



Forschungsbericht 2009 - Max-Planck-Institut für Biogeochemie

## Funktionelle Biodiversitätsforschung im globalen Maßstab

### Functional biodiversity research at the global scale

#### Autoren

Wirth, Christian; Kattge, Jens

#### Abteilungen

Organismische Biogeochemie (Dr. Christian Wirth)  
MPI für Biogeochemie, Jena

#### Zusammenfassung

Welchen Einfluss hat der Verlust von Artenvielfalt auf wichtige Ökosystemfunktionen? Wie beeinflusst die An- oder Abwesenheit bestimmter Arten die Stoffkreisläufe? Diese Fragen stehen im Mittelpunkt der Forschung der Arbeitsgruppe „Organismische Biogeochemie“. Eine zentrale Rolle spielt hierbei die Analyse von globalen Datenbanken funktioneller Pflanzenmerkmale und ökosystemarer Prozesse. Drei Beispiele zeigen, dass Artidentitätseffekte für den Kohlenstoffkreislauf und somit für das Klimageschehen von Bedeutung sind.

#### Summary

How are ecosystem functions influenced by the loss of species diversity? How does the presence or absence of particular species affect biogeochemical cycles? The group 'Organismic Biogeochemistry' addresses these questions by compiling and analyzing global databases of functional plant traits and ecosystem properties. Three examples are presented to show that species identity effects may influence the carbon cycles at large scales and may thus be relevant in the context of climate change.

#### Einleitung

Derzeit verliert die Erde pro Tag bis zu 130 biologische Arten. Diese Aussterberate ist etwa 1000-mal höher als jemals zuvor in der Geschichte unseres Planeten [1]. Gleichzeitig fordert der Mensch aktiv oder passiv die Verbreitung von Tier- und Pflanzenarten in Regionen jenseits ihres natürlichen Vorkommens. Welchen Einfluss hat die An- oder Abwesenheit von Arten auf die Funktionsfähigkeit von Ökosystemen? Diese drängende Frage hat in den 90er-Jahren auf der politischen Ebene die Biodiversitätskonvention zur Folge gehabt und darüberhinaus ein neues Forschungsfeld in der Ökologie begründet: Die funktionelle Biodiversitätsforschung. Ziel dieses Berichts ist es, diese neue Forschungsrichtung zu skizzieren und die enge Verbindung zur Klimaforschung zu verdeutlichen. Anhand einiger Beispiele aus den aktuellen Arbeiten der Arbeitsgruppe „Organismische Biogeochemie“ wird dies vertieft.

#### Was ist funktionelle Biodiversitätsforschung?

Der Begriff „Biodiversität“ bezeichnet die Vielfalt der biologischen Arten, ihrer genetischen Ausstattung sowie die Vielfalt der von ihnen gebildeten Gemeinschaften. In diesem Sinne wird Biodiversität *per se* seit vielen Jahrhunderten erforscht. Um die Vielfalt zu ordnen, haben sich die Systematiker zunächst auf morphologische und anatomische Merkmale konzentriert, die einen Aufschluss über Verwandtschaftsverhältnisse (Phylogenie) zuließen. Heutzutage schließt dies auch physiologische und genetische Merkmale ein.

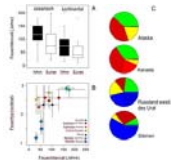
Die funktionelle Biodiversitätsforschung dagegen interessiert sich für diejenigen Merkmale, die funktionell bedeutsam sind – sowohl für das „Funktionieren“ der Organismen selber als auch des Ökosystems, in dem sie vorkommen. Die systematische Erforschung der funktionellen Merkmale hat gerade erst begonnen. Diese vergleichenden Arbeiten sind die Grundlage für einen weiteren Zweig, der sich mit den Auswirkungen dieser Merkmale auf Ökosystemfunktionen befasst. Dafür kann das Vorhandensein einer ganz bestimmten Art (und ihrer spezifischen Merkmale) oder der Artenreichtum (und damit die Vielfalt der Merkmale) eine Rolle spielen. Es wird demgemäß zwischen Artidentitäts- und Artdiversitätseffekten unterschieden.

