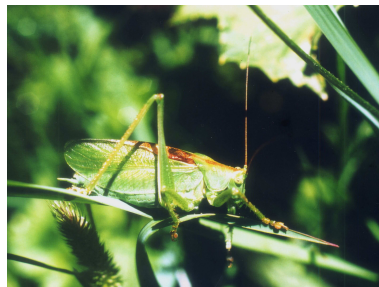
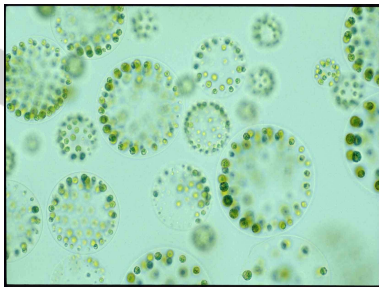




Georg-August-Universität  
Göttingen

# GCBE BULLETIN

1 / 2010



News Bulletin of the  
Göttingen Centre for Biodiversity and Ecology



Legend to cover photos:

The pictures stand for key research fields of the member departments of the GCBE, and also symbolise traits and features of organisms and ecosystems that are in the focus of our research.

The top row focuses on Central European ecosystems and organisms, symbolising fundamental ecological interactions and processes:

1 Mixed deciduous forest in the Hainich region (Central Germany); 2 different insect taxa on the flowers of a thistle (*Cirsium* sp.); 3 *Glomeris* sp., a member of the decomposing soil fauna in forest ecosystems.

The central row provides examples of different levels of organismic complexity:

4 *Pleodorina californica* (Chlorophyceae), a colony-forming phytoplankton species of freshwater ponds and lakes; 5 grasshopper *Tettigonia cantans*, distributed from the Pyrenees to Northeastern China; 6 *Microcebus berthae* (Cheirogaleidae), the smallest extant Primate species (Madagascar).

Tropical ecosystems, which harbour the highest biodiversity on earth, and characteristic organisms are shown in the bottom row.

7 Tropical rain forest (Greater Daintree, Australia); 8 *Lethocolea glossophylla* (Acrobolbaceae), a liverwort of alpine mountain ranges in South America; 9 part of a coral reef in the Red Sea.

## Inhalt

Vorwort.....	2
GrassMan: Das "Grassland Management Experiment" .....	6
MicroRhizo: Biodiversitätsexperimente in der Rhizosphäre und im Boden .....	15
POPDIV: Ein Diversitätsexperiment zur Klärung der Rolle intraspezifischer Diversität für Ökosystemfunktionen und –dienstleistungen.....	30
BioChange: Wie hat sich die Diversität der norddeutschen Kulturlandschaft seit den 1950er Jahren verändert? .....	45
Genetische Variation bei Waldbäumen: Warum ist sie so hoch? .....	59
Ökosystemmodellierung Quo vadis?.....	62

**Herausgeber:**

Göttingen Centre for Biodiversity and Ecology, GCBE  
Georg-August-Universität Göttingen  
Untere Karspüle 2  
37073 Göttingen  
Tel.: +49-551-3912404  
Fax: +49-551-395701  
E-mail: dganser@gwdg.de

ISSN 1860-2266 (print)

ISSN 1860-2274 (Internet: [www.biodiversitaet.gwdg.de](http://www.biodiversitaet.gwdg.de))

## Vorwort

### Das Exzellenzcluster „Funktionale Biodiversitätsforschung“

Das Jahr 2010 wurde von den Vereinten Nationen als Jahr der Internationalen Biodiversität ausgerufen. Ziel ist es, die Öffentlichkeit auf den Artenverlust aufmerksam zu machen und auf die drohenden Konsequenzen hinzuweisen. Umweltveränderungen wie z.B. die Klimaerwärmung, die Ausbeutung von natürlichen Ressourcen, die Verschmutzung und der Verlust ganzer Landschaften führen in der Folge zu hohen Verlusten an Pflanzen- und Tierarten und Ökosystemen. Die Funktionen und die Leistungen von Ökosystemen wiederum hängen stark von der Artenvielfalt ab. Der Mensch nutzt zahlreiche Ökosystemdienstleistungen, häufig ohne sich dessen bewusst zu sein. So sind Ökosysteme Lieferanten für Biomasse, wie Holz oder landwirtschaftliche Erzeugnisse. Sie halten das Wasser rein, ermöglichen Bestäubung und biologische Schädlingskontrolle und erhalten die Balance der Stoffkreisläufe. Der Verlust von Schlüsselarten kann sich dramatisch auf diese Funktionen und Dienstleistungen auswirken. Bislang sind die Zusammenhänge zwischen Artenvielfalt, ihrer Funktionen in Ökosystemen und der Aufrechterhaltung von Ökosystemleistungen nur in Ansätzen verstanden.

Gefördert durch das Land Niedersachsen (Niedersächsisches Vorab) haben sich Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen der Georg-August-Universität Göttingen im Exzellenzcluster des Landes Niedersachsen „Funktionale Biodiversitätsforschung“ zusammengeschlossen, um sich zentralen Fragen der Biodiversitätsforschung zu widmen. Hierbei konzentrieren sie sich vor allem auf naturnahe Laubmischwälder und auf Grünland.

Eine Kernfrage der Funktions-Diversitäts-Debatte ist, ob alle in einem Ökosystem vorhandenen Arten nötig sind, um dessen Funktionen und erwarteten Leistungen in seinem jeweiligen Entwicklungszustand aufrechtzuerhalten. Dieser Frage gehen die Göttinger Forscher und Forscherinnen u.a. in einem Grünland-Manipulationsversuch (GrassMan) nach. Dazu wurden auf einer extensiv genutzten Dauergrünlandfläche verschiedene experimentelle Varianten etabliert, um den Verlust von Arten durch bestimmte Managementtypen wie Düngung, Herbizidbehandlung und intensive Nutzung zu erzeugen und die Konsequenzen für die Produktivität, die Wasserspende, die Bodeneigenschaften, die Stickstoffbelastung und –emission und die assoziierten Organismengemeinschaften zu erforschen. Das vorliegende Heft berichtet in mehreren Beiträgen über die aktuellen Untersuchungen zur Biodiversität in Laubmischwäldern (Nationalpark Hainich) und in Grünland-Systemen. Da sich die experimentellen Ansätze im Grünland auch an landwirt-



schaftlichen Verfahren orientieren, wird erwartet, dass die Ergebnisse hohe Bedeutung für die Praxis haben werden.

Welche Arten sind in einem Ökosystem redundant? Es gibt eine Reihe von Befunden, die dafür sprechen, dass bei der Vielzahl an Arten in einem Ökosystem einige dieselben Funktionen übernehmen und daher Ökosysteme auch einen gewissen Puffer besitzen, um den Verlust einzelner Spezies zu verkraften. Wenig erforscht ist die Bedeutung der Artenvielfalt im Boden. Hier sind ganz besonders Mikroorganismen hervorzuheben, ohne die die Zersetzung pflanzlicher und tierischer Biomasse nicht möglich ist und deren Diversität erst in jüngerer Zeit mit der Entwicklung moderner Sequenzierverfahren erfasst werden kann. Unter dem Dach der „Funktionalen Biodiversitätsforschung“ wurden verschiedene experimentelle Anlagen geschaffen, um die Diversität in der Rhizosphäre, dem von den Wurzeln beeinflussten Bodenraum, zu erforschen und zu manipulieren. Dabei kombinieren die Göttinger Wissenschaftler in einzigartiger Weise molekulare Methoden der Metagenomforschung, Isotopentechniken zur Analyse von Stoffumsatzraten und hochauflösende, störungsfreie optische Messverfahren mit klassischen ökologischen Ansätzen, um die Funktionen von Organismen in ihrem ökosystemaren Kontext zu erforschen. Einen ersten Einblick in dieses unterirdische, bislang eher 'dunkle Kapitel' der Ökosystemforschung, geben die Beiträge im Themenbereich 'MicroRhizo'.

Trotz möglicher Redundanzen ist intuitiv klar, dass viele verschiedene Arten, z.B. Bienen, die Blüten bestäuben, Regenwürmer, die den Boden auflockern, Leguminosen, die mit Hilfe von Wurzelknöllchen Stickstoff fixieren oder Vögel, die Insekten fressen, in einem Ökosystem unterschiedliche Funktionen haben. Aber ist die genetische Variabilität innerhalb einer Art nur für ihr eigenes Überleben wichtig oder beeinflusst sie auch Ökosystemfunktionen? Diese Frage wird in diesem Heft in zwei Themenfeldern aufgegriffen, zum einem bei der Frage nach der genetischen Variation bei Waldbäumen und zum anderen in einem neuartigen Diversitäts-Manipulationsexperiment, in dem die innerartliche Diversität durch Pflanzung von verschiedenen Pappelherkünften (korrekt Demen) in Monokulturen und in zunehmender Mischung systematisch erhöht wurde. Die Ergebnisse des Pappel-experiments 'POPDIV' tragen dazu bei, grundlegende ökologische Zusammenhänge zwischen Produktivität und innerartlicher Diversität aufzuklären, da die im Freiland beobachteten Veränderungen in der langfristigen Perspektive durch biotechnologische Verfahren auch kausalanalytisch geklärt werden können. Wichtig ist auch die praktische Dimension, die dazu genutzt werden kann, Chancen und Risiken der Biomasseproduktion auf landwirtschaftlichen Marginalflächen abzuschätzen. Neben den experimentellen Ansätzen werden empirische Untersuchungen zur Diversität der Waldbäume vorgestellt und die Bedeutung für das evolutionäre Anpassungspotenzial zum Beispiel im Hinblick auf den Klimawandel abgeschätzt.

Von großem wissenschaftlichem und auch öffentlichem Interesse ist schließlich die Frage, welche Veränderungen und Artenverluste die norddeutsche Kulturlandschaft in den zurückliegenden 50 Jahren zu verzeichnen hat. In dem vorliegenden Beitrag werden wichtige Veränderungen der Flächennutzung, der Vegetation und der Insektengemeinschaft dokumentiert. Wesentlich ist, dass nicht nur taxonomische, sondern auch funktionale Diversitätsverluste nachgewiesen werden können.

Alle Themenfelder setzen sich mit aktuellen Aspekten der Biodiversitätsforschung auseinander, die auf unterschiedlichen Skalenebenen angesiedelt sind. Auf lange Sicht wird die Herausforderung darin bestehen, diese Skalen miteinander zu verknüpfen und durch die Kombination von Experimenten und Modellierungsansätzen besser zu verstehen. Als Grundstein für diese Zu-

kunftsauflabe wurde im Rahmen des Exzellenzclusters eine neue Professur für Ökosystemmodellierung eingerichtet. Die Forschungsfelder dieser Professur werden im Rahmen dieser Broschüre kurz vorgestellt.

Der Vorstand dankt im Namen aller Mitglieder des Exzellenzclusters dem Ministerium für Wissenschaft und Kultur des Landes Niedersachsen für die finanzielle Unterstützung durch das Niedersächsische Vorab, das maßgeblich dazu beiträgt, dass die Biodiversitätsforschung an der Georg-August-Universität in Göttingen weit über die Landesgrenzen hinweg wahrgenommen werden kann und einen Beitrag leistet, Antworten auf drängende gesellschaftliche Fragen zu finden.

Göttingen, im Juni 2010

Andrea Polle (Sprecherin), Johannes Isselstein und Stefan Scheu

Das Exzellenzcluster „Funktionale Biodiversitätsforschung“ wird finanziert aus Mitteln des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur und des Niedersächsischen Vorab ([www.functionalbiodiversity.uni-goettingen.de](http://www.functionalbiodiversity.uni-goettingen.de))

*Stefan Scheu*  
GCBE Sprecher  
*Dirk Gansert*  
GCBE Koordinator

**Exzellenzcluster  
Funktionale Biodiversitätsforschung**

# GrassMan

## Das "Grassland Management Experiment"

Johannes Isselstein

### Hintergrund

Seit der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts hat sich die Produktivität des Dauergrünlands in Mitteleuropa drastisch erhöht. Dies wurde im Wesentlichen durch intensivierete landwirtschaftliche Bewirtschaftungsmaßnahmen wie z.B. hohe Gaben von Mineraldünger erzielt sowie durch eine Intensivierung der Nutzung von 1-2 auf 3-5 Schnitte pro Jahr. Diese Maßnahmen hatten erhebliche Auswirkungen auf die Biodiversität des Grünlands. Nicht nur die landwirtschaftliche Produktion ist von dieser Entwicklung betroffen, sondern auch andere Ökosystemleistungen. Intensive Bewirtschaftung kann zu erhöhten Stickstoffemissionen aus dem Grünland führen und die Bestäubung ebenso wie die Bekämpfung von Krankheitserregern negativ beeinflussen.

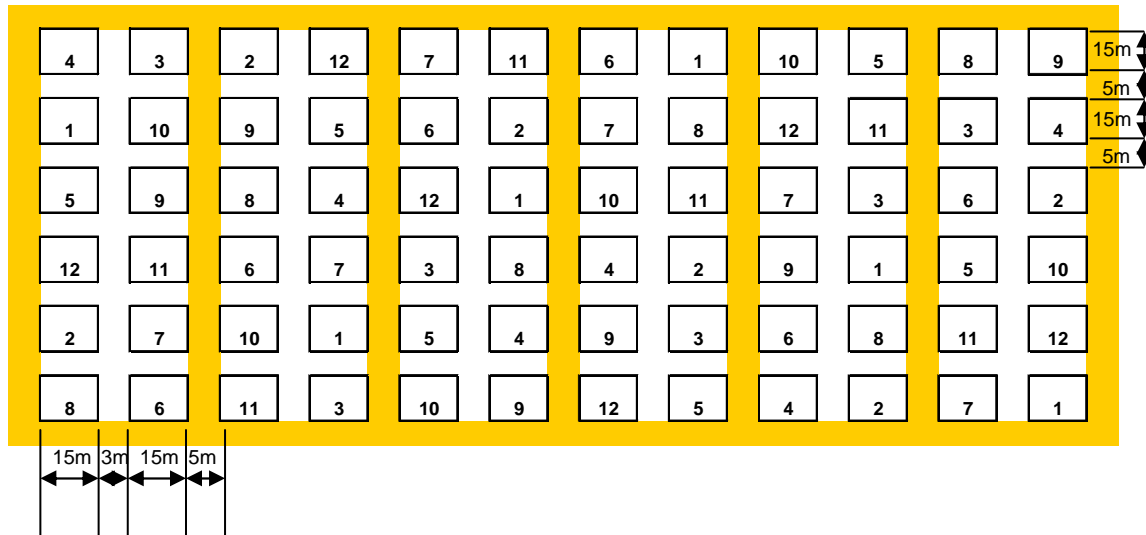
Während es relativ gut untersucht ist, dass intensive Grünlandwirtschaft die biotische Vielfalt des Grünlands und die damit verbundenen Ökosystemleistungen einschränkt und darüber hinaus die landwirtschaftliche Praxis den Produktionswert des artenreichen Grünlands gering einschätzt, legen es neuere Untersuchungen nahe, dass Diversität und Produktivität auch positiv korreliert sein können. Diese Forschung konzentriert sich auf angesätes, also in gewisser Weise künstliches Grünland (artificial grassland); nur wenige Studien haben sich bisher mit naturnäheren Systemen wie z.B. bewirtschaftetem Dauergrünland befasst. Das 2008 initiierte GrassMan-Projekt hat sich zum Ziel gesetzt, diese Wissenslücke zu füllen. Es wurde auf eine Neueinsaat von Grasland mit unterschiedlichem Artenreichtum verzichtet. Stattdessen wurde bestehendes Dauergrünland mit Herbiziden gegen ein- und zweikeimblättrige Arten behandelt und so die floristische Zusammensetzung der Grasnarbe beeinflusst, um eine veränderte Zusammensetzung der funktionellen Gruppen zu erhalten. Die so entstandenen Grasnarben unterlagen dann bezüglich Schnitt und Düngung unterschiedlichen Bewirtschaftungsregimen.

### Der Versuch

Im Zentrum der Untersuchung steht ein replizierter Versuch auf dem Versuchsgut Relliehausen der Universität Göttingen in Silberborn (Solling, Deutschland). Der Standort ist ein naturnahes und moderat artenreiches Grünland, das bislang keinen einschneidenden landwirtschaftlichen Verbesserungsmaßnahmen unterzogen worden war. Der Versuch wurde als dreifaktorielles Design mit den folgenden Faktoren eingerichtet:

1. Grasnarbe, in der entweder die ein- oder die zweikeimblättrigen Pflanzen durch Herbizidbehandlung reduziert wurden, sowie eine unbehandelte Kontrolle;
2. Düngung mit 180/30/100 kg N/P/K je ha bei jährlicher Anwendung sowie eine ungedüngte Kontrolle;
3. Schnittnutzung ein- oder dreimal pro Jahr.

Dies führt zu 12 Behandlungen - drei Grasnarbentypen, jeder mit vier verschiedenen Bewirtschaftungsintensitäten. Die Anzahl der Wiederholungen beträgt 6. Insgesamt ergeben sich so 72 Untersuchungsplots (Abbildung 1). Die Untersuchungen konzentrieren sich auf die wichtigen Ökosystemleistungen der verschiedenen Grünlandssysteme und die damit verbundenen Prozesse. Hierzu tragen fünf Forschergruppen der Universität Göttingen aus unterschiedlichen Forschungsdisziplinen bei.



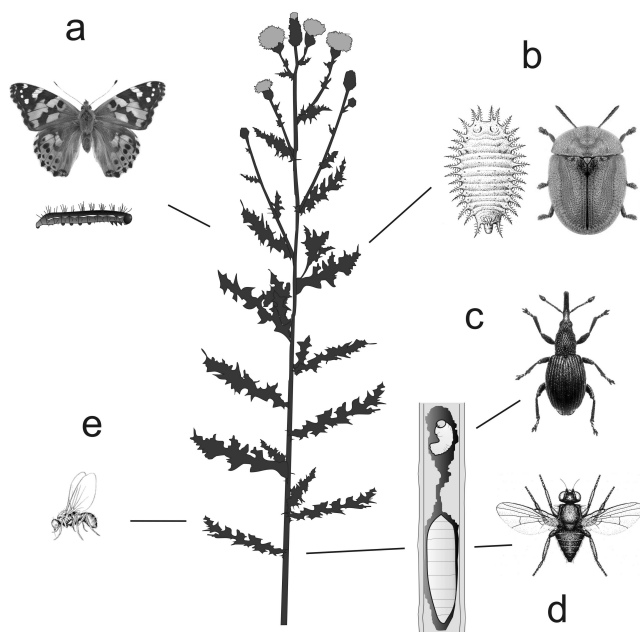
**Abb. 1:** Grassman-Versuchsfläche bei Silberborn. Oben: Das Versuchsdesign. Die 12 unterschiedlichen Behandlungsvarianten sind durch die Numerierung der Parzellen gekennzeichnet. Unten: Gut zu erkennen sind die Farbunterschiede zwischen den einzelnen Untersuchungsparzellen, die durch die unterschiedlichen Behandlungen der Grasnarbe zustande kommen.

## Projekte und Wissenschaftler

### Auswirkungen von Grünlandmanagement und Pflanzendiversität auf Insektenlebensgemeinschaften

Georg Everwand, Christoph Scherber, Teja Tschardt

Die Intensivierung der Landwirtschaft führt zu einem Verlust biologischer Diversität. Die Vielfalt an Tier- und Pflanzenarten ist zum einen durch die lokale Intensivierung der Agrarökosysteme, zum anderen durch den Lebensraumverlust auf Landschaftsebene verursacht. Das Grünland ist sehr viel artenreicher als der Acker, hat aber auch durch die landwirtschaftliche Intensivierung in den vergangenen Jahrzehnten sehr viele Arten verloren. Zahlreiche Studien haben inzwischen gezeigt, dass der Verlust von Pflanzenarten sich negativ auf verschiedene andere Organismengruppen auswirken kann. Zu den arten- und individuenreichsten Organismengruppen zählen dabei vor allem Wirbellose, wie zum Beispiel Insekten. Vorgegangene Studien haben zwar generell gezeigt, dass die Insektendiversität mit zunehmendem Verlust von Pflanzenarten sinkt, jedoch gibt es nach wie vor nur wenige Unter-

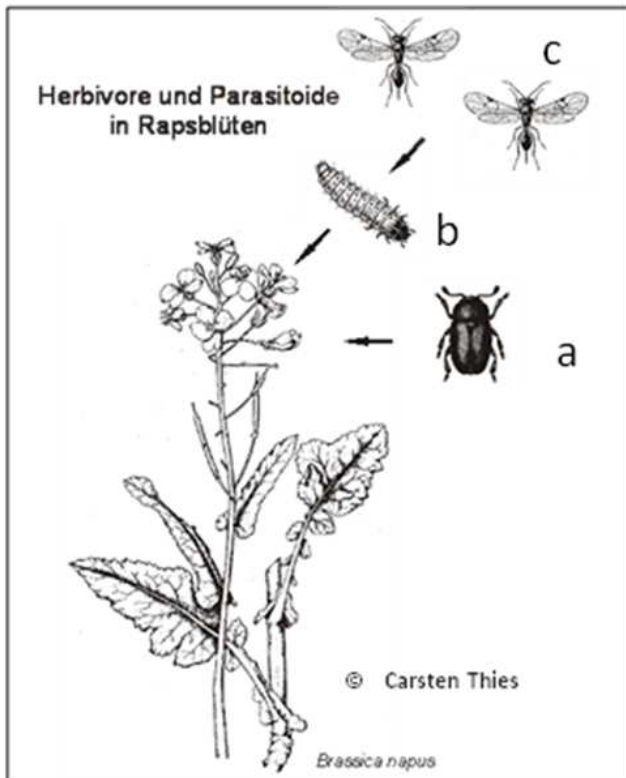


**Abb. 2:** Auf *Cirsium arvense* (Ackerkratzdistel) zu findende herbivore Insekten (a) *Vanessa cardui* L. (Distelfalter); (b) *Cassida rubiginosa* Müll. (Schildkäfer); (c) Apionidae (Rüsselkäfer); (d) *Melanagromyza aenoventris*; (Minierfliege); (e) ebenfalls Minierfliege. © Y. CLOUGH (2007).

suchungen, in denen einzelne funktionelle Gruppen von Pflanzenarten aus einem Grünland experimentell entfernt worden sind. Die wenigen existierenden Studien haben sich dabei meistens auf Pflanzen und auf Stoffkreisläufe beschränkt - Effekte auf Insektengemeinschaften wurden bisher kaum untersucht. So ist insgesamt wenig bekannt, welches der relative Beitrag von Kräutern und Gräsern auf die funktionale Biodiversität ist. Zudem steht die Forschung an multitrophischen Interaktionen, den komplexen, direkten und indirekten Wechselwirkungen von Arten in Nahrungsnetzen, noch am Anfang, insbesondere was die Folgen einer landwirtschaftlich geprägten Nutzung angeht. Das Fachgebiet Agrarökologie beschäftigt sich hierbei unter anderem mit den Auswirkungen eines Verlustes von Pflanzenarten auf höhere trophische Ebenen, also pflanzenfressende Insekten und die von ihnen abhängigen Gruppen räuberischer und parasitoider Insekten. So zeigt Abbildung 2 einen

kleinen Teil der von der Ackerkratzdistel (*Cirsium arvense*) abhängigen Insektenlebensgemeinschaft, von welcher viele weitere Arten abhängen.





**Abb.3:** Insektengesellschaften am Raps (*Brassica napus* L. ssp. *oleifera* (Metzg.) Sinsk.). Der Rapsglanzkäfer, *Meligethes aeneus* F. ist ein bedeutender tierischer Schaderreger an Winterraps. (a) Adulttier; (b) Larve, (c) Parasitoide (z.B. *Tersilochus* sp., *Phradis* sp.). © Carsten Thies.

