



Deutsche
Forschungsgemeinschaft

**Biodiversität
in der Forschung**



Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)
Geschäftsstelle: Kennedyallee 40, 53175 Bonn
Postanschrift: 53170 Bonn
Tel.: +49 228 885-1
Fax: +49 228 885-2777
E-Mail: postmaster@dfg.de
Internet: www.dfg.de

Wir danken den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der in dieser Publikation veröffentlichten Projekte für ihre Zusammenarbeit und die Bereitstellung der Daten.

Titelbild: Wolfram Lorenz, Göttingen; Abbildungen im Text: Archive BGBM, Berlin 48; Wilhelm Barthlott 11; Erwin Beck 13, 15, 17, 18; Sabine Both 3, 42; Helge Bruelheide 39, 40, 41; DFG 4; Gabriele Dröge 51; Heiko Faust 19; Alexander Fergus 36, 38; Stefan Fleck 31; Forschergruppe Jena-Experiment 34; Sebastian Fraune 44; Ingo Haas 50, 52; Thomas Knebelberger 47; Christina Lange/Thomas Bosch 43; Wolfram Lorenz cover, 23; Frank Melzner 46; Caroline Möhring 8; Andreas Mölder 29, 30; Gerald Moser 21, 24; Stephan Ott 45; Perdita Pohle 7; Ulf Soltau 14; Oliver van Straaten 9, 20, 22; Dorthe Veddele 27; Alexandra Weigelt 33, 37; Konstans Wells 25; Michael Werner 26; Doris Wolff 16.

Das vorliegende Werk wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Redakteure und Verlag für die Richtigkeit von Informationen in diesem Buch keinerlei Haftung. Die Leser werden darauf hingewiesen, dass in diesem Buch enthaltene Informationen, Daten, Abbildungen, Verfahrensdetails oder andere Punkte unbeabsichtigte Fehler enthalten können.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-527-32506-1

© 2., überarbeitete Auflage 2009, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim

Gedruckt auf -zertifiziertem Papier.

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikroverfilmung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Autorin: Caroline Möhring

Konzeption und Redaktion: Jutta Rateike, DFG

Wissenschaftliche Redaktion: Roswitha Schönwitz, DFG

Lektorat: Angela Kügler-Seifert, Stephanie Henseler, DFG

Umschlaggestaltung und Layout: Angelika Böll, Bonn

Produktion: Lemmens Medien GmbH, Bonn

Druck und Bindung: Courir-Media GmbH, Bonn

Deutsche
Forschungsgemeinschaft

**Biodiversität
in der Forschung**

DFG

Vorwort	3
Faszination und Funktion der Vielfalt Eine Einführung	7
Behutsame Nutzung für einen Hotspot? Biodiversität und nachhaltiges Management eines megadiversen Ökosystems in Südecuador	13
Jenseits der Schokoladenseite Stabilität von Randzonen tropischer Regenwälder in Indonesien – STORMA	19
Vielfalt in der Kulturlandschaft Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung	25
Versuchsdesign durch die Natur Die Bedeutung der Biodiversität für Stoffkreisläufe und biotische Interaktionen in temperaten Laubwäldern	29
Das Jena-Experiment Biodiversität bei Elementkreisläufen und trophischen Interaktionen: ein experimenteller Ansatz in einer Grünlandgemeinschaft	33
Wälder für die Wissenschaft Die Rolle einer diversen Baum- und Strauchschicht für Produktion, Erosionsschutz und Elementkreisläufe in den Subtropen Chinas	39
Heilende Erkenntnis aus dem Meer? Biodiversität auf epithelialen Oberflächen: Pathophysiologie der Interaktion von Wirt und kommensaler Flora	43
Vielfalt mit System Aufbau eines DNA-Bank-Netzwerks als Serviceeinrichtung für die wissenschaftliche Forschung in Deutschland	47



Vorwort

Die biologische Vielfalt ist eine unverzichtbare Grundlage unseres Lebens. Sie sichert nicht nur unsere materiellen Bedürfnisse, sondern erbringt wertvolle Dienstleistungen, die der Mensch von seiner Umwelt benötigt. Dazu gehören Nahrung, Kleidung, sauberes Trinkwasser und medizinische Versorgung. Sie sichert die Stabilität des Lebensraums und ist zudem eine wichtige Grundlage unserer Kultur und Zivilisation. Biodiversität bedeutet auch genetische Vielfalt und ist unsere beste Sicherung gegen Umweltveränderungen.

Wie viele Organismenarten es auf der Welt gibt, weiß niemand. Die Gesamtzahl der beschriebenen Arten wird auf 3,6 bis 112 Millionen geschätzt, derzeit spricht vieles für 10 bis 20 Millionen. Die Arten Erfassung wird heute durch die schnelle und automatisierbare Methode des DNA-barcoding erheblich vorangetrieben. Auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) fördert die Entwicklung und Anwendung dieser Technik in einem Verbundprojekt zum Aufbau eines DNA-Bank-Netzwerkes in Deutschland.

Derzeit steckt die Biosphäre jedoch in einer tiefen Krise, da die biologische Vielfalt dramatische Verluste erleidet. Nach Angaben des World Wide Fund For Nature (WWF) sind 34 000 festländische und marine Arten vom Aussterben bedroht, und die Schätzungen des täglichen Aussterbens reichen von zwei bis 130 Arten. Dieses globale Massenaussterben ist das Ergebnis lokaler Aussterbeereignisse und führt dazu, dass die Vielfalt der lokalen Ökosysteme abnimmt, lange bevor diese Arten endgültig ausgestorben sind. Die Bedeutung und der Wert der Biodiversität sind daher von den mittlerweile über 180 Unterzeichnerstaaten im Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity – CBD), das 1992 bei der Umweltkonferenz in Rio de Janeiro verabschiedet wurde, anerkannt worden.

Die größten Probleme der Biosphäre sind heute die weltweit zu beobachtenden Landschaftsveränderungen durch den Menschen, die Klimaveränderungen und der damit einhergehende Verlust an bio-



Professor Dr.-Ing. Matthias Kleiner

logischer Vielfalt. Alle diese Veränderungen werden unter dem Begriff „Global Change“ zusammengefasst und stehen in einer wechselseitigen Beziehung zueinander, über deren Art und Ausmaß es jedoch nur wenig gesichertes Wissen gibt. Insbesondere die Rolle der Biodiversität in diesem Wirkungsdreieck ist noch weitgehend unverstanden.

Grundsätzlich kann man drei verschiedene Aspekte der biologischen Vielfalt unterscheiden: erstens Biodiversität als Produkt der Evolution, die die Vielfalt der Populationen und Arten hervorgebracht hat und ständig weiterentwickelt, zweitens Biodiversität als Ressource für den Menschen und drittens Biodiversität als Grundlage für das Funktionieren von Ökosystemen. Dieser ökosystemare Aspekt ist besonders komplex, denn hier wird die funktionelle Konsequenz von Änderungen in der Biodiversität auf verschiedenen Organisationsstufen betrachtet. Diese reichen von den Genen der Individuen über die Artenebene bis hin zur Vielfalt der Lebensgemeinschaften und der Wechselwirkungen zwischen Organismen.

Hier müssen auch verschiedene räumliche und zeitliche Dimensionen und eine Vielzahl von Einflussgrößen berücksichtigt werden, zu denen auch der Mensch gehört.

Während die wirtschaftliche Komponente der Nutzung biologischer Vielfalt ganz offensichtlich ist und durch die CBD geregelt wird, greift dieses Übereinkommen in der Lebensraumfrage noch deutlich zu kurz. Das hängt damit zusammen, dass Erkenntnisfortschritte hierzu auf der Ebene der Ökosysteme in der Regel nur sehr mühsam zu erzielen und nicht direkt wirtschaftlich gewinnbringend umsetzbar sind. Dennoch kann gerade die ökonomische Dimension die ökosystemare Ebene stark beeinflussen. Ein Beispiel hierfür ist das Geschäft mit dem Biosprit, dem riesige Flächen artenreicher Tropenwälder geopfert werden, um Monokulturen von Zuckerrohr, Ölpalmen und Mais für die Treibstoffgewinnung anzulegen.

Dass derartiges im Zeitalter der Globalisierung möglich ist, zeigt das Fehlen von gesicherten Kenntnissen über die Funktionen der Biodiversität und ihren Wert im kleinen wie im großen Maßstab. Sicher ist nur, dass mit dem beschleunigten Aussterben von Organismen nicht nur genetische Ressourcen, sondern auch Ökosystemdienstleistungen verloren gehen. Dies gilt für das verhältnismäßig artenarme Deutschland ebenso wie für die artenreichen Länder der Tropen und Subtropen. Auch die Bundesrepublik Deutschland hat sich im Übereinkommen über die biologische Vielfalt verpflichtet, Maßnahmen zur Reduktion des Artensterbens zu ergreifen. Die wichtigsten Schritte dazu sind Umweltschutz, Aufklärung der Bevölkerung und Forschung.

Eine Herausforderung für die Forschung

Eine besondere Herausforderung, vor allem für die Grundlagenforschung, stellen also die funktionellen und ökosystemaren Aspekte der Biodiversität dar. So ist im Detail noch keineswegs klar, welche der vielen Ökosystemdienstleistungen von einem artenarmen

Ökosystem verglichen mit einem artenreichen zu erwarten sind, und ob sich eine Abnahme der Vielfalt in einem Hotspot höchster Biodiversität anders auswirkt als etwa in einem System wie der Antarktis, das nur eine Handvoll Arten enthält. Beantwortet werden muss auch die Frage, wie Klimawandel und Landschaftsveränderungen die Neuentstehung und das Aussterben von Arten beeinflussen und welche Auswirkungen wiederum die Veränderung der biologischen Vielfalt auf die Landschaften, das Klima und den Menschen hat. Dies sind existenzielle Fragen zur funktionellen Bedeutung der Vielfalt.

Solche Funktionen müssen nicht nur qualitativ beschrieben, sondern auch durch Messungen und Experimente erfasst werden. Dazu sind unterschiedliche Forschungsansätze aus den Lebens- und Erdwissenschaften notwendig, aber auch aus den Humanwissenschaften. Für die Untersuchungen sind Forschungsverbünde besonders geeignet, da in ihnen die Expertise der verschiedenen Disziplinen gebündelt wird. Die Biodiversitätsforschung ist immer langfristig angelegt, da sie sich mit der Umwelt beschäftigt und Funktionen in einem Ökosystem nur über längere Zeit untersucht werden können.

Die Erkenntnis, dass Ökosystemforschung sowohl experimentelle Eingriffe in die Umwelt als auch langfristige Untersuchungen erfordert, fand in Teilen der Wissenschaft nur langsam Akzeptanz. Inzwischen werden diese Ansätze weltweit in einer eigenen Forschungsrichtung, der Global-Change-Forschung, verfolgt. Die DFG fördert mit ihren verschiedenen Instrumenten eine Reihe von international angesehenen interdisziplinären Kooperationsprojekten, die sich den Funktionen der Biodiversität widmen und experimentelle Ansätze einschließen. Sie sind für Zeiträume angelegt, die über die üblichen Laufzeiten der Förderung hinausgehen. Einige der Projekte stellen sich in dieser Broschüre vor und zeigen auch, dass das Portfolio der DFG-Programme den Besonderheiten und Bedürfnissen der Biodiversitätsforschung Rechnung tragen kann. Insbesondere mit der Einrichtung der „Biodiversi-

täts-Exploratorien“ stellt die DFG eine Plattform zur Verfügung, die eine langfristige funktionelle Biodiversitätsforschung ermöglicht. Deutschland übernimmt damit eine Vorreiterrolle im internationalen Forschungskontext.

Die Bedeutung von Datenbanken

Eines der Hauptprobleme der Biodiversitätsforschung ist die unübersehbare Fülle und Art der Daten, die bisher schon erhoben wurden oder noch erhoben werden müssen. Biodiversitätsdaten umfassen unterschiedlichste Strukturen, von der DNA-Sequenz über physiologische, morphologische, ethologische sowie populations- und gemeinschaftsökologische bis hin zu Habitatsdaten. Diese Vielfalt der Datenstrukturen erfordert auch eine Vielfalt von informationstechnischen Systemen. Internationale Ansätze zu einer normierten Datenstruktur sind vorhanden, aber die Entwicklung integrierender und miteinander vernetzbarer Datenbanken bleibt stark hinter den Bedürfnissen der Forschung zurück. Diese Datenbanken sind jedoch wichtig, um die langfristige Nutzbarkeit von Primärdaten aus Forschungsergebnissen zu sichern, etwa für Syntheseprojekte zur Beantwortung übergeordneter Forschungsfragen, aber auch zur Steigerung der langfristigen Aussagekraft von Forschungsergebnissen. Die DFG-geförderten Großprojekte haben mittlerweile alle integrierende, themenbezogene zentrale Datenbankprojekte. Eine Aufgabe für die Zukunft ist die Vernetzung dieser Datenbanken untereinander und mit den bereits bestehenden acht deutschen Biodiversitäts-Daten-Knoten. In diesem Kontext leisten nicht nur die wissenschaftlichen Programme der DFG, sondern auch das Programm Literaturversorgungs- und Informationssysteme (LIS) einen Beitrag.

Die Forderung nach besserer Datenbereitstellung war eines der wesentlichen Anliegen, das eine Gruppe von Biodiversitätsforschenden auf Einladung der Allianz der deutschen Wissenschaftsorganisationen Anfang 2008 formuliert hat. Damit verbunden war der Wunsch nach Bildung eines Forums für die deutsche Biodiversitätsforschung, um den Informationsaustausch und die Kooperation innerhalb der Wissenschaft zu verbessern, aber auch zwischen der Wissenschaft und den Forschungsförderern sowie den zuständigen Ministerien. Dieses Forum hat die Allianz als Arbeitskreis Biodiversitätsforschung unter DFG-Führung eingerichtet.

Diese Broschüre erschien in englischer Sprache zur 9. Vertragsstaatenkonferenz (COP9) zum Übereinkommen über die biologische Vielfalt, bei der im Mai 2008 rund 5000 Delegierte aus allen Ländern in Bonn über den Erhalt und die nachhaltige Nutzung der Biodiversität diskutierten. Die Forschung findet bisher in diesen Diskussionen jedoch zu wenig Gehör. Mit dieser Broschüre, die wir nun auch auf Deutsch vorlegen, will die DFG daher nicht nur ihr Interesse an der Förderung der Biodiversitätsforschung deutlich machen, sondern auch die hohe Bedeutung der Forschung für die Ziele der Biodiversitätskonvention unterstreichen. Nicht zuletzt fühlt sich die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Sinne dieses Übereinkommens auch dem Ziel verpflichtet, durch Biodiversitätsforschung zur Erhaltung einer lebenswerten Umwelt beizutragen.

Matthias Kleiner

*Professor Dr.-Ing. Matthias Kleiner
Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft*



Faszination und Funktion der Vielfalt

Eine Einführung

Sie hat Sammler zum Sammeln, Maler zum Malen, Weltreisende zu Weltreisen und Forscher zum Forschen angeregt. Die unermessliche Vielfalt des Lebendigen zieht Menschen seit jeher in ihren Bann, staunend und beschreibend zunächst, dann aber auch von dem Wunsch beseelt, eben diese Vielfalt immer besser zu verstehen. Es ist der Ursprung aller Biologie. Seit den Zeiten des schwedischen Naturforschers Carl von Linné versuchen Wissenschaftler zudem, die Vielfalt der Organismen systematisch zu erfassen und zu ordnen – ein Streben, das im vergangenen Jahrhundert indes an Bedeutung zu verlieren schien. Taxonomie und Systematik galten nun als eher altbackene und etwas angestaubte Zweige der Wissenschaft vom Leben, die sich mit Verve jenen neuartigen Verfahren verschrieb, mit denen sich die so spannenden Fragen nach den allgemeinen Funktionsprinzipien des Lebens und seiner Weitergabe erkunden ließen: der Biochemie, der Physiologie und der Genetik.

Als bahnbrechender Erfolg der Lebenswissenschaften konnte dann tatsächlich die Entdeckung des

Auch ein Blick auf den Waldboden führt uns zu der Frage: Ist Biodiversität schlicht eine Laune der Natur – oder gibt es einen Sinn dahinter?



universellen genetischen Codes gefeiert werden, jenes Schlüssels für die Weitergabe von Erbinformationen, der in gleicher Weise für alle Lebewesen gilt. Dieses einheitliche genetische Alphabet mit vier Basenmolekülen als Buchstaben erlaubt es zugleich, die unfassbar vielen verschiedenen Wörter, Sätze und Kapitel im großen Buch des Lebens zu schreiben. Zählt es doch gerade zu den Charakteristika der belebten Natur, dass sie stets neue Formen hervorbringt, erfolgreiche und weniger erfolgreiche, seltene und häufige, bewährte und vergängliche. Bei der Suche nach den grundlegenden Gesetzen der Natur freilich blieb der Blick lange Zeit so sehr auf das Einheitliche und Allgemeingültige gerichtet, dass Vielfalt, Abwechslung und Variation fast wie ein störendes Rauschen, eine Abweichung von der Norm betrachtet wurden. Zu einem ernsthaften Thema der Wissenschaft wurde die Beschäftigung mit der Vielfalt des Lebens, der Biodiversität, erst wieder in den vergangenen beiden Jahrzehnten. Dazu trug nicht zuletzt die aufrüttelnde Erkenntnis bei, dass diese Vielfalt in einer sich wandelnden Welt massiv bedroht ist und dramatisch schwindet.

Inzwischen ist Biodiversität zu einem Schlagwort geworden, das in vielen Zusammenhängen auftaucht – und doch oft vage bleibt. Denn Biodiversität oder biologische Vielfalt umfasst viele Aspekte, die in die Definitionen dieses Begriffs einfließen. Zum einen kann Biodiversität auf unterschiedlichen Ebenen betrachtet werden: für Erbanlagen oder Gene, für Individuen, Arten und höhere systematische Einheiten und schließlich für Ökosysteme, Lebensräume und ganze Landschaften. Zum anderen lässt sich Biodiversität auf verschiedenen Skalen definieren: innerhalb begrenzter Flächen, zwischen verschiedenen Flächen oder für ganze Regionen. Zum Dritten wird Biodiversität als Maß auf die bloße Anzahl, auf die Verteilung oder auf die Unterschiedlichkeit der betrachteten Einheiten bezogen. Und schließlich wird der Begriff auch als Maß für die Komplexität von Interaktionen verwandt, für das vielfach verwobene Netz von Beziehungen und gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt.

Dem Menschen kommt dabei eine besondere Rolle zu, sind die von ihm gesponnenen Fäden in diesem Netz doch besonders dick und beeinflussen oft das gesamte Geflecht. Die Tatsache, dass Biodiversität zum viel genutzten Schlagwort wird, bedeutet – positiv gewendet – auch, dass wir uns dieser Rolle bewusst geworden sind und die Verantwortung übernehmen. Aus solchem Geist heraus entstand das Übereinkommen zum Schutz der biologischen Vielfalt (Convention on Biological Diversity – CBD), das 1992 auf der Weltumweltkonferenz in Rio de Janeiro verabschiedet wurde. Es ist das erste internationale Regelwerk, das alle Elemente der belebten Umwelt in den Schutz einbezieht und ihn zugleich mit der nachhaltigen Nutzung biologischer Ressourcen durch den Menschen verknüpft. Damit geht die Konvention weit über die Inhalte früherer Abkommen zum Umwelt- und Artenschutz hinaus wie etwa die Konvention über wandernde Tierarten (CMS) oder das Washingtoner Artenschutzübereinkommen (CITES). 189 Staaten und die Europäische Union sind dem Abkommen bislang beigetreten und haben sich damit verpflichtet, die Bestimmungen der Konvention in nationales Recht zu übertragen.

