. Häufig handelt es sich um Krisenregionen, in denen Landnutzungskonflikte ausgetragen werden. Diese Krisen bleiben heute im Zeitalter der Globalisierung nicht mehr beschränkt auf die betroffenen Regionen, sondern sie schwappen zu uns herüber. Deswegen ist es durchaus eine politisch wichtige Aufgabe, dass wir dort tätig werden, so z.B. in Zusammenarbeit mit dem United Nation Bureau for Combating Desertification mit Sitz in Bonn, das auf die wissenschaftliche Kooperation angewiesen ist.

Schließlich ist ein Gebiet, in das wir gerade eingestiegen sind, die Ausbreitung von Organismen und Populationen. Die Frage des Ausbreitungspotenzials spielt bei sehr vielen Dingen eine wichtige Rolle, beispielsweise bei der Seuchenbekämpfung oder bei Untersuchungen zur Biodiversität, wenn z.B. fremde Pflanzenarten einwandern. ■



Marie-Curie-Stipendium der EU

Mit den Marie Curie Fellowship können prä- und postdoctoralen Forschern bis zum Alter von 35 Jahren 3 - 12-monatige Forschungsaufenthalte finanziert werden. Stipendien gibt es in allen wissenschaftlichen Disziplinen, die zu den Themen des 5. EU Rahmenprogramms beitragen.

<http://www.cordis.lu/improving/fellowships/home.htm>

Reinecke Fuchs ist Überträger gefährlicher Krankheiten. Computersimulationen unterstützen Bekämpfungsstrategien.

un

Bekämpfung gefährlicher Erreger am Computer

die Tollwutvirus Fuchsbandwurm

In der Theoretischen Ökologie eingesetzte Modelle werden oft als strategisch bzw. taktisch bezeichnet, je nachdem wie stark die vereinbarten Modellannahmen die Komplexität des untersuchten ökologischen Systems vereinfachen. Strategische Modelle werden bei der Suche nach generellen Einsichten und universellen Regeln eingesetzt und vereinfachen auf Kosten spezifischer Details ökologische Systeme. Solche Modelle sind daher schwer auf ein konkretes System oder einen tatsächlichen Managementeingriff anwendbar. Taktische Modelle hingegen vermeiden stark vereinfachende Annahmen und beinhalten individuelle Charakteristika des untersuchten ökologischen Systems. Dadurch werden solche Modelle vielfach mit Details überladen, so dass der Bearbeiter manchmal nur schwer seine speziellen Ergebnisse in ein allgemeineres Theoriegebäude integrieren kann. Wenn in der Vergangenheit versucht wurde, beide Herangehensweisen miteinander zu vereinen, dann ging man den Weg vom Detail zum Allgemeinen, also von der taktischen zur strategischen Ebene. Unkonventionell ist die umgekehrte Vorgehensweise der UFZ-Wissenschaftler. Sie begannen auf der strategischen Ebene mit der theoretischen Frage nach dem Zustandekommen des Ausbreitungsmusters der Fuchstollwut und gelangten durch schrittweises Hinzufügen ökologischer Details zu einer Kaskade von Modellen, von denen jedes zu ganz konkreten Hinweisen für die praktische Bekämpfung der Seuche mit Impfködern führte.

Seit 50 Jahren breitet sich die Tollwut von Ost nach West unter den Füchsen des europäischen Kontinents aus. Eine Infektion mit dieser Viruserkrankung verläuft auch für den Menschen ohne sofortige medizinische Maßnahmen sehr schmerzhaft und tödlich. Erst mit der Entwicklung der Fuchsbeimpfung in den 80iger Jahren konnte durch großräumige Verbreitung von impfstoffhaltigen Ködern die Epidemie gestoppt werden. Obwohl die Rotfuchspopulation in Ostdeutschland großflächiger und länger immunisiert wurde als irgendwo sonst in Europa, traten hier noch Mitte der 90iger Jahre wiederholt vereinzelte erkrankte Füchse auf. Dadurch war man sich nie ganz sicher, ob die Krankheit nun endgültig ausgerottet ist oder aber in Kürze erneut ein einzelnes infiziertes Tier gefunden wird. Letzte-

Gratik: M. S. MULLER



res bedeutet, dass die aufwendigen Impfkampagnen auf unbestimmte Zeit hätten fortgesetzt werden müssen.

Zuerst galt es zu klären, ob das vereinzelte Aufflackern der Seuche ausschließlich von einwandernden Füchsen verursacht werden kann, wenn diese den Virus aus den östlichen Nachbarländern

einschleppen, oder ob die Seuche viel länger einer andauernden intensiven Beimpfung widerstehen kann, als es mit klassischen Tollwutmodellen vorhergesagt wurde, z.B. indem sich sehr kleine wandernde Restherde der Infektion etablieren. Letzteres konnte inzwischen durch die Arbeitsgruppe Ökologische Epidemiologie des UFZ bestätigt werden. Die Ergebnisse der Simulationen mit ihrem Tollwutmodell führten dazu, dass die Tierseuchenmanager heute dieses potenzielle Problem bei ihren strategischen Planungen einkalkulieren.

Mit diesem Wissen war klar, dass eine endgültige Aussage über den Erfolg der Impfkampagnen nur aus einem tatsächlichen Impfausstieg ableitbar ist. Unter der Voraussetzung, dass in einem Gebiet zwei Jahre lang keine Tollwutfälle mehr gefunden wurden, lautet der Rat $\Sigma \rightarrow$

der Modellierer, in diesem Gebiet die Impfung auch tatsächlich auszusetzen. Ständige Überwachung und eine Notfallvorbereitung vorausgesetzt, lässt sich dann nämlich nach exakt zwei weiteren Jahren eine abschließende Bewertung vornehmen: wenn bis zu diesem Zeitpunkt kein erneuter Tollwutbefund auftritt, ist die gesamte Maßnahme erfolgreich gewesen, d.h. die Seuche wurde in diesem Gebiet tatsächlich ausgelöscht. Dieser risikobewusste Impfaufstieg wurde mittlerweile durch die Gesundheitsministerkonferenz umgesetzt, und es gibt heute weite Gebiete (nicht nur) in Ostdeutschland, in denen die Krankheit für Mensch und Tier keine Gefahr mehr darstellt.

Mit Hilfe ihrer Modelle gelangten die UFZ-Wissenschaftler schließlich zu konkreten Vorschlägen für die effizientere Bekämpfung der Tollwut im Falle des Negativszenarios: durch Kombination von Bekämpfungszeitpunkt, Köderanzahl und Bemessung der Havariefläche können im Ernstfall Zeit gespart, Risiken minimiert und Ressourcen geschont werden.

Foto: T. Müller, BFAV Wusterhausen



Die Köder enthalten den eingeschweißten Impfstoff.

Bei frühzeitiger Diagnose verbessern sich die Heilungschancen hingegen erheblich. Es ist daher entscheidend für die Gesundheits- und Forstbehörden, Gebiete mit hohem Infektionsrisiko frühzeitig zu kennen.

Da die Überwachung der Fuchspopulationen aufwändig ist und Langzeiterfahrungen mit dem Einsatz von präparierten Ködern zur Bekämpfung noch fehlen, sind auch hier Simulationsexperimente gefragt. Das Wirt-Parasit-System besteht aus drei Komponenten, nämlich dem Bandwurm, kleinen Nagetieren als Zwi-

präzierten die Modellregeln solange, bis die Aussagen des Modells mit den Ergebnissen aus Feldversuchen im Einklang standen – z.B. die beobachteten Werte für den Anteil infizierter Tiere bei Zwischen- und Endwirt. Aus den Simulationen ergeben sich wiederum Rückschlüsse über die Ökologie des Parasiten-Wirt-Systems, die sich im Feld nicht erfassen lassen. So wird durch das Modell deutlich, dass die Bandwurmeier nicht gleichmäßig über das Streifgebiet der Mäuse verteilt sein können, wie man bei der wahllosen Verteilung des Fuchskotes über das Terrain erwarten würde. Dafür findet sich auch eine plausible biologische Erklärung: Die Eier sind sehr empfindlich gegenüber hohen Temperaturen und niedriger Luftfeuchte, so dass sie nur an wenigen Orten lang genug für Mäuse ansteckend bleiben. Dieses aggregierte Auftreten des Parasiten in den zugehörigen lokalen Mäusefamilien wurde in klassischen Modellen vernachlässigt, hat aber einen ganz entscheidenden Einfluss auf die Infektionswahrscheinlichkeit für die Füchse. So wurde deutlich, dass die aktuellen



Fotos: Dr. Herman Zaiman's A Pictorial Presentation of Parasites

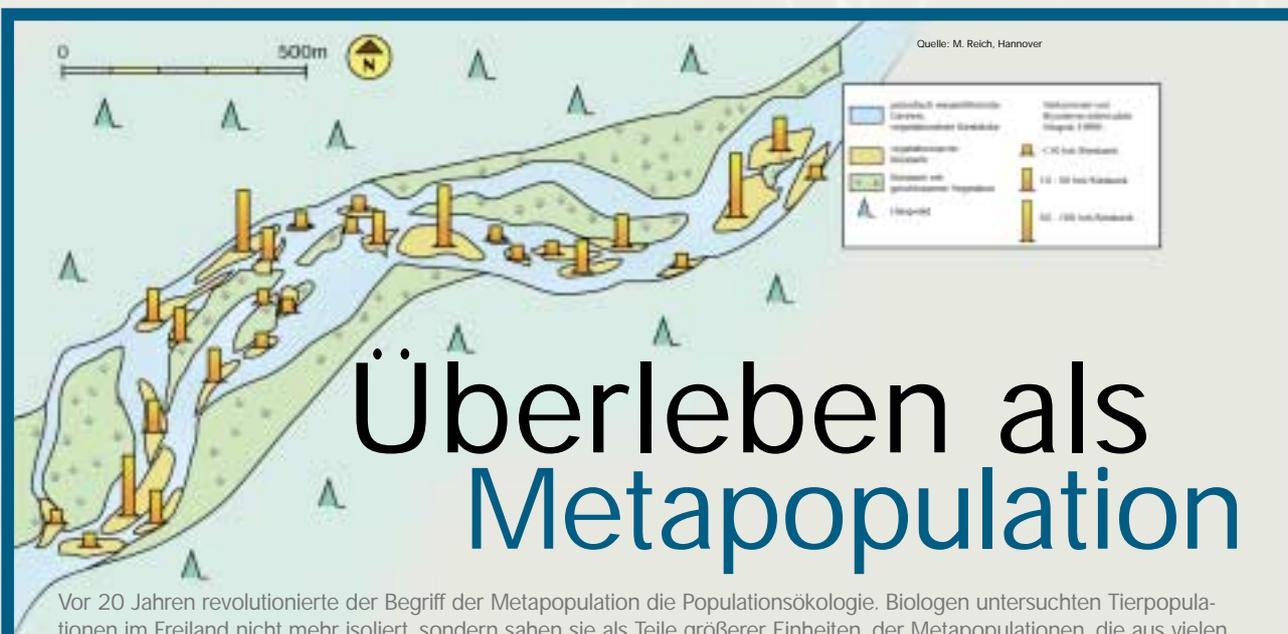
Die aktuellen Maßnahmen zur Bekämpfung des Fuchsbandwurms verpuffen nahezu wirkungslos. Erst neue Modelle ermöglichen effizientere Gegenmaßnahmen.

Nach dem erfolgreichen Zurückdrängen der Fuchstollwut gewinnt eine ganz andere, für den Menschen nicht minder gefährliche Erkrankung an Bedeutung: In dem Maße, in dem sich die Fuchspopulation in Deutschland von der tollwutbedingten Dezimierung erholt, scheint sich der Kleine Fuchsbandwurm auszubreiten und zu einem ernststen Gesundheitsrisiko für den Menschen zu werden. Durch die Aufnahme von Bandwurmeiern in der Natur kann sich der Mensch mit dem Parasiten infizieren. Die Larven zerstören dann die Leber des Opfers und diese sogenannte Aveläre Echinokokkose führt mit großer Wahrscheinlichkeit zum Tod, wenn die Infektion unerkannt bleibt.

schenwirten und dem Fuchs als Endwirt. Dieser Zyklus wird von der Arbeitsgruppe Ökologische Epidemiologie wiederum mit einem Modell millionenfach nachgestellt: Feldmäuse nehmen die Eier des Bandwurms mit der Nahrung auf und in ihnen entwickelt sich ein erstes Larvenstadium. Frisst nun ein Fuchs eine solche infizierte Feldmaus, so entwickeln sich in seinem Dünndarm die mitgefressenen Larven zu fertigen Bandwürmern, die schließlich wieder neue Eier mit dem Fuchskot ins Freie entlassen.

