



Überlebensvorteil Vielfalt

1992 wurde in Rio de Janeiro mit der UN Convention on Biological Diversity der erste völkerrechtliche Vertrag unterzeichnet, der den Umgang mit der Natur umfassend

zu regeln versucht. Bis zum Jahr 2010 soll der Verlust an biologischer Vielfalt signifikant begrenzt werden. Vom 19. bis 30. Mai 2008 kommen Regierungsvertreter aus aller Welt in Bonn zur **9. UN-BIODIVERSITÄTSKONFERENZ** zusammen, um die Ergebnisse ihrer bisherigen Bemühungen vorzustellen. Welche Bedeutung Biodiversität für die Ökosysteme auf unserer Erde hat, wollen Wissenschaftler des **MAX-PLANCK-INSTITUTS FÜR BIOGEOCHEMIE** in Jena herausfinden.

cen, die in Jahrhunderten herangezüchtet wurden, verschwinden – und mit ihnen genetische Anlagen, die unter sich verändernden Umweltbedingungen einmal überlebenswichtig sein könnten. So sind allein in Asien in den vergangenen Jahren, sei es aus Nachlässigkeit oder weil den Bauern die Mittel zu ihrer Erhaltung fehlen, 70 000 Reisarten verloren gegangen.

Aber es trifft nicht nur Nutzpflanzen: Durch Flächenumwandlungen für die Landwirtschaft, den Raubbau an Wäldern oder die zunehmende Verstädterung verändert der Mensch Landschaften und Ökosysteme – und verdrängt dabei eine Vielzahl von Tier- und Pflanzenarten. Die natürliche Artensterberate liegt zwischen einer und drei Spezies pro Jahr, sie dürfte durch menschliche Eingriffe inzwischen auf das Tausendfache gesteigert worden sein. Wissenschaftler schätzen das Artensterben heute auf eine bis 130 Spezies pro Tag! Und das vor dem Hintergrund, dass bisher 1,75 Millionen Arten beschrieben wurden, tatsächlich aber geschätzte 14 Millionen Arten auf unserem Planeten existieren.

Jede Art ist eingebunden in ein komplexes Netzwerk von Wechselwirkungen mit der belebten und unbelebten Umwelt. Wir bezeichnen dieses komplexe Gefüge als Ökosystem. Selbst der Ausfall nur einer einzigen Art bedeutet eine strukturelle Veränderung. Das verbliebene Netzwerk orientiert und organisiert sich neu – allerdings mit unterschiedlichen Folgen. Denn die Arten in einem Ökosystem sind nicht gleich wichtig: Bestimmte Arten können einen entscheidenden Einfluss auf Struktur und Stabilität des Ökosystems haben; andere können ohne spürbare Folgen verschwinden. Arten lassen sich also nicht beliebig austauschen.

Die vielfältigen Interaktionen zwischen den Individuen bewirken, dass ein Ökosystem mehr ist als die Summe seiner Teile. Doch nach wie vor ist der Zusammenhang zwischen biologischer Vielfalt und den Eigen-

schaften und Prozessen in einem Ökosystem kaum verstanden – ein erschreckendes Defizit angesichts des weltweit zu beobachtenden rasanten Verlustes an biologischer Vielfalt. In den vergangenen Jahrzehnten wurde die ökologische Forschung daher intensiviert. Die Schlüsselfragen dabei lauten: Macht es einen Unterschied für das Funktionieren von Ökosystemen, ob viele oder wenige Arten existieren? Hat die Anzahl von Arten „an sich“, das heißt, unabhängig von der Identität der beteiligten Arten, einen Einfluss auf Ökosystemprozesse? Lassen sich Arten, die ähnliche funktionelle Merkmale besitzen oder in Ökosystemen ähnliche Funktionen erfüllen, untereinander austauschen oder hat das Auswirkungen auf die Art und Weise, wie diese Systeme arbeiten?