Offene Fragen und die Rolle der Wissenschaft

Viel wird seither über mögliche Formen der Umsetzung, die sich daraus ergebenden Pflichten und die ökonomischen Folgen diskutiert. Ein wichtiger Aspekt allerdings droht dabei in den Hintergrund zu geraten: Erste und unabdingbare Voraussetzung für einen effektiven Schutz und eine nachhaltige Nutzung ist ohne Zweifel, dass man die biologische Vielfalt kennt und ihre funktionellen Zusammenhänge versteht. Hier ist die Wissenschaft gefordert. Denn noch sind viele Fragen offen, kennt man nur einen Teil der unermesslich vielen Spielarten des Lebendigen und hat gerade erst begonnen, die vielfach verwobenen Wechselbeziehungen zwischen ihnen zu erfassen und zu verstehen.

Worin liegt der tiefere Sinn und Zweck der Biodiversität? Sind artenreichere Lebensgemeinschaften



Wie und warum konnte sich gerade in den Tropen eine überwältigende Artenvielfalt entwickeln? Für Forscher ist diese Frage nach wie vor eine enorme Herausforderung.

tatsächlich stabiler, wie oft gemutmaßt wird? Können sie flexibler auf veränderliche Umweltbedingungen reagieren? Gibt es in hochdiversen Ökosystemen so etwas wie Redundanz durch Arten, die gleiche Funktionen innerhalb des Systems übernehmen? Oder hat jede einzelne Art ihren festen Platz, ist unersetzlich innerhalb des Gefüges? Sind artenreichere Gemeinschaften produktiver? Legen sie Kohlenstoff effektiver fest und bremsen so den Klimawandel? Oder sind moderne Hochleistungsorten ihnen in dieser Hinsicht überlegen? Wie wirkt sich ein größerer Artenreichtum der Pflanzen auf den Wasserhaushalt und die Nährstoffkreisläufe aus? Weisen Vegetationsformen mit größerer Vielfalt an Pflanzen auch einen größeren Artenreichtum bei anderen Organismen auf? Hängen die Dienstleistungen der Ökosysteme für die Umwelt

von ihrer Biodiversität ab? Geht es im Konfliktfall um die Erhaltung von Arten oder von Funktionen? Leicht ließe sich die Liste der ungeklärten Fragen verlängern – leicht zu beantworten sind sie nicht.

In der Regel entziehen sich die komplexen Gemeinschaften dem beliebtesten Instrument aller Naturwissenschaften: dem reproduzierbaren Experiment. Die vergleichende Beobachtung auf gezielt und mit Bedacht ausgewählten Flächen ist deshalb oft das Mittel der Wahl zum Erkenntnisgewinn. Das gilt speziell für die sogenannten Hotspots der Biodiversität, in denen es vielfach zunächst darum geht, die bedrohte Vielfalt der Arten überhaupt zu erkennen und zu benennen. Da sie sich vorwiegend in den tropischen und subtropischen Zonen der Erde befinden, kommt ein weiterer Aspekt hinzu. Wer biologische Ressourcen aus fremden Ländern verwendet, muss sich an strikte Regeln halten.

Auch das legt die Konvention über die biologische Vielfalt fest: Jede Nation besitzt die Eigentumsrechte an allen Organismen, die auf ihrem Territorium existieren, und an deren genetischer Information. Daraus ergibt sich, dass Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen nur mit entsprechender Erlaubnis gesammelt und untersucht werden dürfen und zu diesem Zweck Vereinbarungen mit dem Ursprungsland getroffen werden müssen, in denen ein monetärer oder nicht-monetärer Ausgleich festgelegt werden kann. Damit die Grundlagenforschung dadurch nicht behindert wird, berät die DFG die Wissenschaft schon bei der Konzeption, aber auch bei der Durchführung solcher Projekte.

Seit vielen Jahren fördert die DFG zwei derartige Vorhaben, eines in einem Regenwald in Ecuador (S. 13-18) und eines in der Randzone der indonesischen Regenwälder (S. 19-24). In beiden Fällen arbeiten deutsche Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Disziplinen eng mit Forscherinnen und Forschern aus dem Gastgeberland zusammen. In Indonesien zum Beispiel kooperieren die deutschen Wissenschaftler sowohl mit der größten Universität des Landes, dem Institut Pertanian Bogor auf Java, als auch mit der örtlichen Universitas Tadulako auf der

Insel Sulawesi, auf der die Untersuchungen stattfinden. Daraus hat sich ein intensiver wissenschaftlicher Austausch entwickelt: Gemeinsam nutzen deutsche und indonesische Forscher heute die wissenschaftlichen Einrichtungen, gemeinsam veröffentlichen sie die Ergebnisse in international anerkannten, begutachteten Zeitschriften. Mehrere hundert Studierende und junge Wissenschaftler aus dem Gastgeberland haben inzwischen die Möglichkeiten einer Ausbildung genutzt, in der die Theorie durch praktische Arbeiten ergänzt wird. Viele von ihnen haben auch die Chance zu einem international anerkannten Abschluss und einer Promotion im Ausland ergriffen. Danach jedoch kehren sie gern in ihre Heimat zurück, wo attraktive Aufgaben auf sie warten.

Eine ähnlich intensive Form der Zusammenarbeit gibt es in Ecuador. Auch hier sind die Hochschulen, wie in Südamerika üblich, ausschließlich Orte der Wissensvermittlung. Forschung findet dort traditionell nicht statt. Das hat sich durch die Zusammenarbeit mit den deutschen Wissenschaftlern geändert, zum Beispiel an der Universidad Técnica Particular de Loja. Hier haben die deutschen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler ein biochemisches und ein bodenkundliches Labor eingerichtet, Lehrkräfte und Studierende zudem in die Praxis der Forschung eingeführt. Inzwischen hat die Technische Universität in Loja beschlossen, sich zu einer Lehr- und Forschungsuniversität zu erweitern – und kann damit künftig auch Dokortitel verleihen. Bislang können junge Wissenschaftler nur im Ausland promovieren.

Beobachtung und Experiment

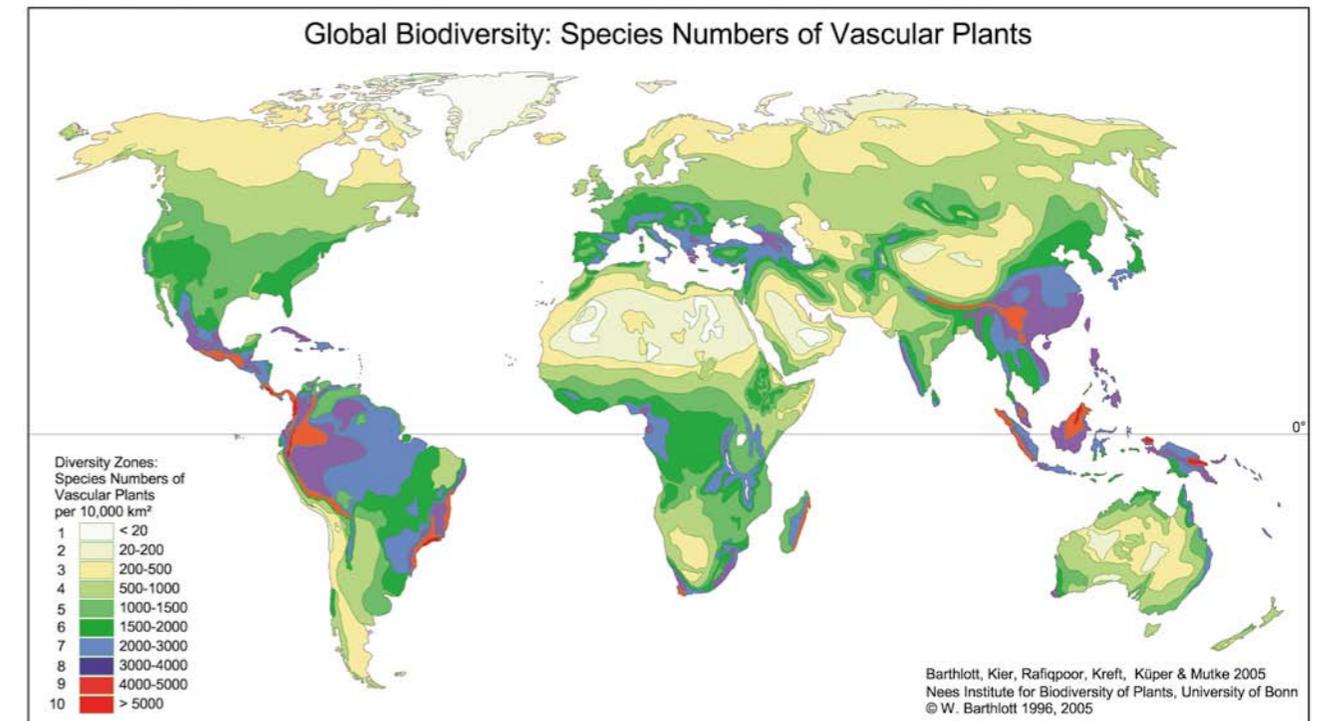
In beiden Forschungsprojekten, in Ecuador ebenso wie auf Sulawesi, spielt neben der vergleichenden auch die experimentelle Beobachtung eine Rolle. In Ecuador zum Beispiel hat man unter anderem ein aufwendiges Düngungsexperiment angelegt, in Sulawesi gar ein Dach im Wald errichtet, mit dem die Folgen von Trockenzeiten simuliert werden, die sich durch den Klimawandel häufen dürften. Damit wird nicht

nur der Übergang von der Beobachtung zum Experiment markiert, sondern auch der oftmals fließende Übergang von der reinen Grundlagenforschung zu angewandten Fragestellungen. Nachhaltige Nutzung wird schließlich nur möglich, wenn man die Grenzen der Belastbarkeit eines Systems kennt.

Auch im naturgemäß viel besser untersuchten und weit artenärmeren Deutschland bleibt die vergleichende Beobachtung ein wertvoller Zugang – etwa bei der Erkundung langlebiger und komplexer Ökosysteme wie der Wälder. Solche Untersuchungen können wertvolle Hinweise auf die Bedeutung natürlicher Bedingungen sowie der Art und Intensität der Landnutzung für Biodiversität und Ökosystemprozesse liefern. Ein vollständiges Bild ergibt sich aber erst, wenn die vergleichende Beobachtung durch experimen-

telle Untersuchungen auf benachbarten Flächen ergänzt wird. Aus dieser ebenso schlichten wie überzeugenden Überlegung heraus wurde mit Unterstützung der DFG ein weltweit bislang einmaliges System von Forschungsplattformen eingerichtet: die sogenannten Exploratorien (S. 25-28), die in einer großen Zahl an Untersuchungsflächen in Wäldern, Wiesen und Weiden Beobachtung und Experiment verbinden. In den drei exemplarischen Regionen in Deutschland mit vielseitiger und abwechslungsreicher Nutzung wurde damit eine einzigartige Infrastruktur für die funktionelle Biodiversitätsforschung geschaffen, die auf lange Sicht für unterschiedliche Fragestellungen zur Verfügung steht. Die Zusammenführung der Ergebnisse, die alle Aspekte der Biodiversität und der ökosystemaren Prozesse umfassen sollen, dürfte diesen

Biodiversität weltweit: Die roten Flächen markieren die Regionen mit der höchsten Pflanzenvielfalt.



Arbeiten in ihrer Vielfalt und Tiefe einen außerordentlichen Wert verleihen.

In einer dieser Regionen wurde mit Unterstützung der DFG ein Graduiertenkolleg eingerichtet, in dem sich junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Fragen der Biodiversität von Wäldern befassen (S. 29-32). Nach wie vor gilt diesen schwer zu erkundenden Lebensgemeinschaften die besondere Aufmerksamkeit der Wissenschaft, schreibt man ihnen doch besonders viele Wohlfahrtsfunktionen für die Umwelt zu. Dass solche Leistungen an denselben Objekten unter sehr verschiedenen Blickwinkeln messend erkundet werden, macht den speziellen wissenschaftlichen Reiz eines derartigen Graduiertenkollegs aus.

Doch auch gleichsam von der anderen Seite versuchen sich Wissenschaftler mit Unterstützung der DFG grundlegenden Fragestellungen der Biodiversität zu nähern – mithilfe eines echten Experiments in einem noch eben überschaubaren Rahmen. Für das Jena-Experiment (S. 33-38) wurden artifizielle Grünland-Ökosysteme geschaffen, in denen sich tatsächlich eine Vielzahl von Faktoren gezielt variieren und manipulieren lässt. Mit allein 60 verschiedenen Pflanzenarten auf 480 Versuchsflächen ist das Jena-Experiment bislang das weltweit größte seiner Art.

Noch größer und noch ehrgeiziger freilich ist ein Experiment, das jetzt in China beginnt: In einem subtropischen Hotspot der Artenvielfalt sollen nach einem ausgeklügelten System auf devastierten Flächen mehr als 350 000 Bäume und Sträucher so gepflanzt werden, dass sich daraus grundlegende Erkenntnisse über die Wechselwirkungen von Vielfalt und Funktion ableiten lassen (S. 39-42). Erste richtungweisende Ergebnisse dieses Experiments, das mithilfe der DFG von europäischen und chinesischen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in gleichberechtigter Kooperation angelegt wird, erhofft man sich bereits für die nächste Dekade. Auch in fünfzig oder hundert Jahren dürften Wissenschaft und forstliche Praxis noch von diesem gewaltigen Vorhaben profitieren.

Und dann gibt es da noch den exemplarischen Spezialfall eines überschaubar erscheinenden Ökosystems, für das man Vorbilder im ganz Großen sucht: Kieler Wissenschaftler fahnden in den Ozeanen der Erde unter anderem nach jenen Prinzipien, nach denen auch die hochdiverse Flora im menschlichen Darm funktioniert (S. 43-46). Die Vielfalt der Wechselbeziehungen, die unter dem Selektionsdruck der Meere entstand, lässt Mediziner nach neuartigen Verfahren suchen, mit denen sie Zivilisationskrankheiten an den Oberflächen des menschlichen Körpers effektiv bekämpfen können. Denn auch auf Haut, Lunge oder Darm des Menschen finden sich hochdiverse mikrobielle Lebensgemeinschaften mit vielfältigen Funktionen und Wechselwirkungen, die erst allmählich erkannt und verstanden werden.

Zur Unterstützung aller Ansätze, die ungeweine Vielfalt des Lebens mit modernen Verfahren zu erfassen und zu ordnen, fördert die DFG zudem eine neue Form wissenschaftlicher Sammlungen: die Einrichtung von DNA-Banken, in denen genetisches Material für lange Zeit so hinterlegt werden kann, dass die Ergebnisse von Analysen und Experimenten sich auch reproduzieren lassen (S. 47-52). Solche Einrichtungen, die nach den Kriterien der modernen Datenverarbeitung und Kommunikation angelegt werden, ermöglichen erst einen intensiven Austausch und das sinnvolle Zusammenführen von Erkenntnissen über die ungeheure Mannigfaltigkeit des Lebens.

In der Vielfalt der Fragestellungen bildet sich zugleich die Vielfalt der Förderinstrumente der DFG ab: Forschergruppe und Sonderforschungsbereich, Exzellenzcluster und Graduiertenkolleg, Sachbeihilfe und Infrastruktur-Schwerpunktprogramm – sie alle kommen in der Biodiversitätsforschung zum Tragen. Gemeinsam ist diesen Projekten, dass sie für längere Förderzeiträume angelegt sind als üblich. Denn nur dann besteht die Chance, dass man tatsächlich zu neuen Erkenntnissen gelangt über die Vielfalt des Lebens und seine funktionellen Zusammenhänge. ◀



**Behutsame
Nutzung für einen
Hotspot?**

**Biodiversität und
nachhaltiges Management
eines megadiversen
Ökosystems in Südecuador**

Sie ist tatsächlich rekordverdächtig. Die Reserva Biológica San Francisco erscheint als besonders heißer Hotspot der Artenvielfalt. Allein 98 verschiedene Arten von Epiphyten zum Beispiel hat man hier auf einem einzigen Baum gefunden. In den Kronen von sechs benachbarten Bäumen zählte man sogar 225 Arten an Blütenpflanzen und Farnen, die alle nach derselben Strategie leben: Sie wachsen auf fremdem Holz in lichtdurchfluteten Baumkronen, ohne in einen eigenen Stamm zu investieren. Und da diese Lebensweise hier weit verbreitet ist, konkurrieren sie im Geäst des tropischen Regenwaldes sowohl mit ihren Trägern als auch untereinander um das begehrte Licht.

Nicht nur die Flora, auch die Fauna präsentiert sich in einer Vielfalt, die jeden Mitteleuropäer staunen lässt und auch in globaler Sicht durchaus bemerkenswert erscheint. Mit 2396 Arten halten die Nachtfalter den – bisherigen – Weltrekord. Vögel und Fledertiere gibt es ebenfalls in ungewöhnlich großer Artenzahl. Wo also könnte man besser studieren, wie sich Viel-

Kaum zu sehen: Viele Gruppen von Insekten haben einen faszinierenden Artenreichtum und bizarre Formen der Mimikry entwickelt.



falt der Arten entwickelt und was sie für ein Ökosystem bedeutet?

Es ist jedoch mehr als der reine Wissensdrang, der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft hier zu forschen reizt. Die Anden in Ecuador gelten nicht nur als einer der heißesten Hotspots der Biodiversität, sondern auch als ein besonders gefährdeter Lebensraum. Nirgends in Südamerika wird jedes Jahr ein so großer Anteil des Waldes zerstört wie in Ecuador, und auch im weltweiten Vergleich gehört das Land zu den „Top Ten“ der Vernichtung von Tropenwald. Der Grund dafür ist nach wie vor die Armut der ländlichen Bevölkerung und ihr Streben nach besseren Lebensverhältnissen. Damit beginnt freilich ein Teufelskreis. Denn die bisherige Landnutzung zieht vielfach massive Störungen des ökologischen Gleichgewichts nach sich und führt in einer Abwärtsspirale endgültig in die Armutsfalle, weil die degradierten Landschaften nicht mehr jene Ressourcen zur Verfügung stellen können, auf die die Menschen ihre Existenz gebaut haben. Doch selbst wenn politische Entscheidungsträger sich darum bemühen, die Bedürfnisse gegenwärtiger und künftiger Generationen gegeneinander abzuwägen, fehlen ihnen oft die notwendigen Informationen über ökologische Zusammenhänge. Das gilt in besonderer Weise für so einzigartige Regionen der tropischen Anden wie jene, in der die Reserva Biológica San Francisco liegt.

Die zentrale Frage

Mit dem gegenwärtigen Projekt „Biodiversität und nachhaltiges Management eines megadiversen Ökosystems in Südecuador“ bauen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf den Ergebnissen einer Reihe von Vorläuferprojekten der vorausgegangenen zehn Jahre auf. In dem Wissen, dass die Artenvielfalt einer der prägenden ökologischen Faktoren der Region ist, lautet ihre zentrale Frage nun: Lassen sich auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse Systeme einer nachhaltigen Landnutzung entwickeln, die die

Fülle der Organismenarten erhalten, auf der die ökosystemaren Prozesse und ihre Leistungen für die Umwelt basieren, die es sogar ermöglichen, bereits verlorene Vielfalt wiederzugewinnen, um degradierte Landschaften wieder nutzbar zu machen und damit nicht zuletzt die Lebensqualität der örtlichen Bevölkerung zu verbessern?

Wie schon in den Vorläuferprojekten gehen auch in der neuen Forschungsgruppe Biologen, Geowissenschaftler und Sozialwissenschaftler unterschiedlicher Spezialisierung gemeinsam dieser übergeordneten Frage nach. Ein besonderes Merkmal dieses Forschungsansatzes ist es zudem, dass alle Teilprojekte auf derselben Fläche arbeiten, dem elf Quadratkilometer großen Herzstück der Reserva Biológica San Francisco.

Wie entsteht ein Hotspot der Biodiversität?