Die Modellierer des Forscherteams Ökologische Epidemiologie begannen erneut mit einem strategischen d.h. sehr einfachen und generellen Modell und

Bekämpfungsmaßnahmen in Deutschland, die auf der Basis der klassischen Modelle konzipiert wurden, nahezu wirkungslos verpuffen. Man hat eine Beköderungsdauer für ausreichend gehalten, die sich an der gleichmäßigen Verteilung des Parasiten im Zwischenwirt orientiert. In der Realität eines kleinräumig begrenzten, aber dafür stärkeren Vorkommens greift die konservative Strategie viel zu kurz, um den Bandwurm tatsächlich dauerhaft zu besiegen. Mit dem neuen Modell sind die Wissenschaftler nun in der Lage, verbesserte Aussagen über den Ausgang von Bekämpfungsmaßnahmen zu machen und effizientere Bekämpfungsstrategien zu entwickeln. ■



Überleben als Metapopulation

Vor 20 Jahren revolutionierte der Begriff der Metapopulation die Populationsökologie. Biologen untersuchten Tierpopulationen im Freiland nicht mehr isoliert, sondern sahen sie als Teile größerer Einheiten, der Metapopulationen, die aus vielen Einzelpopulationen auf verschiedenen Habitatsinseln bestehen. Tatsächlich ist der Austausch von Individuen zwischen Populationen, die räumlich getrennt von einander leben, der Regelfall und erst mit dieser Betrachtungsweise lassen sich viele populationsdynamische Prozesse erklären und verstehen. Eine solche Metapopulation der Gefleckten Schnarrschrecke (*Bryodemella tuberculata*) hat seit Jahrhunderten auf Kiesbänken in der Oberen Isar überlebt. UFZ-Wissenschaftler haben für dieses Refugium der vom Aussterben bedrohten Heuschreckenart ein Modell erstellt, um ihre Überlebenswahrscheinlichkeit abschätzen zu können.

Am Anfang war es zum Verzweifeln“, beschreibt Prof. Wissel die ersten Läufe des vom Physiker Christian Steller entwickelten Modells. „Wir erhielten immer dasselbe Ergebnis: *Bryodemella tuberculata* würde in diesem System nach wenigen Jahrzehnten aussterben, hätte also schon längst verschwunden sein müssen“. Dabei waren alle relevanten Faktoren programmiert worden: Die untersuchte Schnarrschreckenpopulation verteilt sich auf ca. 30 Kiesbänke, die etwa alle 30 Jahre von extremen Hochwässern überspült und dabei zum Teil umgelagert werden. Auf den gänzlich überspülten Bänken sterben die Einzelpopulationen. Von den Bänken aus, die mehr oder weniger verschont bleiben, erfolgt dann die Wiederbesiedlung. Kiesbänke mit noch schütterer Vegetation bilden optimale Habitate, solange bis Weiden und sonstige Pflanzen zu hoch und zu dicht werden und die Heuschrecken auf andere Bänke ausweichen müssen.

Weil sich die Modellierer einfach nicht erklären konnten, warum die Art nach ihren Berechnungen viel geringere Überlebenschancen hat als in der Realität, befragten sie den Biologen Michael Reich von der Universität Marburg, der die Population an der Oberen Isar seit 10 Jahren regelmäßig untersucht. Reich fiel plötzlich etwas ein, was er vorher

Fotos: M. Reich, Hannover



Die Gefleckte Schnarrschrecke (*Bryodemella tuberculata*) überlebt seit Jahrhunderten auf Kiesbänken in der Oberen Isar.

gar nicht mit der Überlebensfähigkeit der Population in Verbindung gebracht hatte: Es gibt auch auf älteren Kiesbänken mit dichter Vegetation höhergelegene Stellen, die vermutlich aufgrund ihrer schlechteren Grundwasserversorgung nicht verbuschen und somit Lebensraum für sehr kleine Populationen bieten. Außerdem werden die Randbereiche selbst älterer Kiesbänke von den alljährlichen, normalen Frühjahrsüberschwemmungen offen gehalten und bieten ebenfalls Lebensraum. Prof. Wissel: „Diese scheinbar marginalen Flächen bewirken, dass das Netz der Populationen dichter und das Wiederbesiedlungspotenzial höher ist, als wir ursprünglich dachten.“

Nach der entsprechenden Anpassung lieferte das Modell realistische Überlebenswahrscheinlichkeiten. Sie haben eine Größenordnung von einigen hundert Jahren. Der große Nutzen für den Naturschutz besteht darin, dass sich nun durch Veränderung einzelner Modellparameter die Auswirkungen menschlicher Eingriffe – z.B. der Bau von Staustufen – besser einschätzen lässt. Extrem-Hochwässer sind bereits jetzt viel seltener, als für eine maximale Überlebensdauer der Population notwendig wäre. Bleiben die Hochwässer aufgrund von Flussregulierungen ganz aus, wäre die Schnarrschrecke hier binnen weniger Jahrzehnte ausgestorben.

Prof. Wissel fasst die Erfahrungen aus diesem Projekt zusammen: „Das Projekt zeigt, dass sich die für den Naturschutz entscheidenden Überlebensprognosen gefährdeter Populationen mit Hilfe relativ einfacher Simulationsmodelle gewinnen lassen. Der Begriff ‚mathematisches Modell‘, der immer noch viele Ökologen an komplizierte Differentialgleichungen und undurchsichtige Lösungsmethoden denken lässt, reduziert sich hier auf Wahrscheinlichkeitsaussagen mittels Zufallszahlen und darauf, verbal formulierte Zusammenhänge durch einfache Regeln in Computerprogrammen zu simulieren.“ ■

Entscheidungshilfe in Naturschutz und Landschaftsplanung durch META-X

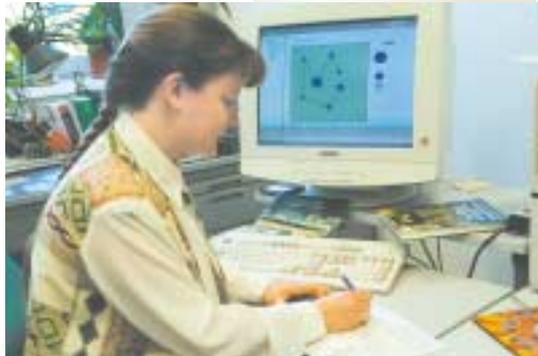
Vom Modell zur Software

Aus einer komplexen mathematischen Theorie haben Dr. Karin Frank und ihre Kollegen am UFZ ein einfaches Simulationsmodell entwickelt, das die Arbeit von Entscheidungsträgern optimal unterstützt. Die Software META-X ermöglicht effizientere Wirkungsprognosen im Bereich Naturschutz und Landschaftsplanung. Dank einer benutzerfreundlichen Oberfläche können auch Nicht-Modellierer mit dem Programm arbeiten.

Verkehrsnetze werden dichter, die Versiegelung des Bodens schreitet voran und Gewerbegebiete und Wohnparks wuchern in das grüne Umland der Städte. All diese Nebenwirkungen von landschaftsverändernden Eingriffen im Interesse von Wirtschaft und Wohlstand haben eines gemeinsam: sie bedeuten auch Landschaftszerschneidung und Habitatverlust, die in Mitteleuropa zu den Hauptfaktoren für einen massiven Rückgang an Tier- und Pflanzenarten zählen. Umweltverträglichkeitsprüfung und Eingriffsregelung haben das Ziel, die negativen Effekte von Baumaßnahmen durch gezielte Gegenmaßnahmen zu kompensieren. Managementmaßnahmen wie die Schaffung von Biotopverbänden oder der Bau von Grünbrücken über Schnellstraßen zielen darauf ab, den Auswirkungen der Landschaftszerschneidung entgegenzuwirken.

Diese Planungsinstrumente haben jedoch nur selten den gewünschten Erfolg. Eine Ursache ist sicher darin zu sehen, dass den Entscheidungsträgern im Bereich Naturschutz und Landschaftsplanung bislang kaum praktikable Methoden und Werkzeuge zur Verfügung stehen, um insbesondere die langfristigen Effekte von Eingriffen auf das Überleben von Arten zu

Foto: N. Neuheiser



bestimmen. Mangels objektiver Analyse- und Bewertungsverfahren können Entscheidungen unter diesen Umständen nur auf der Basis von qualitativer Systemkenntnis – quasi aus dem Bauch heraus – getroffen werden, ohne Zusammenhänge in irgendeiner Form quantitativ wirklich belegen zu können.

Neue Wege eröffnet spezielle Software wie das in Kooperation zwischen dem UFZ und dem Oldenburger Forschungsinstitut für die Entwicklung von Informatikwerkzeugen und -Systemen (OFFIS) entwickelte META-X-Programm. META-X ist besonders ausgerichtet auf die Gefährdungsanalyse von Metapopulationen, das sind Netzwerke von Populationen in einem Biotopverbundsystem. Das wissenschaftliche Herzstück dieser Software ist ein Metapopulationsmodell, das auf eine breite Palette von ökologischen Situationen anwendbar ist, und ein spezielles Ver-

fahren, mit dem man auf der Basis von Simulationsdaten die Gefährdung der betrachteten Metapopulation quantitativ bestimmen kann. Um dieses am UFZ entwickelte Know how für die Anwendung in der Praxis zugänglich und vor allem auch nutzbar zu machen, wurde das Wissen so aufbereitet, dass auch Nicht-Modellierer ohne mathematische Spezialkenntnisse oder

Programmiererfahrung in die Lage versetzt werden, eigenständig Gefährdungsanalysen durchzuführen. Im META-X-Programm wurde eigens dazu eine Benutzerführung entwickelt, die ganz speziell auf die Arbeitsabläufe bei Entscheidungsprozessen im Bereich Naturschutz und Landschaftsplanung zugeschnitten ist. Der Benutzer wird an die Hand genommen und durch alle wichtigen Etappen einer Gefährdungsanalyse geführt: Parametrisierung, Simulation, Auswertung und Dokumentation. So lassen sich Biotopverbundsysteme in einem graphischen Landschaftseditor ganz einfach per Mausclick generieren. Zusätzlich stehen spezielle Assistenten zur Verfügung, die einem vor allem die Eingabe der artspezifischen ökologischen Daten erleichtern. Der Planer gibt die räumliche Lage der Habitate ein, sowie die Größe der Teilpopulationen und den Austausch zwischen ihnen.

Über die Ermöglichung von quantitativen Prognosen hinaus wurde bei der Entwicklung von META-X sehr viel Wert auf die Unterstützung eines besseren Verständnisses der Zusammenhänge, insbesondere zwischen Raumstruktur und Überlebensfähigkeit, gelegt.

Der interaktive Simulator von META-X gibt Einblick in die räumlich-zeitliche Dynamik einer Metapopulation. Der Nutzer kann am Bildschirm mitver-

Der Planer gibt die räumliche Lage der Habitate ein, sowie die Größe der Teilpopulationen und den Austausch zwischen ihnen.

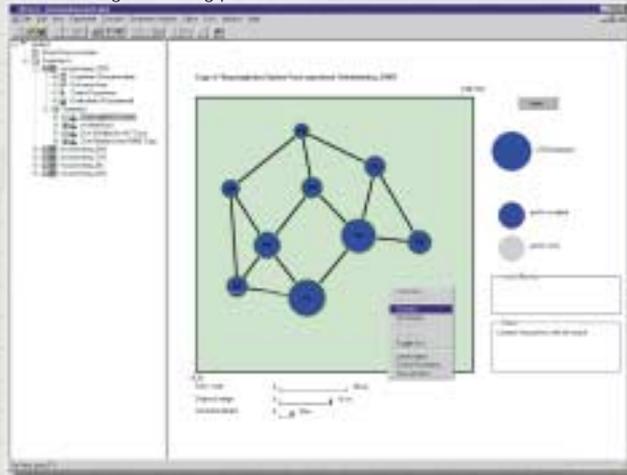
folgen, wie im Verlauf des vorgegebenen Beobachtungszeitraums Teilpopulationen aussterben und wiederbesiedelt werden.