#### Artdiversitätseffekte

Mittlerweile existieren weltweit drei große Biodiversitätsexperimente in Wiesen und vier weitere in Wäldern. Das Max-Planck-Institut für Biogeochemie ist an drei dieser Experimente (Jena Experiment, BIOTREE, BEF-China) maßgeblich beteiligt. Prinzip dieser Experimente ist die Etablierung von Pflanzenbeständen unterschiedlicher Artenvielfalt. Die Graslandexperimente liefern erste gesicherte Ergebnisse [2]: Artenreichere Ökosysteme sind produktiver, weniger anfällig für Trockenstress, akkumulieren mehr Kohlenstoff im Boden, nehmen Nährstoffe vollständiger auf und bedingen eine höhere Diversität von Tieren – um nur einige Effekte zu nennen.

#### Artidentitätseffekte – methodische Aspekte

Diese Experimente haben den Nachteil, dass sie nur lokale Effekte beschreiben und dass sie künstliche Systeme darstellen, in denen der Diversitätsgradient aufwendig erhalten werden muss. Sie erlauben daher nicht die Schlussfolgerung, dass Diversitätseffekte global und somit für das Klima von Bedeutung sind. Es konnte dagegen gezeigt werden, dass Artidentitätseffekte großflächig wirksam sind [3]. Die folgenden Beispiele beschränken sich daher auf global bedeutsame Artidentitätseffekte. Die verwendeten methodischen Werkzeuge sind dreierlei: (i) Umfangreiche Datenbanken werden benötigt, die neben den funktionellen Merkmalen auch diverse Begleitinformationen aufnehmen. Die Arbeitsgruppe „Organismische Biogeochemie“ betreut zwei Datenbanken: Die *Functional Ecology of Trees database* (FET) und die *TRY database* ([www.try-db.org](http://www.try-db.org)). Letzere wird in Zusammenarbeit u. a. mit dem *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP) aufgebaut und umfasst derzeit etwa 5 Millionen Einträge für mehr als 60.000 Pflanzenarten. (ii) Um das Artsignal vor dem Hintergrundrauschen diverser Umwelteinflüsse und methodischer Artefakte zu isolieren, sind neuartige statistische Analyseverfahren notwendig. (iii) Um die Artidentitätseffekte evaluieren zu können, werden Prozessmodelle und Prozessbeobachtungen benötigt. Die Beispiele sollen dieses Vorgehen verdeutlichen.

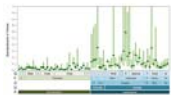


(A) Mittlere Wiederkehrintervalle von Waldbränden in den borealen Wäldern Nordamerikas (NAM; schwarz) und Eurasiens (Eur; weiß). Es wird innerhalb der Kontinente noch einmal zwischen ozeanisch und kontinental geprägten Klimazonen unterschieden. Die Kästchen umfassen jeweils 50% der Datenpunkte: die Querstriche zeigen den Median an. (B) Charakterisierung der Feuerregime von borealen Wäldern, die von Vertretern mit unterschiedlichen Feueranpassungsstrategien dominiert werden. Der Feuerotyp ist als ordinale Skala gezeigt: 1 = niedrig intensive Bodenfeuer, 2 = intermediäre Feuer, 3 = intensive Kronenbrände. Es wird unterschieden zwischen ozeanischen und kontinentalen Gebieten (c). Die im Text besprochenen Strategietypen sind fett gedruckt. (C) Anteile der Feueranpassungsstrategien (Farbkodierung wie in B) an der gesamten Waldfläche. Diese Angaben wurden aus regionalen Waldinventuren abgeleitet. [weniger]