ARTENVIELFALT SORGT FÜR MEHR PRODUKTIVITÄT

Erste profunde Ergebnisse lieferten das 1994 etablierte und bis heute fortgeführte Biodiversitätsexperiment *Cedar Creek* in den USA und das zwischen 1996 und 1999 durchgeführte europäische Forschungsprojekt *BIODEPTH (Biodiversity and Ecosystem Processes in Terrestrial Herbaceous Ecosystems)*. Im *BIODEPTH*-Projekt wurden an acht Standorten innerhalb Europas unter höchst unterschiedlichen Boden- und Klimaverhältnissen Wiesenparzellen nach gleichem Muster angelegt und verschiedene heimische Pflanzenarten ausgesät. Dabei variierten die Forscher sowohl die Zahl als auch die Zusammensetzung der Arten und erfassten über drei Jahre hinweg eine Reihe von Ökosystemeigenschaften und -prozessen – insbesondere die Produktivität. Tatsächlich zeigten die Daten eine signifikant positive Beziehung zwischen der Anzahl an Pflanzenarten und der Produktion von Biomasse. Wie dieser Effekt zustande kommt, wissen die Forscher noch nicht.

Ein Mechanismus aber, der dabei eine wichtige Rolle spielt, ist die sogenannte Nischendifferenzierung:

Am 26. Februar dieses Jahres wurde im Permafrost Spitzbergens ein Speicher für vier Millionen Samenkörner eröffnet. Diese Arche Noah der Nutzpflanzen, 800 Kilometer vom Nordpol entfernt, soll Biodiversität für die kommenden Generationen sichern. Denn immer mehr pflanzengenetische Ressour-

Foto: Carlo



Im Jena-Experiment wurden auf einer Fläche von zehn Fußballfeldern mehr als 480 Wiesenparzellen verschiedener Artzusammensetzung angelegt.



Die ausgesäten Wildpflanzen stammen aus einem Pool von 60 typischen Arten, die vier verschiedenen funktionellen Gruppen zugeordnet werden.

So wächst mit zunehmender Artenzahl auch die Vielfalt an morphologischen und physiologischen Eigenschaften. Diese Merkmalsunterschiede zwischen den Arten führen dazu, dass die vorhandenen Ressourcen wie Licht, Wasser und Nährstoffe effektiver genutzt werden. Wir möchten das an einem Beispiel näher erläutern: Wächst nur eine einzige Art im Ökosystem, so wurzeln alle Pflanzen in derselben Bodentiefe und konkurrieren um das dort verfügbare Wasser. Verschiedene Pflanzenarten wurzeln dagegen unterschiedlich tief und nutzen dadurch das gesamte

Wasserangebot besser aus. Aufgrund der Nischendifferenzierung steigt somit die Leistungsfähigkeit der gesamten Lebensgemeinschaft.

Im Frühjahr 2002 haben Forscher des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie im Saaletal bei Jena ein Projekt gestartet, das die bisherigen Biodiversitätsversuche an Größe deutlich übertrifft: Auf einer Fläche von zehn Fußballfeldern wurden mehr als 480 Wiesenparzellen verschiedener Artzusammensetzung angelegt. Die ausgesäten Wiesenpflanzen stammten aus einem Pool von 60 typischen Arten, die vier verschiedenen funktionellen

Gruppen zugeordnet werden – das sind Artgruppen mit ähnlichen Eigenschaften, die möglicherweise erheblich mehr Einfluss auf die Prozesse im Ökosystem haben als die Artenvielfalt per se.

Im Jena-Experiment, das unter anderem in Kooperation mit dem Institut für Ökologie der Friedrich-Schiller-Universität durchgeführt wird, werden nicht nur die Kohlenstoffspeicherung und erstmals der gesamte Stickstoff- und Phosphorkreislauf quantifiziert, sondern auch die Wechselwirkungen untersucht zwischen den einzelnen Pflanzenarten und den verschiedenen trophischen Ebenen (Nahrungsebenen), also Pflanzen, Wirbellosen und Mikroorganismen. Arbeitsgruppen aus den Bereichen Hydrologie, Biogeochemie, Bodenkunde, Botanik, Zoologie und Agrarökologie arbeiten dabei eng zusammen.

BIOTREE – FORSCHUNG MIT LANGZEITPERSPEKTIVE

Erste Ergebnisse zeigen: Artenreiche Wiesen sind nicht nur produktiver, im Boden artenreicher Wiesen wird auch mehr Kohlenstoff gespeichert. Beides – die Produktion einer höheren Biomasse mittels Fotosynthese sowie die erhöhten Kohlenstoffvorräte des Bodens – entzieht der Atmosphäre das Treibhausgas Kohlendioxid und trägt auf diese Weise zur Stabilisierung des Klimas bei.