Wie META-X arbeitet und in welcher Weise die Entscheidungsfindung durch das Programm speziell unterstützt wird, zeigt sich am Beispiel einer Ausgleichsmaßnahme für einen fiktiven Autobahnbau. Die zur Debatte stehende Autobahntrasse führt mitten durch ein Biotopverbundsystem. Auf Grund der zu erwartenden Verkehrsdichten kann man davon ausgehen, dass jeder Versuch eines Wildwechsels über die Autobahn tödlich endet. Als Folge werden die Populationen beiderseits der Autobahn dezimiert und isoliert. Zwei Gegenmaßnahmen zur Überwindung der Isolation werden von Planern vorgeschlagen. Maßnahme 1: Bau einer Grünbrücke über die Autobahn bei gleichzeitiger Installation eines Schutzzaunes auf der gesamten Länge des betrachteten Gebietes. Maßnahme 2: Bau zweier Grünbrücken bei Verzicht auf

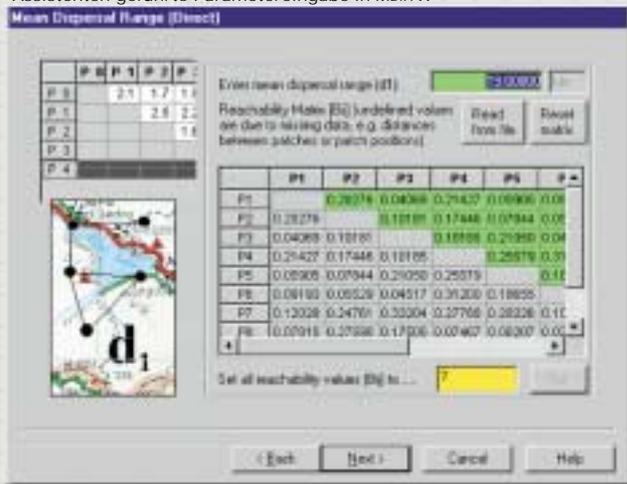
Die im fiktiven Verkehrsprojekt zur Debatte stehenden Szenarien wurden mit dem graphischen Landschaftseditor von META-X erzeugt.

einen Schutzzaun. Während die erste Variante auf einen Mix zwischen Überwindung von Isolation und Verhinderung von Individuenverlusten setzt, konzentriert sich die zweite Variante auf die Lösung des Isolationsproblems. Beide Varianten scheinen also geeignet, um die Überlebensfähigkeit einer im Biotopverbundsystem lebenden Metapopulation zu sichern.

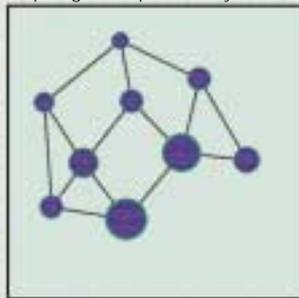
Landschaftsgenerierung per Mausklick in META-X



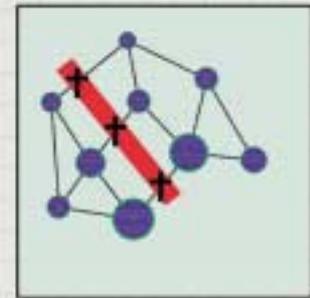
Assistenten-geführte Parametereingabe in META-X



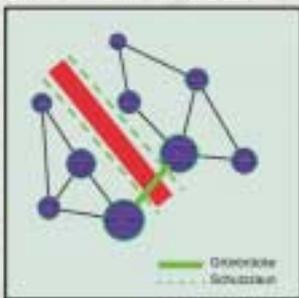
Ursprüngl. Biotopverbundsystem



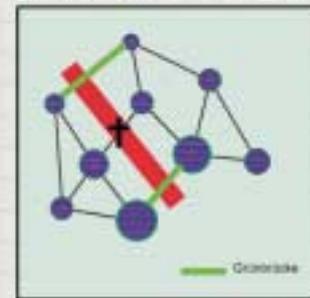
Bau der Autobahn



Eine Grünbrücke mit Schutzzaun



Zwei Grünbrücken ohne Schutzzaun

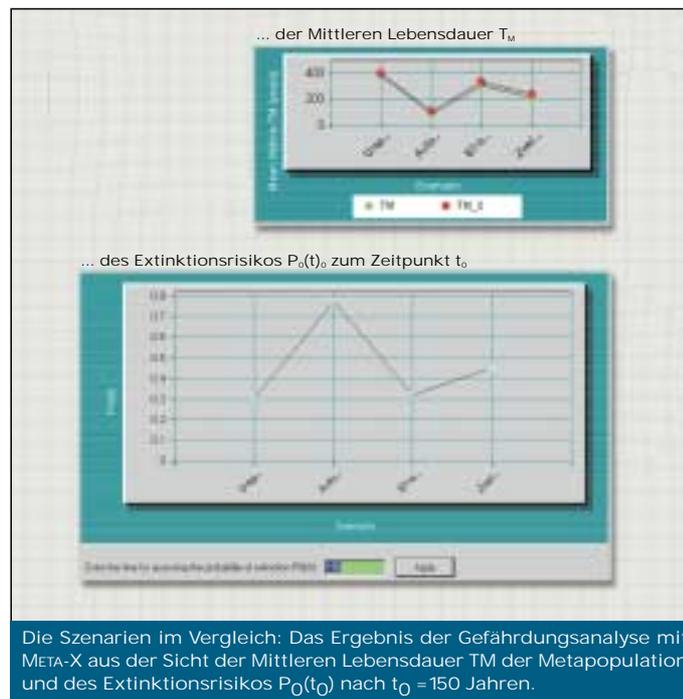


Doch welche hat den größeren Effekt? Da spezielle Freilanduntersuchungen in der Regel zu aufwändig sind, entscheiden sich Planer in solchen Situationen, abhängig von ihrem empirischen Wissen, für eine der beiden Varianten. Eine quantifizierbare Analyse und objektive Begründung können sie nicht liefern. META-X schafft – in Ergänzung zum Wissen der Fachleute – eine neue Qualität der Entscheidungshilfe.

Sowohl der Eingriff selbst, also der Bau der Autobahn, als auch die beiden alternativen Gegenmaßnahmen sind nichts anderes als eine Veränderung der räumlichen Struktur des betrachteten Biotopverbundsystems. Die modifizierten Systeme lassen sich nun nacheinander mit Hilfe des graphischen Landschaftseditors per Mausklick in META-X integrieren und als Szenarien für die anschließende Simulation und Analyse ablegen. Die Landschaft mit den trennenden und verbindenden Strukturen wird am Bildschirm nachgebildet.

Die im fiktiven Verkehrsprojekt zur Debatte stehenden Szenarien wurden mit dem graphischen Landschaftseditor von META-X erzeugt.

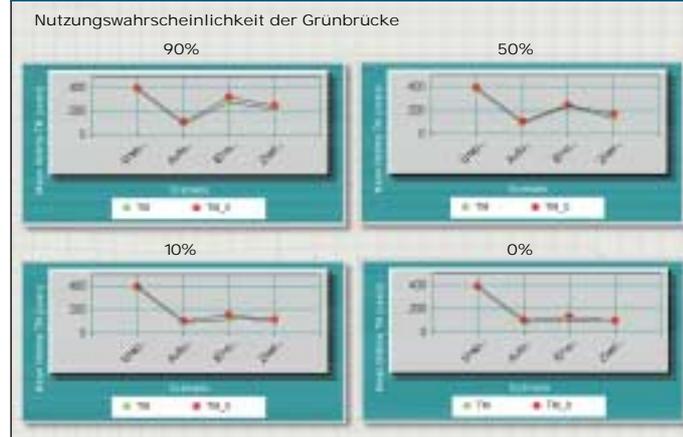
Nachdem die einzelnen Szenarien simuliert wurden, stehen verschiedene Auswertegrößen zur Quantifizierung der Überlebensfähigkeit der betrachteten Metapopulation zur Verfügung: ihre mittlere Lebensdauer T_M und das Risiko $P_0(t_0)$, dass die Metapopulation zu einem bestimmten Zeitpunkt t_0 (hier: $t_0=150$ Jahre) ausgestorben ist. Neben dieser Form der quantitativen Bewertung jedes einzelnen Szenariums unterstützt META-X zusätzlich direkt auch einen Vergleich der Szenarien.



Die vergleichende Analyse macht deutlich, dass es erhebliche Unterschiede zwischen den Szenarien hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Überlebensfähigkeit der betrachteten Metapopulation gibt. Der Bau der Autobahn führt wie erwartet zu einer spürbaren Reduktion der Überlebensfähigkeit. Man erkennt ferner, dass die erste Maßnahme (eine Grünbrücke mit Schutzzaun) den negativen Effekt der Autobahn besser kompensiert als die zweite (zwei Grünbrücken ohne Schutzzaun). Der Verlust von Tieren beim Queren der Autobahn ohne Schutzzaun hat offenbar einen wesentlichen Effekt auf die Überlebensfähigkeit der Metapopulation. Ist jedoch ein Schutzzaun vorhanden, reicht bereits eine Grünbrücke aus, um einen genügend

visualisieren zu können, unterstützt META-X Entscheidungsprozesse im Bereich Naturschutz und Landschaftsplanung in mehrfacher Hinsicht: Die zur Verfügung gestellten Auswertegrößen Mittlere Lebensdauer T_M und Extinktionsrisiko $P_0(t_0)$ sind so etwas wie eine ökologische Währung. Ökologische Effekte von Eingriffen und deren Signifikanz werden quantitativ belegbar, was insbesondere für die Sensibilisierung der Entscheidungsträger und der Öffentlichkeit für bislang unerkannte Probleme wichtig ist. Ausgehend von den Ergebnissen der Simulation kann nun gezielt nach den ökologischen Ursachen gefragt werden, welche Eigenschaften im Verhalten einer Art, welche sonstigen Gegebenheiten dazu führen, dass ein Szenario sich negativer auswirkt als ein anderes. Durch die Möglichkeit, das Extinktionsrisiko $P_0(t_0)$ für jeden frei wählbaren Zeitpunkt t_0 berechnen und ausgeben zu lassen, kann die ökologische Bewertung zudem dem relevanten Planungszeitraum entsprechend vorgenommen werden. Der ökologische Effekt von Eingriffen oder gezielten Managementmaßnahmen wird differenziert bewertbar. Die

Die relativen Unterschiede in der Überlebensdauer bleiben erhalten, egal wie gut die Grünbrücke vom Wild angenommen wird.



Optionen mit dem größten positiven bzw. dem geringsten negativen Effekt können ermittelt und Rangfolgen von Handlungsalternativen aufgestellt werden.

Entscheidungsprozesse im Bereich Naturschutz und Landschaftsplanung sind in der Regel multi-kriteriell, d.h., man hat es mit verschiedenen Akteuren mit unterschiedlichen Interessen und damit auch unterschiedlichen Gewichtungen für die Bewertung der zur Debatte stehenden Szenarien zu tun. Das oben gezeigte Beispiel macht deutlich, was man im Bewertungsprozess durch eine eigenständige ökologische Währung gewinnt: die Szenarien lassen sich nicht nur hinsichtlich der ökonomischen Kosten vergleichen (Grünbrücke gegen Schutzzaun), sondern auch in Hinblick auf den direkten ökologischen Nutzen. Damit steigt die Chance, die in der Regel knappen Ausgleichszahlungen mit größtmöglichem ökologischen Effekt einsetzen zu können.

Durch die Visualisierung der Ergebnisse der vergleichenden Analyse werden, anders als beim Studium von Zahlenkolonnen, die relativen Verhältnisse mit einem Blick erfassbar. Mit der Darstellung der räumlichen Struktur der betrachteten Biotopverbundsysteme im Landschaftseditor und der räumlich-zeitlichen Dynamik der dazugehörigen Metapopulationen im interaktiven Simulator wird zusätzlich ein besseres Verständnis der Zusammenhänge zwischen Raumstruktur und Überlebensfähigkeit unterstützt. Mit etwas Erfahrung reicht dann oft schon ein Blick auf die räumliche Konfiguration der nachgebildeten Biotopverbundstruktur, um den Befund aus der vergleichenden Gefährdungsanalyse nachvollziehen zu können. Ein besseres Verständnis und mehr Transparenz sind wesentlich, damit Maßnahmen Akzeptanz finden.

Im Zusammenhang mit Populationsgefährdungsanalysen und ihrer Anwendung in der Planungspraxis werden immer wieder Bedenken geäußert, dass die benötigten artspezifischen Daten im Freiland oft nicht direkt bestimmt oder nur grob geschätzt werden können und damit eine erhebliche ökologische Unsicherheit besteht, die die Aussagekraft der Analyseergebnisse in Frage stellt. Wie sind unter diesem Aspekt die Ergebnisse zu sehen, die META-X liefert? META-X

wurde so programmiert, dass sich einfach testen lässt, inwieweit die Unsicherheit in den Daten tatsächlich zu einem Problem für die Entscheidungsfindung wird. Bei Grünbrücken, um bei unserem Beispiel zu bleiben, ist die entscheidende Voraussetzung für ihre Wirksamkeit, dass sie von den Tieren angenommen werden. In welchem Umfang das geschieht, lässt sich nur schwer bestimmen. Um die Konsequenzen dieser Unsicherheit zu ermitteln,

wird das beschriebene META-X-Experiment einfach für verschiedene Werte der Nutzungswahrscheinlichkeit der Brücke (90%, 50%, 10%, 0%) wiederholt und die jeweiligen Analyseergebnisse verglichen.