So schwierig es angesichts der Komplexität von Ökosystemen mit außerordentlichem Artenreichtum auch sein mag, bemühen sich die Forscherinnen und Forscher doch darum, Faktoren und Prozesse auszumachen, die zur Entwicklung der extremen Biodiversität und zu ihrem Erhalt beitragen: Die Reserva Biológica San Francisco zum Beispiel liegt in der Amotape-Huancabamba-Senke, die sich vom Süden Ecuadors bis in den Norden Perus erstreckt. Hier sind die Anden kaum 4000 Meter hoch, aber in viele Ketten aufgelöst. Die vielfältigen Landschaftsformen sowie ausgeprägte horizontale und vertikale Klimagradienten lassen eine große Vielzahl an Lebensräumen entstehen, die wiederum die Entwicklung des Artenreichtums fördern.

Einen weiteren Grund für die hohe Biodiversität sehen die Wissenschaftler in der Geschichte der Landschaft nach der Hebung der Anden im Tertiär. Der Wechsel von Eiszeiten und wärmeren Trockenperioden mit erheblichen Veränderungen in der Vegetationsdecke hat offenbar die Ausbreitung von Arten behindert und dazu geführt, dass in bestimmten Bereichen des Landes eigene Lebenswelten entstanden sind. Vier Regionen mit einer besonders hohen Zahl



Östliche Winde tragen reichlich Feuchtigkeit vom Atlantik über das Amazonasbecken bis an die Anden. Wenn die Luftmassen dort aufsteigen, bilden sich Wolken, die ihre Höhen im Osten fast ständig bedecken. Elf Monate des Jahres liegen die Niederschläge erheblich über der Verdunstungsrate.

endemischer Pflanzen hat man in Ecuador beschrieben – das Forschungsgebiet liegt in einer von ihnen.

Tropische Wälder befinden sich in der Regel in einem dynamischen Gleichgewicht, in dem alle Stadien der Waldentwicklung nebeneinander vorkommen. Mosaik-Klimax nennen es die Experten und sehen in dieser Dynamik einen weiteren Grund für die hohe Artenvielfalt. Als Besonderheit kommen in der regenreichen Forschungsregion ständig Murenabgänge hinzu, ausgelöst vermutlich vom schieren Gewicht des Waldes und der Instabilität des wassergesättigten Bodens auf den steilen Hängen. Wo danach nährstoffarme tiefere Bodenschichten oder gar nackter Fels zum Vorschein kommen, verläuft die Wiederbewaldung nur sehr zögerlich. Moose, Flechten und einige Orchideen bleiben überraschend lange die einzigen Pionierpflanzen. Wenn dagegen im Wald ein einzelner Baum zusammenbricht, schließt sich die Lü-

cke sehr schnell. So klingt die Hypothese nur scheinbar paradox: Punktuelle und ausgedehntere Instabilität in der Pflanzendecke stabilisiert zugleich ihre hohe Biodiversität. Der Mangel an Nährstoffen, so besagt eine weitere Hypothese, verhindert zudem die Dominanz einzelner Baumarten, die durch schnelleres Wachstum andere verdrängen könnten – und trägt damit ebenfalls zur großen Artenvielfalt bei. Tatsächlich zeigen die Messungen, dass die Nährstoffgehalte der Pflanzen hier deutlich geringer sind und die Zersetzung der Streu zudem weitaus langsamer verläuft als in den Wäldern des tropischen Tieflands.

Wechselbeziehungen und Wechselwirkungen

Wer die Leistungen eines Ökosystems wirklich verstehen will, muss zunächst seine Komponenten und ihre Wechselbeziehungen kennen. Eine Binsenweisheit, die in einem Hotspot der Artenvielfalt jedoch

In der Neotropis übernehmen häufig Kolibris und Fledermäuse die Bestäubung von Blüten – eine Aufgabe, die andernorts in der Regel den Insekten zufällt.



ungemein schwer zu realisieren ist. In der Reserva Biológica San Francisco sind viele Gruppen von Organismen inzwischen recht gut bekannt, über andere aber weiß man noch fast nichts. Hier hoffen die Forscher gemeinsam mit Spezialisten des European Distributed Institute of Taxonomy, schnelle Fortschritte zu erzielen.

Gleichzeitig werden im Programmteil „Biodiversität: Mechanismen und Prozesse“ funktionale Beziehungen untersucht: Pflanzen als Primärproduzenten von Biomasse sowie Pflanzenfresser und Zersetzer. In einzigartiger Weise widmet sich dieses Projekt dabei den Wechselbeziehungen zwischen den Pflanzen und dem Bodenleben, vor allem den Mykorrhiza-Pilzen und der Zersetzer-Fauna. Im Gegensatz zum Artenreichtum der Pflanzenwelt weist das Bodenleben keine ungewöhnliche Vielfalt auf. Diese Diskrepanz wollen die Wissenschaftler mit ökologischen Experimenten aufklären. Im Hintergrund steht die Frage, ob ein Hotspot der Biodiversität alle Organismengruppen in gleicher Weise umfasst oder nicht.

Beobachtungen und selbst quantifizierende Messungen können Ursache-Wirkung-Beziehungen allenfalls andeuten. Beweisen lassen sie sich nur mit Experimenten. Einige solcher Experimente haben im Gebiet der Forschungsstation bereits begonnen: So untersucht man etwa den Einfluss des Lichtes auf die Vielfalt der Epiphyten. Dazu vergleichen die Wissenschaftler das Wachstum verschiedener Arten von Epiphyten auf frei stehenden Bäumen mit dem auf Bäumen im Dunkel der Bestände. In einem anderen Experiment erkunden sie die Reaktion von Bodenfauna und Mikroorganismen auf künstlich verringerte Regenmengen. Das aufwendigste Experiment ist ein groß angelegter Düngungsversuch, der Aufschluss darüber geben soll, wie sich Nährstoffmangel auf das Wachstum des Waldes und die Biodiversität auswirkt. Schließlich wird in einem Management-Experiment der Einfluss von Durchforstungsmaßnahmen auf das Wachstum ökonomisch wertvoller Bäume und die Artenvielfalt von Pflanzen und Insekten untersucht.

Umweltgradienten in der Ökosystemforschung

Experimente sind der klassische Zugang zum Verständnis ökosystemarer Prozesse. Ihr reduktionistischer Ansatz lässt sie aber an Grenzen stoßen, gerade in so komplexen Ökosystemen wie einem tropischen Bergregenwald. Dort kann die Analyse von Parametern entlang von Umweltgradienten einen effektiven Ansatz bieten. In den vergangenen zehn Jahren Ökosystemforschung haben die Wissenschaftler zwei Typen von Gradienten genutzt: die von 1800 bis 3200 Meter ansteigende Höhe und die Intensität der Nutzung oder auch Zerstörung des Waldes durch den Menschen. Für derartige Untersuchungen eignet sich das Tal des Rio San Francisco in optimaler Weise. Stoßen im Talgrund doch zwei Varianten desselben Ökosystems aneinander: der unberührte Bergregenwald, der die südöstlichen Hänge bis in 2800 Meter Höhe bedeckt, und das Weideland auf der gegenüberliegenden Seite, wo die Wälder durch Brandrodung zerstört wurden oder noch werden. Große Teile des Weidelands haben die Bauern allerdings schon wieder aufgegeben, weil sie der extrem aggressiven Unkräuter nicht Herr werden.

Galt das Interesse der Wissenschaftler bislang vor allem den natürlichen Waldsystemen, so richtet sich ihr Blick nun auf die vom Menschen geschaffenen „Ersatz“-Systeme und seine Aktivitäten. Auf der Grundlage des zuvor gesammelten Wissens sollte es möglich sein, die Leistungen für die Umwelt der natürlichen und der anthropogenen Ökosysteme nicht nur sichtbar zu machen, sondern auch zu quantifizieren. Dazu werden neue Beobachtungsreihen und Experimente angelegt. Bislang hat man vor allem das Schicksal der Pflanzenwelt auf dem immer wieder abgeflämmten Weideland untersucht. Die Folgen der häufigen Feuer für die Entwicklung der Böden und des Bodenlebens, für das Mikroklima, für Pilze und Fauna der genutzten oder schon wieder verlassenem Weiden indes müssen erst erkundet werden. Mithilfe der Ergebnisse sollten sich dann wenigstens einige der Leistungen der Ökosysteme für die Umwelt quan-



Mithilfe von Feuer versuchen die Menschen, das Weideland offen zu halten und das Wachstum der Gräser anzuregen. Immer wieder gerät es außer Kontrolle.

tifizieren und ihre Nachhaltigkeit beurteilen lassen. Die unterschiedlichen Auswirkungen auf den Wasserhaushalt der Region aber sind schon heute offensichtlich: Das örtliche Wasserkraftwerk wird nur noch von Wasser aus den bewaldeten Hängen gespeist.

Die langfristigen Beobachtungen ermöglichen es auch, die Chancen der Regeneration der ursprünglichen Vegetation abzuschätzen. Eine natürliche Wiederbewaldung der aufgelassenen Weidelflächen erscheint nahezu aussichtslos. Zu dicht ist die Decke des Unkrauts, zu groß die Distanz zu den intakten Wäldern. Deshalb hat man Aufforstungsversuche mit einheimischen und exotischen Bäumen angelegt. Selbst mit menschlicher Unterstützung aber fassen einheimische Pionierarten weniger schnell Fuß als fremdländische Eukalyptus- oder Pinus-Arten. Einen Grund vermuten die Wissenschaftler darin, dass die geeig-



Exzellente Forschungsbedingungen bietet die Estación Científica San Francisco inmitten des Untersuchungsgebietes, die von der Stiftung „Naturaleza y Cultura Internacional“ geführt wird. Deutsche Wissenschaftler arbeiten hier intensiv mit einheimischen Forschern zusammen.

neten Mykorrhiza-Pilze in den Böden durch die wiederholten Brände vernichtet wurden. Dieses Beispiel zeigt zugleich, wie Grundlagenforschung in angewandte Forschung übergeht: Erst die profunde Kenntnis der funktionellen Zusammenhänge innerhalb der vielgestaltigen Ökosysteme macht es möglich, die Chancen der Nutzung und Regeneration der Region abzuschätzen und zum Wohle der örtlichen Bevölkerung einzusetzen. Doch selbst wenn es gelingen sollte, nach und nach wieder Wälder zu etablieren, werden diese sehr viel einfacher strukturiert sein als der natürliche Bergwald. Die ursprüngliche Vielfalt der Arten bleibt wohl für immer verloren. ◀

Profil

Projekt: Biodiversität und nachhaltiges Management eines megadiversen Ökosystems in Südecuador

Förderung: Forschergruppe, 27 Teilprojekte

Voraussichtliche Laufzeit: 2007–2013. Forschung läuft seit 1997

Untersuchungsort: Südecuador, tropischer Bergregenwald und seine anthropogenen Ersatzsysteme

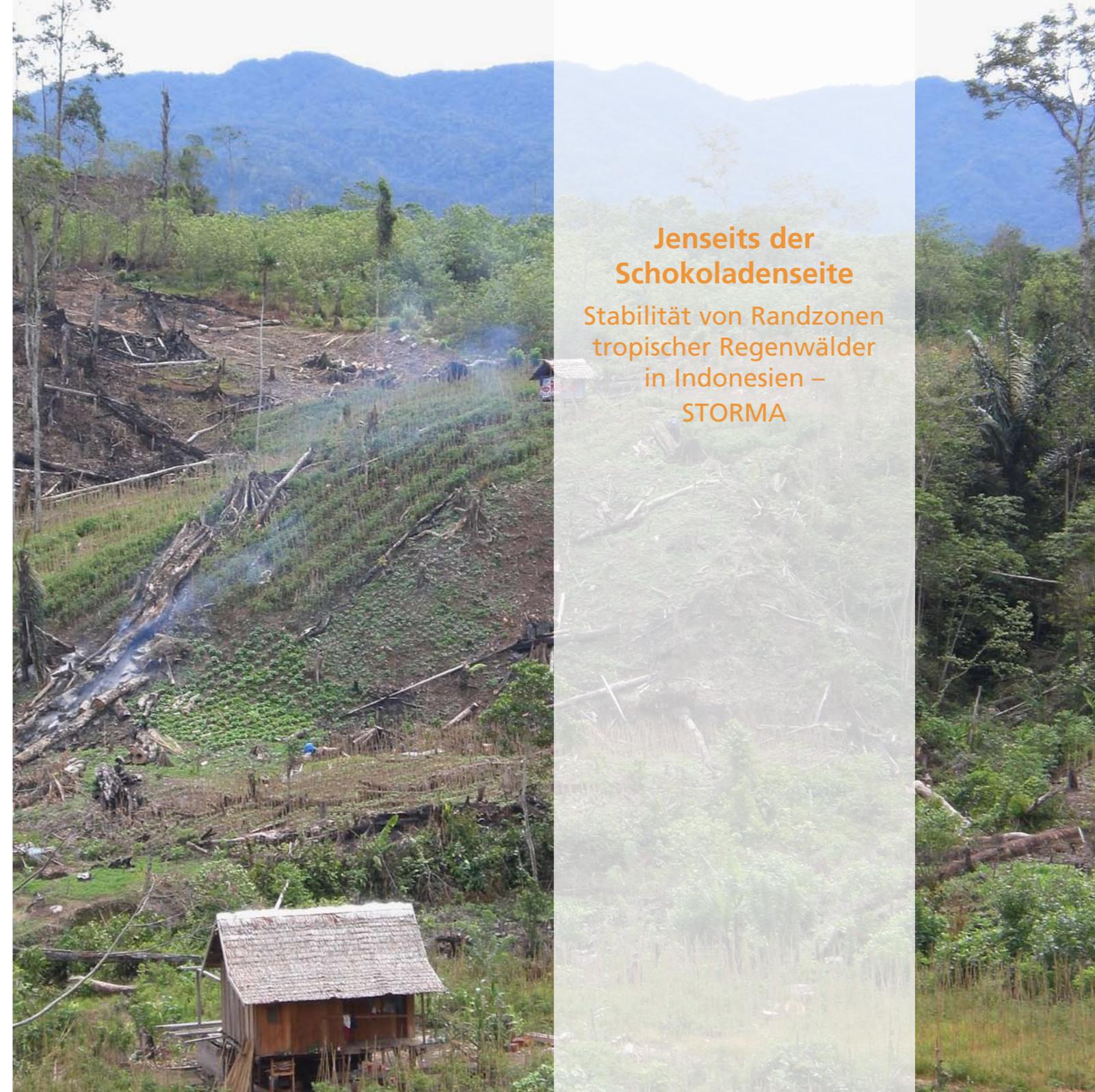
Habitat: Wald, Grünland und Buschland

Beteiligte Disziplinen: Geowissenschaften: Bodenkunde, Klimatologie, Fernerkundung, Hydrologie; Biologie: Pflanzensystematik, Ökophysiologie und Populationsökologie, Ethnobotanik, Entomologie, Mykologie; Bodenbiologie, Paläontologie: Klima-, Vegetations- und Landschaftsgeschichte; Forstwissenschaft: Waldbewirtschaftung und Aufforstung; Sozialökonomie: Bodennutzungssysteme

Internationale Zusammenarbeit: Vier ecuadorianische Universitäten, Stadt Loja, Stiftung „Naturaleza y Cultura Internacional“ (San Diego und Loja)

Projektbeschreibung: Gründliche Kenntnis und erste Beschreibung der Biodiversität verschiedener Organismengruppen. Einzigartiges Projekt in der Analyse tropischer Ökosysteme, bei dem alle Teilprojekte im selben Kernbereich arbeiten. Zwei Erscheinungsformen des Ökosystems – natürlicher Wald, Weideland – in kleiner Entfernung zueinander. Diese Voraussetzungen ermöglichen die Bewertung der Rolle der Biodiversität bei der Stabilität des Ökosystems und die Untersuchung der mit der Biodiversität in Verbindung stehenden Dienstleistungen. Weltweit einzigartige Instrumentierung und Infrastruktur in einem tropischen Hochgebirgs-Ökosystem; umfasst eine gut ausgerüstete Forschungsstation im Zentrum des Kernbereichs

Website: www.tropicalmountainforest.org



Jenseits der Schokoladenseite Stabilität von Randzonen tropischer Regenwälder in Indonesien – STORMA

Sulawesi ist nur ein Beispiel. Allen Warnungen zum Trotz werden die tropischen Regenwälder weiterhin in alarmierender Geschwindigkeit vernichtet – und in Südostasien besonders rasant. Indonesien hat in den vergangenen fünfzig Jahren rund 40 Prozent seiner Wälder eingebüßt, eine Fläche von 64 Millionen Hektar. Unschätzbare Verluste sind die Folge, Verluste an Vielfalt des Lebens und an Leistungen der Ökosysteme für die Umwelt – und damit nicht zuletzt für den wirtschaftenden Menschen. Die Ursachen für die Zerstörung tropischer Wälder sind hinlänglich bekannt: die Armut der ländlichen Bevölkerung, die ineffektive Nutzung von Ressourcen und die immer neue Umwandlung von Wald in Acker- oder Weideland, das oft schon nach kurzer Zeit wieder aufgegeben wird. Doch wie lässt sich diese fatale Entwicklung durchbrechen?

Ein ausgedehntes Dach inmitten des Waldes ermöglicht es, die Reaktion der Pflanzen und des gesamten Ökosystems auf ungewohnte Dürrezeiten zu erkunden, wie sie als Folge des Klimawandels für Südostasien vorhergesagt werden.



Entscheidend für den Schutz der tropischen Wälder sind naturgemäß ihre Ränder und deren Stabilität – im ökologischen wie im sozialen und ökonomischen Sinne. Davon sind sie gegenwärtig weit entfernt. Der einzig denkbare Schlüssel zur Stabilisierung dieser Zonen liegt in einem profunden Wissen sowohl über die ökologischen als auch über die sozioökonomischen Faktoren, die die Landnutzung und ihren Wandel beeinflussen. Wenn man diese Faktoren, ihr Zusammenspiel und ihre Wechselwirkungen kennt, sollten sich eher Kompromisse zwischen Ökologie und Ökonomie finden lassen. Und möglicherweise gelingt es ja auch, Wirtschaftsweisen zu entwickeln, die langfristig beiden zugutekommen: dem Schutz der Natur und dem Kampf gegen die Armut in den ländlichen Regionen der Tropen.

Mit diesem Ziel finden sich am Rande des Lore-Lindu-Nationalparks auf der indonesischen Insel Sulawesi Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vielerlei Disziplinen zum Sonderforschungsbereich STORMA (Stability of Rainforest Margins in Indonesia) der Deutschen Forschungsgemeinschaft zusammen. Agrarwissenschaftler und Biologen, Bodenkundler und Forstleute, Geowissenschaftler und Hydrologen, Informatiker und Juristen, Klimatologen, Paläologen und Wirtschaftswissenschaftler der Universitäten Göttingen und Kassel arbeiten hier gemeinsam mit Partnern zweier indonesischer Universitäten an der Analyse der Ursachen und Folgen der Entwaldung und der Suche nach nachhaltigen Wirtschaftsformen für die Zukunft. Während der dritten Periode des Sonderforschungsbereichs in den Jahren 2006 bis 2009 richten sie ihr Augenmerk speziell auf zwei Phänomene des globalen Wandels, die die Randzonen tropischer Wälder besonders stark betreffen: die zunehmende Intensivierung der Landwirtschaft und die offenbar häufigeren Trockenperioden des El Niño.

Moderne Formen der Forschung

Die Intensität der Zusammenarbeit gehört zu den Charakteristika dieses Sonderforschungsbereichs. Das betrifft sowohl das interdisziplinäre Zusammenwirken als auch die enge Kooperation mit den Partnern vor Ort, aus der zum wechselseitigen Vorteil inzwischen ein indonesisch-deutsches Forschungsnetzwerk entstanden ist. Zudem zeichnet sich der Sonderforschungsbereich durch seine innovative Fragestellung und Arbeitsweise aus. Messen, modellieren und verstehen wollen die Forscher jene Prozesse, die zur Stabilisierung der Randzonen tropischer Wälder beitragen können. In der dritten Periode von STORMA konzentrieren sie sich dabei auf drei Schwerpunkte, von denen jeder ökologische und auch sozioökonomische Aspekte umfasst.