Auch der Rapsglanzkäfer (Abbildung 3), der auch an wilden Kreuzblütlern vorkommt und große Schäden an den Schoten verursacht, wird beispielsweise von spezialisierten Parasitoiden (Schlupfwespen) attackiert. Artenrückgang im Grünland bedeutet meist einen Rückgang der Kräuter, weil mit einer Intensivierung des Managements in der Regel der Grasanteil zunimmt. Solche Veränderungen in der funktionellen Zusammensetzung von Pflanzenarten werden unter anderem im GrassMan-Projekt experimentell simuliert. Hinzu kommt dann noch das unterschiedliche Management in Form von unterschiedlich häufigem Schnitt und Düngung. Dabei gehen wir davon aus, dass die Artenzahl der Pflanzen nicht nur mit der der Insekten korreliert, sondern auch, dass Arten höherer trophischer Ebenen besonders stark durch Veränderungen im Management und in der Pflanzenartenzahl beeinträchtigt werden. Häufigerer Schnitt dürfte kurzfristig einen negativen, langfristig jedoch einen positiven Effekt auf viele Insektengruppen haben, wobei jedoch unterschiedliche funktionelle Gruppen auch unterschiedlich reagieren sollten. Auch lässt die Lite-

ratur vermuten, dass Düngung Prozesse wie Herbivorie oder Bestäubung differentiell beeinflusst. Um diese Auswirkungen zu verstehen, werden Daten zur Management-Intensität sowie vegetationsökologische Daten mit Daten der Insektenhäufigkeit und -verteilung verglichen. Beispielsweise werden durch Insektenfänge mit Fangschalen in den jeweiligen Versuchsfeldern Unterschiede zwischen den verschiedenen Managementstufen gemessen. Ebenso wird der Insektenfraß, die Bestäubungsleistung und die Aktivität von räuberischen und parasitoiden Insekten an ausgewählten Pflanzen (Phytometern) gemessen, was interessante Ergebnisse verspricht. Die im Rahmen des GrassMan-Experiments erhobenen multitrophischen Daten werden es somit ermöglichen, die komplexen Wechselwirkungen zwischen Management und Biodiversitätsverlust besser zu verstehen.

## Diversitätseffekte von Grünland auf Stickstoffumsätze und –verluste

Ina Hoeft, Edzo Veldkamp, Nicole Wrage

Das Ziel des Teilprojektes Ökopedologie im Grünland-Management-Experiment 'GrassMan' ist die Erhebung der Stickstoffnutzungseffizienz und der Stickstoffrückhalteeffizienz im Boden in Abhängigkeit von der botanischen Diversität im Grünland und unterschiedlicher Nutzungsintensitäten. Die Stickstoffnutzungseffizienz (Nitrogen Use Efficiency) beschreibt das Verhältnis von Stickstoff in der gebildeten Biomasse zur Stickstoffversorgung im Boden. Dagegen stellt die Stickstoffrückhalteeffizienz (Nitrogen Retention Efficiency) ein Maß für die Stickstoffverluste dar.

Wie einleitend dargestellt, steigt die Produktivität häufig mit der pflanzlichen Diversität und geringere Nährstoffverluste in Form von Auswaschung sind in diversem Grünland zu verzeichnen (z.B. Tilman et al. 1996). Jedoch haben z.B. Hooper & Vitousek (1998) keine Zusammenhänge zwischen Auswaschung und Pflanzendiversität gefunden. Kontrollierende Faktoren von Stickstoffnutzungs- und -rückhalteeffizienz sollen in diesem Experiment auf bestehendem Dauergrünland erforscht werden.

Daraus ergeben sich für das Teilprojekt folgende leitenden Hypothesen: Die Stickstoffnutzungs- und -rückhalteeffizienz steigt in der Reihenfolge: (I) Dikotylen-dominierte Plots  $\leq$  Monokotylen-dominierte Plots < unbehandelte Kontrolle, (II) Schnittnutzung einmal pro Jahr < Schnittnutzung dreimal pro Jahr, (III) Gedüngte Flächen < ungedüngte Flächen.

Im Grünland-Management-Experiment GrassMan wurden in der Vegetationsperiode 2009 die folgenden Parameter als Indizes für die Bestimmung der Stickstoffnutzungs- und -rückhalteeffizienz erhoben:

- Für die Nettoprimärproduktion wurde die oberirdische Biomasse als Frischgewicht bei der Mahd gemessen. Ergänzend wird eine Nährstoffanalyse der Biomasse durchgeführt.
- Für die Stickstoffversorgung im Boden wurden die Nettostickstoffmineralisationsraten quantifiziert.
- Verluste im Grünlandexperiment werden in Form von Stickstoffoxidemissionen und Nitratauswaschung quantifiziert.

Die Nettostickstoffmineralisation wurde nach der „buried bag“-Methode bestimmt. Dafür sind pro Plot zwei ungestörte Bodenproben mit Stechzylinder entnommen worden. Eine Probe wurde direkt in  $K_2SO_4$  extrahiert, die andere Bodenprobe verbleibt als ungestörte Bodenprobe in einer Plastiktüte für 10 Tage im Boden. In der Vegetationsperiode 2009 wurden insgesamt 5 Durchläufe auf allen 12 Behandlungen und in den 6 Wiederholungen durchgeführt. Die Analyse von Nitrat und Ammonium erfolgte photometrisch mit der Continuous Flow-Methode.

Für die Bestimmung der Nitratauswaschung wurden auf allen 12 Behandlungen und den 6 Wiederholungen Saugkerzen in ca. 50 cm Tiefe installiert. Seit November 2008 erfolgt die Beprobung monatlich mit Ausnahme von Frost- und Schneeperioden im Januar und Februar 2009 und 2010. Nitrat und Ammonium werden photometrisch mit der Continuous Flow-Methode

bestimmt. Für die Bilanzierung der Auswaschungsraten wurden zusätzlich Tensiometer installiert und der Wasserhaushalt modelliert.

Die Stickstoffoxidemissionen wurden nach der „Closed Chamber“-Methode auf allen 12 Behandlungen und den 6 Wiederholungen quantifiziert. In der Vegetationsperiode 2009 fand die Messung vor und nach der Düngung, und daran anschließend, etwa alle 6 Wochen statt. Die Analyse wurde am Gaschromatographen durchgeführt. Ferner sind Steuerungsgrößen wie Bodennitrat- und -ammoniumgehalte, Bodenwassergehalte, Temperatur und Luftdruck erhoben worden.

Für 2010 ist geplant, die Messungen zu den Nettostickstoffmineralisationsraten, den Stickstoffoxidemissionen und zur Nitratauswaschung weiterzuführen. Ferner ist geplant, mit Hilfe der <sup>15</sup>N–Pool-Dilution-Methode die bodeninternen Bruttostickstoffmineralisationsraten zu untersuchen. Ziel der Quantifizierung der Stickstoffnutzungs- und -rückhalteeffizienz ist es, das Grünland-Management und dessen Einfluss auf das Spannungsfeld von landwirtschaftlichen Interessen (Produktivität) einerseits und dem Biotop- und Artenschutz (Biodiversität) andererseits zu evaluieren und Managementempfehlungen zu geben.

#### Literatur

Hooper DU, Vitousek PM 1998. Effects of plant composition and diversity on nutrient cycling. Ecological Monographs 68: 121-149.

Tilman D, Wedin DA, Knops J 1996. Productivity and sustainability influenced by biodiversity in grassland ecosystems. Nature 379: 718-720.

### **Produktivität und Ertragsbildung unterschiedlich artenreicher Grasnarben in Abhängigkeit vom Bewirtschaftungssystem**

Ute Petersen, Nicole Wrage, Johannes Isselstein

Die Untersuchungen im Teilprojekt Graslandwissenschaft teilen sich in drei Themenschwerpunkte auf. Zunächst wurde die Entwicklung der Vegetation beobachtet, um herauszufinden, wie die einzelnen Behandlungen, insbesondere die Herbizidanwendung, auf die Grasnarbenzusammensetzung in Hinblick auf ihre funktionelle Diversität und Artendiversität gewirkt haben. Arbeitshypothese: „Die neue Methode, die Artenvielfalt der Grasnarbe über den Einsatz von Herbiziden zu modifizieren, ist eine wirkungsvolle Methode für Biodiversitätsexperimente“. Dazu wurde die Vegetation in Dauerquadraten, die auf allen Parzellen eingerichtet wurden, vor (Juni 2008) und nach Beginn der experimentellen Behandlung (Okt. 2008, Mai 2009, August 2009) aufgenommen. Die Ergebnisse werden mit Hilfe von multivariater Statistik floristisch analysiert. Des weiteren wird die landwirtschaftliche Produktivität der Grasnarben eingehend untersucht. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf der Ertragsbildung (oberirdische Biomasse) und der Futterqualität. Die Arbeitshypothese lautet: „Artenreiche Grasnarben erbringen mehr und qualitativ hochwertigere Futtererträge als artenärmere Grasnarben“. Dazu wird die oberirdische Biomasse (Futterertrag) zu den vorgegebenen Schnitzeitpunkten (Juni 2008, Oktober 2008, Mai, Juli,

September 2009) ermittelt. Mischproben werden gewonnen und wichtige Kriterien der Futterqualität (Rohproteingehalt, Zellwandanteil, Konzentration an Nettoenergie) werden mit Hilfe der Nahinfrarotspektrope analysiert. Einen dritten Schwerpunkt stellt die Untersuchung der Struktur der Grasnarbe dar. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der räumlichen Anordnung der Blätter in der Grasnarbe (Dichte und Blattfläche) Zusätzlich werden Lichtprofile aufgenommen, das heißt, die vertikale Verteilung der photosynthetisch aktiven Strahlung wird gemessen. Es soll dabei die Hypothese überprüft werden, dass artenreiches Grünland auf Grund seiner Struktur das einfallende Licht besser nutzen kann als artenärmeres Grünland.

### **Kohlenstoffassimilation, ober- und unterirdische Biomasseproduktion und Wasserausnutzung von submontaner Grünlandvegetation unterschiedlicher Pflanzendiversität unter verschiedenen Bewirtschaftungsregimen**

Laura Rose, Dietrich Hertel, Christoph Leuschner

Hintergrund: In den zurückliegenden zwei Jahrzehnten haben viele Experimente gezeigt, dass die oberirdische Produktivität in landwirtschaftlich genutzter Grünlandvegetation positiv mit der Artendiversität des Pflanzenbestandes korreliert ist. Zusätzlich wurde postuliert, dass artenreichere Bestände widerstandsfähiger gegenüber Störungen sein können als artenärmere. Da der Fokus der Grünlandforschung weitgehend auf landwirtschaftliche Erträge ausgerichtet ist, bezogen sich diese Untersuchungen weitgehend auf die oberirdischen Pflanzenorgane, während die unterirdische Biomasseproduktion in den meisten Experimenten wenig Beachtung fand. Die vorliegenden Ergebnisse unserer Studie zeigen keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Biodiversität und unterirdischer Produktivität. Während verstärkte Düngung zu verringertem Wurzelwachstum führen kann, wurde in anderen Studien gezeigt, dass unterirdische Reaktionen auf oberirdischen Biomasseentzug (Schnitt, Beweidung) stark bestandes- und standortsabhängig sind.

Die gesteigerte Produktivität in diverseren Grünlandgesellschaften wird häufig mit einer komplementären Ressourcennutzung (z.B. von Wasser und Nährstoffen) begründet. In Ökosystemen, die viele Pflanzenarten beherbergen, besteht tatsächlich eine höhere Wahrscheinlichkeit, dass sehr produktive (und damit ressourcenzehrende) Arten auftreten. Ebenso können Arten nebeneinander existieren, die zu unterschiedlichen Zeiten wachsen oder durch unterschiedliche Wurzeltiefen die Nährstoffausnutzung optimieren und sich somit kaum Konkurrenz um die bestehenden Ressourcen ausgesetzt sind. Ebenso können auch unterschiedliche Strategien der oberirdischen Raumausnutzung und der Lichtausnutzung zu gesteigerter Produktivität des Gesamtbestandes führen.

Zielsetzung: Das Ziel des Projektes ist es, Mechanismen zu analysieren, welche die Produktivität sowie die Wasserausnutzung von Grünland in Abhängigkeit von Bewirtschaftungsintensität und Artendiversität bestimmen. Dabei sollen Zusammenhänge zwischen der Kohlenstoffassimilation (Photosynthese), der ober- und unterirdischen Biomasseproduktion, der Wasserausnutzung des Pflanzenbestandes (Evapotranspiration versus Versickerung) sowie blattmorphologischer Parameter der wichtigsten Arten des Bestandes untersucht werden.

Methoden: Das Experiment enthält Grünlandbestände dominiert durch monokotyle Arten (Grasartige), dominiert durch dikotyle Arten (sonstige krautige Arten) sowie von beiden Pflanzengruppen artenreich bewachsene Kontrollbestände. Ausserdem werden verschiedene Mahd- und Düngeregimes der konventionellen Grünlandwirtschaft nachempfunden (ein- und dreimalige Mahd pro Jahr sowie mit oder ohne zusätzlicher Düngerapplikation). So wurden insgesamt 72 verschiedene Versuchspartzen untersucht. Zur Bestimmung der oberirdischen Biomasseproduktion wurde bei jedem Mahdschnitt eine 0,25 m<sup>2</sup> große Fläche pro Parzelle per Hand geerntet und in drei funktionelle Gruppen (Grasartige, Kräuter und Leguminosen) sortiert. Die unterirdische Biomasse wurde in jeder Versuchspartze zum Zeitpunkt des letzten Schnitts mit Hilfe von vier Bodenproben pro Parzelle in den Bodentiefen 0-15 cm und 15-30 cm ermittelt. Um den zeitlichen Verlauf der Veränderung der Wurzelbiomasse zu erfassen, wurde auf jeder Parzelle eine Minirhizotronröhre aus Plexiglas installiert. Mit diesen Plexiglasröhren konnten die Wurzeln in 14-tägigen Intervallen durch einen Scanner erfasst werden, woraus sich Wachstums- und Absterberaten der sichtbaren Wurzeln berechnen lassen.



**Abb. 4:** Installation eines Wäge-Lysimeters zur Bestimmung der Evapotranspiration und der Versickerung des Wassers im Boden.

Der Wasserumsatz der Versuchspartzen wurde mit Hilfe sogenannter Wäge-Lysimeter (Abbildung 4) bestimmt. Diese bestehen aus einer Bodensäule inklusive der darauf wachsenden Vegetation, wobei die Bodensäule in einer Stahlröhre sitzt, welche über einen Schlauch mit einer Flasche zum Auffangen von Sickerwasser verbunden ist. Sowohl die Bodensäule als auch die Flasche wurden während der Versuchsdauer 14-tägig gewogen. Unter Einbeziehung von Niederschlagsdaten können dadurch sowohl die Evapotranspiration (Oberflächenverdunstung und Pflanzentranspiration) als auch die Versickerung im Boden ermittelt werden.

Zur Einschätzung der Produktivität einzelner wichtiger Arten wurde die Photosynthesekapazität bei optimalen Lichtbedingungen von 8 (5) Arten vor und nach der ersten Mahd gemessen. Die spezifische Blattfläche (SLA) von 9 Arten wurde nach der ersten Mahd gemessen, um morphologische Anpassungen an die unterschiedlichen Bewirtschaftungsregime zu erfassen.



## Einfluss der Graslandbewirtschaftung auf das Vorkommen endophytischer Pilze

Lana Dobrindt, Stefan Vidal

Die meisten Grasarten werden von einer Vielzahl Mikroorganismen besiedelt, die ein komplexes Netzwerk an Interaktionen bilden. Eine der interessantesten Wechselbeziehungen besteht zwischen den endophytischen Pilzen der Gattung *Neotyphodium* (Ascomycota, Clavicipitaceae) und vielen heimischen Grasarten. Diese Pilze sind mit dem Mutterkorn (*Claviceps purpurea*) verwandt und besiedeln das Innere von Gräsern. Dabei breiten sie sich in den Zellzwischenräumen einer Pflanze aus, ohne sichtbare Symptome einer Krankheit zu verursachen. Mit Endophyten infizierte Pflanzen können Nährstoffe aus dem Boden besser aufnehmen, produzieren mehr Biomasse und sind konkurrenzkräftiger und widerstandsfähiger gegen Trockenheit. Da Endophyten in der Lage sind, Alkaloide sowie andere Mykotoxine zu synthetisieren, können sie die pflanzliche Resistenz gegenüber Herbivoren und Pflanzenkrankheiten erhöhen. Als Gegenleistung versorgt die Pflanze den Endophyten mit Nährstoffen, bietet ihm Lebensraum und Schutz vor widrigen Umwelteinflüssen. Zusätzlich trägt die Pflanze zur Vermehrung des Pilzes bei, da dieser auch die Samen infiziert und sich somit auf die nächste Generation einer Grasart überträgt. Ob-



**Abb. 5:** Ausbringung von Versuchspflanzen, um deren Besiedlung durch endophytische Pilze im Freiland zu untersuchen.

wohl einige Aspekte dieser Symbiose gut erforscht sind, ist sehr wenig über die Auswirkungen verschiedener Grasbewirtschaftungssysteme auf die Interaktionen zwischen Gräsern, Pflanzenkrankheiten, Herbivoren und Endophyten bekannt. Auf der 'GrassMan' Fläche sollen durch Veränderungen der Pflanzendiversität, der Düngungsstufen und der Schnittbehandlungen beeinflusste Ökosysteme auf die Befallshäufigkeiten mit *Neotyphodium* untersucht werden. Dabei soll überprüft werden, ob eine intensivere Bewirtschaftung und Nutzung des Grünlandes den Befall der Gräser mit einem Endophyten fördert, weil angenommen wird, dass infizierte Gräser unter solchen Bedingungen konkurrenzkräftiger sind. Dazu sollen die Befallshäufigkeiten des Pilzes vor und nach dem Einsetzen der Behandlungen ermittelt

und die Probenahme jährlich wiederholt werden. Zusätzlich sollen in der Region Northeim landwirtschaftlich genutzte Grünlandflächen auf das Vorkommen von *Neotyphodium* untersucht werden. Zu diesem Zweck sollen dort jeweils 30 Weiden, Mähweiden und Wiesen mit drei Nutzungsintensitäten (extensiv, mittel und intensiv) ausgewählt und Grasproben entnommen werden. Anschließend werden die Ergebnisse mit denen aus 'GrassMan' verglichen. Dadurch soll ein besseres Verständnis dafür gewonnen werden, wie unterschiedliche Arten der Graslandbewirtschaftung die Verbreitung endophytischer Pilze beeinflussen.



## **MicroRhizo Biodiversitätsexperimente in der Rhizosphäre und im Boden**

**Dirk Gansert**

Die funktionale Biodiversitätsforschung in Göttingen zeichnet sich u.a. dadurch aus, dass die Rolle von Pflanzen- und Tierarten, der Pilze, vor allem der Mykorrhiza bildenden Pilze, und von Mikroorganismen in Ökosystemen durch die Kombination aus Freiland- mit Laborexperimenten untersucht wird. Die ständig wechselnden abiotischen, insbesondere die mikroklimatischen, bodenchemischen und bodenphysikalischen Bedingungen erschweren die Kausalanalyse eines Wirkungsgefüges zwischen den Organismen erheblich, so dass vielfach nur mittels statistischer Verfahren auf der Grundlage einer hohen Zahl von Wiederholungen Aussagen über die Funktionen bestimmter Arten oder funktionaler Typen in Ökosystemen getroffen werden können. Dagegen erlauben Laboruntersuchungen unter konstanten oder vorgegebenen veränderlichen Randbedingungen die Prozessanalyse unter dem Einfluss ausgewählter Organismen. In der Kombination aus Labor- und Freilandversuchen lassen sich die je spezifischen Unzulänglichkeiten in gewissem Umfang kompensieren und somit zuverlässigere Aussagen über die Funktionen von Biodiversität ableiten.

Ein Schwerpunkt des Exzellenzclusters liegt in der biogeochemischen Analyse der Stoffflüsse zwischen Pflanzen und Bodenorganismen, mit dem Ziel, die heterotrophen Nahrungsnetze im Boden auch quantitativ zu entschlüsseln, um die Bedeutung der Lebewelt des Bodens, des Edaphons, für die Stabilität von Ökosystemen, hier vor allem von Laubmischwald, zu verstehen. Vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung sind die Fragen nach der Veränderung des Artengefüges von Wäldern der gemäßigten Breiten und ihrer Funktion als Senke oder/und Quelle für klimawirksame Spurengase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ) sowie, mit Blick auf  $\text{CO}_2$ , die Rolle von Laubmischwäldern als langfristige Kohlenstoffsенke von herausragendem Interesse, denn diese Spurengase sind maßgeblich Produkte der biogenen Stoffflüsse des Bodens. Hinsichtlich der Frage nach der Funktion von Laubmischwäldern als langfristige Senke für Kohlenstoff in der Holzbiomasse einerseits und in den nur langsam zersetzbaren hochpolymeren Kohlenstoffverbindungen (Huminstoffe), die aus der Mineralisation toter Biomasse auf dem Wege der Humifizierung hervorgehen, spielen Pilze und Mikroorganismen eine zentrale Rolle. Hierbei gilt es zwei Pfade des Kohlenstoffflusses in den Boden zu unterscheiden: den streubürtigen und den wurzelbürtigen Pfad. Der streubürtige Pfad umfasst die Mineralisation von toter organischer Substanz, der Nekromasse, wobei aufgrund der unterschiedlichen biochemischen Zusammensetzung der Nekromasse zwischen Laub- und Wurzelstreu zu unterscheiden ist. Letztere wird vor allem durch das kontinuierliche Absterben von Feinwurzeln bestimmt und ist eine schwer quantifizierbare Größe, ganz im Gegensatz zur orberirdischen Nekromasse. Der wurzelbürtige Pfad umfasst jene Prozesse, die den Kohlenstofffluss in Form von Wurzelexsudaten aus lebenden Wurzeln über die Rhizosphäre in den Boden beschreiben. Hierbei handelt es sich sowohl um wasserlösliche Exsudate (organische Säuren, Zucker, Aminosäuren, Hormone, Vitamine, Enzyme, etc.) als auch um wasserunlösliche Substanzen (Zellulose, Schleime etc.). Diese Exsudate werden von Rhizobakterien konsumiert, die am Beginn eines Nahrungsnetzes stehen, das sich von der Rhizosphäre in den freien Boden erstreckt. Jene Nahrungsnetze, die maßgeblich die beiden Pfade des Kohlenstoffflusses in den Boden eines Laubmischwaldes antreiben und ihre

Schnittstellen untereinander zu entschlüsseln, ist eine aktuelle Aufgabe der ökologischen Forschung, da ohne die Kenntnis der Nahrungsnetze auch nicht das Potential der langfristigen Kohlenstoffspeicherung in einem Laubmischwald zu verstehen ist und schon gar nicht quantifiziert werden kann.

Im Rahmen der funktionalen Biodiversitätsforschung konzentrieren sich die Göttinger Wissenschaftler auf zwei kontrastierende biologische 'Systeme', um diese beiden C-Pfade quantitativ voneinander zu unterscheiden und um herauszufinden, welche Bodenorganismen an den jeweiligen Pfaden maßgeblich beteiligt sind, also als 'key species' oder 'key groups' fungieren. Die beiden Edellaubholzarten Buche (*Fagus sylvatica*) und Esche (*Fraxinus excelsior*) bilden das kontrastierende Baumartenpaar, da sie sich u.a. durch die Art der Mykorrhiza-Symbiose voneinander unterscheiden: wie die meisten Baumarten unserer Breiten bildet die Buche Ektomykorrhizen als Symbiose mit verschiedenen Pilzarten, wohingegen die Esche, als eine der wenigen einheimischen Baumarten arbuskuläre Mykorrhiza ausbildet. Letztere soll bzgl. der Assimilatversorgung des Pilzes eine deutlich spezifischere Bindung zur Wirtspflanze ausbilden als dies bei Ektomykorrhizen der Fall ist. Dies ist für den wurzelbürtigen C-Fluss von der Pflanze in den Boden von großer Bedeutung. Ferner sind die Kenntnisse über die arbuskuläre Mykorrhiza bei Eschen, deren Wurzelexsudate und der gesamten Lebewelt in dieser Rhizosphäre rudimentär.

Für die Untersuchungen der physiko-chemischen Bedingungen, der Struktur der Nahrungsnetze und des C-Flusses in den Boden über die Rhizosphäre der ekto- und arbuskulär symbiontischen Baumwurzeln wurden neuartige 'Double Splitroot' Rhizoboxen (Abbildung 1) entwickelt, die den gleichzeitigen Einsatz unterschiedlicher Messverfahren erlauben: Isotopenapplikationen ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N}$ ), nichtinvasive, optoanalytische Messverfahren, kleinräumige Spurengasanalyse und Exsudatgewinnung in der Rhizosphäre, etc.. 'Double Splitroot' meint, dass zwei Individuen derselben oder beider Baumarten in eine kompartimentierte Rhizobox gepflanzt werden, mit der Freiheit für das Wurzelwachstum sowohl interagierend und durch Synergismen als auch durch Vermeidung von Interaktionen solitär den Bodenraum zu erschließen. Unter Ausschluss von Temperatur- und Feuchtegradienten im Bodenkörper oder deren gezielten Einstellung in einer jeden Rhizobox können experimentelle Manipulationen in der Rhizosphäre eines oder beider Individuen derselben oder beider Baumarten vorgenommen werden, z.B. die Applikation isotopenmarkierter Substanzen, um die Wege dieser Substanzen durch die assoziierten Nahrungsnetze zu verfolgen. Das Konzept der 'Double Splitroot' Rhizoboxen bereitet die messtechnische Plattform für räumlich und zeitlich hochauflösende Analysen biologischer und physiko-chemischer Prozesse in der Rhizosphäre, deren experimentellen Manipulation und Beobachtung der längerfristigen Wirkung (2 – 3 Jahre) auf das Edaphon, seiner Interaktionen mit den artspezifischen Wurzelsystemen und somit auch auf die Entwicklung der Pflanzenindividuen.