Es ist ersichtlich, dass der Wert für die Mittlere Lebensdauer, solange man ein einzelnes Szenarium, z.B. Grünbrücke mit Schutzzaun, betrachtet, tatsächlich schwankt und davon abhängig ist, ob die Grünbrücke in 90%, 50 % oder 10% der Fälle oder gar nicht für einen Wechsel über die Autobahn genutzt wird. In diesem Sinne haben die Kritiker also recht. Betrachtet man jedoch den Lebensdauerbefund für alle vier Szenarien im Vergleich, wird deutlich, dass die Rangfolgen zwischen den Szenarien immer gleich sind, unabhängig davon, wie stark die Grünbrücken tatsächlich genutzt werden. Für die relativen Verhältnisse – auf die es bei der Entscheidungsfindung ja in erster Linie ankommt – spielt die Unsicherheit bzgl. der Nutzungswahrscheinlichkeit also keine Rolle mehr. Dieses ist kein Einzelbefund. Aus sehr vielen Studien mit den unterschiedlichsten Modellen wissen die Modellierer, dass Rangfolgen von Szenarien in den meisten Fällen sehr robust gegenüber einer Veränderung von artökologischen Daten sind und somit tatsächlich als Entscheidungsgrundlage geeignet sind. Um wirklich sicher zu gehen, kann der Einfluss vermeintlicher Unsicherheitsquellen und somit die Validität der Ergebnisse jederzeit mit META-X getestet werden.

Die Feuertaufe hat META-X bereits bestanden. Das Programm ist erfolgreich bei Fortbildungsveranstaltungen in Südafrika, Australien und England zum Einsatz gekommen und hat an einigen deutschen Universitäten bereits Eingang in den Studienplan von Biologen gefunden. Als nächsten Schritt plant das UFZ, regionale Planungsbüros für weitere Praxistests zu gewinnen; Anfragen liegen bereits vor.

META-X ist ab Sommer 2001 beim Springer-Verlag Heidelberg erhältlich. Die CD-ROM wird ergänzt durch ein ausführliches Handbuch mit „geführter Tour“, einer Vielzahl von illustrierenden Beispielen und wissenschaftlicher Hintergrundinformation zu Metapopulationen und Populationsgefährdungsanalysen. ■



WISSENSWERTES

Programmfamilie INFO-X

Im Rahmen der Kooperation zwischen UFZ und OFFIS ist eine ganze Familie von Computerprogrammen für den Einsatz in Naturschutz und Landschaftsplanung entstanden bzw. im Entstehen. Jedes einzelne Programm kann sowohl separat als Entscheidungshilfe für spezielle Aspekte als auch in Kopplung mit anderen Programmen für komplexere Risikoanalysen genutzt werden. Der modulare Charakter der Programme (Import und Export von Daten über ASCII-Files) ermöglicht und gewährleistet maximale Flexibilität.

Die Komponenten der Produktfamilie und ihre speziellen Anwendungsgebiete im Überblick:

- POP-X: Gefährdungsanalyse von Einzelpopulationen
- META-X: Gefährdungsanalyse von Metapopulationen
- ANITRAX: Analyse von Verkehrsmortalität und Wandererfolg von Wildtieren als Auswirkung des Straßennetzes und der jeweiligen Verkehrsströme in einem Gebiet; Unterstützung der Anlage einer landschaftsbezogenen Datenbank zu Verkehr und dem artspezifischen Raumnutzungsverhalten der Wildtiere.
- PRIMATE-X: Multikriterielle Entscheidungsanalyse unter besonderer Berücksichtigung von ökologischer Unsicherheit
- INFO-X: Meta-Informationssystem zur gesamten Programmfamilie; Möglichkeit des Einspeisens und Abrufens von Informationen insbesondere darüber, in welchen Gebieten und zu welchen Arten welche Fragestellungen mit welchen Programmen bearbeitet wurden.

Interview

mit Prof. Hans Joachim Poethke,
Leiter der ökologischen Station in
Fabrikschleichach, einer Einrichtung
des Biozentrums der Universität Würzburg

FRAGE: Herr Prof. Poethke, die ökologische Modellierung scheint mittlerweile in Deutschland breite Akzeptanz zu finden. Wie sieht es mit dem wissenschaftlichen Nachwuchs auf diesem Gebiet aus, gibt es an unseren Universitäten inzwischen ein entsprechendes Lehrangebot?

PROF. POETHKE: Mit dem Nachwuchs in diesem Bereich sieht es schlecht aus. Dies hat zwei Gründe. Zum einen wird ökologische Modellierung an deutschen Universitäten bisher kaum unterrichtet. Es dürfte vielleicht ein halbes Dutzend Gruppen geben, die – in der einen oder anderen Art und Intensität – die Modellierung ökologischer Zusammenhänge mit Hilfe von Computern lehren. Während vor 10 Jahren noch der Vorbehalt vieler „klassischer“ Ökologen für diese Situation verantwortlich war, haben heute die meisten Ökologen den Nutzen von Modellen begriffen. Jetzt ist es der Mangel an Personalstellen, der in den Universitäten den Aufbau von Lehr- und Forschungs-

stützung meiner Arbeit zur Verfügung. Ohne die massive Einwerbung von Personalstellen über Drittmittel könnte ich damit weder unser Lehrangebot noch unsere langfristigen Forschungsprojekte bestreiten.

Ebenso negativ wie der Mangel im Bereich der Ausbildung wirkt sich meines Erachtens das enorme Wachstum im Bereich der Informationstechnologie auf unsere Nachwuchssituation aus. Mehr als die Hälfte der Diplomanden und Dok-

Mehr als die Hälfte der Diplomanden und Doktoranden, sind unmittelbar nach ihrer Ausbildung in die Softwareindustrie abgewandert. Sie konnten sich den unkalkulierbaren Weg der akademischen Karriere sparen.

ein Universitätsprofessor, sie konnten sich auch den miserabel bezahlten und gänzlich unkalkulierbaren Weg einer akademischen Karriere ersparen.

FRAGE: Was sind die thematischen Schwerpunkte der Ökologischen Station in Fabrikschleichach?

PROF. POETHKE: Ziel unserer Arbeit an der Ökologischen Station ist es, mit Hilfe von Modellen und Computersimulationen das breite, bereits vorliegende ökologische Wissen für den Naturschutz nutzbar zu machen. Wir wollen also den Computer als Werkzeug einsetzen, um den breiten Graben zwischen Theorie und Praxis zu überbrücken. Bei dieser Aufgabe kooperieren wir nicht nur mit dem UFZ, sondern auch mit anderen Arbeitsgruppen im Inland – z.B. Bochum, Freiburg, Oldenburg, Stuttgart und Regensburg – und Ausland – z.B. England, Frankreich, Holland und Polen.

Wir beschäftigen uns hauptsächlich mit Käfern, Heuschrecken und Schmetterlingen. Uns interessiert es, wie diese Tiere es schaffen, in ihren üblicherweise sehr fleckenhaft verteilten Lebensräumen zu überleben. Durch landwirtschaftliche und industrielle Nutzung der Landschaft, durch Siedlungen und nicht zuletzt durch Straßen zerschneiden und verkleinern wir die Lebensräume vieler Tier- und Pflanzenarten. Welche Arten sind dadurch besonders gefährdet und wie kann man zu einer Landnutzung kommen, die diese Gefährdung reduziert? Eine besondere Bedeutung kommt in diesem Kontext der Ausbreitungsfähigkeit der Tierarten zu. Nur wenn wir wissen, wie weit Tiere

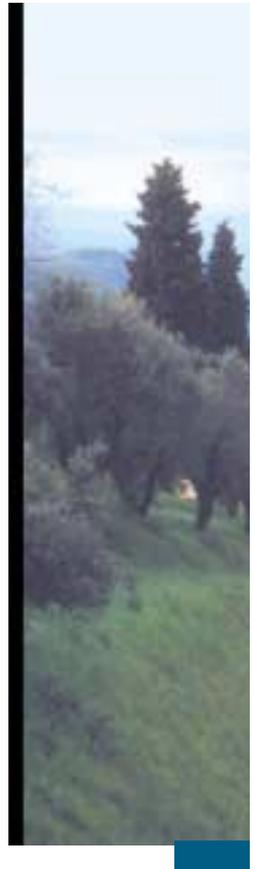
Ziel der Arbeit an der ökologischen Station in Fabrikschleichach ist es, das breite, bereits vorliegende ökologische Wissen für den Naturschutz nutzbar zu machen.



Foto: H. J. Poethke

kapazitäten zur Ökologischen Modellbildung bremst. Ökologie ist zurzeit nicht besonders en vogue und die Modellierer müssen mit dem zufrieden sein, was im Rahmen von Umschichtungen in der Biologie für sie übrig bleibt. Mir stellt die Universität Würzburg z.B. gerade eine halbe Wissenschaftlerstelle zur Unter-

toranden, die ich mit ausgebildet habe und die eine wirklich große Begabung für Modellbildung und Computersimulation gezeigt haben, sind unmittelbar nach ihrer Ausbildung in die Softwareindustrie abgewandert oder haben sogar eigene Softwareunternehmen gegründet. Diese Leute verdienen heute nicht nur mehr als



Modellierungskurs in der Nähe des Gardasees

Wir versuchen dort, der ungewohnten sehr intensiven Arbeit am Computer ganz bewusst ein intensives soziales Miteinander der Teilnehmer entgegenzusetzen.

wandern können und unter welchen Umständen sie dies auch tun, können wir das Überlebenspotenzial von Tierarten in einer bestimmten Landschaft vorher-sagen.

Neben den Freilandexperimenten, z.B. zur Ausbreitungsfähigkeit von Käfern und Heuschrecken, führen wir an der Ökologischen Station umfangreiche Computersimulationen durch. Solche Simulationen erlauben uns im Rahmen von Gefährdungsgradanalysen z.B. die Auswirkung bestimmter Maßnahmen in der Landschaft auf die Gefährdung von Tierarten vorherzusagen. Simulationsmodelle sind so ein ideales Werkzeug, um das umfangreiche Wissen aus Lehrbüchern und aktuellen Studien in Form von Regeln und mathematischen Gleichungen zu einem Prognosewerkzeug zusammensetzen und für den Naturschutz unmittelbar nutzbar zu machen.

Häufig setzen wir solche Modelle jedoch auch als Hilfsmittel zum Verständnis der Zusammenhänge im Freiland ein. Simulationsmodelle erlauben uns etwa, die Stimmigkeit von Beobachtungen zu überprüfen oder z.B. durch Simulationen zur Evolution bestimmter Verhaltensweisen deren Sinn zu begreifen. Ja selbst bei der Vorbereitung von Freilandexperimenten nutzen wir Simulationen. Sie erlauben z.B. die Bestimmung der notwendigen Fallenzahl in einem Experiment, welches

uns Aufschluss über den Einfluss der Populationsdichte auf das Laufverhalten von Käfern geben soll.

FRAGE: *Die Modellierer-Gruppe am UFZ ist in den vergangenen zehn Jahren kontinuierlich gewachsen. Verstehen Sie sich als Partner oder eher als Konkurrent einer solch großen Arbeitsgruppe?*

PROF. POETHKE: Sie vergleichen da ein Fahrrad mit einem Interregio. Konkurrenz kann es zwischen den beiden sowohl wegen der unterschiedlichen Größe als auch wegen der unterschiedlichen Funktion kaum geben. Aber solange ich mein Fahrrad ab und an im Interregio mitnehmen kann, sind wir auf eine bestimmte Art Partner, trotz unserer unterschiedlichen Funktion. Es gibt an keiner Universität eine Modellierergruppe, die auch nur annähernd die Größe der Gruppe am UFZ hat. Ich nehme an, das gilt nicht nur für Deutschland. Dazu kommt, dass die Lehre an der Universität wesentlich mehr Bedeutung hat als an einem Helmholtz-Zentrum. Meine Arbeitsgruppe hat deshalb zum einen einen wesentlich engeren Themenschwerpunkt als die Gruppe in Leipzig. Zum anderen ist bei uns der Anteil an Grundlagenforschung größer und die Verzahnung von Freilandarbeit und Simulation enger, da wir unter inten-

siver Mitwirkung von Studenten beides in einer Arbeitsgruppe betreiben.