Im ersten Fokus geht es um die Entwicklung integrierter Landnutzungsmodelle, mit deren Hilfe sich die Auswirkungen des Klimawandels und verän-



Wie reagieren die Feinwurzeln der sonst mit Feuchtigkeit verwöhnten Bäume der Regenwälder und der Kakao-plantagen auf Trockenheit? Die Antwort ist besonders schwer zu ergründen – und zugleich besonders wichtig.

derter Formen der Landnutzung sowohl für einzelne Haushalte als auch für ganze Landschaften realistisch vorhersagen lassen. Der zweite Fokus gilt der ökologischen und sozioökonomischen Bewertung von Agroforstsystemen, die oft die letzten Waldformen tropischer Landschaften bleiben. Mit den Gefahren, die der Klimawandel für die Regenwälder und die Agroforstwirtschaft mit sich bringt, beschäftigt sich der dritte Fokus. Dazu haben die Wissenschaftler unter anderem ein großes Austrocknungs-Experiment angelegt, mit dem sie die prognostizierte Zunahme von El-Niño-Dürren vorwegnehmen und ihre Folgen für die verschiedenen Formen der Vegetation und Landnutzung erkunden.

Der Bedeutung der Artenvielfalt auf der Spur

Fragen der Biodiversität spielen in allen drei Schwerpunkten eine maßgebliche Rolle. Denn Vorkommen und Zusammenspiel der Arten bestimmen letztlich die Funktionsweise von Ökosystemen und ihre vielfältigen Dienstleistungen für die Umwelt, sei es die Lieferung von Nahrungsmitteln oder die Linde-

rung von Hochwasser und Dürren, die Reinigung von Wasser und Luft, die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit oder die Sicherung von Ernten, die nur möglich sind, wenn Blüten bestäubt und Schädlinge gefressen werden. Noch weiß man wenig über die Bedeutung der Artenvielfalt für all diese Dienste. In einigen Fällen hat man Schlüsselarten ausgemacht, die eine maßgebliche Rolle in der Lebensgemeinschaft übernehmen und nicht durch andere ersetzt werden können. In den meisten Ökosystemen übernehmen jedoch mehrere Arten vergleichbare Funktionen. Diese „Redundanz“ hat man gleichsam als Absicherung der Lebensgemeinschaften gegen Störungen interpretiert. In STORMA konnte gezeigt werden, dass die Kaffee-Erträge von einer großen Vielfalt an Bienenarten abhängen, wie sie nur zu beobachten ist, wenn der Kaffee nahe am Waldrand kultiviert wird. Das Zusammenspiel von Biodiversität und Funktion stellt eine der großen Herausforderungen für die biologische Forschung dar – auch wenn es um die Reaktion der Ökosysteme auf natürliche und anthropogene Störungen geht.

Fünf Teilprojekte werden dazu gegenwärtig im Rahmen von STORMA bearbeitet. So beschäftigen sich die Wissenschaftler mit der Verteilung, Vielfalt und Zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften in Abhängigkeit von Umweltfaktoren, wie Meereshöhe und Topografie, Boden und Klima, sowie von der Wirtschaftsweise der Menschen. Oder sie untersuchen, wie Düngung und Unkrautbekämpfung auf der einen und zunehmende Trockenheit auf der anderen Seite sich auf die Artenvielfalt der Insekten und ihre Leistungen für das Ökosystem auswirken. In einem dritten Teilprojekt erkunden die Wissenschaftler, wie die Feinwurzeln von Bäumen in ungestörten Wäldern und in Agroforstsys-

temen auf zunehmende Trockenheit reagieren. Und schließlich geht es um die Bedeutung endophytischer, symptomlos in den Blättern lebender Pilze für Kakao-pflanzen. Stimmt die Vermutung, dass Zahl und Vielfalt der endophytischen Pilze mit zunehmender Intensität der Bewirtschaftung sinken, in Monokulturen also geringer sind als beim Anbau von Kakao unter dem Dach naturnaher Wälder? Und trifft es zu, dass eine höhere Vielfalt endophytischer Pilze die Kakao-pflanzen weniger anfällig gegen Krankheiten und Schädlinge, aber auch gegen Trockenheit macht?

Das Beispiel Kakao

Kakao ist heute die wichtigste Einnahmequelle in der Region am Rande des Lore-Lindu-Nationalparks. Seit fast zwanzig Jahren steigt die Fläche für den Anbau von Kakaobäumen auf der Insel stark. Tatsächlich ist Indonesien inzwischen der drittgrößte Kakaoproduzent der Welt, und vier Fünftel dieses Kakaos werden auf Sulawesi geerntet. Gepflanzt wird er auf vorher anderweitig genutzten Flächen oder in frisch gerodeten Wäldern, auch innerhalb der Grenzen des Nationalparks. In der Regel wirtschaften die Bauern jedoch nicht sehr professionell. Ihre Kenntnisse und die Bereitschaft, Zeit und Energie in den Kakaoanbau zu investieren, sind oft gering. Ein großer Teil der potenziellen Ernte fällt Schädlingen und Krankheiten zum Opfer, die Erträge liegen deutlich unter denen, die sich mit einer optimierten Wirtschaftsweise erzielen ließen. Eine steigende Produktivität, so hofft man, könnte verhindern, dass immer mehr Flächen für den Kakaoanbau gerodet werden. Andererseits können Kakaoplantagen selbst einen durchaus naturnahen Lebensraum für einheimische Pflanzen und Tiere bieten. Dabei scheint vor allem die



Beschattung durch Bäume von elementarer Bedeutung zu sein. Ob sich beide Ziele – Produktivitätssteigerung und Naturnähe – vereinen lassen, ist jedoch eine offene Frage.

Der Antwort nähern sich die Wissenschaftler von vielen Seiten. Um die zahlreichen Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur umfassend zu erkunden, nehmen Sozioökonomien und Naturwissenschaftler die Kakaowirtschaft am Rande des indonesischen Nationalparks gemeinsam in den Blick. Auf insgesamt 144 Kakaoflächen in zwölf Dörfern dokumentieren sie die gegenwärtige Wirtschaftsweise. Mithilfe solcher Daten aus der Praxis wollen sie zunächst die bäuerlichen Haushalte und deren Entscheidungen besser verstehen. In einem groß angelegten Experiment versuchen die Wissenschaftler zudem zu klären, wie sich verschiedene Formen der Bewirtschaftung auf Produktivität, Artenvielfalt und Ökosystemfunktionen auswirken.

Dazu vergleichen sie zum Beispiel verschiedene Varianten der Düngung, der Beschattung und der Unkrautbekämpfung. Alle zwei Wochen werden Blüten und Früchte, Ertrag und Schädlingsbefall an ausgesuchten Bäumen dokumentiert. Bäume und Kräuter, Pilze und Insekten, Spinnen und Vögel, Ratten und Echsen werden erfasst, die Eigenschaften der Böden, die Architektur der Baumkronen und die Sonneneinstrahlung untersucht. Mit kleineren Experimenten geht man zudem gezielt den Beziehungen zwischen verschiedenen Organismen nach. Dabei zeigte sich zum Beispiel, dass eine häufig vorkommende Ameisenart einerseits erfolgreich Schädlinge von den Kakaopflanzen fernhält, andererseits aber auch die Sporen der Kakaofruchtfaule verbreitet.

Überraschungen und neue Rätsel

Auch andere Ergebnisse aus jüngster Zeit machen deutlich, dass die Strukturen und Zusammenhänge innerhalb der Ökosysteme oft noch komplexer sind als ohnehin angenommen. Und es gibt auch Überraschungen. So galt Sulawesi lange als Insel, die ei-



Der Kakaoanbau ist zu einer wichtigen Erwerbsquelle am Rande des Nationalparks geworden. Nachhaltige Wirtschaftsweisen zu entwickeln, gehört zu den Zielen der Wissenschaftler.

nen signifikant geringeren Artenreichtum aufweist als andere Regionen Indonesiens. Neue Ergebnisse von STORMA belegen nun, dass dieses Urteil möglicherweise nur darauf beruht, dass hier weniger eifrig gesammelt wurde als andernorts. Jetzt aber haben die Wissenschaftler eine unerwartet hohe Vielfalt an Bäumen nachgewiesen und sogar einige bislang unbekannte Arten entdeckt.

Der Zusammenhang zwischen Biodiversität und Wirtschaftsintensität erwies sich ebenfalls als keineswegs eindeutig. Bei der Analyse des Artenreichtums von vier Pflanzengruppen und acht Tiergruppen entlang eines Gradienten vom ungestörten Regenwald zu drei Kakaopflanzungen unterschiedlicher Intensität zeigte sich ein differenziertes Bild ohne einheitlichen Trend. In die Untersuchung einbezogen waren Bäume, Lianen, Bodenkräuter und epiphytische Lebermoose sowie Vögel und Schmetterlinge, Ameisen und Käfer des unteren Kronenbereichs, Mistkä-



Bäume und Lianen reagieren empfindlich auf die Eingriffe des Menschen – andere Gruppen von Organismen können dagegen in ihrer Vielfalt sogar zunehmen.

fer, Bienen und Wespen sowie deren Parasiten. Nur bei vier der zwölf Gruppen – bei Bäumen, Lianen, Lebermoosen und Mistkäfern – nahm die Artenzahl mit zunehmender Bewirtschaftung ab. Bei Kräutern und Käfern aber stieg die Vielfalt sogar, die Ameisen reagierten gar nicht und die anderen Gruppen zeigten ihren größten Artenreichtum bei mittlerer Bewirtschaftungsintensität.

Erste Ergebnisse gibt es zudem aus dem großen Dürre-Experiment. Je nach Dichte ihres Holzes reagieren die Bäume offenbar unterschiedlich auf die Trockenheit des Bodens. Wenn sich dieser Trend bestätigt, dürfte sich bei der vorhergesagten Häufung von El-Niño-Trockenheiten auch in den bislang unberührten Regenwäldern die Zusammensetzung der Arten merklich ändern und manche Art ganz aussterben. Diese

Untersuchungen sollen letztlich ermöglichen, dass ökonomische Kosten und Nutzen sowie ökologische Vor- und Nachteile der verschiedenen Wirtschaftsweisen am Rande des Regenwaldes gegenübergestellt werden können, um daraus Empfehlungen für eine bessere Zukunft abzuleiten – zum Wohle des Menschen und der Natur. ◀

Profil

Projekt: Stabilität von Randzonen tropischer Regenwälder in Indonesien – STORMA

Förderung: Sonderforschungsbereich, 17 Teilprojekte

Voraussichtliche Laufzeit: 2000–2009

Untersuchungsort: Sulawesi, Indonesien

Habitat: Wald, Agroforst (Lore-Lindu-Nationalpark)

Beteiligte Disziplinen: Agrarwissenschaften, Biologie, Forstwissenschaft und Waldökologie, Geowissenschaften und Geografie, Informatik, Rechtswissenschaften, Wirtschaftswissenschaften

Internationale Zusammenarbeit: Institut Pertanian Bogor (Bogor, Java) und Universitas Tadulako (Palu, Sulawesi)

Projektbeschreibung: Ziel ist der Kompetenzaufbau auf regionaler (Sulawesi) und nationaler Ebene (Indonesien) in den Bereichen der Umweltbewertung und Konfliktanalyse basierend auf ökologischer und sozioökonomischer Forschung. Mithilfe von STORMA wurden Standards der wissenschaftlichen Zusammenarbeit zwischen Ländern der nördlichen Hemisphäre und Tropenländern etabliert, die auf der beiderseitigen Nutzung der Ergebnisse basieren. STORMA ist auch deshalb einzigartig, weil die Trennung der Disziplinen überwunden wird. STORMA befasst sich mit den Schwerpunktthemen Bedrohung des Regenwalds und des Agroforsts durch den Klimawandel, sozioökonomische und ökologische Trade-offs und Synergien von Agroforst-Management sowie Testen von Szenarien mit integrierten Bodennutzungsmodellen

Website: www.uni-goettingen.de/de/sh/40515.html



Vielfalt in der Kulturlandschaft

Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung

Drei stehen für Deutschland. Drei repräsentative Regionen, im Nordosten, in der Mitte und im Südwesten der Bundesrepublik, in denen sich durch eine bislang einzigartige Langzeitstudie zur Biodiversitäts- und Ökosystemforschung Beobachtung und Experiment verbinden. Exploratorien werden sie deshalb genannt. Mit ihrer Hilfe will man die Grenzen bisheriger Forschungsansätze überwinden, von der Beobachtung an natürlichen Systemen zu gezielten Experimenten und umgekehrt von den Erkenntnissen aus der Manipulation einzelner Faktoren in artifizialen Systemen zu tragfähigen Aussagen über ganze Landschaften kommen.

Was bedeutet Biodiversität für die Ökosysteme? Und wie verändert sie sich unter dem Einfluss des wirtschaftenden Menschen? Das sind die beiden fundamentalen Fragen, die hinter all diesen Arbeiten stehen – und zugleich die Brücke schlagen von der Grundlagenforschung zur Anwendung, ja zu gesell-

Das Sammeln von Pollen hilft, das Verhältnis von Pflanzen und bestäubenden Insekten zu verstehen.



schaftlichen und politischen Themen. Ist der Mensch in all seinem Tun und Handeln doch stets auch ein Teil der Ökosysteme, deren Leistungen er zugleich beeinflusst und nutzt. Kaum ein Fleckchen gibt es noch in Mitteleuropa, das der Mensch nicht seit Jahrhunderten durch seine Wirtschaftsweise prägt. Die Vielfalt der Landschaften hat sich dadurch zunächst erhöht. Großflächige Wälder mussten weichen. An ihre Stelle trat der charakteristische Wechsel von Feldern, Wiesen und Wäldern, der den Reiz landwirtschaftlich genutzter Landstriche ausmacht. Ihre Vielgestaltigkeit und ihr Abwechslungsreichtum im Großen, auf der Ebene der Landschaft, spiegelt sich auch im Kleinen wider. Vielfältige Lebensräume entstanden und wurden besiedelt von vielfältigen Gemeinschaften von Pflanzen, Pilzen, Tieren und Mikroorganismen.

Hinzuzufügen wäre, dass der einst förderliche Einfluss des Menschen sich derweil in sein Gegenteil verkehrt hat. Neue Wirtschaftsweisen auf maschinen-tauglichen Flächen, ausgerichtet auf höchste Effizienz – die moderne Form der Landnutzung lässt vielen Organismen kaum noch eine Chance. Der Artenreichtum sinkt rapide. Hinzuzufügen wäre auch, dass all dies zwar sehr plausibel klingt, sich im Einzelnen aber oft schwer nachweisen lässt. Für einige Organismengruppen sind die Beziehungen zwischen Landnutzung und Biodiversität zwar gut untersucht, für viele andere aber noch nicht. Zudem ist die funktionelle Bedeutung der Biodiversität für natürliche Systeme noch immer unklar, weil verschiedene Managementstrategien die Effekte überlagern. Durch die Kombination von Monitoring und Messungen der funktionellen Diversität in gezielten Experimenten soll diese Studie in realen Landschaften helfen, die Wechselwirkungen zwischen Veränderungen der Landnutzung, genetischer Diversität, Artendiversität, der Vielfalt an biologischen Interaktionen und den Dienstleistungen der Ökosysteme aufzuklären.

Drei Landschaften mit vielfältiger Wald- und Grünlandnutzung hat man dazu auserwählt. Das nördlichste von ihnen ist das Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin in Brandenburg. Sanderflächen,

Grund- und Endmoränen prägen das Landschaftsbild in diesem eiszeitlich überformten Teil Deutschlands und bilden mit ihren unterschiedlichen Böden die Grundlage für eine abwechslungsreiche Vegetation. Großvögel wie Kraniche, Seeadler und Schwarzstörche zählen zu den eindrucksvollsten tierischen Bewohnern der Schorfheide. Die Untersuchungsflächen im Exploratorium konzentrieren sich auf den östlichen Teil des Biosphärenreservats.

Fast in der Mitte Deutschlands, in Thüringen, liegt der Hainich, mit 16000 Hektar eines der größten zusammenhängenden Laubwaldgebiete der Republik. Ein Teil davon wurde 1997 zum Nationalpark ernannt. Bemerkenswert sind der Reichtum an Baumarten sowie weitläufige Buchen- und Mischwaldbestände, vom unberührten Naturwald über Bauernwälder bis zu intensiv genutzten Forsten. Unterschiedlich stark bewirtschaftet sind auch die umliegenden Wiesen, die in das Exploratorium eingeschlossen sind.

Das designierte Biosphärengebiet Schwäbische Alb in Baden-Württemberg schließlich umfasst mehr als 80000 Hektar im Südwesten Deutschlands. Großflächige, seit Jahrhunderten von Schafen beweidete Grasländer erstrecken sich auf kalkhaltigen Böden über weite Hügelketten, unterbrochen durch kleinere Gehölze, größere Wälder und intensiver genutzte Wiesen und Felder. In diesem Mosaik liegen auch die meisten Flächen des Exploratoriums.

Klares Design und vielfältige Pläne

Gemeinsam ist allen drei Exploratorien das breite Spektrum an Nutzungsformen, sowohl für die Wälder als auch für die Wiesen. So lassen sich für beide Vegetationstypen jeweils alle Abstufungen von naturnahen bis zu intensiv genutzten Flächen finden und auf solche Weise Gradienten der Bewirtschaftungsintensität untersuchen. Um eine solide statistische Basis zu haben, ist man großzügig mit der Zahl der Flächen: 1000 sind es in jedem Exploratorium, je 500 im Wald und 500 im Grünland. Für sie werden die Landnutzungstypen und ihre Intensität, die



Mancherlei Vorbereitung und Mühe kostet das Fangen wirbelloser Tiere.

Artenzahl und Deckung der Pflanzen sowie Bodenparameter dokumentiert. Die Diversität von Wirbeltieren soll ebenfalls erfasst werden.

Aus diesen Flächen werden in jedem Exploratorium 100 sogenannte Experimentierplots – 50 im Wald und 50 im Grünland – ausgewählt, die einen Gradienten der Nutzungsintensität repräsentieren. Ausgestattet mit Instrumenten zur Messung von Boden- und Lufttemperatur sowie Bodenfeuchte sollen sie für Langzeitbeobachtungen und Experimente genutzt werden. Sechs Wetterstationen werden in jedem Exploratorium Wind und Niederschlag dokumentieren.

In der nächsten Zeit sollen unter anderem die Böden intensiver beprobt werden, um die Variabilität der Kohlenstoffvorräte zu erkunden und Material für Studien zur Bodenökologie bereitzustellen. Das Teilprojekt Forst wird die Struktur und Diversität der Wälder, die Biomassevorräte und die Waldentwicklung in Abhängigkeit von der Intensität der Nutzung bestimmen. Auch Einsaat- und Auszäunungsexperimente stehen auf dem Programm. Die Botaniker werden neben der Artendiversität auch die funktionelle und genetische Diversität der Pflanzen untersuchen. Einsaat-

und Störungsexperimente sollen Auskunft darüber geben, wie gut sich die Arten durchsetzen und Gemeinschaften regenerieren können.

Die Studien an Wirbeltieren konzentrieren sich auf ihre Habitatansprüche entlang der Nutzungsgradienten und auf Wechselbeziehungen zwischen den Arten. So will man zum Beispiel Vögel und Fledermäuse mit Netzen aus den Baumkronen fernhalten, um ihren Einfluss auf Insekten und andere Arthropoden im Kronenbereich der Bäume und auf deren Samen zu ermitteln. Da die wirbellosen Tiere in vielerlei Wechselbeziehungen eine maßgebliche Rolle spielen – bei der Bestäubung etwa oder als Räuber oder Beute im Nahrungsnetz – wird es auch bei den Untersuchungen eine große Diversität geben.