Das Ziel ist es, auf der Basis eines gemeinsamen Versuchsdesigns unter gleichen Rahmenbedingungen die von den unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen formulierten Hypothesen zur funktionalen Biodiversität im Boden nicht voneinander isoliert in Einzeluntersuchungen zu prüfen, sondern durch eine Vernetzung der Disziplinen Synergieeffekte im Kenntniserwerb zu erzeugen, gerade an den Schnittstellen zwischen Pflanzen, Pilzen, Bakterien und Tieren, um auf den unterschiedlichen Trophieebenen die organismischen Interaktionen zu entschlüsseln.



**Abb. 1:** 'Double Splitroot' Rhizoboxen mit Buchen und Eschenjungpflanzen in einer Klimakabine des Neuen Experimentellen Botanischen Gartens der Universität Göttingen. Alle Rhizoboxen (16 Stück) sind hinsichtlich Bodentemperatur- und -feuchte exakt kalibrierbar und die Pflanzen wachsen unter vergleichbaren Lichtbedingungen. Die Regulierbarkeit der abiotischen Bedingungen – entweder Konstanz oder Einstellung von Temperatur- und Feuchtgradienten im Boden - schafft die Voraussetzung für Biodiversitätsstudien, wie sie im Freiland nicht möglich sind.

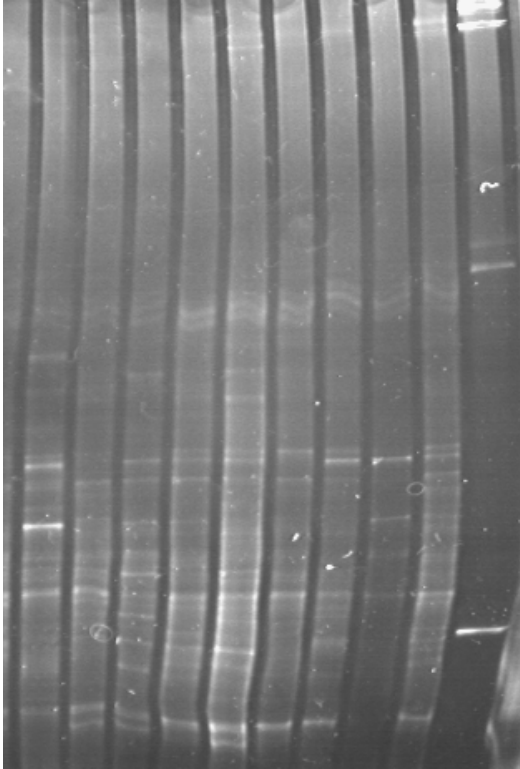
## **Abhängigkeit mikrobieller Lebensgemeinschaften von der Baumartendiversität**

Birgit Pfeiffer, Rolf Daniel

Ein zentrales Thema der molekularen und mikrobiellen Ökologie ist die Diversität und Aktivität mikrobieller Lebensgemeinschaften in verschiedenen Habitaten. Im Verlauf der letzten Jahrzehnte hat sich ein breites Forschungsfeld entwickelt, das verschiedenste Methoden nutzt, um die bakterielle Zusammensetzung verschiedener Habitats zu untersuchen. Ein sehr interessantes Habitat bezüglich seiner enormen mikrobiellen Diversität sowie seiner Besiedlung und Beeinflussung durch den Menschen ist der Boden. Vor allem die Rhizosphäre beherbergt einen hohen Anteil an mikrobieller Biomasse und zeigt eine gesteigerte Aktivität der Mikroorganismen im Vergleich zum umgebenden Boden. Dies kann auf die Abgabe organischer Substanzen durch die Pflanzen zurückgeführt werden, welche dann von Mikroorganismen verwertet werden. Für die Pflanze ergeben sich unter anderem durch die Unterdrückung von pflanzenpathogenen Mikroorganismen und die Fixierung und Bereitstellung von Nährstoffen durch mikrobielle Stoffwechselleistungen Vorteile. Auch die Heterogenität des Habitats Boden steuert zur bestehenden mikrobiellen Biodiversität bei. Für die ökologische Charakterisierung von mikrobiellen Bodengemeinschaften im Hinblick auf die Zusammensetzung und Aktivität der mikrobiellen Lebensgemeinschaft und deren Rolle im Stoffkreislauf stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Von großem Interesse dabei ist, wie sich die bakteriellen Lebensgemeinschaften in verschiedenen Bodentypen bzw. in Böden mit unterschiedlichen Vegetationen unterscheiden. Eine zentrale Frage dabei ist, wie stark die ober- und unterirdische Vegetation die bakterielle Diversität und Aktivität beeinflusst oder ob die Struktur mikrobieller Gemeinschaften Rückschlüsse auf die oberirdische Vegetation bzw. den untersuchten Boden erlaubt.

Die Entwicklung molekularer kultivierungsunabhängiger Methoden zur Charakterisierung von mikrobiellen Lebensgemeinschaften zeigte, dass 99 % der Mikroorganismen in der Umwelt nicht kultivierbar sind und somit auch nur ein kleiner Anteil des gesamten Genpools bisher durch kultivierungsabhängige Techniken erschlossen wurde. Molekulare Analysen der Nukleinsäuren finden daher eine breite Anwendung zur Charakterisierung und Identifizierung bisher unbekannter Mikroorganismen und zur Aufklärung der Struktur der mikrobiellen Bodengemeinschaft. Unter Zuhilfenahme einiger dieser Methoden soll die funktionelle Rolle mikrobieller Gemeinschaften und ihrer Diversität in artifizialen und naturnahen Bodensystemen analysiert werden. Die Simulation verschiedener Einflüsse auf das Habitat Boden im Mikro- und Mesokosmos soll dabei einen schrittweisen und gezielten Einblick in die Veränderungen der bakteriellen Diversität und Aktivität ermöglichen.

Innerhalb dieser naturnahen und künstlichen Bodensysteme werden mittels „Denaturierender Gradienten-Gel-Elektrophorese“ (DGGE) die Veränderungen der bakteriellen Gemeinschaft erfasst (Abbildung 2). Die DGGE ist eine Technik, die eine Erfassung der mikrobiellen Diversität ermöglicht, indem ein molekularer Fingerabdruck der jeweiligen Bodenprobe erstellt wird. Durch Sequenzierung der identifizierten Banden werden die im Boden enthaltenen Mikroorganismen phylogenetisch eingeordnet und durch Clusteranalysen die Veränderung innerhalb einer bakteriellen Gemeinschaft erfasst. Mittels „Realtime“-PCR können anschließend die Schlüsselorganismen quantifiziert werden. Die funktionellen Profile der untersuchten mikrobiellen Gemeinschaften können durch Isolierung von mRNA und anschließende Sequenzierung und Analyse der daraus umgeschriebenen cDNA erstellt werden. Diese funktionellen Profile erlauben Rück-



schlüsse auf die Rolle der Bakterien in Stoffkreisläufen und zeigen, welche Prozesse im Boden aktiv ablaufen.

**Abb. 2:** Ausschnitt aus einem DGGE-Gel zur Untersuchung der Veränderungen der bakteriellen Gemeinschaft.

## Biodiversitätsforschung im System Boden: Der Einfluss von Pflanzendiversität und –identität auf den Energiefluss im Boden

Simone Cesarz, Stefan Scheu,

Die Bedeutung von Biodiversität ist heutzutage in aller Munde. Die Auswirkungen von Biodiversität sind dabei bisher phänologisch gut charakterisiert, die zugrundeliegenden Mechanismen, vor allem im Lebensraum Boden, sind jedoch noch weitgehend unverstanden. Erst seit kurzem werden der ober- und unterirdische Lebensraum nicht mehr unabhängig voneinander betrachtet. Die Verknüpfung beider Systeme führt vermehrt zu Erkenntnissen über funktionelle und regulatorische Prozesse.

Einen Beitrag zum Verständnis dieser Prozesse soll dieses Projekt liefern, indem der Einfluss von Pflanzendiversität und –identität auf den Energiefluss im Boden untersucht wird. Im Fokus steht die Frage, inwiefern verschiedene Baumarten den Energiefluss (Kohlenstoff und Stickstoff) im System Boden beeinflussen. Weiter gilt zu klären, welchen Weg der pflanzenbürtige Kohlenstoff im System geht und welche Organismen vom Wurzelpfad bzw. Streupfad abhängen.



Der Boden ist ein hochkomplexes System. In 1 cm<sup>3</sup> Boden befinden sich bis zu ca. 10<sup>9</sup> Bakterien, 3 km Pilzhyphen, 60.000 Protozoen, 50 Nematoden, ein Collembole und eine Milbe (Abbildung 3). Damit ist dieses System dicht besetzt mit Organismen und ihren unterschiedlichsten Lebensweisen. Über die Ernährung und trophischen Beziehungen dieser oft sehr kleinen Organismen weiß man jedoch bisher wenig. Dabei spielt das System Boden eine bedeutende Rolle für Ökosystemfunktionen und –dienstleistungen.

**Abb. 3:** Schematischer Ausschnitt aus dem Boden mit einigen dort lebenden Organismen (Milben, Collembolen, Nematoden, nematophage Pilze und Wurzeln), die auf engstem Raum miteinander interagieren.

Um das System Boden besser zu verstehen, sind Kenntnisse über den Energiefluss unentbehrlich. Trophische Beziehungen im undurchschaubaren Boden sind schwer zu erfassen, egal ob experimentell oder durch reine Beobachtung. Momentan gibt es verschiedene indirekte Methoden Nahrungsbeziehungen aufzudecken:

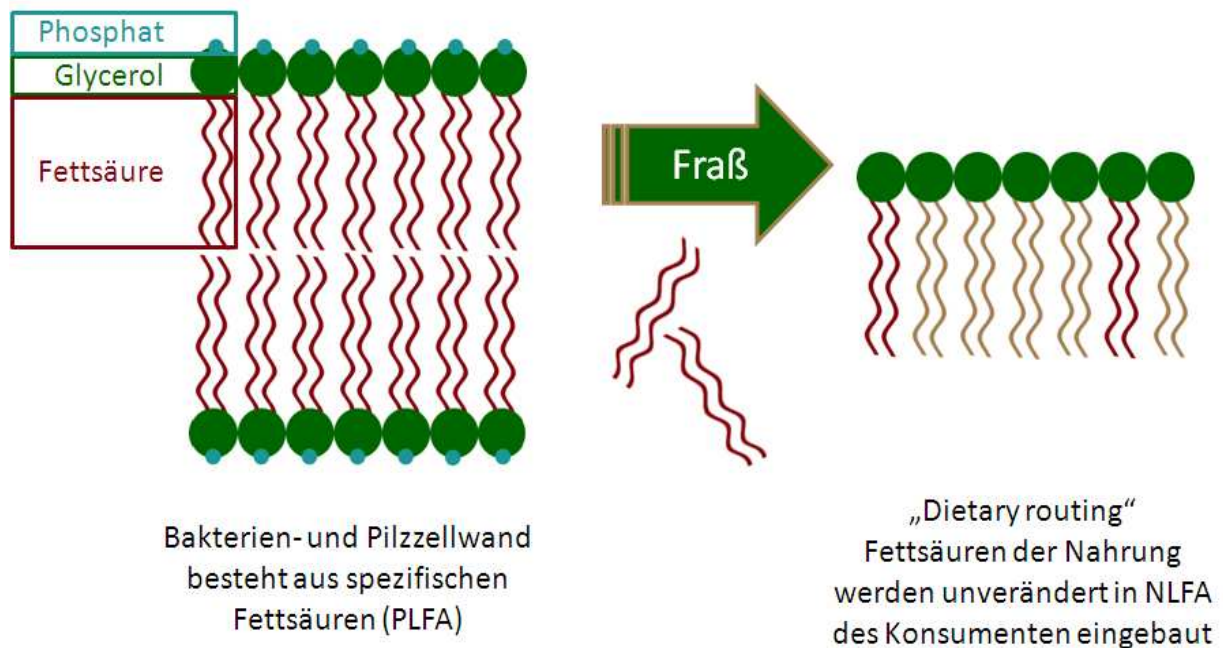
Mit der molekularen Darminhaltsanalyse wird mittels PCR und beutespezifischen Primern die von Räubern gefressene Nahrung untersucht (King et al. 2008; von Berg et al. 2008). Jedoch



gehören die meisten Beuteorganismen zur Meso- und Mikrofauna und machen molekulare Analysen aufgrund ihrer geringen Größe schwierig.

Eine weitere Herangehensweise stellt die stabile Isotopenanalyse dar. Das Verhältnis der Isotope des Kohlenstoffs  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  ermöglicht es, die pflanzliche Nahrungsquelle zu unterscheiden. Das Verhältnis der Stickstoffisotope  $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$  kann trophische Beziehungen aufdecken. Das schwerere  $^{15}\text{N}$ -Isotop reichert sich im Körper an, da das leichtere  $^{14}\text{N}$ -Isotop bei Stoffumsätzen in der Regel bevorzugt wird (Macko et al. 1986). Aufeinanderfolgende trophische Ebenen lassen sich daher durch einen konstanten Faktor in der Anreicherung von  $^{15}\text{N}$  unterscheiden (DeNiro & Epstein 1981; Post 2002).

Eine in der Bodenökologie neuere Methode bildet die Analyse von Fettsäuren (Abbildung 4). Fettsäuren der Nahrung werden teilweise ohne Veränderung in das Gewebe des Konsumenten überführt, dieser Prozess wird „dietary routing“ genannt (Ruess et al. 2005). Werden nun Fettsäuren, die für bestimmte Organismen spezifisch sind, in den Fettsäuren der Konsumenten gefunden, gibt das Aufschluss über deren Nahrung.



**Abb. 4:** Einbau der Phospholipidfettsäuren (PLFA) von Bakterien und Pilzen in die Neutralfette (NLFA) des Konsumenten. Die Fettsäuren von Bakterien und Pilzen der Zellwand (rot) werden nach dem Fraß unverändert (dietary routing) in die Neutralfette des Konsumenten eingebaut. Da sich diese Fettsäuren in ihrer Länge und Lage der Doppelbindungen von denen des Konsumenten unterscheiden bzw. bestimmte Fettsäuren für bestimmte Organismen spezifisch sind, können diese als Marker für die Nahrung dienen.

Die Auflösung dieser Methode kann durch die komponentenspezifische Fettsäureanalyse erhöht werden, indem das Verhältnis von  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  in den Fettsäuren ermittelt wird. Dieser neue Ansatz bildet das Fundament zur Untersuchung des Bodennahrungsnetzes in diesem Projekt.

Obwohl viele Interaktionen im Boden das oberirdische System nur indirekt beeinflussen, sind sie doch für das Pflanzenwachstum von großer Bedeutung; ihr Einfluss übersteigt vermutlich häufig denjenigen durch Wurzelfraß oder Befall durch Pathogene (Scheu 2001). Trotz dieser grundlegenden Bedeutung ist über die Wirkung von Organismen im Boden noch wenig bekannt. Die Untersuchung dieser Zusammenhänge bietet ein breites Betätigungsfeld und wird zu einem besseren Verständnis der Funktion ökologischer Systeme führen.

- DeNiro MJ, Epstein S 1981. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochim. Cosmochim. Acta* 45: 341–351.
- King RA, Read DS, Traugott M, Symondson WOC 2008. Molecular analysis of predation: a review of best-practice for DNA-based approaches. *Mol. Ecol.* 17: 947-963.
- Macko SA, Estep MLF, Engel MH, Hare PE 1986. Kinetic fractionation of stable nitrogen isotopes during amino-acid transamination. *Geochim. Cosmochim. Acta* 50: 2143–2146.
- Post DM 2002. Using stable isotopes to estimate trophic position: Models, methods and assumptions, *Ecology* 83: 703–718.
- Ruess L, Schütz K, Haubert D, Häggblom MM, Kandeler E, Scheu S 2005. Application of lipid analysis to understand trophic interactions in soil. *Ecology* 86: 2075-2082.
- Scheu S 2001. Plants and generalist predators as links between the below-ground and above-ground system. *Basic Appl. Ecol.* 2: 3–13.
- von Berg K, Traugott M, Symondson WOC, Scheu S 2008. Impact of abiotic factors on predator-prey interactions: DNA-based gut content analysis in a microcosm experiment. *Bull. Entomol. Res.* 98: 257-261.

## Funktionale Diversität von Mykorrhizagesellschaften

Kerttu Valtanen, Andrea Polle

Bei der Mykorrhiza handelt es sich um eine enge Symbiose zwischen Pflanzenwurzeln und Pilzen. Bei den meisten Baumarten in unseren Wäldern sind die Wurzelspitzen von einem Geflecht aus Pilzhyphen ummantelt. Die Hyphen breiten sich von der Wurzel nach außen in den Boden aus, wo sie feinste Poren erschließen und der Pflanze Nährstoffe und Wasser zuführen. Im Gegenzug versorgt die Pflanze den Pilz mit Kohlenhydraten. Mykorrhizen haben somit eine zentrale Bedeutung für Stoffflüsse in der Rhizosphäre - das ist der Bodenraum, der die Wurzel unmittelbar umgibt - und stellen das Bindeglied zwischen Pflanze und Bodenkompartment dar (Abbildung 5 und 6).



**Abb. 5:** Die Buche (*Fagus sylvatica*) kann eine Vielzahl von Pilzarten als Mykorrhizapartner beherbergen.



**Abb. 6:** Mykorrhizavielfalt der Buche. (*Fagus sylvatica*).

Es gibt zahlreiche verschiedene Pilzarten, die mit Baumwurzeln eine Mykorrhiza ausbilden. Die Bedeutung dieser Artenvielfalt für die Ernährung und Stresstoleranz von Bäumen ist bisher nicht gut verstanden. Im Rahmen der Untersuchungen im Teilprojekt 'MicroRhizo' wird die funktionelle Diversität von Mykorrhizapilzen besonders im Hinblick auf den Kohlenstofftransport von der Wirtspflanze in die Mykorrhiza und in den Wurzelbereich sowie die Bedeutung von Mykorrhizen für den Stickstoffhaushalt der Pflanze untersucht. Dazu werden kontrollierte Experimente mit Ektomykorrhizapilzen aus dem Nationalpark Hainich durchgeführt (Abbildung 7).

Durch Schattierungs- und Ringelungsexperimente haben wir gezeigt, dass die C-Allokation in das unterirdische Kompartiment entscheidend für die Ausbildung einer hohen Mykorrhizadiversität ist (Druebert et al. 2009). Um Fragen der C- und N-Allokation weiter nachzugehen, wurden in Kooperation mit anderen Gruppen des 'MicroRhiza'-Projektes Buchen und Eschen aus dem Hainich in intakten Bodensäulen kultiviert und mit  $^{13}\text{C}$  und  $^{15}\text{N}$  markiert. Durch Analyse der

Markierung in verschiedenen Mykorrhizen können Hinweise auf funktionelle Unterschiede zwischen den Pilzarten erhalten werden. Ähnliche Versuchsansätze werden derzeit in den 'Micro-Rhizo-Inkubatoren wiederholt.



**Abb. 7:** *Lactarius subdulcis* Mykorrhiza an der Buchenwurzel und Fruchtkörper

Um die Pilze besser zu charakterisieren, wurden wichtige Arten, die im Hainich häufig an den Bäumen vorkommen, in Reinkultur genommen. Untersuchungen dieser Reinkulturen im Labor zeigten, dass es große Unterschiede im Hinblick auf die Nutzung von Stickstoffquellen gibt. Um den Einfluss von Stickstoffverfügbarkeit auf die Bildung von Mykorrhizen herauszufinden, führen wir sogenannte Splitroot-Versuche durch. Dazu wird das Wurzelsystem von nicht-mykorrhizierten jungen Buchenpflanzen auf zwei Bodenkompimente aufgeteilt. Die Wurzeln werden mit Mykorrhizapilzen inokuliert und jedes Kompartiment mit einer unterschiedlichen Stickstoffkonzentration versorgt. Es ist bekannt, dass zunehmende N-Einträge generell einen negativen Effekt auf die Biodiversität ausüben. Unsere Untersuchungen werden zeigen, ob von erhöhten N-Konzentrationen eine Gefährdung für häufige, im Naturschutzgebiet Hainich vorkommende Ektomykorrhiza-Pilzarten ausgeht.

Druebert C, Lang C, Valtanen K, Polle A 2009. Beech carbon productivity as driver of ectomycorrhizal abundance and diversity. *Plant, Cell and Environment* 32: 992-1003.

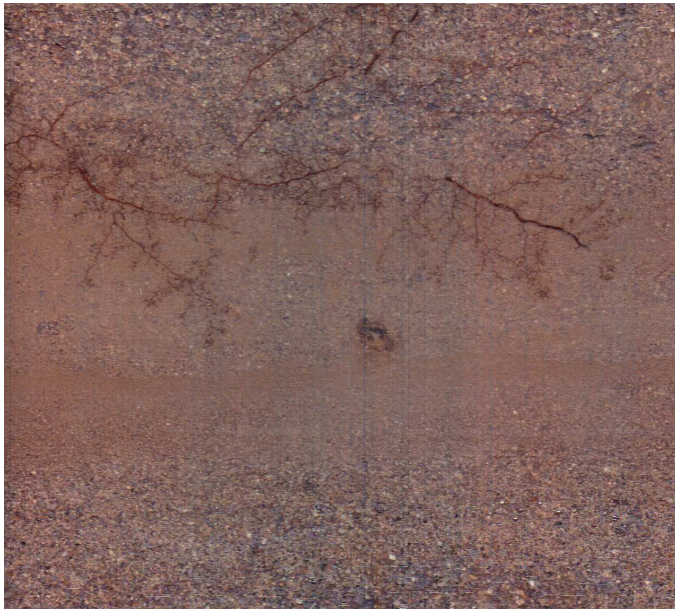


## Das Feinwurzelsystem von Buchen und Eschen: Zum Einfluss von interspezifischer Konkurrenz, Trockenstress, und Stickstoffverfügbarkeit

Friderike Beyer, Dietrich Hertel, Christoph Leuschner

Baumwurzeln spielen eine entscheidende Rolle für den ökosystemaren Kohlenstoffhaushalt von Wäldern. Besonders Feinwurzeln (Wurzeln eines Durchmessers  $< 2$  mm) sind als Zielort des durch die Photosynthese in den Blättern des Baumes aufgenommenen Kohlenstoffs sehr bedeutsam. Durch ständiges Absterben und Erneuern dieser Feinwurzeln wird Kohlenstoff in den Boden transportiert und dort gebunden. Schätzungen gehen davon aus, dass weltweit insgesamt 33% der jährlichen Nettoprimärproduktion der Bäume dem Feinwurzelsystem zugeführt werden (Jackson et al. 1997). Trotz dieser wichtigen Funktion des Feinwurzelsystems im ökosystemaren Kohlenstoffhaushalt von Wäldern sind viele treibende Kräfte der Dynamik des Feinwurzelsystems bisher nicht geklärt. Mit den folgenden drei Versuchsansätzen untersuchen wir die Komplexität der Dynamik des Feinwurzelsystems.

1. Im Rahmen des Teilprojektes 'MicroRhizo' wird der Einfluss der intra- und der interspezifischen Interaktion auf das Wurzelwachstum bei Buche (*Fagus sylvatica* L.) und Esche (*Fraxinus excelsior* L.) in einem Mikrokosmenversuch untersucht. Buchen und Eschen gelten in ihrer Ökologie als zwei sehr unterschiedliche Baumarten. Die Buche ist die dominierende und am weitesten verbreitete Baumart in Mitteleuropa. Sie ist sehr konkurrenzstark gegenüber anderen Baumarten, gilt jedoch als empfindlich gegenüber starker Bodentrockenheit. Die Esche wächst im Jugendstadium schneller als die Buche, ist dabei aber nicht so resistent gegenüber starker Beschattung wie Jungbuchen. Ein weiterer Unterschied zwischen Buche und Esche zeigt sich unter



**Abb. 8:** Unterirdische Aufnahme von Buchenwurzeln zur Untersuchung des Wurzelwachstums und der Absterberate der Wurzeln.

der Erdoberfläche: Buchen sind, wie die meisten unserer einheimischen Baumarten, ektomykorrhiziert, d.h. sie leben mit Pilzen in Symbiose, deren Hyphen sich als 'Mantel' um die Wurzelspitzen herumlegen und auch in die Zellzwischenräume der Wurzelrinde eindringen, jedoch nicht in die Wurzelzellen selbst. Dagegen besitzen Eschen als eine der wenigen Baumarten unserer Breiten Wurzeln, die vesikulär-arbuskuläre (VA) Mykorrhiza ausbilden, d.h. eine Symbiose mit Pilzen eingehen, deren Hyphen in die Zellen der Wurzeln eindringen und dort vesikuläre und arbuskuläre Strukturen ausbilden. Die beiden Baumarten unterscheiden sich daneben auch noch in einer Reihe anderer wurzelmorphologischer Parameter.