FRAGE: *Sie bieten einen Modellierungskurs in der Nähe des Gardasees an. Warum dieser Veranstaltungsort?*

PROF. POETHKE: Das ist Zufall. Als ich vor etwa zehn Jahren von einer Gruppe von Doktoranden eines großen nationalen Projektes gebeten wurde, einen solchen Kurs abzuhalten, hatte ich gerade von dem unter ökologischen Aspekten konzipierten Tagungshaus am Gardasee gehört. Das Haus in Italien hat sich inzwischen so gut für den Kurs bewährt, dass ich mir kaum einen anderen gleich gut geeigneten Platz vorstellen kann. Sie müssen sehen, dass der Intensivkurs von allen Teilnehmern hohes Engagement und eine enorme Konzentration verlangt. Wir versuchen dort, der ungewohnten sehr intensiven Arbeit am Computer ganz bewusst ein intensives soziales Miteinander der Teilnehmer aus verschiedenen Universitäten entgegenzusetzen. Wir kochen gemeinsam (und gut), gehen in der Mittagspause auch mal an den See schwimmen, fahren zwischendurch kurz nach Verona usw. ➤



Fotos: R. Feldmann



Fotos: R. Feldmann

Wie schaffen es Schmetterlinge und andere Insekten, in ihren üblicherweise sehr fleckhaft verteilten Lebensräumen zu überleben?

Da kommt von selbst die Bereitschaft auf, auch mal bis spät in die Nacht am Rechner zu sitzen, wenn ein Simulationsexperiment gerade mal spannende Ergebnisse liefert.

Leider fällt der Kurs in diesem Jahr wegen der starken Arbeitsbelastung von Herrn Dr. Hommen und mir aus. Das ist das erste Mal und soll sich nicht wiederholen.

FRAGE: *Zum Schluss eine persönliche Frage: Auf der Homepage der Ökologischen Station erfährt man interessante Details aus Ihrem Lebenslauf, beginnend mit den Arbeiten zum „Verhalten von Autofahrern und Autofahrerinnen auf mehrspurigen Autobahnen“, über Ihr Dissertationsthema „Spieltheoretische*

Aspekte des Paarungsverhaltens von Großlibellen“, bis zur Habilitation mit dem Thema „Möglichkeiten und Grenzen mathematischer Modellierung in der Ökologie“. Wie langfristig ist die Perspektive ihrer Arbeiten in Fabrik-schleichach bzw. gibt es bereits neue Pläne?

PROF. POETHKE: Ich war auch mal kurzzeitig Lehrer an einer Berufsschule in Jamaica. Aber all das ist für den Berufsweg von Theoretischen Ökologen überhaupt nicht ungewöhnlich. Im Moment sind wohl die meisten theoretischen Ökologen Quereinsteiger mit einem mehr oder weniger illustren Lebensweg. Die wissenschaftliche Beschäftigung mit ökologischen Fragen setzt eine hohe Bereitschaft voraus, sich immer wieder in neue Zusammenhänge einzuarbeiten. So finden in der Ökologie insbesondere neugierige und eher unruhige Menschen ein Zuhause.

Die Ökologische Station in Fabrik-schleichach bietet mir zum ersten Mal die Möglichkeit, meine eigene Arbeitsgruppe aufzubauen. Ich muss jetzt nicht mehr interessanten Aufgabenstellungen hinterherlaufen, sondern kann selbst Forschungsthemen definieren. Außerdem ist das ehemalige Forsthaus mitten im Steigerwald ein wunderschöner Ort. Es stellt einen idealen Kontrast zu unserer oft sehr theoretischen Arbeit dar und führt uns stets vor Augen, was wir mit unserer Arbeit erhalten wollen. Solange das Potenzial dieser Stelle noch so entwicklungsfähig ist, sehe ich keinen Grund, mich nach neuen Orten umzuschauen. ■



WISSENSWERTES

UFZ-Winterschule Ökologisches Modellieren

Im Februar 2001 bot die Sektion Ökosystemforschung erstmalig einen Intensivkurs zur Modellierung ökologischer Systeme an. 16 Studenten und Doktoranden verschiedener Fachrichtungen aus ganz Deutschland kamen nach Johanngeorgenstadt im Erzgebirge, um durch Vorlesungen, praktische Übungen und interdisziplinären Gedankenaustausch einen Einstieg in das Thema zu erhalten. Die Winterschulen sollen von nun an regelmäßig durchgeführt werden.

<http://www.oesa.ufz.de/winterschule>

<http://www.biozentrum.uni-wuerzburg.de/zoo3/station/>



Urwalddynamik aus dem chener

Wie sah der Urwald aus, den unsere Urahnen in Germanien vorfanden? Wir wissen es nicht, weil es im heutigen Deutschland keine ursprünglichen Wälder mehr gibt. Wo Vergleichsmöglichkeiten in der Natur fehlen, können ökologische Modelle Antworten geben. Drei Fragen stehen im Vordergrund, wenn es darum geht, wie z.B. Buchenwälder naturnäher gestaltet werden können: Was sind die Mindestgrößen für Naturwaldreservate, welche räumlichen Strukturen und welche Biodiversität sind zu erwarten und wie wirken sich unterschiedliche Formen der Bewirtschaftung auf die Waldstruktur und -dynamik aus?

Durch eine Lücke im Kronendach hoch über ihm fällt etwas Licht auf den Buchensämling, so dass er rasch wachsen kann. Hat er Glück, fällt er nicht dem Wildverbiss zum Opfer. Vorausgesetzt, dass es weiterhin genügend Lichteinfall gibt, steht die junge Buche einige Zeitschritte, sprich Jahrzehnte, später 30 Meter hoch in Lauerstellung. Sie wartet darauf, dass einer der Riesen über ihr sein Maximalalter erreicht und stirbt oder einem Sturm zum Opfer fällt. Auch in diesem Stadium kann der Baum keineswegs sicher sein, dass er es bis ins Kronendach schafft. Wenn er Pech hat, wird er von einer fallenden Altbuche beschädigt und stirbt. Wenn andere Bäume eine sich auftuende Lücke schneller schließen und er zu lange im

Schatten warten muss, geht er ebenfalls zu Grunde.

Nicht weniger als 50 Faktoren, die das Wachsen und Sterben von Buchen steuern, hat der Physiker Christian Neuert im Rahmen seiner Doktorarbeit in das Programm BEFORE eingebaut. Er hat Fachleute wie Forstoberrat Grundmann, den Leiter der Hessischen Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie, Gießen/Hannoversch Münden, interviewt, um sich ein umfassendes Bild von den Eigenschaften der Buche zu machen. Seine Fragen stellte er so, dass sie der Syntax eines regelbasierten Modells entsprechen: Wenn ein Sturm einer bestimmten Stärke auftritt, mit welcher Wahrscheinlichkeit bricht dann ein Kronendachbaum ab? Wenn in der Nach-

barschaft dieses Baumes in Windrichtung bereits eine Lücke besteht, wie erhöht sich dann die Wahrscheinlichkeit, dass besagter Baum dem Sturm zum Opfer fällt? Insgesamt wird im Modell unter Berücksichtigung der Lichtverhältnisse und sonstiger Faktoren für jedes Wachstumsstadium der Buchen die Überlebenswahrscheinlichkeit berechnet.

Der Vergleich von Modellergebnissen mit Beobachtungen in den Westkarpaten, wo es letzte Buchenurwaldreste gibt, zeigt, dass das Programm sehr gut die Gesetzmäßigkeiten beschreibt, denen Wachstum und Entwicklung in einem natürlichen Wald folgen. Der virtuelle Urwald im Computer besteht ebenso wie die realen Urwälder aus einem Mosaik aus kleinen Flächen, die ca. 500 bis 5000 m² groß sind. 

Diese Flächen befinden sich jeweils in einem von drei Entwicklungsphasen eines Bestandes: Dem Heranwachsstadium, dem Optimalstadium oder dem Zerfallsstadium. Im Stadium des Heranwachsens ist das Kronendach nicht geschlossen. Es existieren ausgeprägter Buchenunterwuchs sowie vereinzelt

Fotos: V. Grundmann, Gießen/Hannoversch Münden



Heranwachsstadium



Optimalstadium



Zerfallsstadium

Kronendachbäume und Jungbuchen, die sich gerade in der Kronenschicht etablieren. Dieses Stadium dauert im Durchschnitt 100 Jahre. Es geht über ins Optimalstadium mit völlig geschlossenem Kronendach. Der Boden ist hier beschattet und es gibt kaum Unterwuchs. Zirka 50 Jahre währt dieser sogenannte Buchenhallenwald. Danach beginnt das Zerfallsstadium, das durch ein sukzessives Absterben der Kronendachbäume sowie durch erneut aufkommende Verjüngung gekennzeichnet ist. Nach 120

Jahren schließt sich dann wieder das Heranwachsstadium an. Gut 250 Jahre dauert ein Zyklus und damit wird deutlich, dass das Modell Erkenntnisse ermöglicht, die durch Beobachtungen in der Natur nicht gewonnen werden können.

So können z.B. verschiedene Bewirtschaftungsformen – Kahlschlag, Schirmschlag, Femelschlag – hinsichtlich ihrer zu erwartenden Auswirkungen auf die Walddynamik simuliert werden. Außerdem kann nun abgeschätzt werden, wie lange es dauert, bis aus einem Wirtschaftswald ein Buchenurwald wird und welche Eingriffe diesen Prozess beschleunigen. Auch zu den benötigten Flächengrößen gibt das Modell Auskunft: Mindestens 0,4 km² (40 ha) müssen solche Naturwaldreservate groß sein, damit sich auch quantitativ eine Dynamik einstellt, wie sie für ein vom Menschen unbeeinflusstes System typisch ist. Schutzziel für Buchenurwälder ist nicht die Konservierung eines Lebensraums in einem bestimmten Zustand, wie bei Mooren, Heiden, Streuobstwiesen und sonstigen NSGs üblich, sondern eine Dynamik, nämlich das ungestörte Ablaufen des o.g. Zyklus. Wobei nur Störungen durch menschliche Eingriffe ausgeschlossen sind, nicht aber natürliche Ereignisse, wie Sturm, Schneebruch und Schädlingskalamitäten. Die Forstwirtschaft möchte andererseits möglichst naturnahe Bewirtschaftungsformen entwickeln, die die Ziele einer profitablen, nachhaltigen Nutzung mit einem Maximum an Naturnähe gewährleisten. Auch hierbei kann BEFORE in Zukunft wichtige Beiträge leisten.

Aus diesem Grund wird in der UFZ-Sektion Biozönoseforschung an der Anwendung und Anpassung des Programms weitergearbeitet. Wie bei allen Modellen gibt es auch bei BEFORE vereinfachende Annahmen. So wird davon ausgegangen, dass es sich um Buchenreinbestände handelt, in denen durch die immerwährende Abfolge der drei beschriebenen Stadien Pionierbaumarten wie Birke und Kiefer keine Chance haben. Auch unterschiedliche Klima- und Standortverhältnisse werden bislang nicht berücksichtigt, spielen aber bei konkreten Planungen und Prognosen u.U. eine wichtige Rolle. ■



Bl
Bru

Foto: N. Neuhä

Oxygen Bubble Walls – Schadstoffabbau im Grundwasser durch Luftinjektion

Ein neuartiges Verfahren zur Grundwasserdekontamination stellt die Injektion von Sauerstoff in den Boden dar. Erste Anwendungen, z.B. in Australien, den Niederlanden und Italien, zeigen, dass mit geringem technischen und finanziellen Aufwand der mikrobielle Schadstoffabbau beschleunigt werden kann. Die Modellierung des Schadstofftransports und der wichtigsten Abbau- bzw. Sorptionsprozesse sowie der Wirkung der Oxygen Bubble Wall sind Bestandteil der Technologie.

Unter der Stadt Bitterfeld liegen 200 Millionen Kubikmeter Grundwasser, die mit chlorierten Kohlenwasserstoffen kontaminiert sind. In einem bisher einmaligen Pilotprojekt unter Leitung des UFZ zeigen deutsche und holländische Wissenschaftler hier neue Wege der Grundwassersanierung auf. Da es technisch und

Errichtung reaktiver Wände durch die Injektion von Luft in den Grundwasserleiter, um den aeroben mikrobiellen Abbau zu stimulieren.

Diese Sanierungstechnologie basiert auf der Beobachtung, dass im allgemeinen eine Vielzahl organischer Schadstoffe schon durch natürliche Prozesse im Grundwasserleiter beseitigt oder zumindest in ihrer Konzentration stark reduziert werden. Das komplexe Zusammenspiel dieser Prozesse wie Verteilung, Verdünnung, Verflüchtigung, Bindung, Bioabbau und chemische Immobilisierung von Schadstoffen wird heute unter dem Schlagwort Natural Attenuation zusammengefasst. Die Ausnutzung des Natural Attenuation für die *in situ*-Grundwassersanierung erfordert ein tiefes Prozessverständnis, um gemessene Schadstoffkonzentrationen richtig zu interpretieren, limitierende Faktoren für den mikrobiellen Schadstoffabbau zu erkennen und in geeigneter Weise die Selbstreinigungprozesse zu unterstützen.