Zu den Charakteristika der Studie gehört es, dass alle Daten in einer zentralen Datenbank gespeichert werden, damit sie langfristig für Wissenschaftler, Behörden und interessierte Institutionen zugänglich sind. Durch die Verknüpfungen innerhalb des Projekts und die Integration von Informationen aus bereits bestehenden Datenbanken wird eine komplexe und interdisziplinäre Analyse der Daten möglich. Zudem werden Landbesitzer und Nutzer zu aktuellen Managementformen befragt und historische Formen der Landnutzung recherchiert.

Damit wird durch die Exploratorien eine bislang einzigartige Infrastruktur für fachübergreifende, langfristige Arbeiten zur funktionellen Biodiversität und Ökosystemforschung in Grünland und Wald geschaffen. Wissenschaftler unterschiedlicher Disziplinen werden ihre Daten auf denselben Flächen erheben, sodass sich die komplexen Beziehungen und Rückkopplungsmechanismen zwischen Biodiversität, Landnutzung und Ökosystemprozessen analysieren lassen. Die Kombination aus Beobachtungen und Experimenten ermöglicht erstmals funktionelle Biodiversitätsforschung auf verschie-

denen räumlichen Ebenen in der realen Landschaft. Im Laufe der nächsten Jahre sollen weitere Projekte zu zusätzlichen Aspekten hinzukommen. Die Exploratorien dienen damit der gesamten deutschen Biodiversitätsforschung als stimulierende Untersuchungsplattform – ja man hofft, dass sie Nachahmer in anderen europäischen Ländern finden, dass ein ganzes Netz solch fruchtbarer Einrichtungen für die Wissenschaft entsteht. ◀

Profil

Projekt: Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung

Förderung: Infrastruktur-Schwerpunktprogramm, 1 Kernprojekt und derzeit 29 Einzelprojekte

Voraussichtliche Laufzeit: 2006–2011

Untersuchungsort: Drei Exploratorien in Deutschland: Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin, Nationalpark Hainich und Umland, geplantes Biosphärenreservat Schwäbische Alb

Habitat: Wald und Grünland

Beteiligte Disziplinen: Botanik, Zoologie, Ökologie, Mikrobiologie, Bodenkunde, Meteorologie, Modellierung, Fernerkundung, Informatik

Projektbeschreibung: Offenes Projekt, in dem sich die Exploratorien als Forschungsplattform für Biodiversität und Ökosystemforschung in Deutschland etablieren. Das Einbeziehen weiterer Projekte führt zu einer fortlaufenden Integration neuer Forschungsrichtungen und -ansätze. Die Arbeit erfolgt in realen Landschaften Deutschlands, die Forschung findet während der Nutzung der Flächen statt, es besteht eine enge Zusammenarbeit mit Landbesitzern und Landnutzern (kein Pachten von Flächen). Datenzusammenführung in einer zentralen Datenbank für langfristige Datensicherung und intensiven Datenaustausch

Website: www.biodiversity-exploratories.de



Versuchsdesign durch die Natur

Die Bedeutung der Biodiversität für Stoffkreisläufe und biotische Interaktionen in temperaten Laubwäldern

Der Hainich ist ein Glücksfall für die Wissenschaft. Hier, im westlichen Thüringen, findet sich eines der größten zusammenhängenden Laubwaldgebiete Deutschlands – rund 16000 Hektar Wald. Es sind Wälder auf reichen Böden, die auf Kalkgestein und Löss entstanden sind, Wälder, deren unterschiedliche Struktur nicht zuletzt auf unterschiedliche Wirtschaftsweisen zurückgeht. Plenterwald gibt es hier und Altersklassenwald, ehemaligen Bauernwald und auch noch gänzlich unbewirtschafteten Naturwald, um den 1997 ein Nationalpark errichtet wurde. Die Rotbuche, die in vielen Teilen Deutschlands eine dominierende Rolle einnimmt, ist in diesem Nationalpark oft nur eine Baumart unter vielen, darunter vornehmlich Winterlinden, Sommerlinden und Eschen. Auch Bergahorn, Spitzahorn, Hainbuche und

Mithilfe einer Kreuzfensterfalle erkunden die Wissenschaftler die Artenvielfalt der Insekten und Spinnen.



Stieleiche kommen häufig vor. Außerdem tragen Feldahorn, Traubeneiche, Bergulme, Vogelkirsche, Feldulme, Zitterpappel, Elsbeere und Hängebirke zum abwechslungsreichen Bild der Wälder bei. Ein idealer Ort mithin für alle, die Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Funktion von Waldökosystemen erkunden wollen.

Grundsätzlich bleibt die Zahl der Baumarten in den Wäldern Mitteleuropas durchaus überschaubar. Verglichen mit anderen Waldgebieten der Erde, die unter ähnlichen Klimabedingungen wachsen, sind sie recht arm an Arten. Die Eiszeiten verdrängten in Mitteleuropa einen beträchtlichen Teil jener Arten, die – wie man aus Pollenanalysen weiß – dort zuvor heimisch waren. Durch den wirtschaftenden Menschen, der eine abwechslungsreiche Kulturlandschaft schuf, ist die Artenvielfalt später zunächst ansehnlich gewachsen. Seit geraumer Zeit hat sich dieser Trend aber umgekehrt, und auch in Mitteleuropa geht die Biodiversität in allen Lebensräumen deutlich zurück.

Funktionieren artenreiche Wälder besser?

Wälder gelten mit Blick auf all ihre Dienstleistungen zwar als besonders wichtige Ökosysteme, für die Forschung aber sind und bleiben sie zugleich ein besonders schwieriger Fall. Das hängt natürlich nicht zuletzt mit ihrer langen Lebensdauer zusammen, die sie für gezielt angelegte Experimente denkbar ungeeignet macht. Anders als bei Grasland-Ökosystemen wie Wiesen und Trockenrasen wurden in Wäldern deshalb Zusammenhänge zwischen dem Artenreichtum auf der einen und dem Wachstum der Pflanzen sowie dem Wasser- und Nährstoffhaushalt auf der anderen Seite bislang kaum untersucht. Gerade für Wälder aber wäre solches Wissen dringend notwendig – immerhin ist die mitteleuropäische Forstwirtschaft dabei, auf großen Flächen Reinbestände in Mischbestände umzuwandeln und damit Fakten für die nächsten Jahrhunderte zu schaffen. Dies geschieht unter anderem in der Absicht, den Artenreichtum der heimischen Wälder zu bewahren und ihre Dienste für den Wasser-



Aus 3-D-Scans lassen sich dreidimensionale Modelle von Wäldern zusammensetzen, deren Strukturinformation eine wichtige Grundlage für die quantitative Verknüpfung der Daten in Ökosystemmodellen darstellt.

und Nährstoffkreislauf zu erhalten. Ob und wie sehr sich artenreiche und artenarme Wälder mit Blick auf den Wasserhaushalt, die Nährstoffkreisläufe und das Beziehungsgeflecht der Lebewesen aber tatsächlich unterscheiden, ist bisher nicht hinreichend bekannt.

Um mehr über die Bedeutung einer vielfältigen Baumschicht für das Ökosystem Laubmischwald und seine Leistungen zu erfahren, werden im Rahmen eines Graduiertenkollegs der DFG im Hainich sieben grundsätzliche Fragen untersucht: Ist eine größere Vielfalt an Baumarten auch mit einer größeren Vielfalt an anderen Organismen verbunden? Hat eine größere Baumartenvielfalt eine höhere Produktion an Pflanzenmasse zur Folge? Ist die reine Zahl der Baumarten oder sind die spezifischen Eigenschaften einzelner Arten für die Bindung von Kohlenstoff, den Wasserverbrauch und die Grundwasserspende von Bedeutung? Kann ein Wald mit vielen Baumarten die Nährstoffe im Boden besser ausnutzen als ein artenärmerer und so den Nährstoffaustrag mit dem Sickerwasser vermindern? Weisen Bestände mit vielfältigen Baumarten einen stärkeren kleinräumigen Wechsel im Umsatz von Energie, Wasser und Nährstoffen und in der

Produktion von Pflanzenmasse auf? Sind die Stoffumsätze in artenreichen Beständen weniger empfindlich gegen Störungen und abiotischen Stress, zum Beispiel extreme Witterungsereignisse? Und schließlich: Sind Wälder mit vielfältigen Baumarten weniger anfällig gegenüber schädlichen Insekten?

Vergleichende Beobachtung natürlicher Systeme

Die Eigenschaften von „richtigen Wäldern“, von über Jahrhunderte gewachsenen Altbeständen, lassen sich nicht an einem künstlich geschaffenen System studieren. Schließlich sind die Bedingungen, die die Funktionen des Waldes heute prägen, im Verlauf langer Zeiträume entstanden, durch Wachstumsvorgänge, Artwechsel, Akkumulation von Substanzen und andere Prozesse, die sich nicht im Schnelldurchgang simulieren lassen. Im Hainich aber finden sich Wälder, die viel von dem bieten, was man für Experimente sonst künstlich erzeugen würde: Das Waldgebiet wurde seit 40 Jahren nicht mehr bewirtschaftet und zeichnet sich durch eine für Mitteleuropa ungewöhnlich hohe Diversität der Bäume aus. Bis zu 14

Baumarten sind hier pro Hektar zu finden. Die Bestände sind allerdings – in einem homogenen Umfeld – kleinräumig durchaus variabel. Das bietet den Forschern die Chance, analog zu einem experimentell erzeugten System, Waldbestände zu finden, die sich bei sonst gleichen standörtlichen Bedingungen vor allem durch die Vielfalt der Baumarten unterscheiden. So können sie deren Einfluss erkunden, indem sie an zwölf Waldflächen, die sie drei Diversitätsstufen zuordnen, Messungen verschiedener Ökosystemfunktionen vornehmen. Da viele Messwerte von Jahr zu Jahr stark schwanken, sollen die wichtigsten Größen über einen Zeitraum von neun Jahren beobachtet werden. Zudem versucht man, den ökonomischen Wert der Dienstleistungen von Wäldern hoher Biodiversität zu erfassen.

Inzwischen lassen sich erste Tendenzen ableiten. So zeigt sich, dass mit der Vielfalt der Baumarten auch die Biomasse der Krautschicht und die Vielfalt der Insekten, Krebstiere und Spinnen zunimmt. Zudem wird die schwer zersetzbare Buchenstreu schneller abgebaut und Stickstoff schneller mineralisiert und damit für die Pflanzen verfügbar. Die Biomasse der Feinwurzeln steigt, ebenso die Basensättigung des Oberbodens. Innerhalb der artenreichen Wälder liegen sowohl auf dem Boden ankommender Niederschlag als auch Transpiration höher als in reinen Buchenwäldern. Die Fraßschäden an jungen Buchen hingegen sind geringer, ebenso der Ligningehalt im Buchenholz und die Aktivität von Spinnen.

Den Ursachen für diese Ergebnisse und ihren Folgen für die Leistungskraft der Wälder werden sich die Wissenschaftler in weiteren Untersuchungen widmen und dazu Beobachtungen mit vorhandenem Wissen verknüpfen. Quantitative Analysen mithilfe von Ökosystemmodellen sollen dazu ebenso beitragen wie die georeferenzierte Sammlung aller Messungen in einer Datenbank. Das kommt einem anderen Ziel des Graduiertenkollegs entgegen: der Ausbildung von Doktoranden an modernen Techniken. Um die Naturnähe der Bestände nicht zu gefährden, werden Verfahren eingesetzt, die möglichst wenig in die Wälder eingreifen. Die

Kronenraumforschung mit einem 30 Meter hohen Hubwagen gehört ebenso dazu wie Isotopenmarkierungen, Saftflussmessungen an Bäumen und die automatische 3-D-Vermessung von Bestandsstrukturen. Aber auch die Bestimmung von Tier- und Pflanzenarten wird gelehrt. Die internationale Zusammenarbeit wird in diesem Programm ebenfalls gefördert. Besonders intensiv arbeiten die Nachwuchsforscher mit der finnischen Graduiertenschule für Forstwissenschaften zusammen und suchen über die Ländergrenzen hinweg nach den Grundlagen, auf denen sich die besten Wälder für die Zukunft bauen lassen. ◀

Profil

Projekt: Die Bedeutung der Biodiversität für Stoffkreisläufe und biotische Interaktionen in temperaten Laubwäldern

Förderung: Internationales Graduiertenkolleg (Ausbildung von Doktoranden in Deutschland und Finnland), 14 Teilprojekte

Voraussichtliche Laufzeit: 2005–2014

Untersuchungsort: Nationalpark Hainich

Habitat: Wald

Beteiligte Disziplinen: Pflanzenökologie, Forsthydrologie, Entomologie, forstliche Biometrie, Bodenkunde, Mykorrhizaforschung, Tierökologie, Biogeochemie, Umweltwissenschaften, ökologische Modellierung

Internationale Zusammenarbeit: Finnische Graduiertenschule für Forstwissenschaften

Projektbeschreibung: Das Graduiertenkolleg ist eine international kooperierende Ausbildungseinrichtung. Es werden Biodiversitätseffekte an naturnahen, alten Wäldern untersucht, die sich standörtlich nur hinsichtlich der Diversität der Baumarten unterscheiden. Verschiedene Disziplinen nehmen dabei in wechselseitiger Abstimmung ihre Proben auf denselben Flächen

Website: www.forest-diversity.uni-goettingen.de



Das Jena-Experiment

Biodiversität bei Elementkreisläufen und trophischen Interaktionen: ein experimenteller Ansatz in einer Grünland- gemeinschaft

Eine Wiese haben sie sich ausgesucht. Eine in Mitteleuropa weit verbreitete Form der Vegetation, vom Menschen gelinde beeinflusst durch zweimalige Mahd, sich deutlich wandelnd im Rhythmus des Jahres und doch auf Dauer angelegt, überschaubar in der Zahl der Arten und doch komplex genug, um auch komplizierte Zusammenhänge zu erkunden. Hier, in der Saaleaue bei Jena, findet seit 2002 das weltweit größte Grünland-Experiment der Biodiversitätsforschung statt. Und die Superlative häufen sich: Es ist nicht nur das größte, es ist auch das umfassendste Experiment seiner Art und das konsequenteste zudem. 480 Untersuchungsflächen wurden dafür eingerichtet, auf denen man mehr als 300 Parameter misst. Zwölf wissenschaftliche Institutionen sind beteiligt und mehrere Generationen von Doktorandinnen und Doktoranden. Gemeinsam gehen sie der Frage nach, wie die Diversität der Pflanzengemeinschaft ökosystemare Prozesse beeinflusst, die Produktivität zum Beispiel und das Vorkommen von Insekten, die Speicherung von Kohlenstoff und die Qualität des Grundwassers.

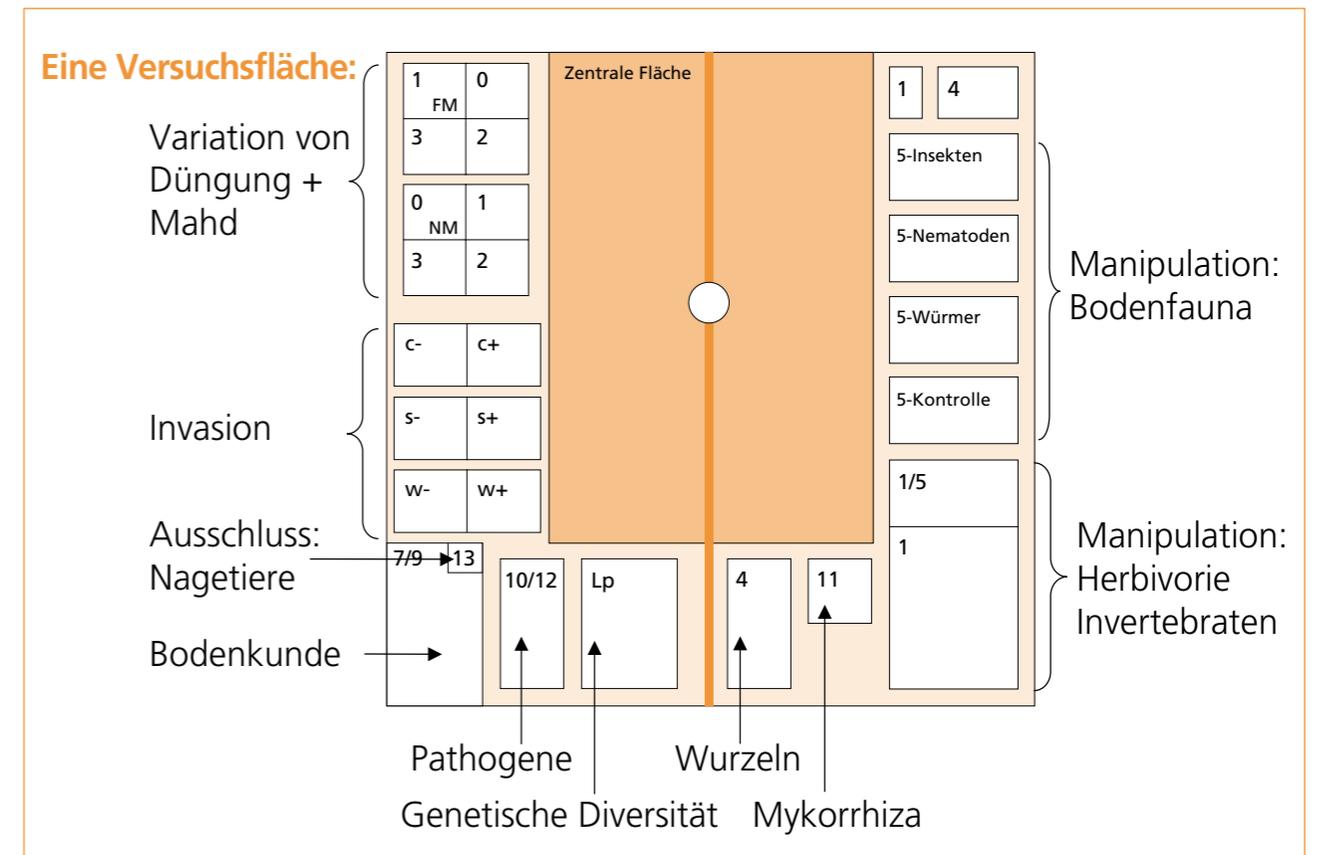
Biodiversität von oben – selbst mit einigem Abstand wird deutlich, dass sich während des Experiments im Tal der Saale sehr unterschiedliche Wiesen entwickelt haben. Aufrechterhalten werden sie durch zweimaliges Jäten und Mähen.



Wie ein buntes Schachbrett wirkt die Anlage aus luftiger Höhe. Zwanzig mal zwanzig Meter misst jede der 90 großen Versuchsflächen. Hinzu kommen 390 kleinere Plots von jeweils 3,5 mal 3,5 Meter, auf denen Monokulturen der verschiedenen Arten angelegt sind, und auch Kontrollflächen für die Verifizierung aller Ergebnisse. Sechzig häufige Pflanzenarten mitteleuropäischer Wiesen haben die Wissenschaftler hier in vielerlei Kombinationen gesät und dabei so zusammengestellt, dass sie auch der Frage nachgehen können, ob eigentlich einzelne Arten, funktionelle Typen oder die Diversität als solche verantwortlich sind für den Einfluss auf die Ökosystemfunktionen. Zu diesem Zweck hat man die Pflanzen in vier funktionelle Gruppen eingeteilt: Gräser, kleine Kräuter, große Kräuter und Leguminosen.

Beide, die Anzahl der Arten und die der funktionellen Gruppen, wurden so unabhängig wie möglich voneinander variiert – eben dadurch unterscheidet sich dieses Langzeitexperiment von allen vergleichbaren Versuchen. Einzigartig ist zudem der Ansatz, auf jeder Parzelle mehr als 20 Teilversuche durchzuführen, ein Versuchsdesign, das erst durch die Größe der Flächen überhaupt sinnvoll möglich wird. Zudem zeichnet sich das Jena-Experiment dadurch aus, dass es – ausgehend von der pflanzlichen Diversität – die Stoffkreisläufe innerhalb der Ökosysteme ebenso umfassend in den Blick nimmt wie die Wechselbeziehungen zwischen den Arten, seien es Interaktionen mit anderen Pflanzen oder mit Mitgliedern anderer Stufen der Nahrungskette wie Pflanzenfresser, Räuber oder Zersetzer.