Die Entwicklung der Wurzeln wird regelmäßig mit Digitalfotografie aufgenommen (Abbildung 8). Die Bilder werden anschließend mit einem speziellen Computerprogramm (WinRHIZOtron, Régent Instruments, Quebec, Canada) analysiert, woraus das Wurzelwachstum und die Absterberate der Wurzeln und der damit verbundene Kohlenstofffluss zum Boden berechnet werden können. Darüber hinaus soll untersucht werden, wie sich der Kohlenstoffeintrag in den Boden infolge abgestorbener Wurzeln von demjenigen unterscheidet, der durch den Abbau von Laubstreu generiert wird.

Folgende Fragestellungen stehen bei dem Mikrokosmos-Versuch aus pflanzenökologischer Sicht im Vordergrund:

- Welche Auswirkung haben zwischen- und innerartliche Konkurrenz auf das Feinwurzelswachstum und den Feinwurzelsumsatz?
- Wie hoch ist der C-Fluss über die Feinwurzeln in die Rhizosphäre im Vergleich zum streubürtigen C-Transport in den Boden und welchen Einfluss hat dabei die Baumartenzusammensetzung?

2. Das Wurzelwachstum von Buche und Esche wird ebenfalls in einem weiteren Versuch in sogenannten "Rhizoboxen" untersucht. Diese schmalen, rechteckigen Boxen sind von zwei Seiten mit Plexiglasscheiben versehen. In diese wurden kleine Buchen- und Eschenpflanzen in artenreiner oder gemischter Kombination gepflanzt. Durch die Plexiglasscheiben, die im Normalzustand abgedunkelt sind, werden in regelmäßigen Zeitabständen die Wurzelsysteme der Bäume mit einem Flachbildscanner dokumentiert. Die Bilder werden anschließend verwendet, um im Detail die Neubildung und das Absterben bis hin zum Verschwinden toter Wurzeln sequentiell beobachten zu können, um weitere Erkenntnisse über die Wachstumsdynamik der Wurzeln der beiden Arten zu erhalten. Im Vordergrund steht dabei die Frage, inwieweit sich durch solche optischen Beobachtungen tatsächlich Rückschlüsse auf die Vitalität und den Absterbeprozess von Wurzel unterschiedlicher Arten ziehen lassen (Pritchard et al 2008). Deshalb werden die vermeintlich toten Wurzeln aus den Rhizoboxen entnommen und mit anderen Methoden überprüft, die als Kriterien der Totansprache wurzelanatomische und biochemische Verfahren nutzen.

3. In einem weiteren Experiment mit getopften Jungpflanzen (Abbildung 9) sowie in großen Pflanzcontainern des "Göttinger Rhizolab" - einem Wurzel-Experimentallabor im Freiland - werden die Auswirkungen von Bodentrockenheit und erhöhter Stickstoffverfügbarkeit auf die Wurzelsysteme untersucht (Abbildung 10). Bäume sind nicht nur den durch die Klimaerwärmung verursachten längeren Trockenperioden im Sommer ausgesetzt, sondern auch gleichzeitig den hohen anthropogenen atmosphärischen Stickstoffeinträgen. Während zu beiden Fak-



**Abb. 9:** Topfversuch im Experimentellen Botanischen Garten in Göttingen.



toren für sich schon einige wissenschaftliche Erkenntnisse vorliegen, ist bislang nicht bekannt, inwieweit die beiden Faktoren in Kombination miteinander auf die Vitalität von Bäumen wirken.

Folgende Fragestellungen sollen in diesem Experiment untersucht werden:

- Welchen Effekt haben Bodentrockenheit und erhöhte Stickstoffverfügbarkeit auf das ober- und unterirdische Wachstum von Jungbuchen?
- Welche Stressreaktionen oder mögliche Anpassungsmechanismen zeigen die Jungbuchen in ihren ober- und unterirdischen Organen auf die beiden unterschiedlichen Stressoren und deren Kombination?



**Abb. 10:** Göttinger Rhizolab. **Links:** Ein mobiles Rolldach mit Regensensor schützt die Jungbuchen vor natürlichem Niederschlag und ermöglicht damit die Einstellung kontrollierter Bodenfeuchtwerte. **Rechts:** Im Kellerbereich der Rhizolabs wird das Wachstum der Baumwurzeln in durchsichtigen Rhizoskopieröhren analysiert, die horizontal in die Pflanzcontainer installiert sind.

Das Göttinger Rhizolab gestattet Untersuchungen sowohl unter variablen Freilandbedingungen als auch die Kontrolle und Manipulation der Bodenfeuchte durch ein mobiles, mit einem Regensensor ausgestattetes Regendach, das natürliche Niederschläge ausschließt. Der Topfversuch wird benutzt, um destruktive Messungen von vor allem physiologischen Parametern durchführen zu können, während die in den Containern gepflanzten Buchen ein längerfristiges Monitoring der Stresswirkung von Trockenheit und Stickstoffverfügbarkeit gewährleisten. Hier wird im Kellerbereich der Rhizolabs in insgesamt 192 horizontalen Plexiglasröhren in den Pflanzcontainern das Wurzelwachstum der Jungbuchen wiederum mittels Digitalfotografie verfolgt.

Jackson RB, Mooney HA, Schulze ED 1997. A global budget for fine root biomass surface area, and nutrient contents. *Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America* 94: 7362-7366.

Pritchard SG, Strand AE 2008. Can you believe what you see? Reconciling minirhizotron and isotopic estimates of fine root longevity. *New Phytol.* 177: 287-291.

## **Einfluss der Rhizosphäre von Buche und Esche auf den Kohlenstoff- und Stickstoffaustausch des Bodens mit der Atmosphäre**

Ann-Catrin Fender, Dirk Gansert, Hermann F. Jungkunst

Dieses Teilprojekt beschäftigt sich mit den Flüssen der klimarelevanten Spurengase  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{CH}_4$  aus dem Waldboden. Dabei wird speziell der Einfluss der Rhizosphäre auf diese Gasflüsse betrachtet. Die Identifikation des Rhizosphären-Beitrags an den Gasflüssen zwischen Boden und Atmosphäre ist aufgrund dieser schwer abzugrenzenden Zone eine besondere Herausforderung. Pflanzenwurzeln tragen einen unmittelbaren Teil zur Entstehung der Spurengase bei. Sie fördern darüber hinaus aber auch die mikrobielle Aktivität durch Bereitstellung verschiedener organischer Stoffe und Nährstoffe und sind deshalb von besonderem Interesse. Die Arbeit ist in drei Module unterteilt, die alle den gleichen biologisch aktiven Oberboden aus dem Nationalpark Hainich verwenden (Abbildung 11).

Im ersten Modul wurde in 16 Bodensäulen-Systemen wurzelfreier Boden untersucht. Dabei stand die Identifikation des Anteils der mikrobiellen Prozesse an den Gasflüssen und deren Veränderung durch unterschiedlichen Wassergehalt und unterschiedliche Stickstoffverfügbarkeit im Vordergrund. Als zweites Modul, auf das erste Modul aufbauend, werden in den Boden Eschen gepflanzt. Dies ermöglicht die Untersuchung des Einflusses der Eschenwurzeln auf die Mikrobiologie unter Berücksichtigung verschiedener Stickstoffverhältnisse. Die Bodensäulen (Modul 1 und Modul 2) leisten somit einen Beitrag zur Beantwortung folgender Fragen:

- Wie verändern sich die mikrobielle Aktivität und der damit verbundene Gasaustausch des Bodens mit der Atmosphäre durch verschiedene Wassergehaltsstufen?
- Welche Konsequenzen haben verschiedene Stickstoffverhältnisse in Abhängigkeit der Kohlenstoffverfügbarkeit auf die biologischen Prozesse und den Gasaustausch mit der Atmosphäre?
- Wie verändern sich die Spurengasflüsse durch die Anwesenheit von Eschenwurzeln?

Das dritte Modul dient der räumlich hochauflösenden Analyse des Wurzelraums. Es findet gemeinsam mit den übrigen Teilprojekten in den oben beschriebenen Rhizoboxen statt. Hierbei werden neben dem Gasaustausch von Boden und Atmosphäre einerseits die kleinräumig stattfindenden biochemischen Veränderungen durch die Wurzeln betrachtet. Andererseits wird durch  $^{13}\text{C}$ - und  $^{15}\text{N}$ -markierte Eschenlaubstreu der Kohlenstoff- und Stickstoffpfad im Verlauf der Mineralisation dieser Laubstreu verfolgt. Folgende Fragestellungen werden dementsprechend bearbeitet:

- Wie beeinflusst das Wurzelwachstum von Buche und Esche die chemischen Eigenschaften des Bodens?
- Welchen Einfluss hat die Streuqualität auf den Kohlenstofffluss von der Pflanze über die Rhizosphäre in den Boden?

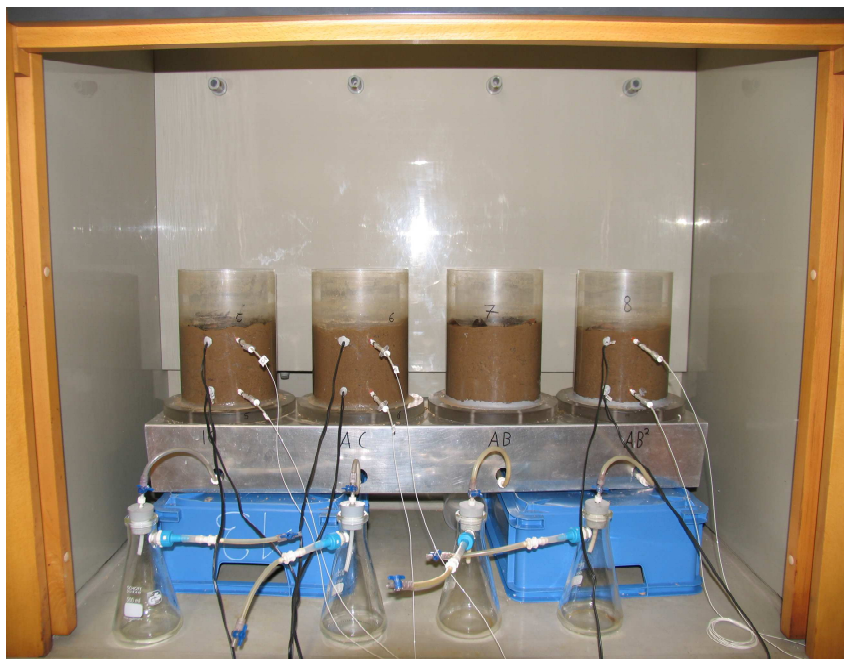
Zur Erfassung der Gasflüsse zwischen Boden und Atmosphäre wird die „closed chamber“-Methode angewandt. Dabei wird während einer Stunde ein Luftvolumen oberhalb des Bodens abgeschlossen. Die Analyse der Gasproben auf die Konzentrationen von  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  und  $\text{CH}_4$  erfolgt mittels Gaschromatographie. Die Ermittlung der Gaskonzentrationen ermöglicht die Be-

rechnung der Gasflüsse aus dem Boden über lineare Regressionen. Die Sauerstoff- und  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen im Boden und in der Rhizosphäre werden mittels eines optischen Messverfahrens, sogenannter Optoden, räumlich und zeitlich hochauflösend erfasst.

Das erste Modul dieses Teilprojektes ist inzwischen abgeschlossen. Es wurde gezeigt, wie sich die Gasflüsse eines biologisch aktiven Waldbodens nach Veränderungen im Wassergehalt verhalten. Zudem ergaben sich deutliche Hinweise auf einen hohen Einfluss von Stickstoffdüngung auf einen von Natur aus mäßig gut stickstoffversorgten Waldboden. Durch zweimalige Stickstoffdüngung in hoher Konzentration ( $200 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) erhöhten sich die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen um das 8-fache. Darüber hinaus wurde die natürliche  $\text{CH}_4$ -Aufnahme des Bodens auf ein Fünftel durch die Stickstoffdüngung verringert. Dementsprechend ist der Effekt der N-Düngung bezüglich der Bilanz der klimarelevanten Spurengase nach unseren bisherigen Ergebnissen negativ zu bewerten.

Das zweite Modul wurde dieses Frühjahr installiert. Bisher wurde festgestellt, dass die Präsenz von Eschenwurzeln die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen um ein Drittel verringern.

Das dritte Modul hat erste Daten zum Rhizosphären-Effekt auf die Gasflüsse ergeben. Es zeigte sich, dass besonders Eschenwurzeln die  $\text{N}_2\text{O}$ -Emission aus dem Waldboden verringern und gleichzeitig die  $\text{CH}_4$ -Aufnahme in den Boden begünstigen. Noch andauernd ist in Modul 3 die Datenaufnahme zum Einfluss der Streuqualität und zur Größe der Sauerstoff- und  $\text{CO}_2$ -Gradienten zwischen Rhizosphäre und 'freiem' Boden sowie im Tiefenprofil des Bodens.



**Abb. 11:** Bodensäulen-Systeme zur Untersuchung der Gasflüsse in Abhängigkeit mikrobieller Prozesse im Boden.

## **POPDIV**

# **Ein Diversitätsexperiment zur Klärung der Rolle intraspezifischer Diversität für Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen**

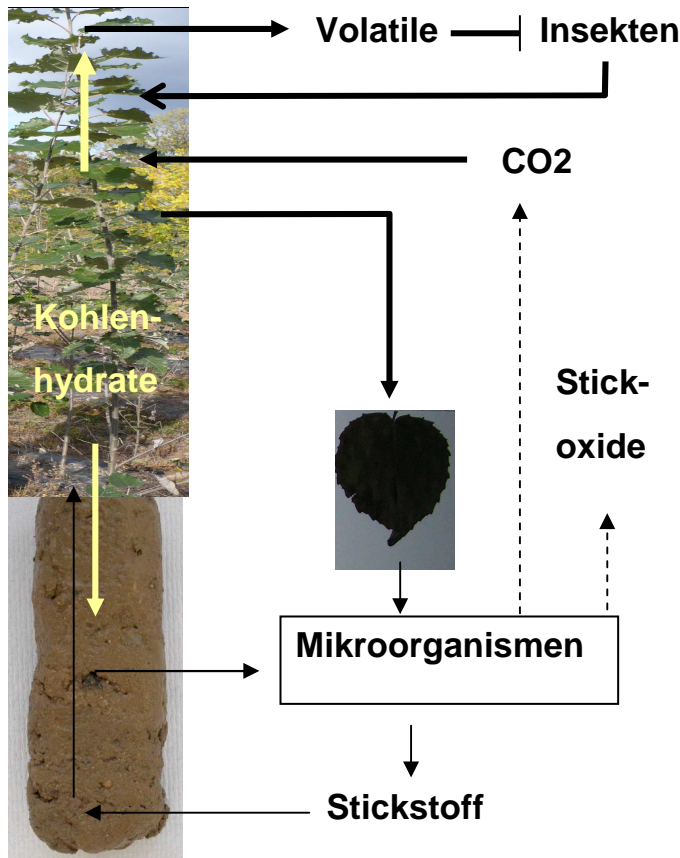
Andrea Polle

Die Zerstörung von Lebensraum durch intensive Landnutzung und Urbanisierung führt zu einem erheblichen Verlust an Biodiversität. In Deutschland sind bereits mehr als die Hälfte der nach EU-Recht geschützten Arten bedroht. Es ist relativ wenig darüber bekannt, wie sich der Verlust einzelner Arten auf das Gesamtgefüge auswirkt. Unbestritten ist jedoch, dass massive Verluste von Schlüsselarten wie z.B. von bestäubenden Insekten zu erheblichen wirtschaftlichen Schäden führen, wenn dadurch die Fruchtbildung reduziert ist oder sogar ausbleibt. Diesen „Service“ von Insekten bezeichnet man auch als Ökosystemdienstleistung. Es gibt zahlreiche weitere Dienstleistungen, die von Pflanzen, Insekten und anderen Organismen erbracht werden und die auf der intakten Funktion von Ökosystemen beruhen.

Während die Funktion einiger Schlüsselarten gut bekannt ist, wissen wir für viele Pflanzenarten wenig darüber, welche Bedeutung ihnen im Einzelnen in ökosystemarem Kontext zu kommt. Viele Modellexperimente, in denen die Diversität durch Wegnahme oder das Hinzufügen von Pflanzenarten verändert wurde, zeigen positive Auswirkungen einer erhöhten Diversität auf Ökosystemfunktionen und Ökosystemleistungen. Hochdiverse Bestände sind zum Beispiel besser gegen Stress geschützt als artenarme Bestände.

Uns interessiert, ob diese positiven Diversitätseffekte mit dem Vorhandensein verschiedener Pflanzenarten zusammenhängen oder auch durch die Diversität innerhalb einer Art - also durch die innerartliche genetische Diversität - bedingt werden können. Um dieser Frage nachzugehen, wurde im Solling eine experimentelle Anpflanzung verschiedener Pappelherkünfte angelegt. Die Pappel wurde ausgewählt, weil sie eine relativ schnellwüchsige Baumart ist, die für bestimmte Ökosystemprozesse eine Schlüsselart darstellt. Sie produziert leicht zersetzbares Laub, das wiederum die Etablierung bestimmter Mikrobengemeinschaften im Boden ermöglicht (Abbildung 1). Bodenmikroorganismen – Bakterien und Pilze – beeinflussen unter anderem den Umsatz von Stickstoffverbindungen und damit die Emission von klimarelevanten Gasen. Über ihre Wurzeln geben Pappeln auch leicht verwertbare Kohlenstoffverbindungen in Boden ab, die ebenfalls die Bodenmikrobiologie beeinflussen. Da Mikroben für die Bereitstellung von Nährstoffen im Boden wichtig sind, hängt die Produktivität der Pflanzen stark von den Aktivitäten dieser Organismen ab. Des Weiteren zählen Pappeln im Pflanzenreich zu den stärksten Emittenten von Isopren. Isopren zählt zusammen anderen flüchtige Verbindungen zu den sogenannten volatilen organischen Verbindungen (VOC), d.h. zu einer Gruppe von Stoffen, die über die Blätter in die Luft abgegeben werden. Diese VOCs dienen der Kommunikation mit der Umwelt und können beispielsweise die Attraktivität für Insekten verändern. Isopren scheint auch für die Stress-toleranz wichtig zu sein. Das Muster der VOCs, die von Pappeln abgegeben werden, hängt von Umwelteinflüssen, dem Alter der Blätter und dem genetischen Hintergrund der Pflanze ab.

Bei der Pappel werden erhebliche Mengen des photosynthetisch gebundenen Kohlenstoffs für Wurzelexsudation, d.h. für lösliche Verbindungen, die über die Wurzel in den Boden gelangen,



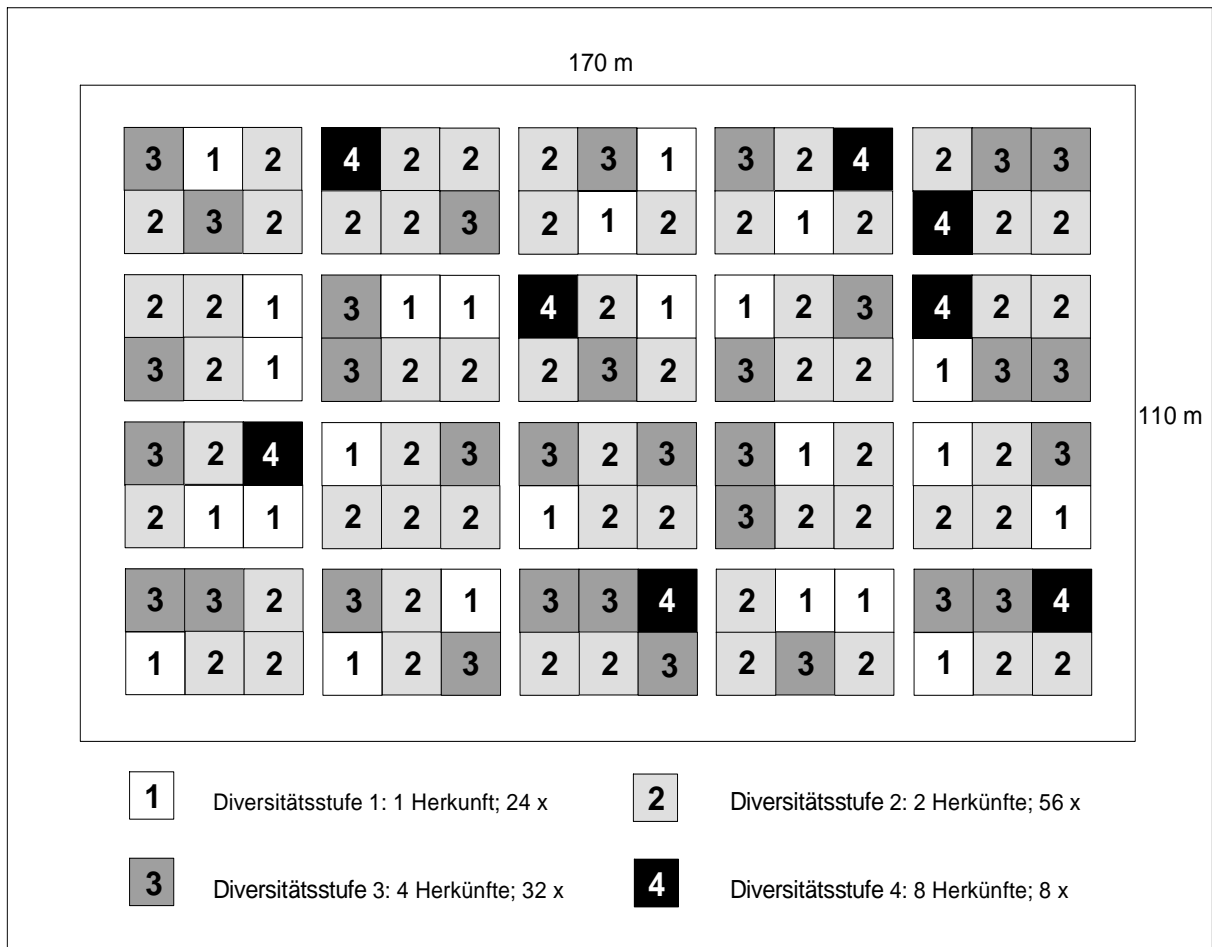
und für Volatilenproduktion, d.h. VOCs, die in die Luft abgegeben werden, verwendet. Wir erwarten daher, dass zwischen Herkünften mit starken Unterschieden in ihrem Wuchsverhalten auch erhebliche Unterschiede im Hinblick auf die ober- und unterirdischen Lebensgemeinschaften bestehen, die über solche von der Pflanze abgegebenen Stoffe gesteuert werden.

**Abb.1:** Pflanzen und Bodenorganismen nehmen in Stoffkreisläufen eine wichtige Funktion ein.

Im Pappelexperiment 'POPDIV' prüfen wir die Arbeitshypothese, dass innerartliche Unterschiede zu komplementärer Ressourcennutzung führen. Daher erwarten wir in Mischpflanzungen von Pappelherkünften eine höhere Produktivität als Monokulturen. In der ersten Phase wurde eine Pflanzung von 8 Herkünften in einem komplexen Design angelegt, um möglichst viele Mischkombinationen zu realisieren (Abbildung 2). Es wurde eine grundlegende Charakterisierung der Pappeln im Hinblick auf ihre genetischen Strukturen, Wuchs- und Photosyntheseleistungen durchgeführt. In der Folge sollen Beziehungen zu ober- und irdischen Lebensgemeinschaften stärker in den Fokus rücken und die Stoffflüsse, die diese Beziehungen regulieren, aufgeklärt werden. Von besonderem Interesse ist, welche Unterschiede sich zwischen Monokulturen und Mischpflanzungen herauskristallisieren.