Es ist klar, dass diese Sanierungstechnologie einen hohen Monitoring-Aufwand der Schadstofffahne im Grundwasserleiter erfordert und die Transport- und Prozessmodellierung zentraler Bestandteil der Technologie ist. Im SAFIRA-Modell 

Unter der Stadt Bitterfeld liegen 200 Millionen Kubikmeter Grundwasser, die mit chlorierten Kohlenwasserstoffen kontaminiert sind. Deutsche und holländische Wissenschaftler suchen nach Wegen der Grundwassersanierung.

finanziell unmöglich ist, eine solche Wassermenge abzupumpen und zu behandeln, wird im SAFIRA-Projekt die Reinigung *in situ*, also direkt im Grundwasserleiter, 20 Meter unter der Erde erprobt. Verschiedene chemische, physikalische und mikrobiologische Verfahren sowie Kombinationen aus ihnen treten gegeneinander an. Ein vielversprechender Forschungsansatz ist die

ck in den 23m tiefen
unnenschacht.



wird der Flächenausschnitt von Bitterfeld mit dem kontaminierten Grundwasser in ein dreidimensionales diskretes Gittermodell umgewandelt. Die Anzahl beträgt ca. 100.000 Zellen. Für jede Zelle berechnet der Computer eine Massenbilanz der Schadstoffe unter Berücksichtigung der bekannten Natural Attenuation-Prozesse. Für das Bitterfelder Grundwasser muss das Modell neben Verdünnung und mikrobiologischem Abbau der Schadstoffe deren Nachlieferung aus dem Braunkohleflöz berücksichtigen, wo sie sich an der Sohle des Grundwasserleiters angereichert haben.

Die entscheidende Frage ist, wie zuverlässig die Aussagen des numerischen Modells sind. Die beiden wichtigsten Fehlerquellen sind zum einen die nur punktuellen Messdaten von den 38 Beobachtungsbrunnen im SAFIRA-Projekt, von denen mit geeigneten geostatistischen Methoden auf die gesamte Fläche extrapoliert wird. Zweitens ist entscheidend, ob die dominierenden Prozesse erkannt und richtig abgebildet werden. Die Güte eines Modells lässt sich sofort aus seiner Prognosefähigkeit ableiten. D.h., ein zum Startpunkt kalibriertes Modell muss in der Lage sein, die Schadstoffkonzentration zu einem späteren Zeitpunkt vorherzusagen. Hierzu werden Modellparameter wie die hydraulische Leitfähigkeit, Dispersivitäten und Abbauraten solange abgeglichen, bis Modellergebnisse und experimentelle Daten bestmöglich übereinstimmen. Ein solcherart kalibriertes Modell ist von großem Nutzen um Feldexperimente vorzubereiten: Die Auswirkungen auf das

Grafik: WOHLFAHRT

Modell einer „Oxygen Bubble Wall“: Mikroscala



Grundwasserdekontamination durch Injektion von Sauerstoff in den Boden

Strömungsfeld und das geochemische Milieu von *in situ*-Sanierungsmaßnahmen – z.B. von reaktiven Wänden – können quasi am Computer simuliert werden.

Da in natürlichen Grundwasserleitern Bakterien immer in genügender Anzahl vorhanden sind, werden unter aeroben Bedingungen sehr viele organische Verbindungen, sofern sie bioverfügbar sind, relativ schnell mikrobiell abgebaut. In den meisten Fällen haben die organischen Schadstoffe den natürlichen Sauerstoffvorrat im Grundwasser rasch aufgezehrt, d.h. der aerobe mikrobielle Abbau ist durch die geringe Sauerstoffkonzentration limitiert. Die Idee der reaktiven Sauerstoffwände besteht darin, diese Limitierung zu überwinden, indem kostengünstig gasförmiger Sauerstoff, z.B. Luft, in den Grundwasserleiter gepumpt wird.

Am UFZ untersuchte eine interdisziplinäre Gruppe aus Mikrobiologen,

Chemikern, Hydrogeologen, Geophysikern und Modellierern den aeroben Abbau von Chlorbenzol, der Hauptschadstoffkomponente am SAFIRA-Standort sowie die Injektion von Luft in wasser-gesättigte Sedimente und den Gasphasentransfer des Sauerstoffs. Zur Quantifizierung und Interpretation der Messergebnisse wurden Prozessmodelle entwickelt. Diese Modelle werden derzeit über nutzerdefinierte Module in das kommerzielle Transportmodell GMS-MODFLOW-RT3D eingebaut. Basierend auf diesen Erkenntnissen und Entwicklungen wird ein erster Feldeinsatz einer Sauerstoffwand vorbereitet. Unbedingt notwendig für diese Technologie ist das Feedback über die Sauerstoffverteilung im Grundwasser. Ein entsprechender membranbasierter Gassensor zum Online-Langzeit-Monitoring wurde inzwischen in der Sektion entwickelt und patentiert. ■

Das Projekt SAFIRA

Das Projekt SAFIRA (SANierungs-Forschung In Regional kontaminierten Aquiferen) wurde vom UFZ in Kooperation mit verschiedenen Universitäten und der TNO (Niederlande) konzipiert. Ziel des SAFIRA-Projektes ist es, innovative Technologien zur *in situ*-Sanierung komplex belasteter Grundwässer zu entwickeln. Für die Untersuchungen wurde Bitterfeld als Modellstandort ausgewählt. An den dortigen Altstandorten der Chemieindustrie ist das Grundwasser mit aliphatischen und aromatischen chlorierten Kohlenwasserstoffen (CKW) hoher Konzentrationen kontaminiert. Herzstück des Projektes ist eine Pilotanlage, in der unter kontrollierten *in situ*-Bedingungen neue Verfah-

ren zur Dekontamination solch komplex belasteter Grundwässer getestet und optimiert werden. Die im Labormaßstab und im kleinskaligen Feldversuch vorausgewählten Verfahren werden seit Oktober 1999 in der großen Pilotanlage getestet: anaerober und microaerophiler Bioabbau (TNO), Absorption und mikrobieller Abbau auf Aktivkohle (TU Dresden), Zeolith-gestützte Pd-Katalysatoren (Universität Tübingen), oxidative Vollmetallkatalysatoren (INC Leipzig), Redox-Kombinationsreaktoren (Universität Kiel), membrangestützte Pd-Katalysatoren (UFZ), Absorption an Aktivkohle (Universität Tübingen) und anaerober mikrobieller Abbau (UFZ).

Das Konzept des Natural Attenuation und die Rolle der Modellierung

Interview

mit Dr. Helmut Geistlinger, Sprecher der Arbeitsgruppe Experimentelle Simulation und Modellierung in der Sektion Hydrogeologie, UFZ Halle

FRAGE: *Derzeit fällt im Zusammenhang mit Altlasten-Management häufig der Begriff Natural Attenuation. Was verbirgt sich dahinter und welche Rolle spielen Modellierung und Simulation bei diesem Ansatz?*

DR. GEISTLINGER: Unter Natural Attenuation versteht man das natürliche Selbstreinigungsvermögen, das Grundwasserleiter besitzen. Häufig wird dieser Begriff falsch ausgelegt als qualifiziertes

Nichtstun. Das waren die Vorbehalte, die die deutsche Wissenschaft gegenüber dieser aus Nord-Amerika stammenden Sanierungsstrategie hatte und zum Teil noch hat. Dazu muss man sagen, dass die Anwendung von Natural Attenuation den intensiven Einsatz von Mess- und Erkundungsmethoden voraussetzt, sowie ein weit gehendes Prozessverständnis mit Hilfe von Modellen. Die kontinuierliche Überwachung des Schadensfalles ist notwendig, um nachzuweisen, dass auch wirklich ein Abbau der Schadstoffe stattfindet. Der Auftraggeber möchte natürlich wissen – wie bei jeder anderen Sanierungstechnologie –, in welcher Zeit der Schadensfall saniert ist, d.h. wann das natürliche Selbstreinigungsvermögen eine bestimmte Grenzwertkonzentration erreicht hat.

Zur Modellierung im Speziellen: Es ist klar, dass, wenn man die Prozesse selbst und das komplexe Zusammenspiel von Verdünnung, Sorption der Schadstoffe an Sedimenten und vom mikrobiellen Abbau verstehen will, man unbedingt Modelle braucht, um die Messergebnisse zu interpretieren.

Foto: G. Kraus



FRAGE: *Wie schätzen sie im internationalen Vergleich die Position der deutschen Forschung auf dem Gebiet des Natural Attenuation ein?*

DR. GEISTLINGER: Es ist hier so wie überall in der deutschen – eigentlich muss man sagen in der europäischen Forschung –, dass die Arbeiten ca. fünf Jahre hinter der nordamerikanischen Forschung hinterherhinkt und genauso ist es auf dem Gebiet des Natural Attenuation. Aus amerikanischer und auch kanadischer Sicht sind wahrscheinlich die wichtigsten Feldexperi-

mente zum Natural Attenuation abgeschlossen, und auch wissenschaftlich gelten die Grundlagen inzwischen als verstanden. Die deutsche Forschung hat vor ca. zwei Jahren begonnen, sich intensiv mit dem Konzept des Natural Attenuation auseinanderzusetzen.

Mittlerweile hat das BMBF zwei große Forschungsprogramme aufgelegt, mit denen

die deutsche Forschung ein ganzes Stück aufholen wird. Das erste Natural Attenuation-Programm, bei dem auch das UFZ beteiligt ist, bedeutet, dass man Schadensfälle z.B. unter Chemiestandorten wie in Bitterfeld und Zeitz oder unter Tankstellen genau beobachtet und auch wirklich nachweist, dass die Schadstoffmenge mit der Zeit abnimmt, dass also das natürliche Reinigungsvermögen des Grundwasserleiters wirksam ist. Der zweite Programmschwerpunkt widmet sich den Fällen, wo die Schadstofffracht sich nicht reduziert. Dort muss man versuchen zu verstehen, warum die Mikroorganismen, die immer im Grundwasserleiter vorhanden sind, keine Abbauleistung erbringen. In solchen Fällen liegen limitierende Faktoren vor und das ist im Fall von organischen Schadstoffen meistens fehlender Sauerstoff. Hier setzt das Enhanced Natural Attenuation an, also die aktive Beschleunigung des natürlichen Selbstreinigungspotenzials, z.B. dadurch, dass man Sauerstoff in den Grundwasserleiter injiziert.

Natural Attenuation wird häufig als qualifiziertes Nichtstun ausgelegt. In Wirklichkeit setzt es den intensiven Einsatz von Mess- und Erkundungsmethoden und ein weitgehendes Prozessverständnis voraus.

Der eigentliche Schwerpunkt des zweiten BMBF-Programms liegt auf der Erforschung reaktiver Wände nach dem Funnel and Gate-Prinzip zur Grundwasserreinigung im Rahmen des SAFIRA Projektes. Wir hatten Glück, mit unseren Arbeiten zu reaktiven Sauerstoffwänden, die ja gar keine feste bauliche Einrichtung darstellen, frühzeitig in dieses große Programm eingebunden zu werden. Dadurch haben wir nun einen gewissen Vorsprung in der Enhanced Attenuation-Forschung zu bieten.

FRAGE: *Wie sieht es bei reaktiven Sauerstoffwänden mit unerwünschten Nebenwirkungen aus?*

Gleichzeitig kann die Pyrit-Oxidation aber auch von Vorteil sein. Das gebildete Eisenhydroxid kann als Elektronen-Akzeptor für anaerob abbauende Mikroorganismen dienen. Es gibt hier noch viele offene Fragen.