Alle bisherigen Experimente vereint die Tatsache, dass sie an schnell wachsenden und kleinen Modellökosystemen durchgeführt werden. Es überrascht nicht, dass es bisher keine derartigen Untersuchungen an Wäldern gibt, obwohl Wälder eine Reihe wichtiger Funktionen erfüllen, wie etwa Kohlenstoffspeicherung, Grundwasserschutz oder Holzproduktion. Denn Biodiversitätsversuche mit Gehölzen müssen sich zwangsläufig über sehr lange Untersuchungszeiträume erstrecken – Bäume benötigen schließlich etliche Jahre, bis sie einen geschlossenen Waldbestand bilden.

Die spannende Frage lautet, ob Wälder letztendlich ähnlich funkti-

onieren wie Wiesen. Wachsen artenreiche Wälder besser als artenarme und nehmen sie entsprechend mehr Kohlendioxid auf? Mit BIOTREE (englisch für *BIOdiversity and ecosystem processes in experimental TREE stands*) haben wir am Jenaer Max-Planck-Institut im Jahr 2003 ein weltweit einmaliges Langzeitexperiment gestartet, um die Wirkung von Biodiversität auf die Ökosystemprozesse in Wäldern zu untersuchen. An drei Standorten mit unterschiedlichen geologischen und klimatischen Bedingungen wurden auf insgesamt 70 Hektar Brachland 200000 Setzlinge gepflanzt.

Bei der Anpflanzung der 20 bis 60 Zentimeter großen Bäumchen bereitete uns der extrem trockene Sommer 2003 allerdings erhebliche Probleme: Bei den sehr kleinen Kiefern sämlingen hatten wir an einem der drei Standorte einen Totalausfall. Und auch bei Rotbuchen und Traubeneichen starben zwei Drittel der neu gesetzten Pflanzen. Leichter zu etablieren waren dagegen Bergulme, Winterlinde, Esche, Vogelbeere und die drei verschiedenen Ahornarten – hier betrug die Verluste weniger als 20 Prozent. Deshalb mussten wir in den folgenden Jahren noch einmal zum Spaten greifen, um Bäume nachzupflanzen und sicherzustellen, dass der Anwuchserfolg in jeder Versuchsfläche bei etwa 85 Prozent liegt.

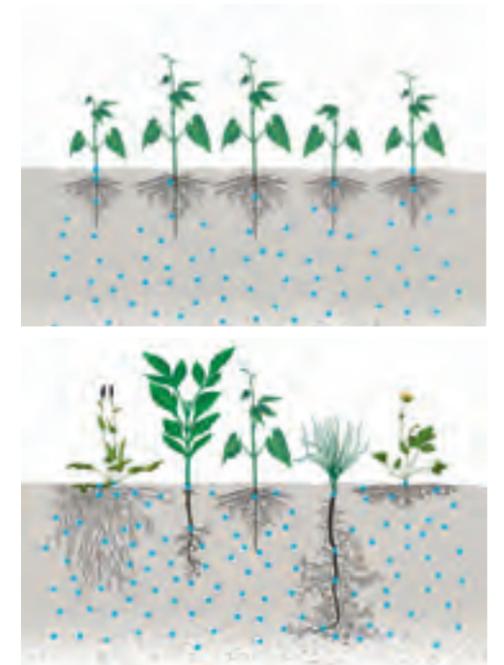
Auf zwei der drei Versuchsflächen variiert die Zahl der Baumarten: Auf den Flächen mit kalkhaltigen Böden sind es eine, zwei, vier oder sechs, auf den Flächen auf Buntsandstein

eine, zwei, drei oder vier Arten. Alle theoretisch möglichen Kombinationen aus dem Artenpool wurden realisiert. Im Gegensatz zu den Versuchen im Grünland besteht bei der Pflanzung von Bäumen die Möglichkeit, die räumliche Anordnung der Arten innerhalb einer Teilfläche zu variieren. Im Prinzip können Baumindividuen zufällig verteilt, in regelmäßiger Anordnung oder in kleineren Gruppen vorkommen. In unserem Versuchsdesign haben wir jede Art auf acht mal acht Meter großen Quadraten gruppenweise angepflanzt, um zu vermeiden, dass konkurrenzschwache Arten frühzeitig verdrängt werden. Damit wollten wir sicherstellen, dass die geplanten Diversitätsstufen tatsächlich erfolgreich etabliert werden.