Das Pappelexperiment wird damit zur Beantwortung der drängenden Frage beitragen, welche Bedeutung genetische Diversität innerhalb einer Art für Ökosystemleistungen besitzt. Wie eingangs aufgeführt, erleben wir einen rasanten Artenrückgang. Dabei ist nicht nur besorgniserregend, dass einzelne Arten verschwinden, sondern auch, dass die genetische Basis der vorhandenen Arten schrumpft. 'POPDIV' ist ein erster Schritt, um die Bedeutung der innerartlichen Diversität für Ökosystemleistungen zu quantifizieren.





**Abb. 2:** Versuchsdesign des Pappelexperimentes. Auf einer Versuchsfläche bei Silberborn (Versuchsgut Relliehausen) wurden Pappeln 8 unterschiedlicher Herkünfte (7x *Populus tremula*, 1x *Populus tremuloides*) in 4 unterschiedlichen Diversitätsstufen gepflanzt. Das Experiment ist in unmittelbarer Nähe des oben beschriebenen 'GrassMan'-Versuchs angesiedelt.

### Wuchsleistung unterschiedlicher Pappelherkünfte in einem Diversitätsexperiment

Frauke Kleemann, Lars Köhler und Andrea Polle

Auf einer Grünlandfläche im Solling wurden im Oktober 2008 acht Pappelherkünfte gepflanzt. Sieben Herkünfte von *Populus tremula* stammten aus Europa (Schweden, Polen, Österreich, Schweiz, Deutschland: Holstein und Göttingen 2x), eine Herkunft aus den USA (*P. tremuloides*). *Populus tremula* wird auch als Aspe bezeichnet und unterscheidet sich von anderen Pappelarten durch ihre größere Trockentoleranz. Die Pappeln wurden zum einen in Monokulturen und zum anderen in Mischungen von 2, 4 oder 8 Herkünften nach dem oben vorgestellten Plan angepflanzt. In den Untersuchungen soll geklärt werden, welchen Einfluss die Mischung verschiedener Pappelherkünfte auf deren Wachstum und Produktivität hat. Um dieser Frage nach-

zugehen, wurden die Pappeln von März bis Oktober 2009 monatlich vermessen (Abbildung 3). Neben den Wuchshöhen wurde der Wurzelhalsdurchmesser zu Beginn und am Ende der Vegetationsperiode gemessen, um das Dickenwachstum des Sprosses zu bestimmen. Aus dem Durchmesser und der Wuchshöhe der Pflanzen kann die stehende Stammbiomasse errechnet werden.



**Abb. 3:** Pappel der Herkunft Holstein (links) und der Herkunft USA (rechts) im Juni 2009 auf der Versuchsfläche bei Silberborn.

Die Pappeln unterschieden sich deutlich im Sproßwachstum. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Herkünften werden auch anhand der unterschiedlichen Blattgrößen und Formen deutlich (Abbildung 4). Selbst zwischen den beiden Herkünften aus Göttingen lassen sich deutliche Unterschiede erkennen. Ergebnisse zu Diversitätseffekten liegen noch nicht vor, weil der Pflanzabstand zwischen den Bäumen im ersten Jahr noch zu groß für messbare Interaktionen zwischen den Pflanzen war.



**Abb. 4:** Blätter verschiedener Pappelherkünfte. Von links nach rechts die Herkünfte: Göttingen 2, Göttingen 7, USA, Schweiz, Holstein, Schweden, Österreich, Polen.

## Photosyntheseleistung und Wachstum von *Populus tremula*

Annika Müller, Viviana Horna, Christoph Leuschner

In Anbetracht der Diskussion über nachwachsende Rohstoffe und die steigende globale Nachfrage nach denselben sind die Holzproduktion und ein ökonomisches Management von Forsten und Waldbeständen von großer Bedeutung (Dickmann 2006). Um die maximale Produktivität eines Bestandes zu erreichen, müssen entweder die Genotypen bzw. Arten oder die Anbaubedingungen optimiert werden (Ceulemans und Deraedt 1999). Die Frage, inwieweit die Artenvielfalt die Produktivität von Ökosystemen beeinflusst wird schon seit Jahrzehnten in der Ökosystemforschung diskutiert (Tilman et al. 1997, Cianciaruso et al. 2009, Hughes et al. 2009, Loreau 2010). Der Schwerpunkt liegt hierbei jedoch auf dem Einfluss der interspezifischen Diversität (Artendiversität) und weniger auf der intraspezifischen Diversität (genetische Diversität). Neueste Ergebnisse zeigen hingegen, dass auch erhöhte genetische Diversität innerhalb einer Population die Produktivität steigern kann (Kotowska et al. 2010). Ein Zusammenhang zwischen intraspezifischer Variabilität und Biomassegewinn ist daher insbesondere für die Forstwirtschaft von großer Bedeutung. In Europa und Nordamerika haben sich in den letzten Jahren zunehmend Kurzumtriebsplantagen etabliert. Pappeln und Weiden gehören im allgemeinen zu den besonders schnellwüchsigen Gehölzen und sind durch eine hohe Produktivität gekennzeichnet. Daher werden sie bevorzugt in Form von Kurzumtriebsplantagen bewirtschaftet, um eine schnelle und möglichst effektive Holzgewinnung zu gewährleisten (Dickmann 2006).

Im folgenden Projekt haben wir uns mit der Ökophysiologie und dem Wachstum der Zitterpappel (Aspe, *P. tremula*) befasst. Hybridaspens wurden intensiv unter borealen Klimabedingungen in Schweden, Finnland und in den USA (Li et al. 1998, Riemenschneider et al. 2001, Yu et al. 2001, Karacic et al. 2003, Rytter and Stener 2005) untersucht, wobei signifikante Unterschiede im Wachstum aufgezeigt werden konnten. Dies verdeutlicht, dass gerade bei der häufig vernachlässigten Zitterpappel noch viel Forschungspotential bezüglich der intraspezifischen Biomassevariabilität besteht (Rytter and Stener 2005). Aspen haben im Vergleich zu anderen Pappelsektionen den geringsten Anspruch an ihre Habitatbedingungen und sind äußerst trockenresistent, was sie insbesondere bei weniger guten Standortbedingungen zu einer sehr beliebten Baumart macht.

Ziel dieser Arbeit ist die Charakterisierung der innerartlichen Variabilität am Beispiel der Zitterpappel. Mit Hilfe von morphologischen und ökophysiologischen Messmethoden soll ein besseres Verständnis der genetischen Variabilität gewonnen werden. Ein besonderes Augenmerk gilt dem Einfluss der genetischen Bestandesvielfalt mit Hinblick auf Biomasseproduktion in Kurzumtriebsplantagen.

### Methoden

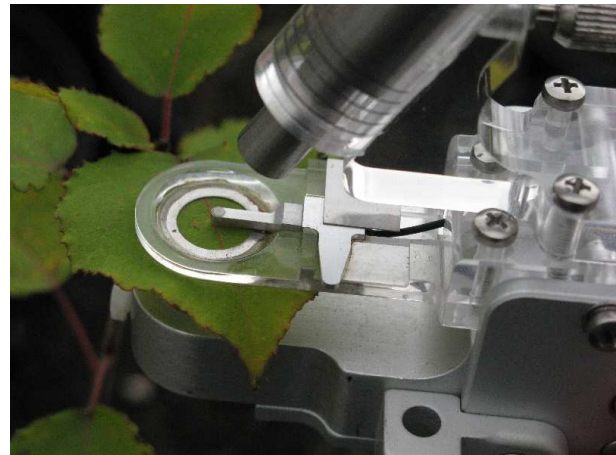
#### *Pflanzmaterial und Versuchsdesign*

In den Jahren 2008 und 2009 haben zwei Versuche stattgefunden, wobei zunächst sechs Vollgeschwisterfamilien von *P. tremula* aus Deutschland (Göttingen, Geismar 51°32'N, 9°56' E) untersucht wurden. Die Individuen der Vollgeschwisterfamilien wurden von der Abteilung Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung kontrolliert gekreuzt, wobei vier Mutterpflanzen (2, 4, 8, 9) und zwei Pollenspender genutzt wurden (3, 5). Die Kreuzungen (2x3, 2x5, 4x5, 8x5, 9x3 und

9x5) wurden unter Laborbedingungen erzeugt und angezogen. Im Jahr 2008 wurden 24 Individuen pro Familie randomisiert in zwei Beetkästen angepflanzt. Das zweite Experiment bei Silberborn wurde bereits oben beschrieben. Dort wurden zwei deutsche Pappelprovenienzen (Göttingen Gö2, Gö7) und zwei weitere aus der Schweiz (CH) und Österreich (A) untersucht. Jede Pappelprovenienz wurde in Monokulturen, aber auch in Form von 2er und 4er Mischkulturen (Diversitätsstufen) angepflanzt. Da im ersten Jahr noch keine Konkurrenz zwischen den Aspen zu erwarten war, wurden die Messungen, die im folgenden beschrieben werden, nur in den Monokulturen durchgeführt.

### Ökophysiologie

Die Photosyntheseleistung gilt als die treibende Kraft des Kohlenstoffgewinns und ist damit einer der wichtigsten Parameter für den Biomassezuwachs. Daher wurde bei den sechs deutschen Vollgeschwisterfamilien sowie den vier europäischen Pappelprovenienzen monatlich die Photosyntheseleistung in Abhängigkeit von verschiedenen Lichtintensitäten und CO<sub>2</sub> Konzentrationen mit dem LI-COR 6400 gemessen (Abbildung 5). Weiterhin wurden die Chlorophyllfluoreszenz (PAM 2000, Abbildung 6) und das Wasserpotential (Scholander Druckkammer) der Aspen aufgenommen. Die Messungen im Jahr 2008 wurden zwischen Mai und August durchgeführt, während die Messungen 2009 von Juni bis August stattfanden.



**Abb. 5 (Links):** Photosynthesemessung mit dem LI-COR 6400.

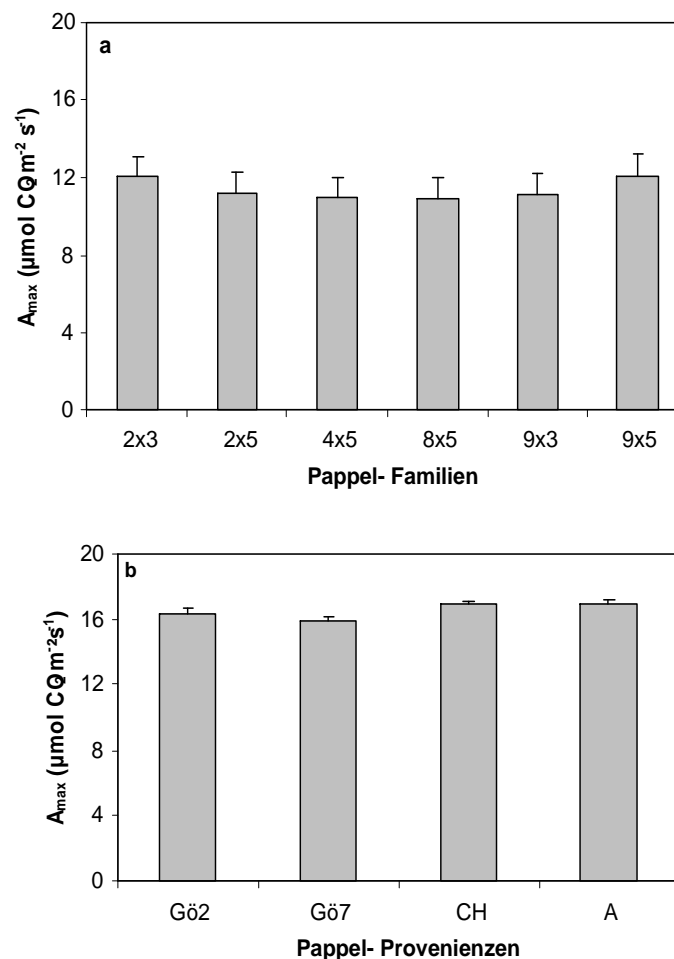
**Abb. 6 (Oben):** Messung der Chlorophyllfluoreszenz mit dem PAM 2000.

### Morphologie

Parallel zu den ökophysiologischen Messungen wurde die Knospenentwicklung bonitiert sowie das Wachstum (relative Wachstumsrate in  $\text{mg g}^{-1}\text{d}^{-1}$ ) und die Blattmorphologie protokolliert. Um die Entwicklung der Biomasse während einer Vegetationsperiode zu erfassen, wurden die in den Beetkästen angepflanzten Pappeln noch in demselben Jahr (2008) geerntet.

### Ergebnisse und Diskussion

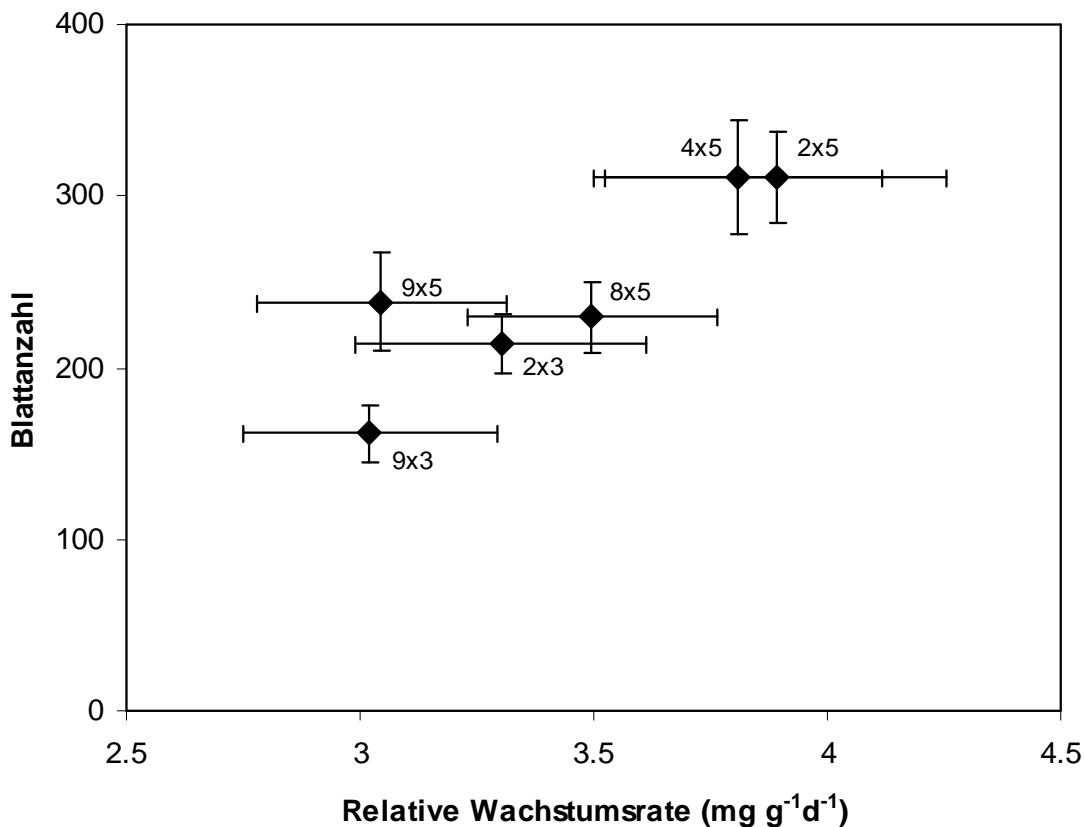
In beiden Versuchen konnte gezeigt werden, dass die gemessenen ökophysiologischen Parameter der sechs Vollgeschwisterfamilien sowie der untersuchten Provenienzen im Solling ein extrem konservatives Muster aufweisen und eine sehr geringe Varianz besitzen. Wir konnten weder einen saisonalen Trend der aufgenommenen Parameter beobachten noch signifikante Unterschiede zwischen den untersuchten Aspengruppen feststellen.



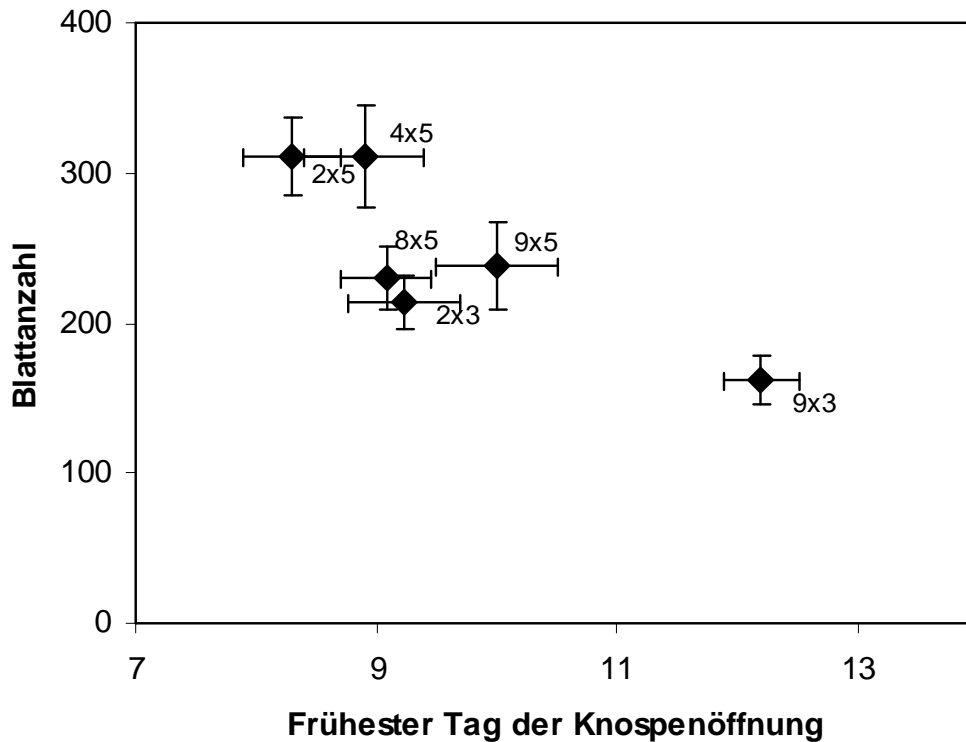
**Abb. 7: (a):** Maximale Photosyntheseleistung ( $A_{\max}$ ) der sechs untersuchten Pappelfamilien. Mittelwerte und Standardfehler basieren auf 24-32 Messungen, die zwischen Mai und August aufgenommen wurden. **(b):** Maximale Photosyntheseleistung der vier Pappelprovenienzen im August (Mittelwerte und Standardfehler  $n=10$ ). Unterschiede zwischen den Familien und Provenienzen sind statistisch nicht signifikant voneinander verschieden.



In Abbildung 7a und b ist die maximale Photosyntheseleistung ( $A_{\max}$ ) der untersuchten Pappeln dargestellt. Obwohl keine signifikanten Unterschiede in der maximalen Photosyntheseleistung festgestellt wurden, sind trotzdem deutliche Unterschiede in der Wuchsleistung zu verzeichnen. Die Unterschiede in der relativen Wachstumsrate lassen sich daher nicht mit  $A_{\max}$  korrelieren, wogegen signifikante Korrelationen ( $p \leq 0.05$ ) mit der gesamten Blattfläche, der Anzahl der Blätter (Abbildung 8), dem Stammvolumenindex (SVI = Baumhöhe multipliziert mit quadriertem Durchmesser) und dem Wurzelmassenverhältnis auftreten. Es ist deutlich zu erkennen, wie sich die Gruppe der sehr nahe verwandten Pappelfamilien bezüglich ihrer Wuchsleistung und der Anzahl produzierter Blätter über die Vegetationsperiode auftrennt. Familie 9x3 hat signifikant weniger Blätter produziert als die Familien 2x5 und 4x5 was sich demnach auch in der geringen Wachstumsrate widerspiegelt. Mit Hilfe einer Varianzanalyse, in der die ursprüngliche Höhe der Pflanzen als Covariate mit einbezogen wurde (ANCOVA), konnte bestätigt werden, dass der familiäre Hintergrund der Vollgeschwisterfamilien einen signifikanten Einfluss ( $p \leq 0.01$ ) auf die Blattproduktion ausübt und damit indirekt die Biomasseproduktion der Pappeln beeinflusst. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass auch das frühzeitige Öffnen der Knospen mittelbar zu einer besseren Wuchsleistung beiträgt, da die Anzahl der ausgebildeten Blätter mit dem Zeitpunkt der Öffnung signifikant korreliert (Abbildung 9).



**Abb. 8:** Anzahl der Blätter die über die Vegetationsperiode von den sechs Pappelfamilien produziert wurden, geplottet gegen die relative Wachstumsrate. Mittelwerte und Standardfehler basieren auf 16-22 Messungen mit einem signifikanten Spearmanschen Korrelationskoeffizienten ( $p < 0.001$ ,  $r = 0.77$ )



**Abb. 9:** Früheste Tage der vollständigen Knospenöffnung der sechs untersuchten Pappelfamilien. Tag 0 entspricht dem Beginn der Knospenbonitur. Mittelwerte und Standardfehler basieren auf 20-24 Messungen mit einem signifikanten Spearmanschen Korrelationskoeffizienten ( $p < 0.001$ ,  $r = -0.32$ )

Auch der Zeitpunkt der Knospenöffnung ist familienspezifisch und damit genetisch determiniert. Die Ergebnisse zeigen, dass mit Hilfe der Photosyntheseleistung als alleinigem Parameter keine Aussage über die Produktivität der Pappeln möglich ist. Wie auch schon von anderen Autoren gezeigt wurde, besteht jedoch die Möglichkeit, den Kohlenstoffgewinn pro Pflanze zu berechnen (Photosyntheseleistung multipliziert mit der gesamten Blattfläche), welcher als neuer Parameter mit dem Biomassezuwachs korreliert (Bunn et al. 2004). Hingegen eignen sich morphologische Parameter wie die Anzahl der Blätter oder auch die Knospenentwicklung sehr gut als Biomasseindikatoren, deren Varianz zu einem Großteil durch die Genetik beeinflusst wird, wie auch schon von anderen Autoren gezeigt werden konnte (z. B Kanaga et al. 2008).

#### Literatur

- Bunn SM, Rae AM, Herbert CS, Taylor G 2004. Leaf-level productivity traits in Populus grown in short rotation coppice for biomass energy. *Forestry* 77:307-323.
- Ceulemans R, Deraedt W 1999. Production physiology and growth potential of poplars under short-rotation forestry culture. *Forest Ecology and Management* 121: 9-23.
- Cianciaruso MV, Batalha MA, Gaston KJ, Petchey OL 2009. Including intraspecific variability in functional diversity. *Ecology* 90: 81-89.

- Dickmann DI 2006. Silviculture and biology of short-rotation woody crops in temperate regions: Then and now. *Biomass & Bioenergy* 30: 696-705.
- Hughes AR, Stachowicz JJ 2009. Ecological impacts of genotypic diversity in the clonal seagrass *Zostera marina*. *Ecology* 90: 1412-1419.
- Kanaga MK, Ryel RJ, Mock KE, Pfrender ME 2008. Quantitative-genetic variation in morphological and physiological traits within a quaking aspen (*Populus tremuloides*) population. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne de Recherche Forestiere* 38: 1690-1694.
- Karacic A, Verwijst T, Weih M 2003. Above-ground woody biomass production of short-rotation populus plantations on agricultural land in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 427-437.
- Kotowska AM, Cahill JF, Keddie BA 2010. Plant genetic diversity yields increased plant productivity and herbivore performance. *Journal of Ecology* 98: 237-245.
- Li BL, Howe GT, Wu RL 1998. Developmental factors responsible for heterosis in aspen hybrids (*Populus tremuloides* x *P-tremula*). *Tree Physiology* 18: 29-36.
- Loreau M 2010. Linking biodiversity and ecosystems: towards a unifying ecological theory. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 365: 49-60.
- Riemenschneider DE, Berguson WE, Dickmann DI, Hall RB, Isebrands JG, Mohn CA, Stanosz GR, Tuskan GA 2001. Poplar breeding and testing strategies in the north-central US: Demonstration of potential yield and consideration of future research needs. *Forestry Chronicle* 77: 245-253.
- Rytter L, Stener LG 2005. Productivity and thinning effects in hybrid aspen (*Populus tremula* L. x *P-tremuloides* Michx.) stands in southern Sweden. *Forestry* 78: 285-295.
- Tilman D, Knops J, Wedin D, Reich P, Ritchie M, Siemann E 1997. The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes. *Science* 277: 1300-1302.
- Yu Q, Pulkkinen P, Rautio M, Haapanen M, Alen R, Stener LG, Beuker E, Tigerstedt PMA 2001. Genetic control of wood physicochemical properties, growth, and phenology in hybrid aspen clones. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne de Recherche Forestiere* 31: 1348-1356.