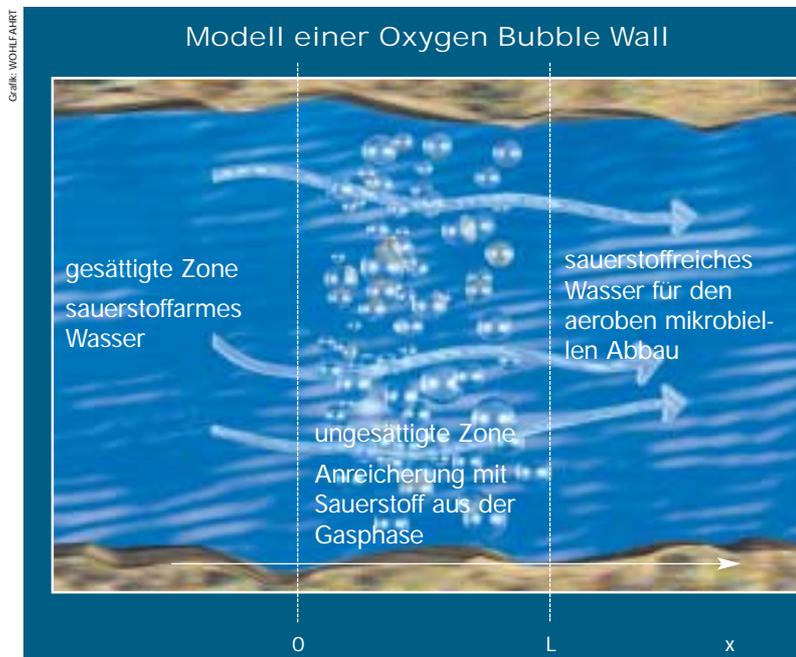
FRAGE: *Welchen Beitrag leistet Ihre Arbeitsgruppe insgesamt zur Grundwasserforschung des UFZ? Mit welchen anderen Gruppen kooperieren Sie, bzw. in welche Projekte sind Sie eingebunden?*

DR. GEISTLINGER: Unsere Arbeitsgruppe versteht sich als ein Team innerhalb der Sektion Hydrogeologie, das versucht, experimentell wie auch modellmäßig Prozesse zu verstehen. Die

wurde und zu dem es bereits viele Nachfragen von potenziellen Anwendern gibt.

Experimentell arbeitende Hydrologen unterschätzen gerne den Wert der Modellierung. Ich glaube, dass man nicht weiterkommt, wenn man nur Daten sammelt, weil die zu Grunde liegenden Prozesse einfach zu komplex sind, um sie auf Anhieb zu verstehen. Man braucht letztlich doch die Modellierung, um die Feld- und Labordaten richtig interpretieren und auswerten zu können.

Der wesentliche Kooperationspartner innerhalb des UFZ ist für uns durch das SAFIRA-Projekt natürlich der Projektbereich Industrie- und Bergbaufolge-



Beim Natural Attenuation kommt man ohne Modellierung nicht weiter; das Sammeln von Daten reicht nicht aus, weil die zugrunde liegenden Prozesse einfach zu komplex sind.

DR. GEISTLINGER: Die beiden wesentlichen Argumente, die immer gegen Bubble Walls vorgebracht werden, sind erstens, dass man durch eine Sauerstoffwand den Grundwasserleiter blockiert. Eine hydraulische Blockade bewirkt, dass das Wasser und die darin enthaltenen Schadstoffe sich einen anderen Weg suchen. Hierzu führen wir in Zusammenarbeit mit dem Grundwasserforschungsinstitut in Dresden Experimente durch, um die Reduzierung der hydraulischen Leitfähigkeit wirklich abschätzen zu können. Das zweite Argument ist, dass man die Geochemie ändert, wenn z.B. eine Mineralumwandlung stattfindet. Aus Pyrit, das in jedem Sediment vorhanden ist, wird sich Eisenhydroxid bilden und dieses kann auch zur Verstopfung des Grundwasserleiters führen.

experimentellen Arbeiten leitet Dr. Lazik. Wir sprechen ein und dieselbe Sprache, und das erlaubt die ständige kritische Diskussion aller Sachen, die wir machen. Die Experimente zur Mehrphasenströmung, die er derzeit durchführt, begleiten wir mit eigener Modellentwicklung. Die Modelle werden quasi durch die Experimente getestet und validiert, unsere Gruppen bilden eine Symbiose. Zusammenfassend würde ich sagen, wir machen so etwas wie angewandte Grundlagenforschung in Richtung eigener Prozessmodelle, wobei natürlich immer ein praktischer Bezug gegeben sein muss. Ein schönes Beispiel ist der membranbasierte Sauerstoff-Sensor, den Dr. Lazik mit modellierungseitiger Unterstützung entwickelt hat, der patentiert

landschaften. National arbeiten wir in einem fremden FuE-Projekt mit Prof. Luckner vom schon erwähnten Grundwasserforschungsinstitut in Dresden und dem Institut für Geologie der Universität Tübingen zusammen. International gesehen, ist es mir besonders wichtig, dass wir den Kontakt zu einer der führenden Modellierungsgruppen an der University of Waterloo, Department of Earth Sciences in Kanada geknüpft haben. Die Arbeiten dieser Gruppe zur Grundwasser-Transport-Modellierung sind state of the art und wir konnten und können eine Menge lernen.

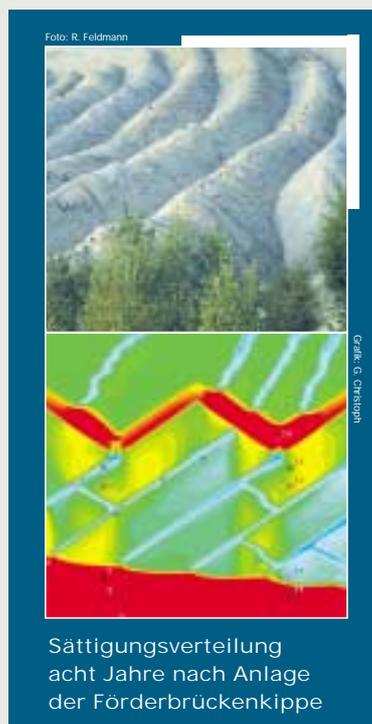
Was die geochemische Modellierung angeht, arbeiten wir eng mit der University of British Columbia, in Vancouver zusammen. Weiterhin besteht eine Zusammenarbeit mit der Universität in Dnepropetrowsk in der Ukraine. ■

Hydrodynamische Modellierung – wenn Kippen nasse Füße kriegen

Die hydraulischen Eigenschaften von Kippenböden in den Braunkohlefolgelandschaften Ostdeutschlands sind sehr schwierig abzuschätzen, weil regelrecht das Unterste zu oberst gekehrt wurde und die natürliche Abfolge der Bodenschichten nicht mehr gegeben ist. Entscheidend für die Sanierungsbetriebe ist die Frage, wie schnell die entstandenen Kippen Wasser aufnehmen, bis sie im gesättigten Bereich sind. Davon hängt nämlich ab, welche Qualität das Wasser in den angrenzenden Restseen haben wird und wie hoch die Böschungsstabilität sein wird.

Die Verhältnisse der Kippe Cospuden/Zwenkau im Leipziger Südraum sind besonders unübersichtlich, weil anders als z.B. im Lausitzer Braunkohlerevier nicht überwiegend größere Substrate vorliegen, sondern diese mit feinen Anteilen mit geringer Wasserleitfähigkeit durchmischt sind. Im nördlich der Kippe gelegenen Restloch Cospuden wurde die Flutung im Jahr 2000 abgeschlossen, im südlich gelegenen Restloch Zwenkau wird sie 2008 begonnen. Je schneller die Kippe mit Wasser gesättigt sein wird, desto geringer ist die Gefahr der Versauerung der Restseen durch Schwefelsäure als Folge der Mineralverwitterung in den Kippensubstraten.

Experimentelle Einzelergebnisse von Eigenschaften der Kippe dienten Dr. Gernot Christoph und seinen Kollegen aus der UFZ-Sektion Hydrogeologie als Basis für die hydrodynamische Modellierung des Sättigungsprozesses. Wichtige Eingangsparameter sind die Porosität, die hydraulische Leitfähigkeit und die Anfangssättigung des Substrats. Durch Eingabe der Felddaten in das Modell FEFLOW, das von der Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung in Berlin entwickelt wurde, simulieren die Hallenser Grundwasserforscher Wasseranstiegsgeschwindigkeiten, Wasserflüsse und Sättigungsverteilung in der Kippe. Grundlage ihrer zweidimensionalen Flussmodellierung ist ein 56 mal 52 Meter großer Ausschnitt aus der Kippe. Abgebildet wird die



typische Rippenstruktur, die durch die Schüttung des Abraummaterials hinter der Förderbrücke entsteht und im konkreten Fall für 7 Jahre die Oberfläche bildete, bis dann im Zuge der Rekultivierung von einem Absetzer neues Substrat bis zur Geländeoberkante aufgefüllt und mit einer Deckschicht abgeschlossen wurde.

Die Modellergebnisse ermöglichen einen Blick ins Innere der Kippe. In einer Momentaufnahme, acht Jahre nach dem Auftragen der Förderbrückenkippe, ist ein Grundwasserstand von fast 10

Metern erreicht. Der Grundwasseranstieg beträgt also etwa 1,2 Meter pro Jahr. Wassersättigung ist auch in der Zwischenschicht am Boden der Absetzerkippe erkennbar. Je nachdem, welche Durchlässigkeit für die Zwischenschicht angenommen wird, können zwei Grundwasserleiter entstehen, deren Wasserstände unterschiedlich ansteigen. Vergrößert man den Zeithorizont, so zeigt sich, dass 5 Jahre nach Beginn der Restlochflutung – also 19 Jahre nach Anlage der Förderbrückenkippe – das Seewasser erst ca. 100 Meter weit in die Kippe vorgedrungen ist. Selbst 40 Jahre nach Beginn der Flutung ist der Sättigungsprozess in der Kippe noch nicht abgeschlossen.

Im Hinblick auf das befürchtete Austreten von Säuren und möglicherweise Schadstoffen aus den Kippen kann Dr. Christoph also Entwarnung geben. Noch jahrzehntelang wird die Strömungsrichtung des Wassers vom See in die Kippe und nicht umgekehrt zeigen. Das heißt andererseits, dass es ebenso lange dauert, bis auf der Kippe Standsicherheit erreicht sein wird. Die langsame Wassersättigung ist dafür verantwortlich, dass es auch in 50, ja 100 Jahren noch zu heimtückischen Böschungsrutschungen kommen kann. Für die Sanierungspraxis bedeutet dies, dass die betreffenden Uferbereiche aufwändig abgeschrägt oder verdichtet werden müssen oder aber langfristig für die Öffentlichkeit gesperrt bleiben werden. ■

CANDY

zur



– ein Programm Analyse von Agrarräumen

Durch das 1999 in Kraft getretene Bundes-Bodenschutzgesetz wird der Boden als elementarer Bestandteil des Landökosystems und drittes wichtiges Umweltmedium – neben Wasser und Luft – nunmehr ausdrücklich und umfassend geschützt. Das neue Gesetz verpflichtet Landwirte und andere Nutzer zur Vorsorge gegen das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen und damit verbundener Gewässerverunreinigungen. Vor diesem Hintergrund werden das flächendeckende Monitoring des Bodenzustands und die Prognose der Auswirkungen von Nutzungsänderungen zu wichtigen Aufgaben.

Mit der Wiedervereinigung gingen tiefgreifende Veränderungen auch in der Landwirtschaft in Ostdeutschland einher. Der Viehbestand wurde drastisch reduziert, Düngereinsatz, Sortenwahl und Fruchtfolgen änderten sich und die Erträge stiegen merklich an. Die Frage nach den Konsequenzen für Landwirtschaft und Boden-

schutz beschäftigt Planer, Behörden und Landnutzer nicht erst seit dem neuen Bodenschutzgesetz. Ihr gemeinsames Ziel ist die Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Böden und die Minimierung negativer Folgen für Umwelt und Klima.