Tatsächlich sind all diese Bezüge noch weitgehend unerforscht. Dabei ist der Artenreichtum der Pflanzen nur eine – besonders offenkundige – Komponente der Diversität von Ökosystemen. Untersuchungen über andere Organismengruppen oder gar über die vielfachen Wechselwirkungen innerhalb und zwischen ihnen aber sind rar, obwohl das Zusammenspiel von Pflanzen mit ihren Bestäubern, mit Pflanzenfressern und deren natürlichen Feinden, mit Mikroorganismen und Zersetzern doch sowohl für die Leistungen der Pflanzen



Eine Fläche von 400 Quadratmetern umfassen die großen Plots des Jena-Experiments, unterteilt in Quadrate von 20 Meter x 20 Meter. An die Seiten sind auf 5 Meter breiten Streifen verschiedene Versuche angeordnet, die das unberührbare „Herzstück“ mit einer Ausdehnung von 10 Meter x 15 Meter umrahmen.

selbst als auch für die Funktion und das Verständnis jedes Ökosystems von entscheidender Bedeutung ist. Vor solchem Hintergrund widmet sich die DFG-Forschergemeinschaft mit dem Jena-Experiment ganz grundlegenden Fragen: Beeinflusst die Artenzahl als solche die Prozesse innerhalb der Ökosysteme? Welche Rolle spielen die Anzahl und Zusammensetzung funktioneller Gruppen – unabhängig von den jeweils beteiligten Arten und ihrer Zahl – für die Leistungen der Ökosysteme? Gibt es Schlüsselarten mit überproportional großem Einfluss? Hängt die Beziehung zwischen pflanzlicher

Vielfalt und den Funktionen eines Ökosystems auch von der Diversität anderer Organismengruppen ab?

Aufbauend auf dem bisherigen Wissen und Erfahrungen mit vorausgegangenen Experimenten wurde das Jena-Experiment so entworfen, dass in seinem Modellökosystem Grünland die Diversität der Pflanzen und ihrer funktionellen Gruppen vielfach variiert wird. Durch reine Beobachtungen in der unberührbaren Herzzone der großen Plots und eine Vielzahl auch manipulativer Eingriffe an ihren dafür vorgesehenen Rändern erkunden Wissenschaftler unter-

schiedlichster Disziplinen gemeinsam den Einfluss pflanzlicher Diversität auf verschiedenste Prozesse im Ökosystem. Dazu bringt man beispielsweise auf Teilflächen am Rande der Plots auch Düngemittel oder Insektizide aus, verzichtet auf das Jäten oder vermehrt oder vermindert Pflanzenfresser oder Bodenfauna gezielt. Die Forscher untersuchen den Einfluss der Diversität auf die Kreisläufe von Kohlenstoff und Stickstoff und fahnden nach den entscheidenden Komponenten für diese Prozesse. Und sie versuchen, jene Faktoren auszumachen, die für die Stabilität der Pflanzengemeinschaften und die Ökosysteme insgesamt maßgeblich sind. Solche funktionellen Aspekte der Biodiversität haben gerade auch für den Menschen erhebliche Bedeutung – hängen sie doch eng mit Leistungen der Ökosysteme wie Produktivität, Speicherung von Kohlenstoff, Reinigung von Wasser oder Verhinderung von Erosion zusammen.

Ergebnisse und Trends

Vielfach erlauben die bisherigen Ergebnisse eine neue Sicht. In anderen Punkten bestätigen sie Vermutungen, die bislang noch nicht nachgewiesen werden konnten. Das gilt zum Beispiel für die Stabilität der Systeme, wenn man darunter ihre Widerstandskraft gegen Einwanderer von außen versteht. Je artenreicher die Modellwiesen sind, umso geringer sind die Chancen für Invasoren, dort Fuß zu fassen. Dabei ist es nach den bisherigen Ergebnissen unerheblich, welcher funktionellen Gruppe die Eindringlinge angehören. Die Zusammensetzung der bestehenden Pflanzengemeinschaft dagegen ist – bei gleicher Artenzahl – durchaus von Bedeutung: Gräser erhöhen den Widerstand gegen Einwanderer signifikant, Leguminosen dagegen senken ihn. Offenbar profitieren auch Neuankömmlinge von der Fähigkeit der Leguminosen zur Stickstoffbindung. Eine Eigenschaft wie die Stabilität oder der Invasionswiderstand der Pflanzengesellschaft hängt also nicht allein von der Vielfalt der Arten ab, sondern auch von der Diversität der funktionellen Gruppen.

Auch bei anderen wichtigen Größen, etwa der Produktivität der Wiesen, ergibt sich ein differenziertes Bild. Auch hier gilt: Je höher die Artenvielfalt, umso größer ist die oberirdische Produktivität des Grünlands, auf ungedüngten wie auf gedüngten Flächen. Die unterirdische Produktion ändert sich ebenfalls mit der Artenvielfalt. Dabei betrachten die Forscher vor allem Wurzeigenschaften, die den Humusgehalt oder die Auswaschung von Nährstoffen aus dem Boden beeinflussen, wie die Durchwurzelungstiefe, die Menge an Wurzeln oder deren Absterberate. Vor allem Gräser, so zeigte sich, verstärken das Wachstum der Wurzeln, die Stickstoffbindung durch Leguminosen dagegen führt offenbar dazu, dass Pflanzen weniger Wurzeln zur Nährstoffaufnahme bilden und vermehrt in die oberirdische Biomasse investieren.

Bestäubende Insekten übernehmen eine wichtige Rolle in der Lebensgemeinschaft. Je vielfältiger die Pflanzenwelt, umso höher ist auch ihre Artenzahl.



Mit Blick auf die Tierwelt bestätigt sich die Vermutung ebenfalls: Ein zunehmender Artenreichtum der Pflanzen lässt auch die Artenzahl vieler Tiere steigen, zum Beispiel die der Insekten, der artenreichsten Tiergruppe auf dem Land. Auch im Grünland übertrifft die Artenzahl der Insekten die der höheren Pflanzen weit – über ihren Einfluss auf Produktivität und Zusammensetzung der Pflanzengemeinschaften oder die Stoffflüsse weiß man allerdings nur wenig. In Jena wird deshalb auch untersucht, wie Insekten, Spinnen oder Schnecken die Prozesse in den Wiesenparzellen beeinflussen und wie Anzahl und Vielfalt der Insekten von der Artenvielfalt der Pflanzen abhängen. Deutlich wurde dabei, dass sich die Insektengemeinschaft bemerkenswert schnell etabliert. Schon nach zwei Jahren fand sich eine große Zahl von Arten – und selbst auf den kleineren Plots hängen Vielfalt und Anzahl der Insekten unmittelbar von der Artenvielfalt der Pflanzen ab.

Für andere Organismengruppen ergibt sich ein komplizierteres Bild. So steigt mit der Vielfalt der Pflanzenarten beispielsweise die Häufigkeit und Menge der Regenwürmer, ihre Artenzahl aber ändert sich nicht. Ameisen reagieren gar nicht auf eine größere Vielfalt an Pflanzen, und auch die Menge der Springschwänze, Milben und Fadenwürmer im Boden ändert sich nicht. Blattläuse indes haben es schwerer – die Zahl ihrer natürlichen Feinde wächst. Die Versuche zeigen zudem, dass der Einfluss pflanzenfressender Insekten auf die Heuernte im Grünland geringer ist als angenommen. Verschiedene funktionelle Gruppen wirken sich ebenfalls auf die Tierwelt aus. So lassen Leguminosen die Dichte von Regenwürmern und Ameisen, Hundertfüßlern, Tausendfüßlern und Fadenwürmern steigen, und die Aktivität pflanzenfressender Insekten nimmt zu. Unter dem Einfluss von Gräsern hingegen sinkt die Zahl der Regenwürmer und Tausendfüßler, während die Lebensdauer der Heuschrecken steigt.

Neben den Nahrungsketten nehmen die Wissenschaftler die Flüsse von Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Wasser innerhalb der Lebensgemeinschaften in den Blick. Da das große Speichermedium Boden nur



Auch unter optimalen Bedingungen ist Freilandforschung nicht immer bequem. Die Analyse der Artenvielfalt braucht Sorgfalt und den geschulten Blick.

sehr träge reagiert, lassen sich diese Effekte erst mit einiger Verzögerung messen. Nach sechs Jahren Versuchsdauer zeigt sich jedoch deutlich, dass bei höherer Biodiversität mehr Kohlenstoff und Stickstoff im Boden festgelegt werden. Dieser Zusammenhang, der sich im Jena-Experiment erstmalig zweifelsfrei nachweisen lässt, ist für die Überlegungen zum Klimaschutz und die politischen Diskussionen um das Kyoto-Protokoll durchaus von Bedeutung. Weideland nimmt schließlich einen erheblichen Teil der Landflächen der Erde ein. Wenn es sich durch Erhöhung der Artenvielfalt zum Kohlenstoffspeicher umwandeln ließe, ist dies für die globale Kohlenstoffbilanz wichtig.

Für eine möglichst große Artenvielfalt auf den Wiesen spricht ein weiterer Aspekt: Mit steigender Diversität erhöht sich die Filterwirkung des Bodens signifikant. So gelangt erheblich weniger des für den Menschen toxischen Nitrats ins Bodenwasser, aber auch Phosphat und organischer Stickstoff werden stärker zurückgehalten. Die Erklärung klingt einleuchtend: Eine diverse Wiese lässt weniger von dem Pflanzennährstoff ungenutzt, weil irgendwo immer noch irgendeiner ihn gerade brauchen kann. Diese Flüsse schließlich kom-



Die Produktivität der Wiesen hängt entscheidend von der Vielfalt der Arten und der funktionellen Gruppen ab.

plett zu modellieren, gehört zu den Zielen der Forschergruppe.

Die Ergebnisse bestätigen auch den überragenden Einfluss der Leguminosen auf die Stickstoffgehalte im Boden. Durch die Aufnahme von atmosphärischem Stickstoff enthalten die Böden unter Artenmischungen mit Leguminosen signifikant mehr Stickstoff als die unter Parzellen ohne Leguminosen. Eine zunehmende Artenzahl lässt dabei den Stickstoffgehalt im Boden in der zweiten Hälfte der Vegetationsperiode stark sinken. So ergibt sich ein für die Praxis wichtiger Schluss: Gerade für Grünländer mit Leguminosen, die eine hohe Produktivität aufweisen und ökonomisch lukrativ sind, ist eine große Artenvielfalt wichtig.

Auch auf die grundlegenden Fragen der Biodiversitätsforschung kristallisieren sich langsam Antwor-

ten heraus. So gilt – zumindest für die Produktivität der Wiesen –, dass sowohl die Zahl der Arten als auch die Anzahl und Art der funktionellen Gruppen von Bedeutung sind. Besonders wichtig – und im Jena Experiment zum ersten Mal nachgewiesen – ist indes, dass auch innerhalb der funktionellen Gruppen die Artenzahl Bedeutung hat. Artenvielfalt ist mithin zumindest unter diesem Aspekt nicht redundant. Ob dies auch für andere funktionelle Bezüge gilt, werden die Ergebnisse der nächsten Jahre zeigen. ◀

Profil

Projekt: Biodiversität bei Elementkreisläufen und trophischen Interaktionen: ein experimenteller Ansatz in einer Grünlandgemeinschaft (Jena-Experiment)

Förderung: Forschergruppe, 9 Teilprojekte

Voraussichtliche Laufzeit: 2002–2010

Untersuchungsort: Saaleaue Jena, Thüringen, Deutschland

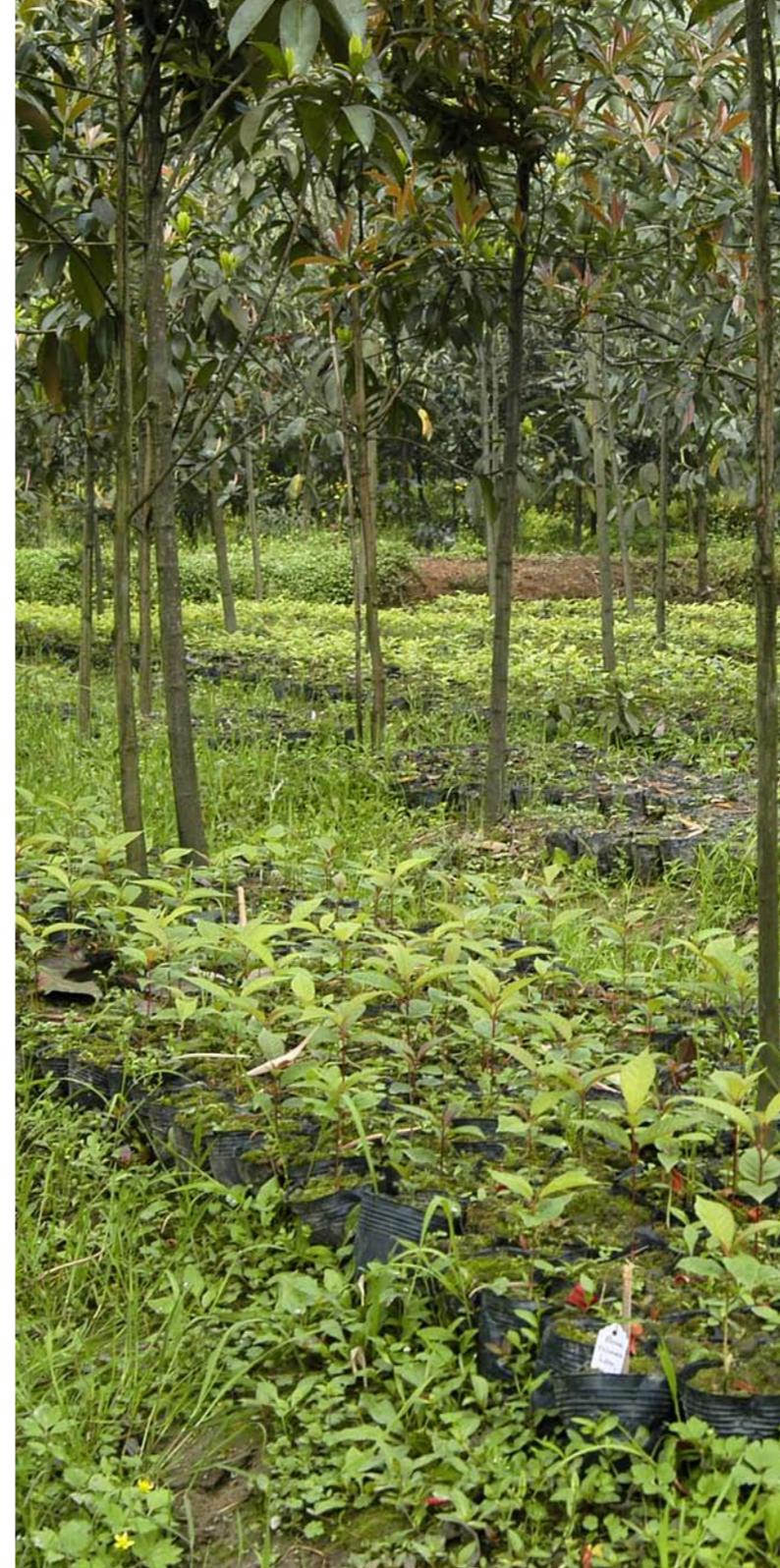
Habitat: Grünland

Beteiligte Disziplinen: Bodenkunde, Botanik, Geologie, Genetik, Hydrologie, Mathematik, Ökologie, Zoologie

Internationale Zusammenarbeit: ETH Zürich, Schweiz; Universität Zürich, Schweiz; INRA Clermont-Ferrand, Frankreich

Projektbeschreibung: Die Zuordnung von Arten zu funktionellen Gruppen kombiniert mit einer orthogonalen Anordnung ermöglicht es, den Einfluss der funktionalen Diversität vom Einfluss der Artenzahl zu trennen. Messungen an einzelnen Pflanzen, Pflanzengemeinschaften, Boden, Bodenwasser und Interaktionen mit anderen Stufen der Nahrungskette erlauben es, das Netzwerk der Wechselwirkungen zu erkennen und die Effekte der Biodiversität auf Vorräte und Flüsse innerhalb der Ökosysteme zu quantifizieren

Website: www.the-jena-experiment.de



Wälder für die Wissenschaft

Die Rolle einer diversen Baum- und Strauchschicht für Produktion, Erosionsschutz und Elementkreisläufe in den Subtropen Chinas

Sie stehen schon in Reih und Glied, warten auf ihren großen Einsatz. Setzlinge von 100 verschiedenen Gehölzen, je 50 Bäumen und 50 Sträuchern, je 50 immergrünen und 50 sommergrünen Arten. Abertausende von ihnen werden demnächst gepflanzt, nach einem ausgeklügelten Plan, auf etwa 100 Hektar Fläche, für ein gigantisches Experiment. Schon wegen der Ausmaße und Zahlen scheint es perfekt nach China zu passen. Der wissenschaftliche Grund ist ein anderer: Im Süden des Landes, an der Grenze zwischen subtropischen und gemäßigten Breiten, findet sich einer der bedeutsamsten Hotspots der Biodiversität auf der nördlichen Hemisphäre. Vor allem Pflanzenfamilien, die Bäume oder Sträucher hervorgebracht haben, entwickelten hier einen Artenreichtum, der alles übertrifft, was das holarktische Reich sonst zu bieten hat. Gemeinsam wollen europäische und chinesische Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler deshalb dort einer Frage nachgehen, die angesichts der globalen Umweltveränderungen zunehmend an Bedeutung gewinnt: Welchen Beitrag leistet die Biodiversität von Wäldern für die Stabilität und die Dienstleistungen von Ökosystemen – und wie lässt sich dies fördern und nutzen?

Tatsächlich ist dieses Experiment in mancherlei Hinsicht neu und bislang einzigartig. Wälder erbringen zwar die wohl wichtigsten Leistungen für die Welt um sie herum, etwa für den Kohlenstoff-, den Nährstoff- und den Wasserhaushalt, eignen sich jedoch besonders schlecht für Experimente. So beschränkten sich Versuche, die Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Funktionen für das Ökosystem experimentell zu erkunden, in der Regel auf Gräser und Kräuter. Erst in jüngster Zeit wurden einige Experimente an Wäldern eingerichtet, in Finnland, Deutschland, Panama und Borneo, mithin in der borealen, der gemäßigten und der tropischen Zone. Das Experiment in China wird das erste in den artenreichen Subtropen sein. Es baut auf Erfahrungen aus anderen Versuchen auf – und wird doch deutlich über sie hinausgehen.

Das betrifft nicht nur die ungewöhnlich große Vielfalt der einbezogenen Arten. Erstmals wird auch

die Artenzahl in zwei großen funktionellen Gruppen gleichzeitig variiert, nämlich bei den Bäumen und bei den Sträuchern. Innerhalb dieser Gruppen unterscheidet man zudem funktionelle Untergruppen wie immergrüne und sommergrüne Pflanzen. Schon jetzt werden die Versuchsflächen so angelegt, dass im weiteren Verlauf der Experimente auch andere Organismengruppen wie die Arten der Krautschicht, Pilze, Pflanzenfresser, Räuber und Zersetzer manipuliert werden können. Ferner werden sowohl natürliche Wälder als auch Monokulturen und Plantagen kommerziell bedeutsamer Arten in die vergleichenden Untersuchungen einbezogen. Schließlich soll erstmalig erkundet werden, wie sich die Diversität der Wälder auf die Vermeidung von Bodenerosion als eine wichtige Dienstleistung des Ökosystems auswirkt.

Die extrem artenreichen naturnahen Wälder der subtropischen Zone dienen als Vergleichsobjekt.