© Max-Planck-Institut für Biogeochemie

#### Beispiel 1: Warum der Wald in Sibirien häufiger brennt als in Kanada

Die Baumarten des borealen Waldes brauchen das Feuer für die Mineralisierung von Nährstoffen, für die Verjüngung und für das Ausschalten von Konkurrenten. Waldbrände sind in dieser Zone Bestandteil der natürlichen Entwicklung. Eine Metaanalyse hat nun gezeigt, dass nicht jeder boreale Wald in gleicher Weise brennt [4] (**Abb. 1A**). Die Wälder Eurasiens brennen häufiger und überwiegend als Bodenfeuer. Die Wälder Kanadas und Alaskas brennen seltener, dafür meist als intensive Kronenbrände. Die Intensitätsunterschiede werden durch Satellitenmessungen von Waldbränden bestätigt [5]. Der Schlüssel zur Erklärung dieser Unterschiede liegt in den Feueranpassungsstrategien der vorkommenden Baumarten. Zwei Strategien seien herausgegriffen: Die *Embracer* (engl. embrace = umarmen) können ihren Lebenszyklus innerhalb eines typischen Feuerintervalls vollenden. Sie legen eine Samenbank in geschlossenen Zapfen an, die sich erst bei Feuertemperaturen öffnen. Sie entlassen so alle jemals von ihnen gebildeten Samen gleichzeitig in Brandfläche, wo diese optimale Keimungsbedingungen vorfinden. Da diese Arten für die Zapfenöffnung eine große Hitze benötigen, fördern sie durch ihre Kronenmorphologie intensive Kronenbrände, durch die sie fast immer getötet werden. Die Resister-Arten sind ab einer bestimmten Größe nahezu feuerresistent. Sie erreichen dies durch die isolierende Wirkung einer dicken Borke. Außerdem wachsen sie schnell in die Höhe und werfen ihre trockenen Äste ab, um zu verhindern, dass das Feuer in die Krone schlägt. Sie bilden zudem offene Bestände, in denen die Bodenstreu schnell austrocknet und daher häufig brennen kann. Dadurch wird erreicht, dass die Menge an Brennmaterial immer gering bleibt. Resister-Arten fördern somit ein Feuerregime häufig wiederkehrender aber gering intensiver Bodenfeuer (**Abb. 1B**). Die Auswertung nationaler Forstinventare hat gezeigt, dass Kanada und Alaska von Embracer-Arten dominiert werden, während in Eurasien die Resister-Arten eine wichtige Rolle spielen (**Abb. 1C**). Offensichtlich hat die Evolution der Feueranpassung in Nordamerika und Eurasien unterschiedliche Wege eingeschlagen. Dieser Artidentitätseffekt beeinflusst nicht nur das Feuerregime, sondern auch die Vegetationsstruktur und den Kohlenstoffkreislauf [6]: Sibirische Wälder werden aufgrund der Feuerresistenz etwa 35 Jahre älter und speichern fast doppelt soviel Kohlenstoff in der Biomasse. Es brennt zwar häufiger, dafür sind die Kohlenstoffverluste pro Feuer geringer.

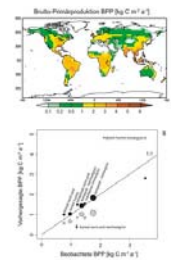


Abbauraten von Totholz unterschiedlicher Baumarten der gemäßigten und borealen Zone nach taxonomischer Anordnung. Die Abbauraten sind standardisiert worden, d. h. die Effekte des Klimas, des Bodens und der Totholzlagerung sind heraus gerechnet worden. Unterhalb der Grafik sind die taxonomischen Ebenen angegeben (G = Gattung, F = Familie, O = Ordnung, C = Cladus, A = Abteilung). Die Abteilung der Gymnospermen (Nacktsamer) enthält die Nadelbäume. Laubbäume gehören zu den Angiospermen (Bedecktsamer). Weitere Abkürzungen für ausgewählte Taxa innerhalb der Kästen: A = Asterales, Ac = Acer (Ahorn), Betul = Betulaceae, C = Cupressaceae, Eric = Ericales, L = Larix (Lärche), M = Malpighiales, Myrt = Myrtales, Myrta = Myrtales, N = Nothofagus (Südbuche), S = Salicaceae der Salix (Weide), Sa = Sapindales oder Sapindaceae, T = Taxus (Eibe) [weniger]