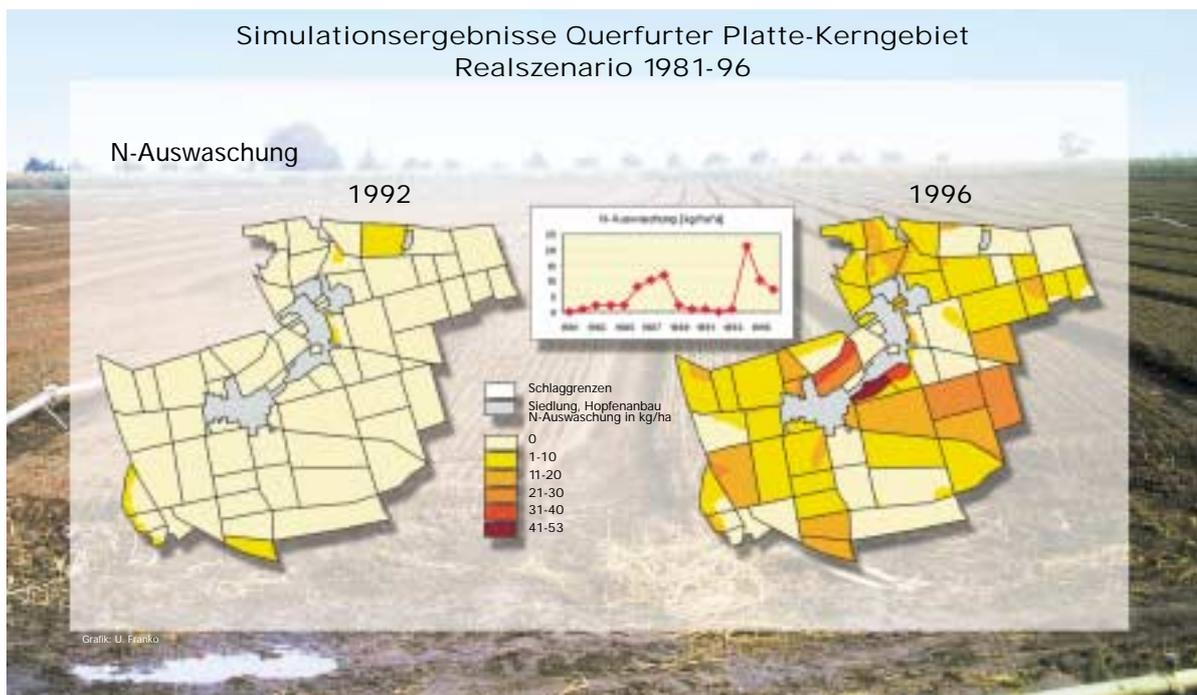
Die Stoff- und Energieflüsse in einem komplexen System wie dem Boden lassen sich mit Hilfe von Simulationsmodellen erfassen und prognostizieren. In der Sektion Bodenforschung des UFZ in Halle wurde ein solches Modell weiterentwickelt, das den Einfluss der Bewirtschaftung auf den Kohlen- und Stickstoff-Kreislauf im Boden und den Stickstoff-Austrag in die Umwelt beschreibt. Zur ersten Anwendung kam es für eine Region im mitteldeutschen Schwarzerdegebiet mit intensiver Agrarnutzung, wo die Kenngrößen des Stoffhaushaltes von Anfang der 80er Jahre bis 1996 simuliert wurden, um die Effekte des agrarstrukturellen Wandels in ihrem

ganzen Umfang erkennbar zu machen. In einem weiteren Schritt wurde untersucht, wohin sich in den Jahren 2045 bis 2060 Bodeneigenschaften und Stoffflüsse entwickeln könnten, wenn die aktuelle Bewirtschaftung fortgesetzt wird.

In das Modell CANDY (Carbon and Nitrogen Dynamics) der Hallenser Bodenforscher fließen eine Vielzahl von Parametern und Messwerten ein. Darunter Wetterdaten und die Bewirtschaftungsaktivitäten sowie Bodenparameter – insbesondere der Gehalt an organischem Kohlenstoff.

Eine wesentliche Erweiterung erfuhr das Modell durch die Anbindung eines Geographischen Informationssystems (GIS), mit dem jetzt die Systemanalyse ganzer Agrarräume möglich wird, aber auch die schlagbezogene Einschätzung von Versorgungszuständen und Gefährdungspotenzialen. 





Was sagen nun die Simulationsergebnisse zu den Prozessen aus, die verborgen in bis zu zwei Metern Bodentiefe stattfinden? Auffälligster Effekt der von 1980 bis 1996 gestiegenen Erträge im untersuchten Schwarzerdegebiet ist eine steigende Tendenz des Kohlenstoffniveaus im Boden. Bei einer Fortführung des aktuellen Bewirtschaftungssystems wird sich dieser Trend fortsetzen. Das für die Jahre 2045 - 2060 berechnete Szenario zeigt als Folge der fortwährenden Kohlenstoffakkumulation eine erhöhte Stickstoffnachlieferung aus der organischen Bodensubstanz, wodurch sich die Stickstoffauswaschung in das Grundwasser mehr als verdoppeln wird. Als direkte Handlungsempfehlung zum Abbau des überschüssigen Kohlenstoff-Inputs wird die energetische Nutzung von Biomasse als Ersatz für fossile Brennstoffe vorgeschlagen.

Mit der Entwicklung einer Benutzeroberfläche, die die Eingabe und Verwaltung von Modellinput-Daten unterstützt, haben die Bodenforscher aus CANDY ein Werkzeug gemacht, das prinzipiell zur Analyse und Bewertung der Bodeneigenschaften beliebiger Standorte geeignet ist. Der Vergleich von realen mit fiktiven Bewirtschaftungssystemen wird ebenso möglich, wie die Übertragung der Ergebnisse von Dauerbeobachtungsflächen auf regionale Maßstabsebenen. Zukünftiges Ziel der Bodenforscher ist die weitere Vali-

dierung des Modells an Intensivmessflächen und Versuchstandorten, an denen regionale Referenzdaten erhoben werden.

Für die isolierte Betrachtung des Kohlenstoff-Haushalts wurde das Teilmodul CCB (CANDY-Carbon Balance) des CANDY-Systems in ein eigenständiges Modell überführt. Damit ist es möglich, mit wenigen Inputdaten – Angaben zur Bodentextur und Mittelwerten zu Bewirtschaftung und Klima – eine Prognose zur Entwicklung der Humusvorräte zu erstellen.

In jüngster Zeit konzentrieren sich die UFZ-Wissenschaftler auf die Integration eines am Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung in München entwickelten Zuckerrüben-Wachstumsmodells in das CANDY-System. Damit wird es möglich, die Wirkung von Wasserstress als ein wesentlich ertragsbestimmendes Moment zu quantifizieren.

Alle Modellierungsarbeiten benötigen experimentelle Grundlagen. Dauerversuche sind ein wichtiges Instrument, um Informationen über langsam verlaufende Veränderungen von Bodeneigenschaften wie dem Humusvorrat zu gewinnen. Um eine noch breitere Datenbasis für die Modellierung nutzbar zu machen, beteiligt sich das UFZ an einem EU-Projekt, in dem die Ergebnisse aus 25 Dauerversuchen in verschiedenen europäischen Ländern in einer Datenbank gesammelt werden.

WISSENSWERTES

EuroSOMNET
(European Soil Organic Matter Network)

Im EU-Projekt SOMNET wird eine Datenbank zum Einfluss globaler Umweltveränderungen auf die organische Bodensubstanz aufgebaut. Europaweit sind Forschungsinstitute wie das UFZ, die Dauerversuche durchführen und die Dynamik organischer Bodensubstanz modellieren, in das Netzwerk eingebunden.

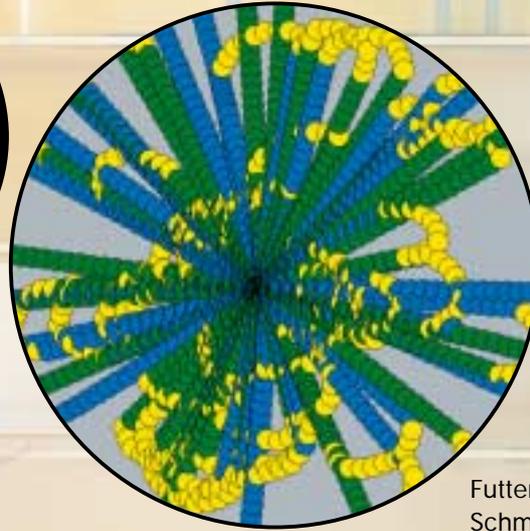
<http://www.bdf.ufz.de/SOMNET>

Internet-Angebot

<http://www.umweltministerium.bayern.de/bereiche/boden/bbodschg.pdf>



Ameisenlebensraum in der Namibwüste

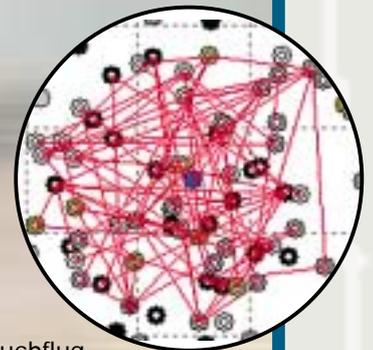


Futtersuchflug eines Schmetterlings

Die ästhetische Seite der Ökologischen Modellierung



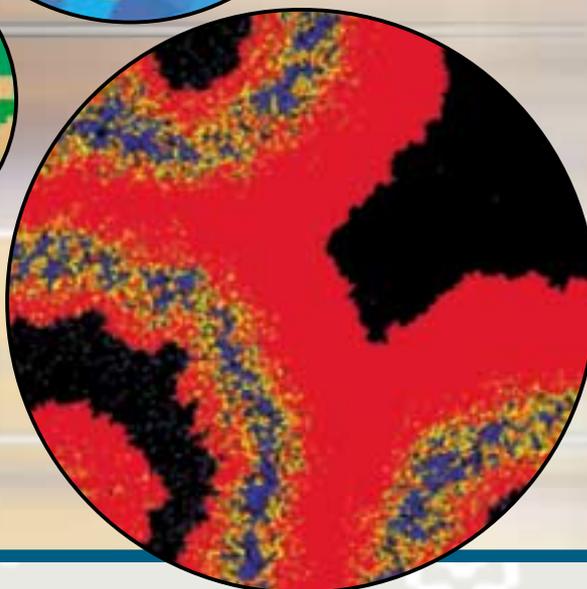
Zwei Savannen-Grasarten unter Konkurrenz



Blumensuchflug einer Fledermaus



Buchenurwald-Dynamik



Räuber/Beute-Dynamik

10
JAHRE

IM NÄCHSTEN MAGAZIN



10 Jahre UFZ – Forschen für die Umwelt



UFZ

UFZ

UFZ

| | | | |
|------------------------|--|---|------------|
| | | | Impressum: |
| HERAUSGEBER | | UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Mitglied der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) | |
| REDAKTION | | Dr. Reinart Feldmann, Doris Böhme | |
| GESTALTUNG | | WOHLFAHRT | |
| DRUCK UND VERARBEITUNG | | Messdruck Leipzig GmbH | |

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige Verwendung
nur nach vorheriger Absprache mit dem UFZ gestattet.

UFZ Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH im Überblick

Das UFZ – gegründet im Dezember 1991 – beschäftigt sich als erste und einzige Forschungseinrichtung der Hermann von Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren (HGF) ausschließlich mit Umweltforschung. Das Zentrum hat zur Zeit rund 650 Mitarbeiter. Finanziert wird es zu 90% vom BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung), der Freistaat Sachsen und das Land Sachsen-Anhalt beteiligen sich mit jeweils fünf Prozent.

Umweltforschung heute verlangt Interdisziplinarität und Flexibilität. Die Großwetterlage im Umweltbereich hat sich geändert, denn nicht Spezialisierung und Akademisierung, sondern Anwendungsbezug und Interdisziplinarität sind die Charakteristika dieser Forschung, so auch des Umweltforschungszentrums Leipzig-Halle und der HGF insgesamt.

Gegründet mit Blick auf die stark belastete Landschaft des Mitteldeutschen Raumes ist das UFZ heute ein anerkanntes Kompetenzzentrum für die Sanierung und Renaturierung belasteter, bzw. die Erhaltung naturnaher Landschaften – nicht nur für diese Region. Die Umweltforschung am UFZ richtet sich zunehmend an globalen Problemen und Fragestellungen aus und präsentiert sich international; zu Osteuropa, Nord- und Südamerika und dem südlichen Afrika bestehen enge Forschungskontakte.

Aufbauend auf einer fundierten wissenschaftlichen Basis, wird in interdisziplinären Verbundprojekten die landschaftsorientierte, naturwissenschaftliche Forschung eng mit der Umweltmedizin, den Sozialwissenschaften, der ökologischen Ökonomie und dem Umweltrecht verbunden. Kulturlandschaften, also vom Menschen genutzte und veränderte Landschaften, mit ihren typischen terrestrischen und aquatischen Lebensgemeinschaften sollen nachhaltig gestaltet werden. Voraussetzung ist das Verstehen dieser hochkomplexen, vernetzten und dynamischen Systeme, um die Auswirkungen anthropogener Eingriffe wie Tagebauflutungen, Flussregulierungen oder die Zerschneidung der Landschaft vorhersagen bzw. abschätzen zu können. Aus diesem Grund nehmen die Entwicklung Geographischer Informationssysteme, die ökologische Modellierung, das Umweltmonitoring und die Biodiversitätsforschung breiten Raum in den Arbeiten des UFZ ein.

Das Umweltforschungszentrum setzt bei der Renaturierung geschädigter Landschaften immer mehr auf die Selbstheilungsmechanismen der Natur. Mikroorganismen eröffnen neue Möglichkeiten in der Entwicklung innovativer Biotechnologien für die Umwelt, zum Beispiel bei der in situ-Sanierung kontaminierter Grundwässer oder der Synthese neuer, umweltfreundlicher Wert- und Werkstoffe.



UFZ-UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM
Leipzig-Halle GmbH / Permoserstraße 15 / 04318 Leipzig

Telefon: 0341/ 235 2278
Fax: 0341/ 235 2649
e-mail: feldmann@pro.ufz.de
Internet: <http://www.ufz.de>