## Multitrophische Interaktionen an genetisch verschiedenen Pappeln

Maximilian von Fragstein und Niemsdorff, Teja Tschardtke

Viele Pflanzen sind durch chemische Abwehrstoffe verteidigt. Darunter auch Salixgewächse (Salicaceae) wie Weiden und Pappeln, die in ihren Blättern eine große Anzahl verschiedener möglicher Verteidigungsmetaboliten enthalten, darunter phenolische Glykoside wie Salicin, kondensierte Tannine und andere Flavonoide, flüchtige Terpenoide und Volatile (green leaf volatiles).

An Salixgewächsen lebende Herbivoren sind in der Regel Spezialisten, welche in der Lage sind, die Abwehrmechanismen, insbesondere die phenolischen Glykoside, zu entgiften. Aus diesem Grund sind Salixgewächse ein hervorragendes Beispiel für Koevolution. Insekten, die sich auf eine Wirtspflanze spezialisiert haben, evolvieren Mechanismen, um pflanzliche Abwehrmechanismen zu entgiften, nutzen die entgifteten Stoffe dann ihrerseits, um Schutz vor Fraßfeinden zu erhalten. Diese Substanzen werden von spezialisierten Prädatoren und Parasitoiden zur Wirtsfindung genutzt.

Ziel der Arbeit ist die Untersuchung, welchen Einfluss bzw. Stellenwert genetische Unterschiede der Wirtspflanzen (Zitterpappel – *Populus tremula*) auf Pflanze-Insekt Interaktionen haben. Dabei sollen zum einen die Insektengemeinschaften auf 7 genetischen Vollgeschwistern (Zipperpappel-Genotypen) untersucht werden. Dies wird durch Quantifizierung von Herbivoren verschiedener Gilden wie blatt- und holzfressende Herbivoren, Gallenbildner, Pflanzensaftsauger und Blattminierer sowie deren natürlichen Gegenspielern (spezialisierte Prädatoren und Parasitoiden sowie generalistische Räuber) untersucht.

Des Weiteren wurden Biotests im Labor (Fraßwahltests) mit generalistischen Modellorganismen wie *Helicoverpa*-Larven und Pappel-Spezialisten wie *Chrysomela populi* durchgeführt, um den Einfluss der verschiedenen Zitterpappel-Genotypen auf Wachstum und Fraßverhalten der Larven zu ermitteln.

Um die multitrophischen Interaktionen zu untersuchen, wurden zwei Modellsysteme gewählt. Zum einen wurden die Interaktionen zwischen Pappeln, Blattläusen und deren Gegenspielern durch einen Versuch mit zwei unterschiedlichen Ausschlusstypen untersucht. Zum anderen wurden Experimente zu Interaktionen zwischen Pappeln, Blattkäfern und Blattkäferlarven (Chrysomelinae) und deren Gegenspielern wie spezialisierte Lehmwespen (*Symmorphus*, Eumenidae) und generalistische Prädatoren (Coccinellidae, Cantharidae, Arachnidae, Vespinae, etc.) durchgeführt. An Salicaceae lebende Arten der Unterfamilie Chrysomelinae sequestrieren Salicin zu Salicylaldehyd, welches in Abdominaldrüsen gespeichert wird (Pasteels et al. 1983). Bei Störung werden die Drüsen nach außen gestülpt und das Salicylaldehyd abgegeben. Diese leicht flüchtigen Substanzen umgeben die Larve wie eine Duftwolke, die eine deterrent Wirkung auf generalistische Prädatoren hat. Auf spezialisierte Prädatoren und Parasitoiden hingegen wirkt Salicylaldehyd nicht deterrent. Für wenige Arten ist bekannt, dass sie sogar angelockt werden (Pasteels & Gregoire 1984, Köpf et al. 1997).

Um herauszufinden, welche chemischen Substanzen die Eumenidae wahrnehmen können, wurden Untersuchungen wesentlicher Komponenten der Chemotaxis (Volatilen) im Labor mittels Gaschromatographie und einem angeschlossenen elektroantennographischen Detektor durch-

geführt. Um das Verhalten der Wespen auf die Substanzen zu testen, erfolgen noch Freilandbiotests.



**Abb. 10:** Auf Pappeln vorkommende Insekten. **Oben links:** Symphyta. **Oben rechts:** *Cantha fusca*. **Unten links:** *Chrysomela populi*. **Unten rechts:** Larve von *Laothoe populi*.



## Literatur:

- Köpf A, Rank NE, Roininen H, Tahvanainen J (1997). Defensive larval secretions of leaf beetles attract a specialist predator *Parasyrphus nigriventris*. *Ecological Entomology* 22: 176-183.
- Pasteels JM, Gregoire JC (1984). Selective predation on chemically defended chrysomelid larvae. *Journal of Chemical Ecology* 10: 1693-1700.
- Pasteels JM, Rowell-Rahier M, Braekman JC, Dupont A (1983). Salicin from host plant as precursor of salicylaldehyde in defensive secretion of chrysomelid larvae. *Physiological Entomology* 8: 307-314.

**Chemische Ökologie der Wirtswahl phytophager Insekten an Pappeln**

Friederike Maibaum, Stefan Schütz

Flüchtige organische Verbindungen (Volatile Organic Compounds, VOCs) sind unvermeidliche Lebensäußerungen terrestrischer Organismen. Sie sind Haupt- oder Nebenprodukte zumeist sekundärer Stoffwechselwege und damit stark an die genetische Ausstattung und den physiologischen Zustand der jeweiligen Organismen gebunden. Durch einen Vergleich der Muster sekundärer Pflanzeninhaltsstoffe, wie ätherischer Öle, lassen sich Verwandtschaftsbeziehungen von Pflanzen feststellen. Da ein Teil dieser Substanzen auch flüchtig sind, ist zu erwarten, dass sich über Unterschiede im Muster der flüchtigen organischen Verbindungen Pflanzen unterschiedlicher Gattung, Art oder Genotyps unterscheiden lassen.

Da ca. 90% der bekannten Insektenarten als Spezialisten eingestuft werden können, d.h. von nur einigen wenigen Wirtsorganismen abhängen, ist davon auszugehen, dass das Auffinden und die Auswahl von Wirtspflanzen durch Insekten stark auf den artspezifischen VOC-Mustern beruht. Systematische Untersuchungen zu diesem Thema sind jedoch sehr spärlich und zum Genus *Populus* nicht vorhanden.

Deshalb sollen zunächst unterschiedliche Pappelarten unter definierten Bedingungen im Gewächshaus auf ihre VOC-Muster untersucht und auf der Grundlage ihrer VOC-Muster den Sektionen innerhalb der Gattung *Populus* zugeordnet werden. Da die Wirtswahl des hochaggressiven invasiven Asiatischen Laubholzbockkäfers (ALB, *Anoplophora glabripennis*, Abbildung 11) innerhalb der Gattung *Populus* stark von der Zugehörigkeit zu den verschiedenen Sektionen abzuhängen scheint (HU ET AL. 2009), könnte so eine Vorhersage für den gefährlichen Käfer unattraktiver Arten oder Hybride möglich werden. Dies wäre für die zukünftige Anlage von Pappelplantagen zur Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen von großer Bedeutung. Unter Naturschutzaspekten ist darüber hinaus die Attraktivität und Tauglichkeit der unterschiedlichen Pappelarten und Hybriden für seltene und gefährdete Schmetterlingsarten von großer Bedeutung. Deshalb soll neben dem ALB auch die Zeigerart *Smerinthus ocellatus*, das Abendpfauenauge (Abbildung 12), hinsichtlich ihrer Wahrnehmung der VOCs und ihres Wirtsfindungs- und Wirtswahlverhaltens innerhalb der unterschiedlichen Pappelarten untersucht werden.



**Abb. 11:** Der Asiatische Laubholzbockkäfer *Anoplophora glabripennis* ist weltweit auf dem Vormarsch.

zu messen. So können im Anschluss einzelne Substanzen identifiziert werden, die in Verhaltenstests dann auf Funktionen bei Futtersuche oder Eiablage untersucht werden können. Als Testinsekten sollen unter anderem im Sinne des Artenschutzes das Abendpfauenauge *Smerinthus ocellatus* fungieren und mit Blick auf den Pflanzenschutz der Asiatische Laubholzbockkäfer (ALB) *Anoplophora glabripennis*.



**Abb. 12:** *Smerinthus ocellatus*. Der nachtaktive Schwärmer sitzt tagsüber gut getarnt an Baumstämmen.

resultierende Unterschiede in Wahrnehmung und Wahlverhalten von Pappelinsekten untersucht werden. Erste Versuche mit dem Abendpfauenauge legen einen Effekt einer Mykorrhizierung nahe (PACZKOWSKA ET AL. 2006; RACHOW 2007).

Die VOCs werden mittels Aktivkohlefilter gesammelt und anschließend im Gaschromatographen mit Massenspektrometer (GC-MS) analysiert sowie die Wirkungen dieser Duftstoffgemische auf Pappelinsekten mit Hilfe eines elektroantennographischen Aufbaus am Gaschromatographen (GC-MS/EAD) überprüft. Dabei wird eine Hälfte der in den Gaschromatographen injizierten Probe mittels Massenspektrometer analysiert, die andere Hälfte wird über die jeweilige Insektenantenne geleitet, um deren Reaktion auf die in der Probe enthaltenen Duftstoffe

Innerhalb der Art *Populus tremula* soll dann an Bäumen aus dem Freilandexperiment im Solling untersucht werden, ob auch Herkünfte über VOC-Muster auf der Basis massenspektrometrischer Analysen oder elektroantennographischer Untersuchungen unterscheidbar sind, und ob es bei Parzellen mit mehreren Herkünften Mischungseffekte der VOCs gibt, die eine Auffindung und Auswahl durch Insekten begünstigen oder erschweren. Darüber hinaus soll der Einfluss einer möglichen Mykorrhizierung (z.B.: Ektomykorrhiza *Paxillus involutus*) der Zitterpappel auf deren VOC-Muster und

- Hu, J. F. et al. (2009). "Ecology and management of exotic and endemic Asian longhorned beetle *Anoplophora glabripennis*." Agricultural and Forest Entomology **11**(4): 359-375.
- Paczkowska, M. et al. (2006). "Die Rolle des Pappelgeruchs für Schmetterlinge am Waldrand." Mitt. DGaaE **15**: 213-217. from <http://www.dgaae.de/html/publi/mitt2006/213.pdf>.
- Rachow, C. (2007). Olfaktorische Reaktion des weiblichen Abendpfauenauges (*Smerinthus ocellatus*) auf die Duftspektren von Zitterpappel (*Populus tremula*) und Salweide (*Salix caprea*), Masterarbeit 2010.

## **BioChange**

# **Wie hat sich die Diversität der norddeutschen Kulturlandschaft seit den 1950er Jahren verändert?**

K. Wesche, B. Krause, S. Schuch, H. Culmsee, M. Schaefer, C. Leuschner

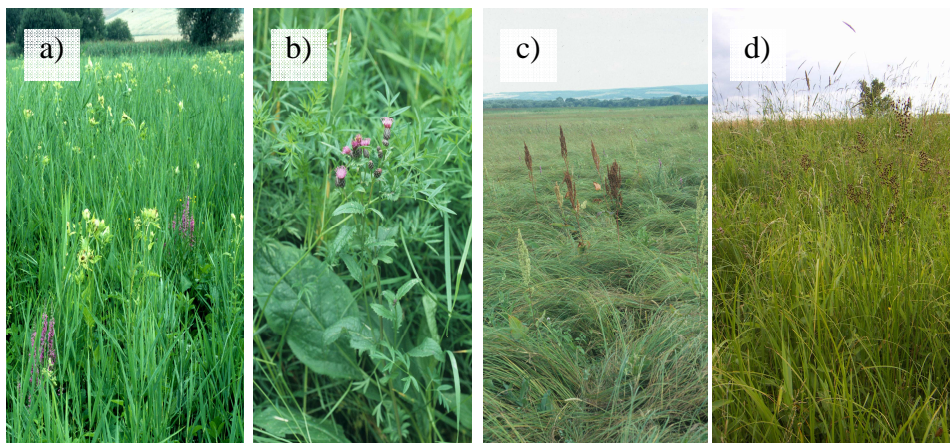
### **1 „BioChange Germany“ – ein Projekt im Exzellenzcluster „Functional Biodiversity Research“**

Die schwindende Artenvielfalt gehört zu den in Wissenschaft und Öffentlichkeit am intensivsten diskutierten biologischen Themen. In den letzten Jahren wird dabei verstärkt betont, dass Biodiversitätsverluste auch Veränderungen in Ökosystemfunktionen und –Dienstleistungen nach sich ziehen (Duriappah and Naeem 2005; Balvanera et al. 2006), die zum Teil von großer ökonomischer Bedeutung sind (Biesmeijer et al. 2006). Heute sind in den europäischen Kulturlandschaften naturnahe Habitate weitgehend verschwunden und die meisten Flächen werden genutzt oder sind anthropogen verändert. In Mitteleuropa sind > 90% der Flächen unter direkter Kontrolle von Land- und Forstwirtschaft und gerade in der Landwirtschaft hat es rasante Veränderungen gegeben (Haber 2002). Seit der Mitte des letzten Jahrhunderts sind im Zuge von Industrialisierung und Flurbereinigung die meisten Flächen melioriert und arrondiert worden, hinzu kam eine erhebliche Nutzungsintensivierung. Die größten Umbrüche dürften dabei in den 60er Jahren oder kurz danach aufgetreten sein, als sich das Landschaftsbild insgesamt stark verändert hat (z.B. Bender et al. 2005). Die Auswirkungen auf die Biodiversität sind in Grundzügen gut bekannt und heute gelten Veränderungen in der Landnutzung als die größte Gefährdung für das Überdauern von seltenen Arten (Korneck et al. 1998). Allerdings ist die Zahl der Studien, die Vergleiche mit dem Zeitraum vor der geschilderten massiven agrarwirtschaftlichen Industrialisierung anstellen, relativ beschränkt. Dies liegt an der Verfügbarkeit geeigneter historischer Daten: selbst im vergleichsweise gut erforschten Mitteleuropa stützen sich die Aussagen meist auf Studien an Gefäßpflanzen und Vögeln und auch bei diesen Gruppen handelt es sich fast ausschließlich um Einzeluntersuchungen. Hier setzt das neue Projekt *BioChange-Germany* an, bei dem für ein möglichst breites 'Set' taxonomischer Gruppen Vergleiche zwischen der heutigen Situation und den 1950/60er Jahren angestellt werden. Ziel ist es dabei, Daten zu Veränderungen in der Artendiversität, aber auch Artenzusammensetzung zu sammeln und diese durch quantitative Daten zu Habitat- und – soweit möglich – auch zu Populationsgrößen zu ergänzen. Dabei sollen nicht nur Fallbeispiele gesammelt werden, sondern möglichst repräsentative Daten für Teile der norddeutschen Kulturlandschaft erhoben werden. Durch die Förderung im Rahmen des 1b-Exzellenzclusters „Funktionale Biodiversitätsforschung“ ist es dabei möglich, in einer Kooperation zwischen Botanik und Zoologie sowohl floristisch-vegetationskundliche als auch faunistische Aspekte mit einzubeziehen.

### **2 Teilprojekt Vegetations- und Landschaftswandel**

Für die sehr gut bekannte Gefäßpflanzenflora von Mitteleuropa gibt es wenige langfristige Untersuchungsreihen. Sieht man einmal von Einzelstudien ab, so haben nur wenige Bundesländer Monitoring-Programme und diese nur für ausgewählte Arten. Die Daten sind zwar zum Teil sehr hochwertig (z.B. für Niedersachsen: Matthies et al. 2004), reichen allerdings nie weiter als bis in die 70er Jahre zurück. Auf Bundesebene gibt es allerdings Karten zur Verbreitung der

Gefäßpflanzen in Mitteleuropa, in denen für jede Art die Vorkommen nach Rasterfeldern zusammengefasst sind ([www.floraweb.de](http://www.floraweb.de)). Die Datenqualität ist relativ gut und mit den zwei Zeitschnitten vor und nach 1949 wären auch historische Vergleiche möglich. Allerdings zeigen die Karten häufig ein viel zu optimistisches Bild: Die Aktualisierungsintervalle sind sehr groß, so dass gerade das oftmals rasche Aussterben kleiner Populationen kaum abgebildet wird. Da in der Regel keine Angaben zu Populationsgrößen verfügbar sind, bleibt auch unklar, ob eine Art in einem gegebenen Rasterfeld noch nennenswerte Bestände besitzt und damit für Ökosystemfunktionen von Bedeutung ist, oder ob es sich um eine individuenarme und damit in funktionaler Hinsicht unbedeutende Restpopulation handelt. Verluste bei häufigen Arten werden praktisch gar nicht dokumentiert. Gerade für Mitteleuropa liegt aber dank der stark pflanzensoziologisch orientierten vegetationskundlichen Forschung des letzten Jahrhunderts ein sehr großer Fundus von Vegetationsaufnahmen vor, in denen auf Bestandesniveau nicht nur Artenlisten, sondern auch halbquantitative Angaben zu relativen Bestandesgrößen gemacht wurden. Durch Vergleiche unterschiedlich alter Aufnahmen lassen sich so Veränderungen in der Vegetationsdecke herausarbeiten (Tüxen 1955; Meisel and v. Hübschmann 1976). Gelegentlich wurden auch Vegetationskarten angefertigt, die sogar flächenhafte Vergleiche erlauben. Beide Ansätze in Kombination miteinander geben Auskunft über qualitative und gleichzeitig quantitative Veränderungen in der Vegetationsdecke (Baessler and Klotz 2006; Prach 2008). In *BioChange Germany* nutzen wir diese Ansätze, um ein größeres und damit repräsentatives 'Set' von Untersuchungsgebieten zu bearbeiten.



**Abb. 2.1:** Verschiedene geschützte Feuchtgrünland-Biotope: a) Artenreiche Kohldistelwiese (Kelbra. Thüringen), b) artenreiches wechselfeuchtes Grünland mit Färberscharte (Havel, Brandenburg), c) verbrachte Feuchtwiesen mit Großseggen und Schilf (Kelbra. Thüringen), d) Feuchtwiese mit Schwarzschofpfinse (*Juncus atratus*, Havel, Brandenburg).

In einem ersten Schritt haben wir uns dabei auf mesophiles Grünland frischer Standorte und Feuchtgrünland konzentriert, da es sich hier um landwirtschaftlich geprägte Vegetationstypen handelt, die mit der sich stark wandelnden Landnutzung starken Veränderungen ausgesetzt sind. Bis heute sind Grünländer flächenhaft im Rückgang begriffen (Lind et al. 2009); sie dürften insgesamt zu den am stärksten bedrohten Kulturbiotopen gehören, auch wenn man heute noch vereinzelt artenreiche Flächen findet (Abb. 2.1) Bei unseren Untersuchungen stehen folgende Fragen im Vordergrund. a) Wie groß sind im Vergleich zu den 1950/60er Jahren die Rückgänge

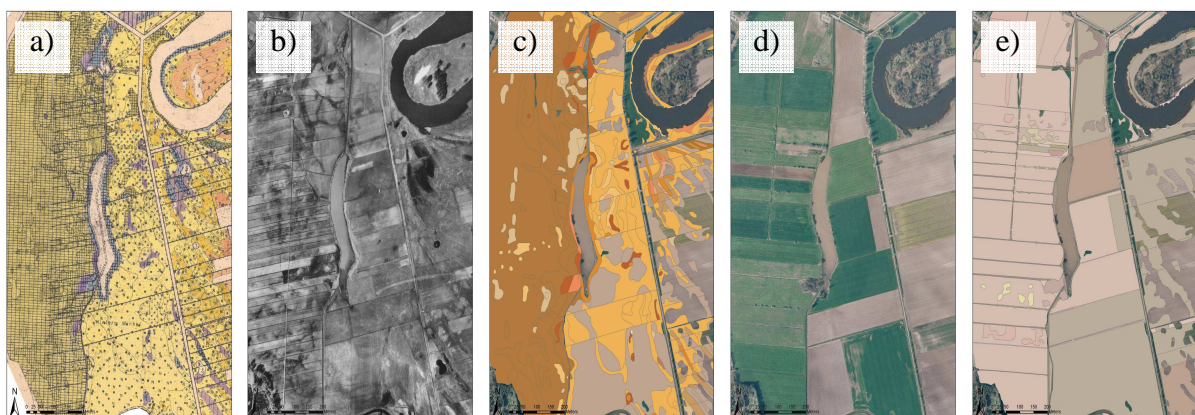


in der taxonomischen, aber auch in der funktionalen Diversität? b) Bestätigen sich die in der Literatur dokumentierten Hinweise auf veränderte Nährstoffbedingungen? c) Wie groß sind die Flächenverluste und welches sind die Folgenutzungen? d) Wie groß sind die Bestandesveränderungen gerade auch bei häufigen Arten?

## 2.1 Methoden

Unser Ansatz basiert auf dem Vergleich historischer Vegetationsaufnahmen und Kartierungen aus den 1950er und 60er Jahren, mit Erhebungen, die wir mit möglichst gleicher Methodik im Jahr 2008 wiederholt haben. Wir konnten 5 geeignete Auenregionen finden, hinzu kamen noch eine Beispielregion an der Ems, wo nur eine Vegetationskarte vorlag (Abb. 2.2), und ein Datensatz von der Gülper Havel, für den zwar nur Aufnahmen aus den 1970er Jahren vorlagen, der aber wegen des guten Schutzstatus als Referenz dienen kann. Wenn vorhanden, wurden zusätzlich Daten aus den 90er Jahren genutzt. Die Größe der einzelnen Gebiete schwankte zwischen 160 und 1090 ha (Mittelwert 390 ha, insgesamt 2800 ha).

Für den vegetationskundlichen Vergleich wurden in der Vegetationsperiode 2008 randomisierte Vegetationsaufnahmen verwendet, um so einen repräsentativen Überblick über die vorkommenden Vegetationstypen zu erhalten. Zusätzlich wurde evtl. vorhandene besonders gut ausgeprägte Flächen beprobt (insgesamt >1000 aktuelle & historische Aufnahmen). Die Aufnahmeflächengröße schwankte zwischen 16 und 20 m<sup>2</sup>; allerdings ergaben unsere Untersuchungen, dass kleine Unterschiede in der Flächengröße kaum Auswirkungen auf die erfasste Artenzusammensetzung haben. Die Flächen wurden mit einem GPS verortet und dienten dann auch der räumlichen Analyse. Diese baute auf dem Vergleich von alten und neu erstellten eigenen Vegetationskarten auf, die mit Hilfe von alten und historischen Luftbildern in einem GIS (ArcGIS, Esri) georeferenziert wurden. Um die Vergleichbarkeit sicherzustellen, wurden alle Einheiten zu Biotoptypen nach v. Drachenfels (2004) zusammengefasst, so dass schließlich mit Biotoptypenkarten weitergearbeitet wurde (Abb. 2.2). Details zu der Methodik geben Wesche et al. (in press).



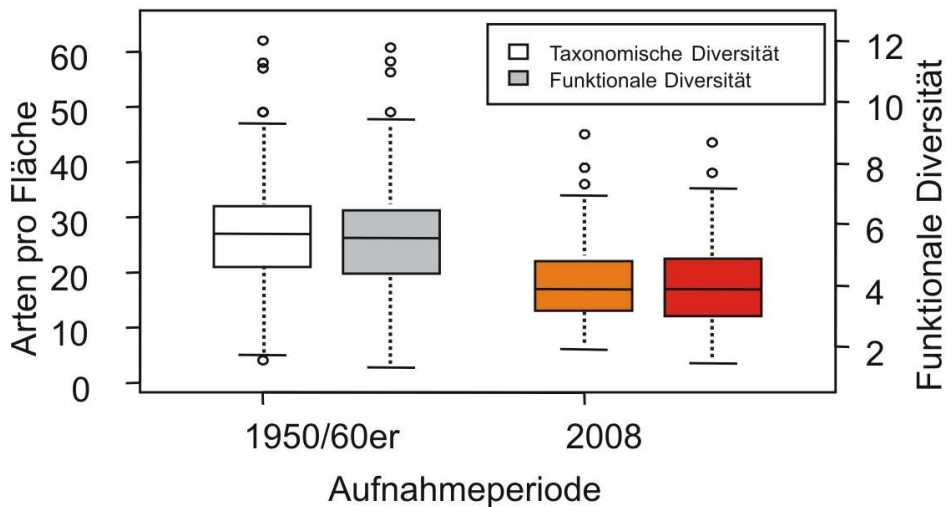
**Abb. 2.2:** Auswertung der räumlichen Daten am Beispiel Dersum / Emstal: Digitalisierung und Georeferenzierung der a) historischen Vegetationskarte basierend auf b) historischem Luftbild. Aggregation der pflanzensoziologischen Einheiten zu einer c) Karte der historischen Biotoptypenverteilung. d) Aktuelles Luftbild und e) entsprechende Karte der aktuellen Biotoptypenverteilung.