Die Größe der Quadrate richtet sich nach dem durchschnittlichen Kronendurchmesser ausgewachsener Bäume. In einem in rund 100 Jahren ausgewachsenen Baumbestand soll jedes Quadrat schließlich von einem Individuum besetzt sein. Schon die Anlage dieses Versuchs bedurfte also eines Denkens und Planens in zeitlichen Dimensionen, wie sie für die Forschung eher ungewöhnlich sind. Am dritten Versuchsstandort blieb die Artenzahl konstant. Hier wurden vier Baumarten miteinander gemischt, die verschiedenen funktionellen Gruppen angehören.

BAUMWUCHS MIT ERINNERUNGSEFFEKTEN

BIOTREE bietet eine einmalige Gelegenheit, die Entwicklung von Diversitäts-Funktions-Beziehungen in Wäldern über sehr lange Zeiträume zu verfolgen. In Abständen von mehreren Jahren werden wir verschiedene Parameter erfassen. Dazu gehören: Wachstum der Baumarten, Kohlenstoffspeicherung in der Holzbiomasse, Bestandsstruktur und Populationsdynamik, Entwicklung und



Pflanzen derselben Art wurzeln alle in derselben Bodentiefe (oben). Verschiedene Pflanzenarten wurzeln dagegen unterschiedlich tief und nutzen das vorhandene Wasser besser aus. Die Forscher bezeichnen das als Nischendifferenzierung.

Produktivität der Bodenvegetation, Nährstoffhaushalt in Pflanzen und Boden, Wasserbilanz und Streuabbau. Durch künstliche Schattendächer wollen wir herausfinden, auf welche Art und Weise Bäume um Licht konkurrieren und wie sie ihre Ressourcen, etwa Energiespeicherprodukte wie Stärke, baumintern umverteilen.

Jeder weiß aus eigener Anschauung, dass jeder Baum stets die wichtigsten Merkmale seiner Art zeigt, seine Individualität jedoch als Reaktion auf seine Umwelt entwickelt. Eine frei stehende Fichte sieht deshalb ganz anders aus als eine, die im Gedränge des dichten Waldbestands aufgewachsen ist. Da Holzgewächse einen Großteil ihrer Biomasse in langlebige und nicht reversible Strukturen investieren, können sie nicht so flexibel auf aktuelle Umweltveränderungen reagieren, sondern sind in ihrem Wuchs von ihrer gesamten Lebensgeschichte geprägt.

Ein Paradigma der Biodiversitätsforschung lautet, dass artenreiche Bestände stabiler sind als artenarme. Auch bei jungen Aufforstungen sollten demnach einige Schadfak-



FOTO UND ABB.: MPI FÜR BIOGEOCHEMIE (3)

Die Forscher messen den Heu-Ertrag: Areale mit geringerer pflanzlicher Diversität liefern weniger Biomasse.

FOTOS: MPI FÜR BIOGEOCHEMIE (2)



Im Rahmen von BIOTREE wurden mehr als 200 000 Setzlinge gepflanzt. Ihre Qualität und die Behandlung beim Einsetzen waren maßgeblich für den Anwucherfolg.

toren wie Schermaus- und Hasenfraß weniger Schäden in artenreichen Beständen anrichten als in Monokulturen. Wir haben deshalb den Anwucherfolg von 19 verschiedenen Baumarten im BIOTREE-Experiment in den ersten zwei Jahren nach der Anpflanzung kontrolliert. Dabei konnten wir bis zu 20 Prozent der Ausfälle einer Baumart auf Schermausschäden zurückführen. Diese kleinen Nager graben weit reichende Gänge meist bis di-

rekt unter die Pflanzen und ernähren sich besonders gern von den Wurzeln junger Bäume. Die untersuchten Baumarten waren unterschiedlich stark betroffen: Die größten Schäden durch Schermäuse haben wir an allen Standorten bei Eichen festgestellt, während Winterlinden so gut wie gar nicht betroffen waren.