© Max-Planck-Institut für Biogeochemie

### Beispiel 2: Warum Nadelwälder totholzreicher sind als Laubwälder

Totholz ist in den heimischen Wäldern selten, spielt aber in unbewirtschafteten Wäldern weltweit eine wichtige Rolle als temporärer Speicher des klimawirksamen Kohlendioxids. Vegetationskomponenten von gekoppelten Erdsystemmodellen enthalten daher einen Totholzpoo. Dessen Größe wird bestimmt durch das Verhältnis aus der Baumortalität (= Input) und dem Totholzzabbau (= Output). Die Modelle gehen derzeit davon aus, dass der Abbau lediglich durch die Temperatur gesteuert wird [7]. Neuere Untersuchungen zeigen jedoch, dass die artspezifischen Holzeigenschaften die Abbauraten und in der Folge die Totholzvorräte maßgeblich beeinflussen [8]. Ein zentrales Ergebnis der Analyse ist, dass Unterschiede in den Abbauraten sehr weit unten im phylogenetischen Stammbaum auftreten. Nadelholz (Gymnospermen) zersetzt sich dreimal langsamer als Laubholz (Angiospermen) (**Abb. 2**). Weiterhin zeigt sich, dass oberhalb dieser Ebene die Abbauraten von Art zu Art variieren. Eine Auswertung unabhängiger Datensätze ergab, dass Nadelwälder bei gleicher Produktivität (und damit gleichem Totholzinput) etwa dreimal höhere Totholzvorräte aufweisen als Laubwälder. Dies ist genau das Verhältnis, das man aufgrund der Unterschiede in den Abbauraten erwarten würde. Es ist im Rahmen der TRY-Initiative geplant, diese Unterschiede in Erdsystemmodellen zu berücksichtigen – ein weiterer Schritt auf dem Weg zu besseren Klimavorhersagen.



(A) Globales Muster der modellierten Brutto-Primärproduktion (BPP), d. h. der Rate, mit der die Photosynthese Kohlenstoff bereitstellt. Es wurde das Erdsystemmodell ECHAM-JSBACH des Hamburger MPI für Meteorologie verwendet. (B) Vergleich der Modellvorhersagen der Brutto-Primärproduktion mit den auf Messungen basierenden Angaben in Luysaert et al. [Global Change Biology 13, 2509-2537 (2007)]. Für die Vorhersagen wurden zwei Parametersätze genommen: Die neu ermittelten Fotosynthesekapazitäten (schwarz) und die bisher verwendeten (grau). Die Größe der Kreise ist proportional zur Verfügbarkeit von Messdaten. [weniger]

© Max-Planck-Institut für Biogeochemie

### Beispiel 3: Vom Enzym zur Klimaprognose

Ob Pflanzen eine hohe oder niedrige Fotosynthesekapazität aufweisen, kann man aus ihren Blattmerkmalen ableiten. Während der Fotosynthese wird das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Luft mit Sonnenenergie und mithilfe von Enzymen in Zucker umgewandelt. Da Enzyme reich an Stickstoff sind, haben Blätter mit hoher Fotosyntheserate eine hohe Stickstoffkonzentration. Dieser Zusammenhang erlaubt es, die Fotosynthesekapazität wichtiger funktioneller Pflanzentypen (PFT, engl. *plant functional type*) zu bestimmen, wie sie in Erdsystemmodellen verwendet werden [9]. Dies erfolgte in zwei Schritten. Durch die statistische Inversion eines Fotosynthesemodells wurde für jeden PFT dasjenige Verhältnis von Fotosynthesekapazität zu Blattstickstoff bestimmt, das die in physiologischen Studien gemessenen Raten am besten erklärt. Im zweiten Schritt wurde dieses Verhältnis verwendet, um anhand der Blattstickstoffkonzentrationen, die für viele tausend Pflanzenarten bekannt sind, die typischen Fotosynthesekapazitäten der verschiedenen PFTs hochzurechnen. Diese wurden dann im globalen Erdsystemmodell (ECHAM-JSBACH) des Hamburger MPI für Meteorologie verwendet, dessen Vorhersagefähigkeit sich dadurch stark verbesserte (**Abb. 3**). Darüberhinaus konnte erstmals nachgewiesen werden, dass die Fotosynthesekapazität auf ausgelaugten tropischen Böden deutlich geringer ist als bisher angenommen.