## 2.2 Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden werden einige ausgewählte Ergebnisse zusammenfassend dargestellt.

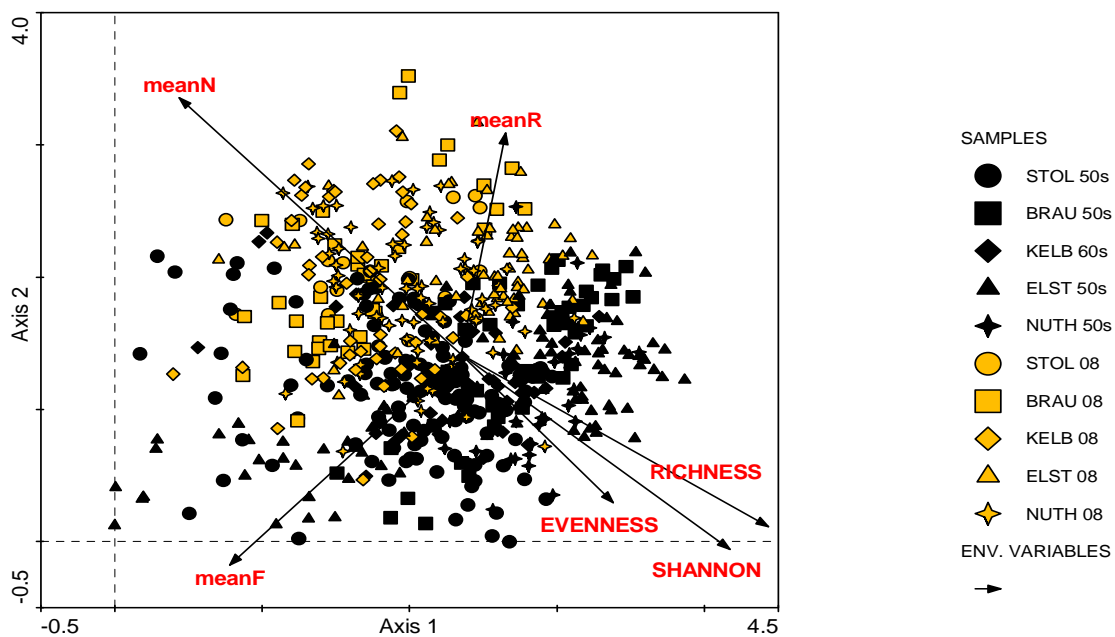
Insgesamt bestätigt sich, dass die Gefäßpflanzendiversität in den Grünländern stark abgenommen hat (Abb. 2.3). Lag die Artenzahl pro Aufnahme noch in den 60er Jahren bei 25-30, so sind es heute im Schnitt eher 15-20 Arten ( $p \leq 0.001$ ). Grünlandansaat, wie es sie früher fast gar nicht gab, haben heute sogar häufig deutlich unter 10 Gefäßpflanzenarten pro Aufnahme. Besonders ausgeprägt waren die Rückgänge im mesophilen Grünland, wo sich die Artenzahlen häufig halbiert haben, während die heute noch vorhandenen Restflächen der Feuchtgrünländer oft noch  $\frac{3}{4}$  oder mehr der ursprünglichen Vielfalt aufweisen. Feuchte Grünländer sind schwerer zu intensivieren, artenreiche Feuchtgrünländer unterliegen darüber hinaus seit den 1990er Jahren einem Pauschalschutz nach dem Bundesnaturschutzgesetz.

Der Rückgang in der funktionalen Diversität der Pflanzen ist etwa so stark wie in der taxonomischen Diversität (Abb. 2.3). Das zeigen auch neuere Übersichtsarbeiten, die nahe legen, dass die funktionale Diversität im Vergleich zur taxonomischen Diversität bei Gefäßpflanzen (anders als bei Tieren) meist nicht stärker zurückgeht (Flynn et al. 2009).



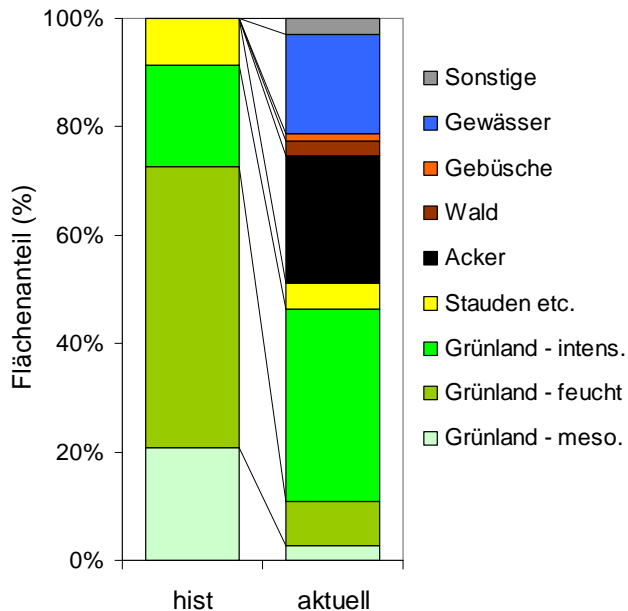
**Abb. 2.3:** Veränderungen in der taxonomischen (Artenzahl pro Aufnahme) und funktionalen Diversität in der Habitatklasse Grünland für die beiden Perioden 1950/60er und 2008. Die funktionale Diversität beruht auf einer Matrix mit 10 *plant functional traits* (nach Dierschke and Briemle 2002; Klotz and Briemle 2002), die Diversität wurde berechnet als Länge der Äste in einem UPGMA-Dendrogramm basierend auf Gower's Ähnlichkeitsmaß (Petchey and Gaston 2006; Podani and Schmera 2007).

Nicht nur die Artenvielfalt, auch die Artenzusammensetzung hat sich im Laufe der Zeit verändert. Eine Ordination, die alle Aufnahmen hinsichtlich ihrer floristischen Ähnlichkeit anordnet (Abb. 2.4), zeigt die deutlichen Unterschiede zwischen historischen und aktuellen Aufnahmen. Dagegen sind die Unterschiede zwischen den Regionen weit weniger deutlich. Die Aufnahmen aus verschiedenen Regionen überlappen deutlich im Ordinationsraum und die Streuung ist für die beiden Perioden ähnlich groß. Es scheint keine Homogenisierung der Vegetationseinheiten in verschiedenen Regionen stattgefunden zu haben. Eine nachträgliche Korrelation der Achsen mit Diversitätskennzahlen (siehe Vektoren in Abb. 2.4) bestätigt das Bild aus Abb. 2.3; sowohl Artenvielfalt als auch Shannon-Diversität und Evenness sind in den älteren Aufnahmen höher. Diese Veränderungen scheinen mit Verschiebungen der Standortsqualität zusammenzuhängen. Da keine Bodenmesswerte verfügbar sind, wurden Ellenberg-Zeigerwerte berechnet (basierend auf quadratwurzel-gewichteten Deckungsgraden). Diese zeigen deutlich, dass die mittlere Nährstoffzahl zugenommen hat; diese wirkt sich im direkten Vergleich negativ auf die Artenvielfalt aus (univariate Korrelation  $R^2 = 0.47$ ). Die mittlere Feuchte ist dagegen zwar eine wichtige Variable für die floristische Zusammensetzung und korreliert mit Achse 1 und Achse 2, aber die Unterschiede zwischen den Untersuchungszeiträumen sind weit weniger deutlich. Dasselbe gilt für die mittlere Reaktionszahl.



**Abb. 2.4:** DCA-Ordination aller Grünlandaufnahmen (v. Drachenfels-Klasse 9) für die Gebiete 2-5 und für die beiden Perioden 1950/60er und 2008 (Deckungen log-transformiert, *detrending by segments*, *downweighting of rare species*, Gradientenlänge/Eigenwert Achse 1: 3.9/0.32; Achse 2 0.26/3.5, 0.18/3.0). Die Vektoren für die Sekundärvariablen wurden mittels Korrelationsanalysen auf die Grafik geplottet.

Die Auswertung der Flächendaten fördert noch weitaus deutlichere Veränderungen zutage. Die Untersuchungsgebiete wurden so ausgewählt, dass die historischen Vegetationskarten überwiegend Grünlandregionen umfassen, entsprechend dominieren Feuchtgrünland und mesophiles



Grünland, während Intensivgrünland und Staudenfluren etc. eine geringere Rolle spielen (Abb. 2.5). Das hat sich bis 2008 deutlich geändert. Grünland deckt heute weniger als die Hälfte der Fläche, wobei sich über 80% des verbleibenden Grünlands aus artenarmem Intensivgrünland zusammensetzen, das heute die wichtigste Biotopklasse darstellt. Es folgen Äcker, die es früher in den ausgewählten Auen nicht gab und Gewässer/Stauseen. Das aus Naturschutzsicht wichtige Feuchtgrünland ist je nach Untersuchungsregion auf nur noch 4-14% der ehemaligen Flächen zu finden. Artenreiches mesophiles Grünland bedeckt sogar nur noch 1-11% der ursprünglichen Flächen.

**Abb. 2.5:** Flächenanteile der wichtigsten Biotopklassen in den 1950/60er und 2008.

### 2.3 Schlussfolgerungen und Ausblick – Vegetationsveränderungen

Unsere Daten bestätigen im Grundsatz bekannte starke Rückgänge in Vielfalt und Ausdehnung artenreicher Grünländer und zeigen selbst für die eher schlecht zu beackernden Auenregionen hohe Verluste auf. Ähnlich groß ist der Rückgang der in älteren Studien nicht bewerteten funktionalen Diversität. Insgesamt scheinen sich die Veränderungen in der Habitatqualität also negativ auszuwirken, wie die durchgehend gestiegenen Nährstoffzahlen zeigen. Aber auch der direkte Habitatverlust durch Umnutzung etc. spielt eine große Rolle beim Grünlandrückgang.

Wie groß diese Verluste sind, lässt sich am Beispiel des an sich häufigen Ruchgrases (*Anthoxanthum odoratum*) veranschaulichen, das in unserem Datensatz auf das mesophile Grünland beschränkt ist. Selbst in den Aufnahmen, die in diese Biotopklassen fallen, ist die Frequenz des Ruchgrases um ca. 75 % zurückgegangen. Berücksichtigt man nun auch noch den Flächenrückgang des entsprechenden Habitattyps um 98%, so dürften die Verluste bei dieser Art nur wenig unter 100 % liegen. Bei anderen häufigen, aber dennoch spezialisierten Arten, liegen die Verluste ebenfalls deutlich über 90 %. Beunruhigend ist dabei, dass ein Schwund bei solch relativ häufigen Arten nicht in den Roten Listen abgebildet wird und auch die bundesweiten Rasterkartierungen hier keinerlei Veränderungen zeigen.

Die Geländearbeiten zum Thema Grünland sind zwar beendet, doch ist die Auswertung nicht abgeschlossen. Dabei wird vor allem die funktionale Diversität eine Rolle spielen. Hier wird

geprüft, welche biologischen Eigenschaften (*plant functional traits*) besonders deutlich reagiert haben. Auch die Auswertungen der flächenhaften Daten laufen weiter. Im Moment werden fraktale Landschafts-Metriken angewandt, um Veränderungen in der Form, Größe und Isolation individueller Flächen besser beurteilen zu können.

### 3. Veränderungen der Arthropoden-Gemeinschaften

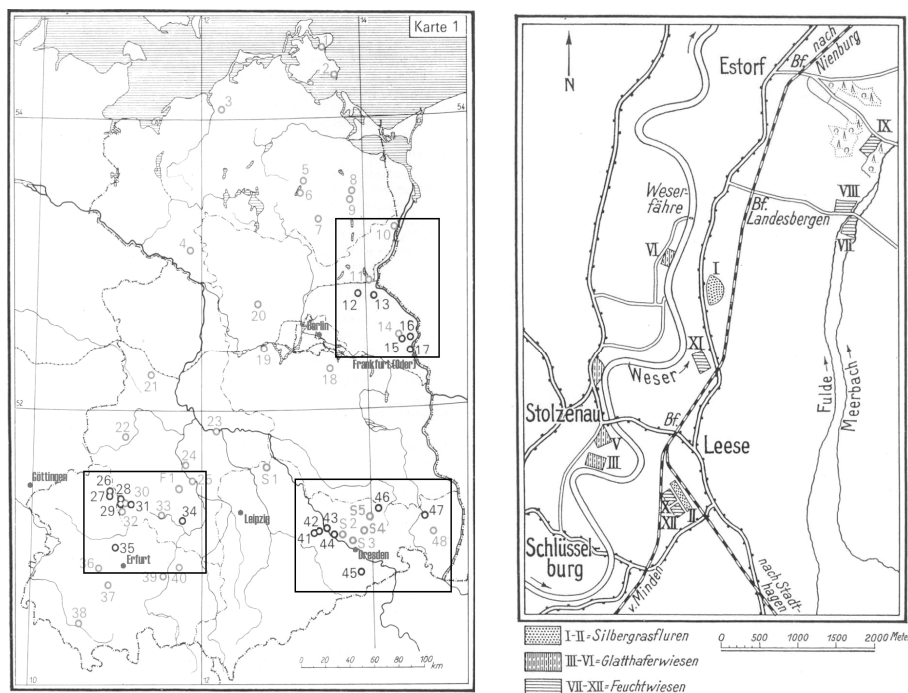
Das Hauptproblem bei der Analyse langfristiger Veränderungen in Wirbellosengemeinschaften ist der eklatante Mangel an geeigneten Vergleichsstudien. Gut dokumentierte und quantitativ auswertbare Studien gibt es aus dem Zeitraum zwischen 1950 und 1960 kaum und wenn, handelt es sich meist um punktuelle Einzelbeobachtungen. Dies gilt in besonderem Maße für artreiche Gruppen wie beispielsweise Fliegen (Diptera) oder Käfer (Coleoptera); aber auch für artarme Ordnungen wie Heuschrecken oder Libellen konnten wir kaum belastbare Vergleichsstudien finden. Für Mitteleuropa sind vermutlich Tagfalter in England am besten untersucht (Thomas et al. 2004; González-Megías et al. 2008), allerdings reichen auch in Britannien die Daten nicht weiter als bis in die 70er Jahre zurück. Für Mitteleuropa umfassen die Datenreihen erst wenige Jahre (Schmeller et al. 2008), bundesweite Kartierungen gibt es für Insekten ebenfalls kaum. Heuschrecken dürften aufgrund ihrer vergleichsweise leichten Bestimmbarkeit noch zu den am besten kartierten Insektenordnungen gehören. Entsprechend konnten Maas et al. (2002) bundesweite Rasterkarten für Orthoptera vorlegen, die die heutige Verbreitung (nach 1979) gut dokumentieren. Ein Blick in die ebenfalls zusammengestellte Karte für den Zeitraum 1950-1979 (ibid. S. 34) zeigt aber, dass die relativ wenigen historischen Daten keine belastbaren Vergleiche zulassen.

In diesem Zusammenhang ist die Habilitationsschrift von Hans Schiemenz zur Zikadenfauna mittel- und ostdeutscher Trockenrasen der 1960er Jahre ein großer Glücksfall (Schiemenz 1969b). Schiemenz hatte seinerzeit 60 weitgehend intakte Trockenrasenflächen in den drei Großregionen Thüringen, Sachsen und Brandenburg (Abb. 3.1) standardisiert beprobt. Sowohl Lage der Flächen als auch die vegetationskundliche Zusammensetzung und v.a. auch die Untersuchungsmethoden sind gut dokumentiert. Da Schiemenz gleichsam nebenbei auch Heuschrecken notiert hat (Schiemenz 1969a), sind hier sogar Aussagen über mehrere Organismengruppen möglich.

Ein weiterer wichtiger Vergleichsdatensatz entstammt einer Arbeit aus den Weserauen in der Nähe von Stolzenau (Marchand 1953). Hier wurden 1951 ebenfalls Zikaden, aber auch Wanzen und Heuschrecken, standardisiert erfasst. Diese Studie ist auch deswegen besonders attraktiv, weil Mitarbeiter der ebenfalls in Stolzenau angesiedelten ehemaligen Bundesanstalt für Vegetationskunde das gesamte Gebiet gründlich bearbeitet haben und so direkte vegetationskundliche Vergleiche möglich sind.

Folgende Fragestellungen werden von uns verfolgt: a) Gibt es Veränderungen im Artgefüge, also eine Artenzunahme, -abnahme oder -verschiebung? b) Verändern sich die Individuenzahlen? c) Lassen sich funktionelle Aspekte mit einem möglichen Wandel verknüpfen? Gibt es beispielsweise weniger oder mehr Generalisten/Spezialisten als früher? d) Wie wirken sich Veränderungen in Pflanzengesellschaften und Landschaftsnutzung auf die untersuchten Insektengruppen aus?





**Abb. 3.1:** Untersuchungsgebiete nach Schiemenz (1969) und Marchand (1953). Links sind 2008/09 erneut besuchte Gebiete hervorgehoben. Rechts wurden alle Flächen (außer VII und VIII) 2009 erneut beprobt.

### 3.1 Methoden

Weder Schiemenz noch Marchand markierten ihre Untersuchungsflächen im Gelände, aber es lagen jeweils ausreichende Beschreibungen zur Lage der Untersuchungsgebiete vor. Innerhalb einer gegebenen Fläche konnten wir uns dann an den vagen Vegetationsbeschreibungen orientieren. So lässt sich z.B. ein „Hang über Barbarossahöhle: Blauschwengel-Zwergsonnenröschen-Felsheide“ (Schiemenz 1969b, S. 226) auch heute noch wieder finden. In wenigen Fällen mussten pflanzensoziologisch ähnliche Ersatzflächen gewählt werden.

Sowohl Marchand als auch Schiemenz verwendeten hauptsächlich Streifkescher mit kreisrundem Bügel (Durchmesser 30 cm) und einer Stiellänge von etwa 110 cm (Abb. 3.2a). Dabei führten die Autoren „mit dem Kescher äußerst rasche und kräftige Vor- und Rückwärtsschläge“ aus (Schiemenz 1969b). Bemerkenswert, und für uns besonders wichtig ist, dass die Zahl der Kescherschläge pro Besuch normiert wurde (Marchand 100 und Schiemenz 200 Schläge). Insgesamt wurde jedes Gebiet wenigstens dreimal pro Jahr aufgesucht, um die phänologische Variabilität abzudecken. In den Jahren 2008 und 2009 haben wir die früheren Untersuchungsflächen (Marchand) bzw. Teile davon (3 x 7 bei Schiemenz) wieder aufgesucht und zu gleicher Jahreszeit mit gleicher Methodik beprobt. Ein qualitativer und quantitativer Vergleich der Datensätze ist damit möglich. Zusätzlich wurden mittels eines umgebauten Laubbläusers (Stihl SH 85, Stihl AG, Waiblingen, Deutschland) Saugproben genommen (Abb. 3.2b). Dieses Gerät existierte in den 1950er und 1960er Jahren nicht, so dass Schiemenz auf Barberfallen zurückgreifen musste, um bodennah lebende Tiere zu fangen. Da Saugproben ein ähnliches Artenspektrum abdecken und zudem wegen des festgelegten Saugstutzendurchmessers flächenbezogene

Daten liefern, sind diese Datensätze zwar nicht direkt vergleichbar, erweitern aber den Datensatz erheblich.



**Abb. 3.2:** Standardisierter Fang von Insekten: a) Streifkescher b) Insektensauger c) bei der Arbeit.

### 3.2 Ergebnisse und Diskussion - Zikaden ostdeutscher Trockenrasen

Da die meisten Flächen in Gebieten liegen, die auch schon den 60er Jahren naturschutzrechtlich geschützt waren oder zumindest bald danach unter Schutz gestellt wurden, sind die Veränderungen in der Struktur und Zusammensetzung der Vegetation oft nur mäßig ausgeprägt gewesen (Abb. 3.1). Meist konnte der Vegetationstyp oder zumindest eine vergleichbare Fläche wieder beprobt werden.



**Abb. 3.3:** Luftbilder des Untersuchungsgebiete Oderhänge bei Lebus für a) 1953 und b) 2007. Die eigentliche Untersuchungsfläche (roter Rahmen) hat sich kaum verändert, die Umgebung hingegen teilweise.

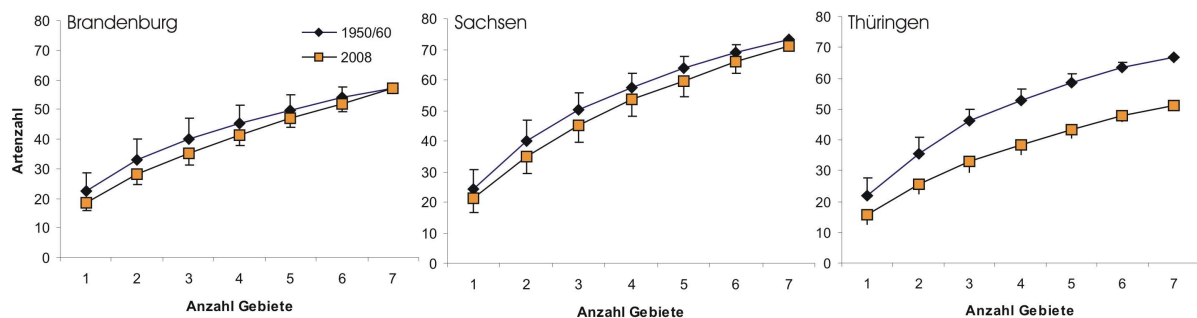
Während die geschützten Teilflächen also oft noch relativ unverändert erschienen, sind für die nicht geschützten Teile der Gebiete zum Teil sehr deutliche Veränderungen auszumachen (s. Bewaldung auf dem Nordhang in Abb. 3.3.).

Die Daten zur Zikadenfauna sind noch vorläufig, da die Untersuchungen bis zum Sommer 2009 noch nicht abgeschlossen waren. Da erst 3 der angestrebten 5 Besuche pro Fläche ausgewertet werden konnten, wurden für die vorliegende Zwischenauswertung daher aus den historischen und aktuellen Daten je drei vergleichbare Termine verwendet.

Fasst man die Daten für die je 7 Untersuchungsflächen zusammen, so ergaben sich für die 60er Jahre Werte zwischen ca. 60 und 70 Zikadenarten je Region (Tab. 3.2). Mit 50 bis 70 Arten liegen die Zahlen für 2008 in einer vergleichbaren Größenordnung.

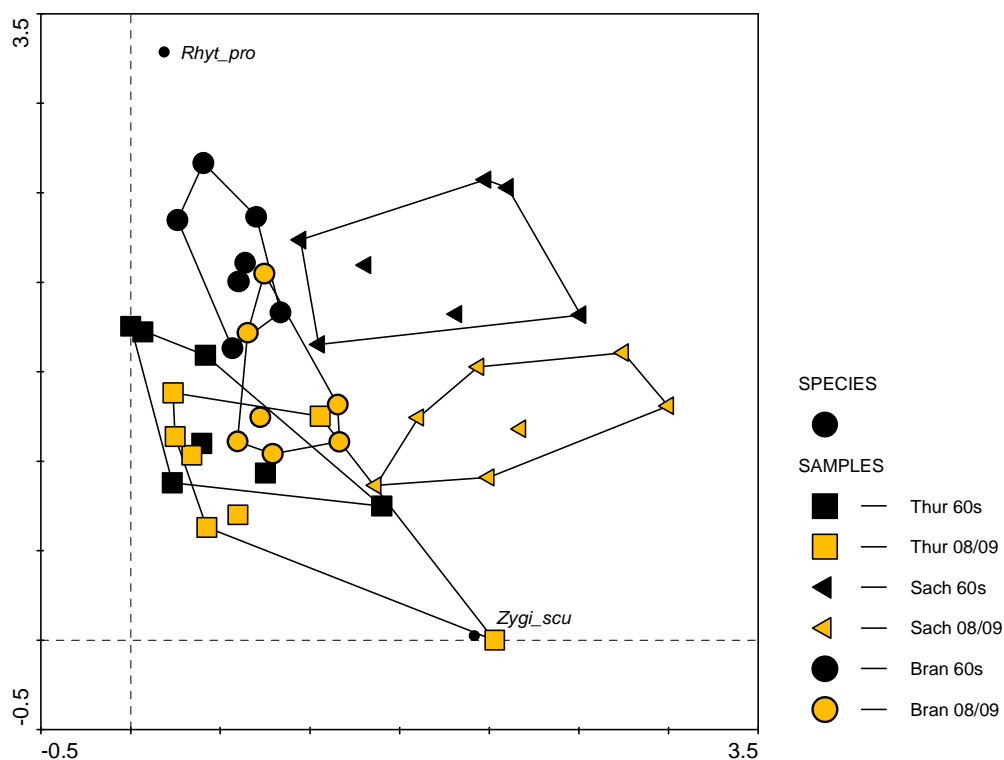
**Tab. 3.2:** Übersicht über Arten- und Individuenzahlen von Zikaden für die bisherigen drei Fangtermine, jeweils für die Zeiträume 1963-67 (Schiemenz) und 2008/09 (eigene Erhebungen).