WAS DEN STÖRFaktor MAUS AUSSCHALTET

Nun stehen im BIOTREE-Experiment – bedingt durch die gruppenweise Anpflanzung der Baumarten – kleinflächig gemischt Arten mit hoher Anfälligkeit gegenüber Verbiss- und Schermausschäden neben weniger anfälligen Baumarten. Und interessanterweise waren sowohl die Schermaus- als auch die Hasenschäden nicht zufällig über die Versuchspartellen verteilt, sondern deutlich abhängig von der Baumartenzahl in der jeweiligen Versuchspartelle. Die Flächen mit einer Mischung aus sechs Baumarten hatten geringere Schäden pro Baumart als die Flächen mit geringerer Baumartenzahl. Dieser Befund überrascht umso mehr, wenn man die vielen Einflussfaktoren bedenkt, die den Anwucherfolg der Bäume bestimmen. Er bestätigt andere Ergebnisse, die ebenfalls darauf hindeuten, dass Ökosysteme besser funktionieren und auf Störungen flexibler reagieren, wenn mehr Arten existieren.

In den beschriebenen Versuchen haben wir Modellökosysteme geschaffen, die einheitliche Standortbedingungen und eine einheitliche Geschichte zur Landnutzung besitzen. Damit können wir diese beiden Faktoren als Einflussgröße ausschalten und die Zusammenhänge aufdecken zwischen den von uns angelegten unterschiedlichen Stufen biologischer Diversität und den Ökosystemprozessen. Ein Vergleich dieser Modellökosysteme mit natürlichen Systemen ist jedoch nur teilweise möglich. Deshalb soll mit den im Jahr 2006 eröffneten „Bio-

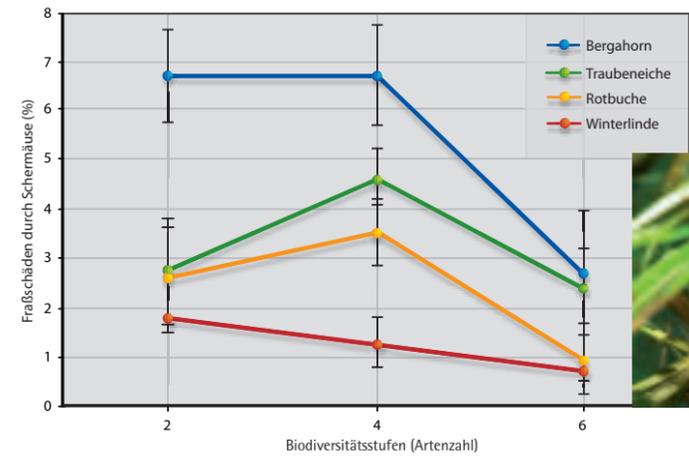
diversitäts-Exploratorien“ auch die Artenvielfalt in bestehenden natürlichen Landschaften untersucht werden.

Die Exploratorien wurden in drei 100 Quadratkilometer großen Beispielregionen im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin (Brandenburg), im und um den Nationalpark Hainich (Thüringen) und im Biosphärengebiet Schwäbische Alb (Baden-Württemberg) eingerichtet. In einer Langzeitstudie wollen wir in Zusammenarbeit mit mehr als 30 verschiedenen Forschungseinrichtungen herausfinden, wie Änderungen in der Landnutzung und deren Intensität die Biodiversität beeinflussen. Dazu müssen wir die komplexen Wechselwirkungen zwischen Standort- und Klimafaktoren, Tieren, Pflanzen, Mikroorganismen und der menschlichen Nutzung erfassen.

Das Artensterben und die dafür verantwortlichen Prozesse des Klimawandels und der Zerstörung der natürlichen Lebensräume sind globale Phänomene. Uns interessiert daher die Frage, ob die Erkenntnisse aus der experimentellen Forschung auch auf der größten Skala, das heißt, für das gesamte Erdsystem, von Bedeutung sind. Die ersten Erdsystemmodelle zur Vorhersage des Klimawandels haben nur zwischen Meeres- und Landoberfläche unterschieden. Erst später erkannte man die entscheidende Bedeutung der Pflanzen auf den Kontinenten und in den Ozeanen.