### Ausblick

Die funktionelle Biodiversitätsforschung hat begonnen, ein Inventar der Funktionen der Organismen auf unserem Planeten zu erstellen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Entwicklung einer neuen Generation von biologisch realistischeren Erdsystemmodellen und für die Analyse wichtiger ökologischer und evolutionsbiologischer Fragestellungen [10].

Originalveröffentlichungen

1 Millennium Ecosystem Assessment:

[Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Reports](#).

Millennium Ecosystem Assessment, World Resources Institute, Island Press (2006).

2P. Balvanera, A. B. Pfisterer, N. Buchmann, J.-S. He, T. Nakashizuka, D. Raffaelli, B. Schmid:

**Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services.** Ecology Letters **9**, 1146-1156 (2006).

3F. S. Chapin III, E. S. Zavaleta, V. T. Eviner, R. L. Naylor, P. M. Vitousek, H. L. Reynolds, D. U. Hooper, S. Lavorel, O. E. Sala, S. E. Hobbie, M. C. Mack, S. Diaz:  
**Consequences of changing biodiversity.**  
*Nature* **405**, 234-242 (2000).

4C. Wirth:

**Fire regime and tree diversity in boreal and high elevation forests: Implications for biogeochemical cycles.**

In: The ecological significance of forest diversity. (Eds.) M. Scherer-Lorenzen, Ch. Körner and E.-D. Schulze. Ecological Studies Series, Vol. 176. Springer, New York, Berlin, Heidelberg 2004, pp. 309-344.

5M. J. Wooster, Y. H. Zhang:

**Boreal forest fires burn less intensely in Russia than in North America.**  
*Geophysical Research Letters* **31**, L20505, doi: 10.1029/2004GL020805 (2004).

6A. McGuire, F. S. Chapin II, J. Walsh, C. Wirth:

**Integrated regional changes in high-latitude climate feedbacks: Implications for the global climate system.**

*Annual Review of Environment and Resources* **31**, 61-91 (2006).

7W. K. Cornwell, H. C. Cornelissen, S. Allison, P. Eggleton, C. Preston, F. Scarff, J. T. Weedon, C. Wirth, A. E. Zanne:

**Plant traits and wood fates across the globe — rotted, burned, or consumed?**

*Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01916.x (2009).

8J. T. Weedon, W. K. Cornwell, H. C. Cornelissen, Y. Zanne, C. Wirth, D. Coomes:

**Global meta-analysis of wood decomposition rates: A role for trait variation among tree species?**

*Ecology Letters* **12**, 45-56 (2009).

9J. Kattge, W. Knorr, T. Raddatz, C. Wirth:

**Quantifying photosynthetic capacity and its relationship to leaf nitrogen content for global-scale terrestrial biosphere models.**

*Global Change Biology* **15**, 976-991, doi: 10.1111/j.1365-2486.2008.01744.x (2009).

10C. Wirth, G. Gleixner, M. Heimann (Eds.):

**Old-growth forests: Function, fate and value.**

Ecological Studies Series, Vol. 207. Springer, New York, Berlin, Heidelberg 2009, ISBN: 978-3-540-92705-1.

Adresse: <http://www.mpg.de>

© 2003-2012, Max-Planck-Gesellschaft, München