Gerade in den Subtropen mit ihren häufigen Starkregen ist der Verlust wertvoller Böden durch Erosion ein drängendes Problem. Das gilt speziell für China, wo die ungestüme ökonomische Entwicklung nicht nur einen rapiden Artenschwund, sondern auch eine erhebliche Luftverschmutzung, gravierende Erosionsschäden und hohe Verluste von fruchtbaren Böden mit sich brachte. Die extremen Sedimentfrachten der Flüsse legen davon Zeugnis ab. Zu den Maßnahmen, die diese verhängnisvolle Entwicklung stoppen sollen, gehören groß angelegte Aufforstungsprogramme, die nun auch die Chance zu einem Experiment wie diesem bieten. Beteiligt daran sind von europäischer Seite 18 Wissenschaftler aus Deutschland und der Schweiz – Ökologen, Forstwissenschaftler und Bodenkundler, die Erfahrungen auf unterschiedlichen Gebieten von der Taxonomie bis zur Statistik, von der Botanik bis zu geografischen Informationssystemen mitbringen. Sie arbeiten zusammen mit einer Gruppe chinesischer Wissenschaftler mit jeweils komplementären Schwerpunkten und Fertigkeiten, die dem Institut für Botanik der Chinesischen Akademie der Wissenschaften und der Fakultät für Umweltwissenschaften der Universität Peking angehören.

In vielen einzelnen Schritten werden die Wissenschaftler versuchen, die Zusammenhänge zwischen Biodiversität und den Funktionen der Wälder zu entwirren und dabei Größen wie die Produktivität, die Speicherung von Kohlenstoff, den Stickstoffkreislauf, den Schutz vor Bodenerosion, die Bodenbildung und die Stabilität der Lebensgemeinschaft in den Blick nehmen. Dazu teilen sie das gesamte Arteninventar des Experiments in drei Teile von je 16 Baumarten und je 16 Straucharten ein. Aus jedem dieser drei Artenbestände wiederum bilden sie sechs unterschiedliche Stufen des Artenreichtums in der Baumschicht – mit keiner, einer, zwei, vier, acht oder sechzehn verschiedenen Baumarten – die jeweils mehrfach wiederholt und zudem mit vier verschiedenen Stufen der Vielfalt in der Strauchschicht kombiniert werden. Hinzu kommen Flächen, auf denen drei häufig kommerziell genutzte Baumarten in Monokultur gepflanzt wer-



Ungewohnte Vielfalt für europäische Augen – das Phänomen der Kauliflorie zählt zum Formenschatz der tropischen und subtropischen Gehölze.

den, außerdem Monokulturen jeder der beteiligten Arten und schließlich Flächen, die der freien Sukzession überlassen werden – alles in allem also mehr als 300 für dieses Experiment angelegte Flächen. Zum Vergleich werden natürliche Wälder und bereits bestehende sekundäre Wälder unterschiedlichen Alters herangezogen.

Von diesem experimentalen Geflecht erhofft man sich grundlegende Erkenntnisse über Zusammenhänge zwischen Biodiversität und ökosystemaren Prozessen in einer Klimazone, die noch wenig erforscht ist und doch einen bedeutsamen Teil der Biosphäre umfasst. Eine der Hypothesen lautet, dass die Vielfalt in der Baumschicht subtropischer Wälder maßgeblich durch andere Organismengruppen wie Pflanzenfresser und Krankheitserreger reguliert wird, während die ökologischen Nischen der Baumarten sich oftmals weit überlappen. Durch das Versuchsdesign, mit dem auch Bodendaten und physikalische Größen sowie die ober- und unterirdischen Wechselwirkungen der Organismen untersucht werden, sollten sich auch solch grundsätzliche Hypothesen überprüfen lassen.



Wie wirkt sich eine artenreiche Baumschicht auf die Vielfalt anderer Organismen aus? Auch dieser Frage gehen die Wissenschaftler in diesem Experiment nach.

Gleichzeitig gibt es aber eine Vielzahl praxisorientierter Aspekte, die mit den Dienstleistungen der Ökosysteme für die Umwelt zusammenhängen. Da ist zum Beispiel die Frage, ob artenreichere Wälder besser vor Erosion schützen als weniger diverse Wälder oder gar Monokulturen. Oder ob artenreichere Wälder stabiler sind, weil sie auf veränderte Umweltfaktoren flexibler reagieren können und beispielsweise physikalischem Stress wie anhaltender Trockenheit oder biologischem Stress etwa durch Schädlingsepidemien erfolgreicher widerstehen. Es geht ferner um die Frage, ob eine höhere Produktivität bei größerem Artenreichtum auch zu einer erhöhten Festlegung von Kohlenstoff führt und so dazu beitragen kann, die globale Erwärmung abzuschwächen. Und es geht um den Beitrag, den der Artenreichtum auf der Ebene der Primärproduzenten für den Erhalt von Biodiversität auf anderen funktionalen Ebenen liefert.

So sehr man hofft, bald Antworten auf diese Fragen zu finden – das große Experiment in China ist stark in die Zukunft gerichtet: Es bietet erstklassige Möglichkeiten zur Ausbildung vieler Generationen von Forschern und zur Kooperation über die Kontinente hinweg. Und manche Ergebnisse dürften zudem erst für die Enkel und Urenkel deutlich werden – so wie die deutsche Forstwissenschaft noch heute von den Waldexperimenten profitiert, die zu Zeiten Bismarcks als Dauerbeobachtungsflächen angelegt wurden. ◀

Profil

Projekt: Die Rolle einer diversen Baum- und Strauchschicht für Produktion, Erosionsschutz und Elementkreisläufe in den Subtropen Chinas

Förderung: Forschergruppe, 10 Teilprojekte

Voraussichtliche Laufzeit: 2008–2014

Untersuchungsort: subtropisches China

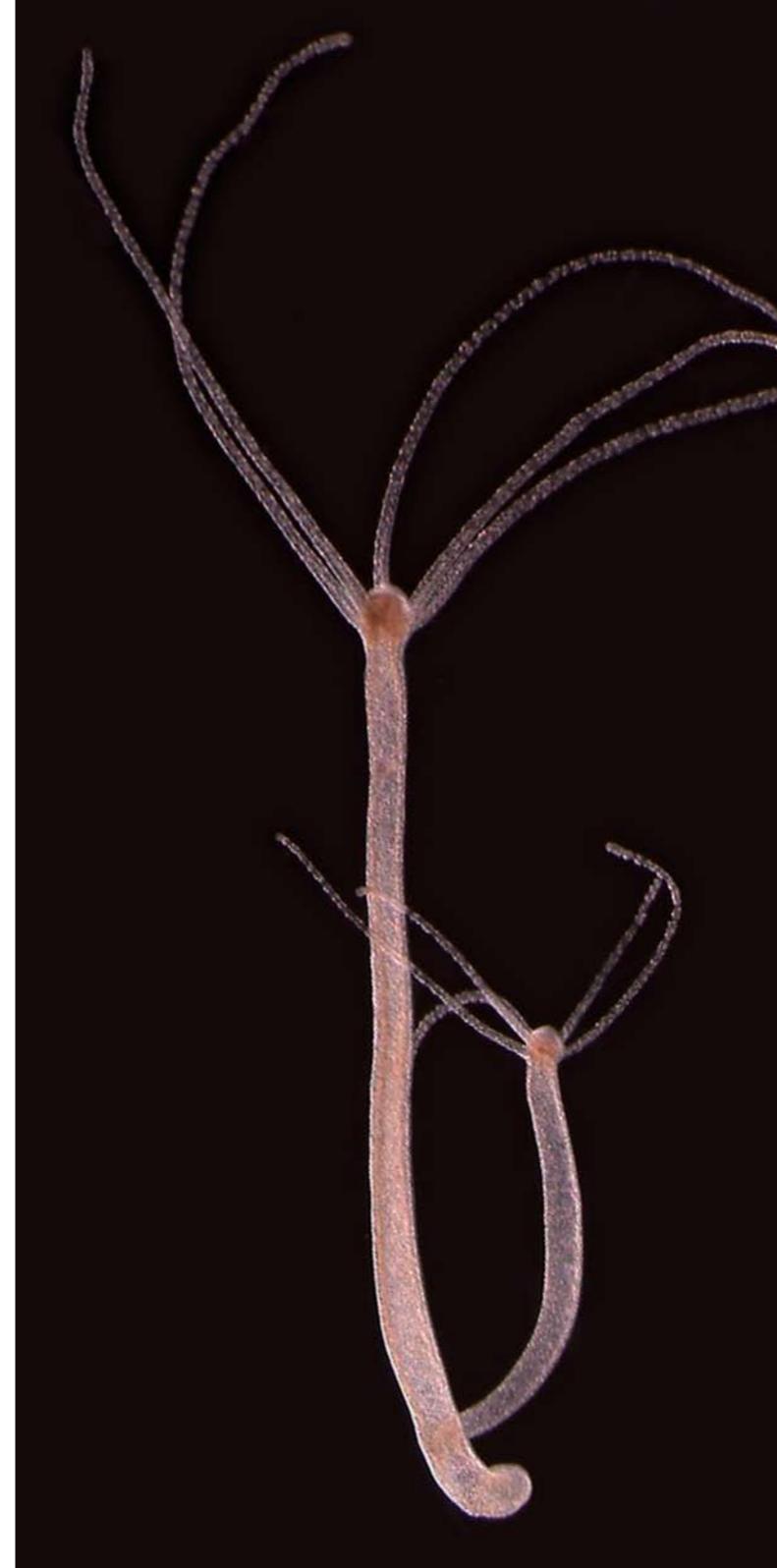
Habitat: Wald

Beteiligte Disziplinen: Ökologie, Botanik, Umweltwissenschaften, Populationsgenetik, Forstwissenschaft, Mykologie, Bodenkunde, Statistik

Internationale Zusammenarbeit: Trilaterales deutsch-schweizerisch-chinesisches Kooperationsprojekt mit komplementärer, chinesisch-europäischer Besetzung aller Teilprojekte

Projektbeschreibung: Experimentelle Zusammenstellung verschiedener Diversitätsstufen der Baum- und Strauchschicht im Wald, unter Einbeziehung eines großen Pools an Gehölzarten. Biodiversität wird gesehen als Prädiktor für Ökosystemfunktionen, wie Stabilität von Ökosystemen, sowie als Prädiktor für Ökosystemdienstleistungen, wie Erosionsschutz, Produktivität, Kohlenstoffbindung und Invasionswiderstand. Das Projekt bietet einen Vergleich mit natürlichen Systemen. Es ist die erste Studie im „biodiversity hotspot“ der Subtropen

Website: www.botanik.uni-halle.de/bef-china



Heilende Erkenntnis aus dem Meer?

Biodiversität auf epithelialen Oberflächen: Pathophysiologie der Interaktion von Wirt und kommensaler Flora

Auf den ersten Blick wirkt es etwas kraus. Warum beschäftigen sich Mediziner ausgerechnet mit der Vielfalt des Lebens im Ozean? Was haben ein kleiner Polyp mit dem großen Namen Hydra und der Mensch gemeinsam? Mehr als man denkt, lautet die ebenso einfache wie überraschende Antwort – und überrascht hat diese Erkenntnis tatsächlich auch die Wissenschaft. Die war bis vor kurzem davon ausgegangen, dass das Erbgut eines Tieres umso weniger Gene enthält, je einfacher sein Körper aufgebaut ist. Schließlich sind bei den beliebtesten wirbellosen Modellorganismen, der Fruchtfliege *Drosophila melanogaster* und dem Fadenwurm *Caenorhabditis elegans*, eine ganze Reihe wichtiger Gene der Wirbeltiere nicht vorhanden – vor allem solche, die unter an-

Ohne Herz und Hirn, aber höchst wehrhaft – Medusen oder Quallen sind die frei bewegliche Generation der Nesseltiere.

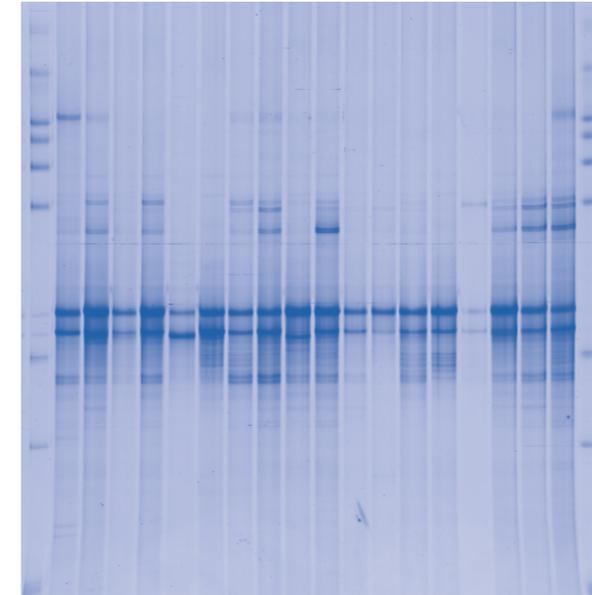


derem den Körperbau steuern. Die besonders primitiv wirkenden Nesseltiere aber, die die Gewässer der Erde seit rund 600 Millionen Jahren bevölkern und weder Blut noch Herz noch Hirn besitzen, verfügen – wie man jetzt weiß – über ein Erbgut, das dem der Wirbeltiere verblüffend ähnlich ist, sowohl in der Zahl der Gene als auch in der Art.

Das Erbgut der Nesseltiere, das kürzlich entschlüsselt wurde, spiegelt die sehr schlichte Gestalt dieser Organismen also keineswegs wider. Tatsächlich gleichen die Tiere einer Art Gewebesack – auch wenn viele von ihnen in zwei verschiedenen Generationsformen auftreten: als sesshafte Polypen, von einem Fuß am Untergrund festgehalten und mit einer von Tentakeln umstellten Öffnung am oberen Ende des schlauchförmigen Körpers, und als Medusen oder Quallen, schirmförmig, beweglich und mit Mundöffnung und Tentakeln an der Unterseite des Körpers. Die so einfach gebauten Organismen mit ihrer reichen Genausstattung avancieren derweil zu beliebten Modellorganismen – lassen sich grundlegende zell- und molekularbiologische Phänomene an ihnen doch besonders gut erforschen. Davon profitieren nicht nur die Entwicklungsbiologen. Auch die Mediziner haben in ihnen ein geschätztes Studienobjekt gefunden, beispielsweise mit Blick auf die Immunabwehr.

Über ein Immunsystem mit Antikörpern und lernfähigen Immunzellen verfügen die urtümlichen Polypen und Quallen zwar nicht, sie arrangieren sich aber trotzdem vorzüglich mit den unzähligen Bakterien, Viren und Pilzen in ihrer Umwelt. Dabei können sie sich offenbar auf einen Schutzmechanismus verlassen, den es auch beim Menschen noch gibt: das sogenannte angeborene Immunsystem. Es sitzt bei Menschen wie bei Polypen höchst sinnvoll an den Grenzen oder Barrieren zwischen dem Organismus und der Außenwelt, in den Epithelzellen von Haut oder Schleimhäuten zum Beispiel.

Eben diese Barrieren, ihre Funktion und ihr Versagen, beschäftigen die Medizin in zunehmendem Maße. Erkrankungen an den Barriereorganen Haut, Lunge und Darm nämlich, also Krankheiten wie



Ein Gelbild zeigt die Diversität von Darmbakterien in unterschiedlichen Probanden. Jede Säule stellt eine einzelne Testperson dar, jede dunkle Linie mindestens einen Typ vom Bakterienstamm.

Asthma, Neurodermitis und Schuppenflechte oder die entzündlichen Darmerkrankungen Morbus Crohn und Colitis ulcerosa, haben in den letzten Jahrzehnten dramatisch zugenommen. Die Ursache dieser Erkrankungen sucht man deshalb in den veränderten Lebensbedingungen der industrialisierten Welt und ihren Auswirkungen auf die natürlich vorkommenden Mikroorganismen, beispielsweise auf der Haut des Menschen oder in seinem Darm. Wie verändert sich die Zusammensetzung der Stuhlflora bei chronischen Darmentzündungen? Können wir die Krankheiten aufhalten, indem wir diese Flora beeinflussen? Welche Rolle spielt der natürliche Bakterienmantel der Haut bei Infektionskrankheiten oder Neurodermitis? Solchen Fragen gehen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedener Disziplinen im Kieler Exzellenzcluster der DFG „Entzündungen an Grenzflächen“ nach. Inzwischen weiß man, dass

Darmbakterien zum Beispiel auch in den Plaques von Herzkranzgefäßen zu finden sind und dass eine gestörte Darmflora bei der Fettleibigkeit eine Rolle spielt. Deshalb sind die Forscher überzeugt, dass ein Schlüssel zur Bekämpfung vieler Krankheiten im Verständnis der gestörten Biodiversität der natürlichen mikrobiellen Flora auf den Grenzflächen des Körpers zu finden ist.

So richtet die Wissenschaft ihr Augenmerk auf die Interaktionen zwischen Wirt und Mikroflora – und profitiert dabei von einem anderen Exzellenzcluster, der ebenfalls in Kiel angesiedelt ist und sich dem „Ozean der Zukunft“ widmet. Umfassend werden die Weltmeere hier betrachtet, ihre Entwicklung, ihre Gefährdung und ihre Potenziale. Dazu zählen auch Chancen für die Entwicklung neuer Wirkstoffe und Medikamente, die man dort zu finden hofft. Der Artenreichtum der Meeresorganismen, deren chemische Sprache und Ausstattung durch neue Methoden der Biotechnologie zugänglich werden, gilt als ein schier unerschöpfliches Reservoir. Aus marinen Mikroorganismen lassen sich neue Enzyme für die Industrie gewinnen, und in der gigantischen Bibliothek mariner Substanzen hofft man, Grundlagen für neuartige Krebsmedikamente aufzuspüren. In diesem Zusammenhang wurden neue Modellsysteme entwickelt, die für die Suche nach therapeutischen oder präventiven Strategien für menschliche Barriereerkrankungen genutzt werden: Die Nesseltiere, die eine Art «Mini-Darm» mit reicher genetischer Ausstattung und daher ein geradezu ideales Modell sind, um die Auseinandersetzung der Barriere Darmwand mit Bakterien zu erforschen oder zum Beispiel zu erkunden, wie die Rezeptoren des angeborenen Immunsystems schädliche von harmlosen Bakterien unterscheiden können.