Heute unternehmen wir erste Schritte, um auch die pflanzliche Vielfalt in den globalen Klimamodellen abzubilden. Dafür müssen wir jedoch zunächst den funktionellen Reichtum der Pflanzen erfassen. Im Rahmen des internationalen TRY-Projekts sammeln Wissenschaftler daher die Merkmale möglichst vieler Pflanzenarten. Die Datenbank umfasst mittlerweile Einträge von mehr als 30 000 Arten – entsprechend etwa zehn Prozent der Flora unserer Erde.

Erste Auswertungen zeigen, dass einzelne funktionelle Artengruppen und ihre besonderen Eigenschaften



Verschiedene Baumarten sind unterschiedlich anfällig für Fraßschäden durch Schermäuse. Flächen mit einer Mischung aus sechs verschiedenen Baumarten wiesen die geringsten Schäden auf.

die Stoffkreisläufe des Erdsystems entscheidend beeinflussen können. So brennt es etwa im borealen Wald Sibiriens häufiger als in Kanada, weil die jeweils dominierenden Baumarten unterschiedliche Feueranpassungen besitzen. Tropische Regenwaldarten auf jungen Böden weisen sehr viel höhere Fotosyntheseraten auf als solche auf alten, ausgelaugten Böden. Das hat bedeutende Konsequenzen für den Wasser- und Kohlenstoffkreislauf des gesamten Amazonasbeckens. Die Rate, mit der Kohlenstoff im Totholz der Wälder gespeichert werden kann, hängt entscheidend von der Baumart und ihren Holzeigenschaften ab.

PFLANZLICHE VIelfALT IM KLIMAMODELL

Natürlich werden wir nie in der Lage sein, die Dynamik und den Einfluss von 350 000 Pflanzenarten in einem Klimamodell zu berücksichtigen. Aber wir können zumindest die wichtigsten Akteure ausmachen und

verstehen, wie sie einerseits Ökosystemprozesse beeinflussen und andererseits auf die globalen Änderungen reagieren. Und erst wenn wir dieses Wechselspiel zwischen pflanzlicher Vielfalt und Klima verstehen, haben wir auch eine Chance auf bessere und genauere Klimavorhersagen.

Wir gehen heute davon aus, dass die Verarmung von Ökosystemen hin zu Monokulturen auf Kosten der Stabilität geht. Solche Systeme können nur einen Bruchteil der Ökosystemleistungen erbringen, die artenreiche Systeme liefern. Die Schaffung dauerhaft stabiler Ökosysteme wäre daher ein wichtiges Wirtschaftsziel. Doch selbst wenn unter konstanten und günstigen Umweltbedingungen eine große Artenvielfalt möglicherweise nicht der kritische Faktor ist, um die Ökosystemprozesse aufrechtzuerhalten – unter sich wandelnden Umweltbedingungen könnte Artenvielfalt von entscheidender Bedeutung sein.



DR. AXEL DON hat seine Doktorarbeit im Rahmen des BIOTREE-Projekts geschrieben. Jetzt befasst er sich

damit, wie man Landnutzungssysteme und ihre biogeochemischen Kreisläufe beeinflussen kann, um deren Treibhausgas-Emissionen zu verringern.



DR. CHRISTIAN WIRTH ist Leiter der Selbstständigen Nachwuchsgruppe „Organismische Biogeochemie“.

Mithilfe von Modellen und Datenbanken möchte er den Einfluss von funktioneller Pflanzendiversität auf unterschiedliche Ökosystemprozesse verstehen.



DR. CHRISTINA BECK hat Biologie in Hamburg studiert und am Max-Planck-Institut für

Biochemie in Martinsried promoviert. Seit 1998 arbeitet sie als Wissenschaftsredakteurin im Pressereferat der Max-Planck-Gesellschaft.



Durch künstliche Schattendächer wollen die Forscher herausfinden, auf welche Art und Weise Bäume um Licht konkurrieren und wie sie ihre Ressourcen baumintern umverteilen.



Der Hainich ist einer der drei Standorte für die Exploratorien. Hier installieren Zoologen Fallen zum Einfangen von Gliederfüßern, die sich als Larven im Boden entwickeln.

FOTOS: MPI FÜR BIOGEOCHEMIE (3)

GRAFIK: CHRISTOPH SCHNEIDER NACH VORLAGE DES MPI FÜR BIOGEOCHEMIE / FOTO: WILDLIFE