Inzwischen ist nachgewiesen, dass einfache Polypen wie die Hydra eine ganz bestimmte artspezifische Flora haben, die sie aktiv erhalten – und dass sie tatsächlich über die gleichen Vorrichtungen zur Erkennung und zur Abwehr von Bakterien verfügen wie das Darmepithel des Menschen. Wenn man diese Mechanismen erst richtig versteht, so hoffen die Forscher,



Meerestiere wie die Seeigel haben unter dem hohen Selektionsdruck der Biodiversität in den Ozeanen eine große genetische Vielfalt entwickelt.

wird man daraus auch ableiten können, warum genetische Varianten in Barrieregebieten beim Menschen zu Erkrankungen führen, und man wird neue Wege für ihre Bekämpfung finden. Auch andere marine Organismen stehen im Fokus der Forscher. An Seeigeln und Muscheln erkunden sie die Evolution der Signale, die Epithelzellen an professionelle Immunzellen wie die Fresszellen weitergeben. Entscheidend dafür sind die Rezeptoren der Epithelzellen, die Bakterien sowohl außen als auch im Inneren der Zelle erkennen können. Viele Meerestiere haben unter dem hohen Selektionsdruck der Biodiversität in den Ozeanen eine große genetische Vielfalt solcher Rezeptoren entwickelt. Die Kieler Forscher vergleichen nun die Varianten bestimmter Rezeptoren, die bei Meerestieren wie der Ohrenqualle oder dem Seeigel in verschiedenen Lebenswelten vorkommen – beispielsweise jene auf offener See mit denen in Küstenregionen. So

wollen sie herausfinden, welche Varianten sich unter welchen Bedingungen durchgesetzt haben, vielleicht sogar Substanzen oder Bakterien ausfindig machen, die die Immunabwehr auch beim Menschen stärken können. Heilende Erkenntnis aus der Vielfalt der Meere? Die Kieler Forscher hoffen darauf. ◀

Profil

Projekt: Biodiversität auf epithelialen Oberflächen: Pathophysiologie der Interaktion von Wirt und kommensaler Flora

Förderung: Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ und „Entzündungen an Grenzflächen“

Voraussichtliche Laufzeit: 2007–2012

Untersuchungsort: Kiel, Deutschland und die Ozeane der Welt

Habitat: Epitheliale Oberflächen, diverse Habitate vom offenen Ozean bis zum menschlichen Darm

Beteiligte Disziplinen: Mikrobiologie, Gastroenterologie, Meeresbiologie, Dermatologie, Wirtschaftswissenschaften

Internationale Zusammenarbeit: Universität Toronto, Kanada; Universität Michigan, USA; Universität Lille, Frankreich; King's College London School of Medicine, Großbritannien

Projektbeschreibung: In Kiel beschäftigen sich zwei Exzellenzcluster auf unterschiedliche Weise mit dem Thema Biodiversität; in dem Querschnittsprojekt „Biodiversität auf epithelialen Grenzflächen“ kooperieren sie eng miteinander. Am Modell der Seeigel, Nessel- und Schalentiere untersucht man die Entstehung von Krankheiten an den Barrieren des Körpers sowie das Zusammenspiel von Wirtsorganismen und der sie begleitenden Bakterienflora. Die Ergebnisse könnten neue Wege aufzeigen für Prophylaxe oder Therapie von (chronischen) Krankheiten

Websites: www.ozean-der-zukunft.de/index-e.shtml, www.inflammation-at-interfaces.de/en_startseite.phtml



Vielfalt mit System

Aufbau eines
DNA-Bank-Netzwerks
als Serviceeinrichtung
für die wissenschaftliche
Forschung in Deutschland

Sammeln gehört zur Wissenschaft – zumal wenn sie sich mit der Welt um uns herum befasst. So sind naturkundliche Sammlungen seit jeher eine wesentliche Grundlage biologischer Forschung. Ihre Belegstücke und Präparate, die durch Verleih auch weltweit zugänglich sind, bilden eine wichtige Ressource für Taxonomen, Floristen, Systematiker und Genetiker – erlauben sie doch einen direkten Vergleich von Organismen, der sonst allenfalls mit hohem Aufwand, mitunter aber auch gar nicht mehr möglich wäre. Solche Vergleiche finden traditionell auf ganz unterschiedlichen Ebenen statt, sei es nun morphologisch-anatomisch bei Herbar-Belegen und Objekten aus Alkoholsammlungen, mikromorphologisch bei der Analyse von Oberflächenstrukturen, biogeografisch durch die Auswertung von Herkunftsangaben oder sei es biochemisch durch die Untersuchung von Inhaltsstoffen. Mit den Fortschritten in der Genanalyse kommt eine neue Ebene hinzu: die der Erbsubstanz. Sie macht auch eine neuartige Form naturkundlicher Sammlungen notwendig.

Tatsächlich haben die Verfahren der DNA-Analyse die biologische Forschung dramatisch verändert. Manch bisherige Annahme über die Verwandtschaft von Organismen oder die evolutionäre Entwicklung ihrer Merkmale wurde dank molekularbiologischer Erkenntnisse widerlegt oder durch neue Hypothesen ersetzt. Das trifft auch und gerade für die komplexen Fragen der Biodiversitätsforschung zu, denen man heute mithilfe von molekularen Analysen nachgehen kann. Dabei richten die Forscher ihr Augenmerk zum einen auf die Aufklärung der genetischen Diversität von Arten und ihrer räumlichen Dynamik, zum anderen auf das Auffinden genetischer Hotspots innerhalb von Populationen oder Arten und schließlich auf die Identifikation ökologisch relevanter Gene.

Die Ergebnisse molekularbiologischer Untersuchungen werden im Rahmen wissenschaftlicher Arbeiten statistisch verrechnet, analysiert und auf ihre wesentlichen Aussagen komprimiert. Stammen die Erkenntnisse aus dem Vergleich definierter Nukleotidabfolgen, werden diese in öffentlich zugänglichen



Herkömmliche Herbar-Exemplare haben ihren ganz eigenen Reiz, den sie über Jahrhunderte bewahren.

Sequenzdatenbanken hinterlegt, sodass man auf die Ausgangsinformation zurückgreifen kann. Theoretisch jedenfalls. Lange Zeit wurde allerdings ein bedeutender Tatbestand ignoriert: Auch diese molekularen Daten sind bereits extrahierte Informationen aus der Komplexität eines Organismus, dessen Primärinformationen in der DNA verschlüsselt sind. Durch Extraktion von Teilinformationen gelangt man zu Sekundärinformationen, zu denen der taxonomische Name,

der durch charakteristische Merkmale definiert wird, ebenso zählt wie Gewebe- und DNA-Analysen. Für jede Detailanalyse eines Individuums aber ist die Rückkopplung zu den Primärinformationen unverzichtbar – andernfalls sind die gewonnenen Sekundärinformationen wertlos. Da diese Tatsache in der Vergangenheit meist vernachlässigt wurde, lassen sich viele Untersuchungen jetzt nicht mehr überprüfen. Die Wissenschaft ist damit im Kern getroffen – ist es doch gerade ihr Wesen, dass sie reproduzierbare, überprüfbare Ergebnisse liefert. Solche Kontrolle erscheint mitunter auch bitter nötig. Bis zu einem Fünftel der DNA-Sequenzen in großen Datenbanken, so belegen neuere Stichproben, sind nicht korrekt annotiert oder tragen einen falschen wissenschaftlichen Namen. Der Wert solcher Datenbanken sinkt dadurch dramatisch.

Ein Exemplar für die Kollegen

Aus diesem Grunde hinterlegen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, wie sie es seit Linnés Zeiten in traditioneller Form tun, jetzt auch das biologische Ausgangsmaterial der Erbsubstanz in Sammlungs-einrichtungen, damit es zur Nachbestimmung und für weiterführende Untersuchungen zur Verfügung steht. Noch ist es in traditionellen Sammlungen extrem aufwendig, solches Material zu finden, anzufordern und zu revidieren, denn ein großer Teil des Sortiments der Forschungssammlungen ist noch nicht katalogisiert, digitalisiert oder online verfügbar – und hat somit kaum Einfluss auf die Korrektur von Forschungsergebnissen. Hier können und sollen neuartige zentrale Sammlungseinrichtungen Abhilfe schaffen, die dank moderner Kommunikationstechnik von vornherein so konzipiert werden können, dass der Zugriff über eine digitale, online verfügbare Dokumentation ständig und innerhalb kürzester Zeit möglich ist.

Solche sogenannten DNA-Banken sind technisch optimierte Serviceeinrichtungen zur dauerhaften Lagerung von gut dokumentiertem genetischem Material, die eine langfristige Nutzbarkeit für die Wissenschaft gewährleisten. Im Kern bestehen sie aus zwei

Elementen: einer DNA-Sammlung, die auch Gewebeproben umfasst, und einer Datenbank für die Dokumentation aller relevanten Daten wie Fundort, Funddatum, Standort, Sammler, Fixierung der Belege, digitalisierte Vouchers, Extraktionsmethode, Qualität und Konzentration der DNA, Sequenzdaten und Publikationen. Besser als die jeweiligen Institutionen und Arbeitsgruppen, die das Ausgangsmaterial bearbeiten, können solch zentrale Einrichtungen optimale Lagerungsbedingungen für das empfindliche Erbmaterial gewährleisten. Sie können zudem den Zugang zu den Proben vereinfachen und Standards für automatisierte Prozesse wie die molekularbiologische Bearbeitung der DNA oder die Datenbankabfrage entwickeln. Im medizinischen und forensischen Bereich gibt es solche DNA-Banken schon seit geraumer Zeit, zentrale Lager für die DNA von Wildorganismen aber werden jetzt erst aufgebaut. Die bekanntesten Institutionen für das Sammeln von pflanzlichem Erbgut sind derzeit die Royal Botanic Gardens Kew DNA Bank in Großbritannien, die Plant DNA Bank in Korea (Südkorea), die DNA Bank of Brazilian Flora Species in Brasilien und die DNA Bank at Kirstenbosch in Südafrika.

Ein Netzwerk für Deutschland

In Deutschland haben sich mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft nun vier große naturkundliche Forschungseinrichtungen mit unterschiedlichen Sammlungsschwerpunkten zu einem DNA-Bank-Netzwerk zusammengeschlossen. Es spiegelt – wie die Verteilung der naturkundlichen Forschungsmuseen – das Föderalismusprinzip der Bundesrepublik wider und ist damit ein Kompromiss zwischen dem Streben nach einer zentralen, kostengünstigen Einrichtung und der dezentralen Verteilung der Forschungssammlungen und ihrer Fachexpertise. Um die Langfristigkeit des Projekts zu gewährleisten, wurden als Partner dieses Netzwerks Institutionen gewählt, zu deren Aufgaben es bereits zählt, Sammlungen dauerhaft zu bewahren. Dabei konzentriert sich jede von ihnen auf ihr bisheriges Kern-

geschäft: Dem Botanischen Garten und Botanischen Museum Berlin-Dahlem obliegt zum einen die Koordination des Netzwerks sowie die Entwicklung und Integration der Module der Datenbank, des Systems der Datenbankabfrage der Partnerdatenbanken und des Online-Portals, zum anderen befindet sich dort der DNA-Bank-Knoten für Pflanzen, Algen und Protisten. Die DNA-Bank für die Belege einiger Gruppen von Wirbellosen Tieren sowie von niederen Deuterostomieren und Pilzen ist an der Zoologischen Staatssammlung München, die zentrale DNA-Lagerung von weiteren Gruppen Wirbelloser Tiere und von Wirbeltieren am Forschungsmuseum König in Bonn angesie-

Standardisierte Verfahren und hohe Präzision sind für die verlässliche Dokumentation genetischer Vielfalt unerlässlich.



delt. Die vierte DNA-Bank übernimmt die Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen in Braunschweig.

Gegenwärtig werden Labore, Lager und Datenbanken der Netzwerkpartner für die neue Sammlung optimiert. So führt man zum Beispiel DNA-Lagerungsversuche durch, die dazu beitragen sollen, die langfristige Erhaltung des Erbmaterials ohne Qualitätsverlust zu gewährleisten. Bislang haben sich nur wenige wissenschaftliche Studien mit dieser Frage beschäftigt. Grundsätzlich gilt jedoch, dass die DNA aus jenen Teilen der Organismen, die wie Samen oder Sporen der Verbreitung oder Überdauerung dienen und somit auf unwirtliche Bedingungen eingestellt sind, am stabilsten ist. Man weiß zudem, dass die Menge der extrahierten DNA größer und ihre Qualität höher ist, wenn frisches Gewebe sofort verarbeitet wird. Bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ kann es einige Monate, bei $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ einige Jahre ohne größeren Qualitätsverlust gelagert werden. Nur langsam schreitet die Degradierung des Erbguts auch in trockenem Zustand voran. Deshalb empfiehlt das Netzwerk zum Beispiel, die Gewebe unter Feldbedingungen möglichst schnell in Silica-Gel zu trocknen. Aus demselben Grunde können durchaus betagte Proben aus Herbarien und naturkundlichen Sammlungen noch recht hochwertige DNA enthalten, wenn sie nur schnell und konsequent genug getrocknet und ohne giftige Zusatzstoffe langfristig haltbar gemacht wurden.

Nach heutiger Kenntnis ist die Lagerung bei $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ oder in flüssigem Stickstoff die sicherste Form einer langfristigen Aufbewahrung von DNA. Eine Ausstattung zur Lagerung in flüssigem Stickstoff ist jedoch in der Anschaffung teuer und bringt auch hohe Kosten mit sich – ein Argument für die Lagerung bei $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ und für zentrale Sammlungen. Da die Qualität des Erbguts vor allem durch das Einfrieren und Auftauen beeinträchtigt wird, teilen die DNA-Banken des Netzwerks die extrahierte DNA zudem in eine Stammprobe und einige bei Bedarf sofort lieferbare Aliquots auf, die in getrennten Kühleinrichtungen gelagert werden, um den Stammproben Temperaturschwankungen zu ersparen.

Online-Eingabemaske der DNA-Bank: Genetische Vielfalt wird auch mithilfe modernster Technik erfasst und zugeordnet.

Neben der Qualität der DNA entscheidet vor allem die Dokumentation über den wissenschaftlichen Wert einer Probe. Im deutschen Netzwerk wird von jeder neuen Probe ein DNA-Bereich sequenziert als sogenannter DNA-Barcode. Eine solche Barcode-Sequenz kann belegen, dass die taxonomisch-systematische Identität der Probe der Dokumentation entspricht und dass keine Kreuzkontamination mit anderen Organismen vorliegt. Im Zeitalter der weltweiten Vernetzung müssen neben dem Ordnungssystem innerhalb einer Sammlung zudem internationale Standards entwickelt werden, die den globalen Austausch von Objekten erleichtern. Bisher gibt es keine allgemein akzeptierten Standards für biologische DNA-Banken. Das deutsche DNA-Bank-Netzwerk beteiligt sich deshalb im Rahmen von SYNTHESYS (Synthesis of Systematic Resources) an einem Projekt, in dem solche Standards für das Management der Sammlungen und der Datenbanken großer Naturkundlicher Sammlungen in Europa aufgestellt werden sollen.

Mittlerweile ist es nicht mehr notwendig, alle Informationen in einer einzigen Datenbank zu lagern, denn zu große Datenbanken werden unübersichtlich. Stattdessen kann man heutzutage über einen „Globally unique identifier (GUID)“ jedes Objekt in den Datenbanken mit anderen Datenbanken vernetzen, um schnell, einfach und übersichtlich an alle relevanten Informationen zu gelangen. Das kann mithilfe eines Wrappers geschehen, der als eine Art Übersetzer für die je nach Datenbank individuell benannten Tabellen und Spalten dient. In dieser übersetzten Form haben alle Datenbanken einen identischen Aufbau, was die Suchabfragen wesentlich beschleunigt und es möglich macht, viele Datenbanken zeitgleich abzufragen. So kann man durch die parallele Suche in mehreren hundert Sammlungsdatenbanken weltweit binnen Sekunden herauszufinden, wo Belege einer bestimmten Art existieren.

Derzeit sind die vier Institutionen des deutschen Netzwerks zunächst damit beschäftigt, das Erbgut aus ihren jeweils hausinternen Forschungsprojekten mitsamt aller Zusatzinformationen in die DNA-Banken zu integrieren. Bevorzugt kümmern die Wissenschaftler sich außerdem um die Einlagerung des Erbguts geschützter und gefährdeter Arten sowie um die Flora und Fauna Deutschlands. So arbeitet der Botanische Garten Berlin zum Beispiel mit dem Botanischen Verein Berlin-Brandenburg zusammen, um die regionale Flora bis zum Ende des Jahres 2008 zu etwa 80 Prozent zu besammeln und zu dokumentieren. Damit wären dann bereits 60 Prozent der Gefäßpflanzen in Deutschland erfasst. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aller Fachrichtungen und Institutionen sind eingeladen, Erbgut aus Forschungsprojekten mit den entsprechenden Informationen in einer der DNA-Banken des Netzwerks zu hinterlegen. Sie werden ferner dazu angeregt, auf Forschungsreisen auch DNA-Material nach den festgelegten Standards zu sammeln.

Vorrangig bemühen sich die Netzwerkpartner darum, die vorhandenen biologischen Sammlungen – wie Belegsammlungen, Lebendsammlungen, Samen-



Botanische Gärten sind die traditionellen Orte für die Bewahrung und Präsentation von Biodiversität.

banken, Gewebebanken und DNA-Banken – in internationale Sammlungsdatenbanken zu integrieren, um den Nutzern sowohl die Belege als auch die Daten einfach und schnell zugänglich machen zu können. Nur dadurch lässt sich die optimale Nutzbarkeit aller in den Sammlungen vorhandenen Ressourcen erreichen. In Projekten wie der Global Biodiversity Information Facility (GBIF), dem Biological Collection Access Service for Europe (BioCASE), dem Informationssystem zur Biodiversität terrestrischer Algen (AlgaTerra) und dem Consortium for the Barcode of Life (CBOL) wird genau das versucht und angestrebt. DNA-Banken können in diesem Rahmen ein ideales Bindeglied zwischen den traditionellen Belegsammlungen, der DNA als biologischem Informationsträger und den in Datenbanken hinterlegten DNA-Sequenzen werden. ◀

Profil

Projekt: Aufbau eines DNA-Bank-Netzwerks als Serviceeinrichtung für die wissenschaftliche Forschung in Deutschland

Förderung: Sachbeihilfe im Rahmen des LIS-Förderprogramms: „Themenorientierte Informationsnetze“, 4 Teilprojekte

Voraussichtliche Laufzeit: 2007–2009

Untersuchungsort: Probenentnahme von DNA aus Belegen naturkundlicher Sammlungen, aus Sammlungen von besonderem Interesse sowie von Naturstandorten weltweit

Habitat: alle Habitate von Wildorganismen weltweit

Beteiligte Disziplinen: Botanik, Mikrobiologie, Zoologie, Molekularbiologie, Taxonomie

Internationale Zusammenarbeit: Beteiligung an dem von der EU geförderten SYNTHESYS-Projekt (Synthesis of Systematic Resources) und an internationalen Projekten zur Entwicklung federführender Standards für DNA-Banken

Projektbeschreibung: Ziel ist der Aufbau eines DNA-Bank-Netzwerks als Serviceinstitution für die biologische Forschung, speziell die Biodiversitätsforschung. Dieses besteht aus technisch optimierten Einrichtungen zur langfristigen Lagerung gut dokumentierter DNA, die genetische Ressourcen zugänglich machen und die DNA von ausgestorbenen oder bedrohten Arten sichern. Es ist ein weltweit einzigartiges Konzept, DNA-Banken sich ergänzender Sammlungsschwerpunkte zu vernetzen. Vereinfachter Zugang zu Proben und Dokumentationsdaten durch ein gemeinsames zentrales Online-Netzwerk-Portal. Aufgaben: Isolation von DNA, hochwertige Aufreinigung, Bestimmung von DNA-Qualität und -Konzentration, Lagerung der Proben sowie Versand auf Anfrage. Spezielle Forschung zur Optimierung der Langzeitlagerung von DNA und Erfassung der kompletten Dokumentation, die online abrufbar ist

Website: www.botanischer-garten-berlin.de

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) ist die größte Forschungsförderorganisation und die zentrale Selbstverwaltungsorganisation der Wissenschaft in Deutschland. Sie dient der Wissenschaft in all ihren Zweigen durch die Förderung von Forschungsprojekten.

Mit einem jährlichen Etat von inzwischen rund 2 Milliarden Euro, die hauptsächlich von Bund und Ländern bereitgestellt werden, finanziert und koordiniert die DFG etwa 21 000 Forschungsvorhaben einzelner Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie von Forschungsverbänden an Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen. Anträge auf Förderung werden nach den Kriterien der wissenschaftlichen Qualität und Originalität von Gutachterinnen und Gutachtern bewertet.

Die Aufgabe der DFG umfasst auch die Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, die Förderung der Gleichstellung von Männern und Frauen in der Wissenschaft in Deutschland, die politische Beratung in wissenschaftlichen Fragen, die Pflege der Verbindungen mit der Wirtschaft sowie die Pflege und den Ausbau der wissenschaftlichen Beziehungen zum Ausland.

Zu den Mitgliedsorganisationen der DFG zählen Forschungsuniversitäten, außeruniversitäre Forschungseinrichtungen wie die Max-Planck-Gesellschaft, die Fraunhofer-Gesellschaft und die Leibniz-Gemeinschaft sowie die Akademien der Wissenschaften und weitere wissenschaftliche Organisationen.

Weitere Informationen zur DFG sind im Internet unter www.dfg.de verfügbar.

DFG



ISBN 978-3-527-32506-1