	1963-1967				2008/09			
	Mai	Juli	Sept.	Gesamt	Mai	Juli	Sept.	Gesamt
<u>Thüringen</u>								
Artenzahl				67				51
Individuenzahl	588	1616	1938	4142	448	644	447	1539
<u>Sachsen</u>								
Artenzahl				73				71
Individuenzahl	1392	2762	4187	7675	763	357	1617	2737
<u>Brandenburg</u>								
Artenzahl				57				57
Individuenzahl	1854	1980	5089	8923	325	223	2239	2769
Gesamtartenzahl				116				112
Gesamtindividuenzahl				20740				7045



**Abb. 3.4:** Arten-Akkumulationskurven für die drei Untersuchungsregionen. Die Artenzahlen liegen 2008 in der Tendenz immer niedriger als in den 1960er, doch nur in Thüringen scheint der Unterschied signifikant zu sein (Vertrauensbereiche basieren auf 100 Permutationen, angefertigt mit R-Package Vegan).

Die insgesamt eher geringen Veränderungen bei den Gesamtartenzahlen sind irreführend, wie eine Betrachtung der Artenzusammensetzung zeigt. Die Ordination der Daten, die die Aufnahmeflächen nach ihrer faunistischen Ähnlichkeit anordnet, macht dies deutlich (Abb. 3.5). In den 60er Jahren waren die drei Untersuchungsregionen recht deutlich im Ordinationsraum getrennt, während es heute zum Teil Überlappungen gibt. Auch liegen die Flächen von 2008/9 meist getrennt von den historischen Flächen, was einen Artenverschiebungen nahe legt. Dabei sind Arten, die früher relativ häufig waren (z.B. *Rhytistylus proceps*), heute praktisch verschwunden, während die heute ubiquitäre Art *Zyginidia scutellaris* damals noch gar nicht aufgetreten ist. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es zwar deutliche Veränderungen innerhalb der letzten 40 Jahren gibt, diese allerdings weniger die Diversität als die Artenzusammensetzung betreffen. Ein allgemeiner Rückgang der Individuenzahlen bei den meisten Arten ist ebenfalls zu verzeichnen.



**Abb. 3.5:** DCA-Ordination der über die drei Aufnahmeterminen kumulierten Zikadendaten: Symbole geben die Regionen, Farben die Aufnahmeperioden an. Gebiete aus einer Region und einem Zeitraum sind durch ein Polygon verbunden. Zusätzlich sind zwei charakteristische Arten abgebildet. (DCA, *detrending by segments, downweighting of rare species*, Arten  $y = \log(x+1)$  transformiert, Gradientenlänge/Eigenwert Achse 1: 3.0/0.41, Achse 2 2.7/0.23; Achse 3 2.5/0.19).

### 3.3 Ausblick Arthropoden

Die entomologischen Arbeiten wurden im Sommer und Herbst 2009 fortgesetzt, um so das jahreszeitliche Spektrum abzudecken. Insbesondere wurden dabei nun auch die Flächen rund um Stolzenau wieder aufgenommen, wo nicht nur Zikaden, sondern auch Wanzen gesammelt werden. Auch die Wiederholungsaufnahmen zu Schiemenz' Heuschreckendaten wurden im Herbst 2009 abgeschlossen. Damit stehen zum Winter 2009 / 2010 dann erstmals Daten für Veränderungen in der Entomofauna zur Verfügung, die Zeiträume von 4 Jahrzehnten und mehr umfassen. Bei der anschließenden Auswertung steht die Frage der Diversität im Vordergrund, aber auch funktionale Diversität wird eine Rolle spielen. So lassen sich dank Vorarbeiten am Zoologischen Institut Zikaden nach ihren Fraßgewohnheiten und ihrer Ökologie klassifizieren (Nickel 2003), was eine Analyse funktionaler Veränderungen erlaubt.

### 4 Perspektiven

Natürlich lässt sich in einem einzelnen Projekt ein so komplexes Thema wie Diversitätsänderungen in der norddeutschen Kulturlandschaft nicht umfassend bearbeiten. Wir werden aber versuchen, die vorliegenden Daten weiter zu ergänzen. So gibt es für Vögel, als der am besten untersuchten Wirbeltiergruppe, bereits relativ gute Langzeitstudien. Eigene empirische Forschung ist hier nicht nötig, sodass bei dem Ornithologen V. Dierschke eine Literaturübersicht in Auftrag gegeben werden konnte. Mittelfristig könnten auch andere Artengruppen hinzugezogen werden, allerdings sind schon für Amphibien und selbst für Säugetiere kaum belastbare Vergleichsdaten vorhanden; bei weiteren Wirbelosengruppen ist die Datenlage noch schlechter.

Der inhaltliche Rahmen des Projekts wird aber auch dadurch erweitert, dass wir zusätzliche Lebensräume aufnehmen. So läuft seit 2006 an der Abteilung für Pflanzenökologie und Ökosystemforschung ein Projekt zum Schutz von Ackerwildkräutern. Begleitend wurden im Rahmen von *BioChange Germany* wiederum Vergleichsstudien zur historischen und aktuellen Artenzusammensetzung durchgeführt, die auch hier die deutlichen Veränderungen aufzeigen. Derzeit prüfen wir schließlich, ob auch für Wälder als drittem großen Lebensraumtyp Vergleichsstudien möglich sind und ob hier durch Kooperation und Literaturlauswertung genügend Übersichtsmaterial zusammengetragen werden kann.

Insgesamt wären dann die flächenhaft wichtigsten Lebensraumtypen erfasst und mit Gefäßpflanzen, Arthropoden und Vögeln auch wichtige taxonomische Gruppen abgedeckt.

Damit wird das Thema zwar nicht vollständig bearbeitet sein, doch gibt es bisher überhaupt keine auch nur annähernd vergleichbar breiten Studien. So wird *BioChange-Germany* neue Beiträge zu der sehr intensiven Diskussion um Diversitätsverluste und Landnutzungsänderungen liefern können.

### 5 Danksagung

Für Hinweise und Hilfen zu Zikaden danken wir H. Nickel und R. Remane, der leider kürzlich verstorben ist. A. Abdank, M. Burkart, G. Warthemann haben freundlicherweise eigene Vegetationsdaten zur Verfügung gestellt, R. Pott, H. Dierschke, R. Hundt, K. Meisel, E.-G. Mahn, M. Diekmann, G. Gollub gaben Hinweise zu historischen Aufnahmen. Stefan Meyer gab Hinweise zum Manuskript, D. Gansert leistete editorische Hilfe. Dem LAU Sachsen-Anhalt und dem



NLWK Niedersachsen danken wir für das Überlassen aktueller Daten und Luftbilder, den Luftbildarchiven in Niedersachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg für das Bereitstellen historischer Luftbilder. BioChange Germany wird finanziert aus Mittel des Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur und des Niedersächsischen Vorab.

## Literatur

- Baessler C, Klotz S 2006. Effects of changes in agricultural land-use on landscape structure and arable weed vegetation over the last 50 years. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 115: 43-50.
- Balvanera P et al. 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology Letters* 9: 1146-1156.
- Bender O, Boehmer HJ, Jens D, Schumacher KP 2005. Using GIS to analyse long-term cultural landscape change in Southern Germany. *Landscape and Urban Planning* 70: 111.
- Biesmeijer JC et al. 2006. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313: 351-354.
- Dierschke H, Briemle G 2002. *Kulturgrasland*. Ulmer, Stuttgart.
- Duriappah AK, Naeem S (eds) 2005. *Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being*. World Resource Institute, Washington.
- Flynn DFB et al. 2009. Loss of functional diversity under land use intensification across multiple taxa. *Ecology Letters* 12: 22-33.
- González-Megías A, Menéndez R, Roy D, Brereton T, Thomas CD 2008. Changes in the composition of British butterfly assemblages over two decades. *Global Change Biology* 14: 1464-1474.
- Haber W 2002. Landwirtschaftliche Nutzung aus ökologischer Sicht. *Forum Geoökologie*: 29-34.
- Klotz S, Briemle G 2002. *BIOLFLOR - eine Datenbank mit botanisch-ökologischen Daten zur Flora von Deutschland*. Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Korneck D et al. 1998. Warum verarmt unsere Flora? Auswertung der Roten Liste der Farn- und Gefäßpflanzen. *Schriftenreihe für Vegetationskunde* 29: 229-244.
- Lind B, Stein S, Kärcher A, Klein M 2009. *Where have all the flowers gone? Grünland im Umbruch*. Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg.
- Maas S, Detzel P, Staudt A 2002. *Gefährdungsanalyse der Heuschrecken Deutschlands*. Bundesamt für Naturschutz, Bonn - Bad Godesberg.
- Marchand H 1953. Die Bedeutung der Heuschrecken und Schnabelkerfe als Indikatoren verschiedener Graslandtypen. *Beitr. Ent. Berlin* 3: 116-162.
- Matthies D, Brauer I, Maibom W, Tscharnkte T 2004. Population size and the risk of local extinction: empirical evidence from rare plants. *Oikos* 105: 481-488.

- Meisel K, v. Hübschmann A 1976. Veränderungen der Acker- und Grünlandvegetation im nordwestdeutschen Flachland in jüngerer Zeit. Schriftenreihe für Vegetationskunde 10: 109-124.
- Nickel H 2003. The leafhoppers and planthoppers of Germany (Hemiptera, Auchenorrhyncha): patterns and strategies in a highly diverse group of phytophagous insects. Pensoft, Sofia.
- Petchey OL, Gaston KJ 2006. Functional diversity: back to basics and looking forward. *Ecology Letters* 9: 741-758.
- Podani L, Schmera D 2007. How should a dendrogram-based measure of functional diversity function? A rejoinder to Petchey and Gaston. *Oikos* 116: 1427-1430.
- Prach K 2008. Vegetation changes in a wet meadow complex during the past half-century. *Folia Geobotanica* 43: 119-130.
- Schiemenz H 1969a. Die Heuschrecken mitteleuropäischer Trockenrasen (Saltatoria). Entomologische Abhandlung Staatliches Museum für Tierkunde in Dresden. Entomologische Abhandlungen Staatliches Museum für Tierkunde in Dresden Bd. 2: 241-258.
- Schiemenz H 1969b. Die Zikadenfauna mitteleuropäischer Trockenrasen (Homoptera, Auchenorrhyncha). Entomologische Abhandlungen Staatliches Museum für Tierkunde in Dresden Bd. 36: 201-280.
- Schmeller DS, Gruber B, Budrys E, Framsted E, Lengyel S, Henle K 2008. National responsibilities in European species conservation: a methodological review. *Conservation Biology* 22: 593-601.
- Thomas JA et al. 2004. Comparative losses of British butterflies, birds, and plants and the global extinction crisis. *Science* 303: 1879-1881.
- Tüxen R 1955. Aufruf zur soziologischen Aufnahme gefährdeter Pflanzengesellschaften. *Mitteilungen der floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft N.F.* 5: 203.
- v. Drachenfels O 2004. Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen. Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim.
- Wesche K, Krause B, Culmsee H, Leuschner C (in press). Veränderungen in der Flächen-Ausdehnung und Artenzusammensetzung des Feuchtgrünlandes in Norddeutschland seit den 1950er Jahren. *Berichte der Reinhold-Tüxen-Gesellschaft* 21.

## Genetische Variation bei Waldbäumen: Warum ist sie so hoch?

Reiner Finkeldey

Innerartliche Variation, also die genetischen Unterschiede zwischen Individuen der gleichen Art, ist die Basis für Züchtung, Evolution und Anpassungsprozesse und ein grundlegender Bestandteil der Biodiversität. Die Versorgung der Weltbevölkerung mit Nahrungsmitteln wäre ohne Züchtung von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen undenkbar. Wir alle hängen also direkt von der Nutzung genetischer Variation bei Pflanzen ab. Waldbäume wurden dagegen nur in Ausnahmefällen durch Züchtung verändert. Damit stellen sich die Fragen, welche anderen Faktoren die innerartliche Variation von Waldbäumen steuern und welches die Funktion genetischer Diversität für Waldökosysteme ist.

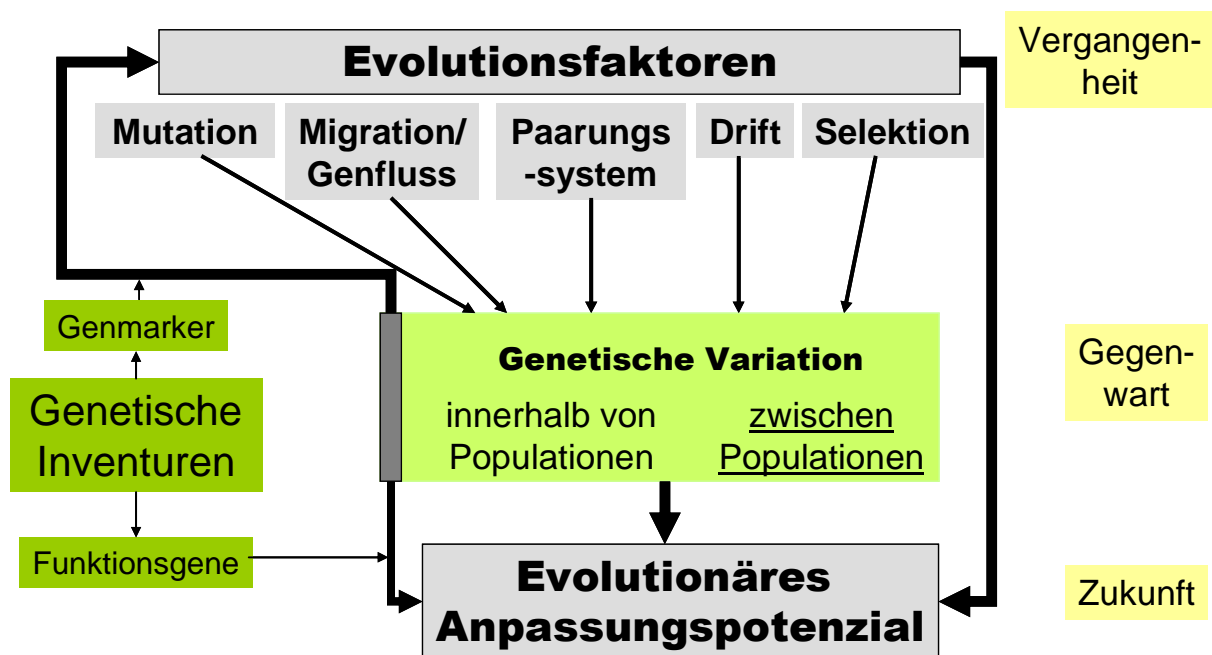
Die meisten Waldbaumarten verfügen über hohe genetische Variation, wie erste Beobachtungen in forstlichen Feldversuchen, zum Beispiel Herkunftsversuchen, und später auch biochemische und molekulargenetische Untersuchungen ergaben. So ist es nicht überraschend, dass inzwischen auch auf der Ebene von DNA-Sequenzen vielfach eine hohe Variation bei Waldbäumen gefunden wurde (Gailing et al., 2009).

Natürliche Variationsmuster bei Waldbäumen werden durch ihre Populationsgeschichte bestimmt. In Mitteleuropa haben die Eiszeiten einen prägenden Einfluss gehabt, der bis heute Spuren hinterlässt. Beispielsweise kann durch Untersuchungen der DNA aus Chloroplasten heute für jede mitteleuropäische Eiche angegeben werden, in welchem der drei Refugialgebiete (Iberische Halbinsel, Italien oder der Balkan) ihre Vorfahren in mütterlicher Linie die letzte Eiszeit überdauert haben und von wo diese Bäume nach deren Ende nach Zentraleuropa über Samen-transport rückgewandert sind (Petit et al., 2002).

Selektion hat genetische Strukturen von Waldbaumpopulationen verändert und so Anpassungen an verschiedene Umweltbedingungen bewirkt (Finkeldey & Ziehe, 2004). Andererseits wirkt der Transport genetischer Information durch Pollen und Samen einer genetischen Differenzierung von Beständen entgegen. Da gerade bei den windbestäubten Hauptbaumarten Mitteleuropas (Buche, Eiche, Kiefer und Fichte) die Pollenverbreitung sehr effektiv ist, findet sich insbesondere bei diesen Arten ein hoher Teil der gesamten genetischen Variation innerhalb von Populationen, die sich an fast allen Genorten nur wenig voneinander unterscheiden.

Aus der Modellierung genetischer Strukturen und der Artendiversität in unterschiedlich komplexen Situationen ergaben sich Hinweise, dass diese beiden nicht unmittelbar zusammenhängenden Aspekte biologischer Diversität miteinander korreliert sein können (Vellend, 2005). Untersuchungen an einigen krautigen Pflanzen bestätigten diese Hypothese (Vellend 2004). Im Rahmen des Exzellenzclusters FBR wurde daher der Frage nachgegangen, ob auch bei der Buche ein Zusammenhang zwischen Artendiversität und genetischer Diversität besteht. Erste Ergebnisse in Naturverjüngungen zeigen allerdings keinen Zusammenhang zwischen der Arten- diversität in der Verjüngung und der genetischen Variation der beteiligten Buchensämlinge. Kleinräumige Unterschiede können häufig durch die genetische Information der Sameltern in der Nähe von „Verjüngunginseln“ erklärt werden.

Der Mensch hat einen prägenden Einfluss auf genetische Strukturen von mitteleuropäischen Waldbäumen gehabt, obwohl die Hauptbaumarten der Region züchterisch kaum verändert wurden. Populationen wurden vernichtet, Wälder fragmentiert, forstliches Vermehrungsgut oft weiträumig verfrachtet und Plantagen mit nicht heimischen Arten oder Provenienzen angelegt. Anthropogene Umweltveränderungen wie Immissionen in Wälder und der Klimawandel haben ebenfalls genetische Strukturen verändert oder werden dies künftig tun. Die gegenwärtigen genetischen Variationsmuster der Waldbaumarten Mitteleuropas resultieren also aus einem komplexen Wechselspiel von natürlichen Prozessen wie der nacheiszeitlichen Rückwanderung, lokalen Umweltbedingungen und Interaktionen zwischen Arten mit dem menschlichen Einfluss durch Landnutzungsänderungen, dem Verfrachten von Saatgut und Sämlingen und der weiträumigen oder lokalen Veränderung von Umwelten (Finkeldey & Ziehe, 2004).



**Abb. 1:** Genetische Variation als Basis für evolutionäre Anpassungsprozesse.

Analysen zur räumlichen Verteilung innerartlicher Variation bei Waldbäumen sind unverzichtbar, um die Biodiversität von Wäldern zu erkennen. Die Betrachtung der natürlichen und anthropogen bestimmten Populationsgeschichte hilft, diese Muster zu erklären. Populationsgenetische Untersuchungen führen also zu einem Verständnis, warum die genetische Variation bei Waldbäumen so hoch ist und warum sie so komplex im Raum verteilt ist. Mindestens ebenso bedeutsam ist aber die Frage nach der Bedeutung dieser Variation für die Stabilität von Ökosystemen, für deren Funktionieren und für die Bereitstellung von Dienstleistungen aus Ökosystemen.

Genetische Variation ist die Basis für evolutionäre Anpassungsprozesse (Abbildung 1) und damit insbesondere dann bedeutsam, wenn sich Umweltbedingungen schnell und großflächig ändern.

In einem von der Abteilung für Forstgenetik und Forstpflanzenzüchtung der Universität Göttingen initiierten und koordinierten Versuch wird zur Zeit im Rahmen eines Translokationsexperiments die Anpassungsfähigkeit von insgesamt über 20.000 jungen Eichen und Kiefern an unterschiedliche Klimabedingungen an fünf Standorten von Finnland bis Südfrankreich untersucht. Von jedem Sämling wurde vor dem Auspflanzen eine Gewebeprobe gewonnen, so dass auch noch in vielen Jahren DNA aller Pflanzen für Untersuchungen zur Verfügung steht.

Moderne populationsgenomische Ansätze, ein besseres Verständnis der Funktion einzelner Gene im Stoffwechsel von Pflanzen und methodische Fortschritte, insbesondere bei der DNA Sequenzierung, erlauben es heute, Variation auch in solchen Genen, die möglicherweise eine Bedeutung für Anpassungsprozesse haben, zu beobachten. Die Analyse dieser ‚Kandidaten‘ für anpassungsrelevante genetische Variation in experimentellen Populationen und natürlichen Waldbeständen wird die ökosystemare Bedeutung innerartlicher Variation erkennen lassen (Whitham et al., 2008). Ein mechanistisches Verständnis von evolutionären Anpassungsprozessen und-mechanismen in komplexen Waldökosystemen setzt dabei fachübergreifendes Arbeiten voraus und kann nur in interdisziplinären Projekten erreicht werden. Die Beschreibung der Umwelt und ihrer Veränderung, die Betrachtung von Interaktionen zwischen Bäumen und anderen Arten und die Analyse ökophysiologischer Prozesse ist mit populationsgenomischen Untersuchungen zu verbinden, um die Bedeutung von einzelnen Genen und genetischen Varianten (Allelen) für Angepasstheit und Anpassungsprozesse zu verstehen.

#### Literatur

Finkeldey R, Ziehe M 2004. Genetic implications of silvicultural regimes. *Forest Ecology and Management* 197: 231-244.

Gailing O, Vornam B, Leinemann L, Finkeldey R 2009. Genetic and genomic approaches to assess adaptive genetic variation in plants: forest trees as a model. *Physiologia Plantarum* 137: 509-519.

Petit R, Brewer S, Bordács S, Burg K, Cheddadi R, Coart E, Cottrell J, Csaikl U, van Dam B, Deans D, Espinel S, Fineschi S, Finkeldey R, Glaz I, Goicoechea PG, Jensen JS, König AO, Lowe AJ, Madsen SF, Mátyás G, Munro RC, Popescu F, Slade D, Tabbener H, de Vries SGM, Ziegenhagen B, de Beaulieu J-L, Kremer A 2002. Identification of refugia and post-glacial colonisation routes of European white oaks based on chloroplast DNA and fossil pollen evidence. *Forest Ecology and Management* 156: 49-74.

Vellend M 2004. Parallel effects of land-use history on species diversity and genetic diversity of forest herbs. *Ecology* 85: 3043-3055.

Vellend M 2005. Species diversity and genetic diversity: parallel processes and correlated patterns. *American Naturalist* 166: 199-215.

Whitham TG, DiFazio SP, Schweitzer JA, Shuster SM, Allan GJ, Bailey JK, Woolbright SA 2008. Perspective - Extending genomics to natural communities and ecosystems. *Science* 320: 492-495.



## Ökosystemmodellierung Quo vadis?

Kerstin Wiegand

*Einführung:* Die Abteilung Ökosystemmodellierung wurde 2009 neu gegründet und ist an der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie angesiedelt. Die Abteilung trägt zur Forschung und Lehre an drei Fakultäten bei: der Biologischen Fakultät, der Fakultät für Agrarwissenschaften und der Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie. Die Abteilung entwickelt und analysiert Modelle der räumlichen Dynamik von Populationen und Artengemeinschaften in Savannen, Wald- und Agrarökosystemen und untersucht die Zusammenhänge zwischen (räumlichen) Mustern und Prozessen. In der Lehre liegt der Schwerpunkt auf der Vermittlung ökologischer Theorien und Konzepte und dem Erlernen von Methoden der ökologischen Modellierung und räumlichen Statistik.

### Begriffsklärung: Modellierung

In der Ökologie gibt es drei generelle Modelltypen: Statistische Modelle, Gleichungsmodelle (inkl. Differenzialgleichungsmodelle) und Simulationsmodelle. Die entsprechenden Fachgebiete heißen Statistik, Theoretische Ökologie und Ökologische Modellierung. In der Forschung liegt unser methodischer Schwerpunkt auf den Simulationsmodellen. Hierbei handelt es sich um selbst-programmierte, dynamische Modelle, die auf in der Natur beobachteten Regeln basieren und sich stark an in der Natur beobachteten Mustern orientieren.

### Einstieg in die Simulationsmodellierung

Recht einfach lassen sich Simulationsmodelle in NetLogo © erstellen. Diese Software ist einfach und intuitiv zu bedienen und wurde für die Entwicklung agentenbasierter (bzw. individuenbasierter) Simulationsmodelle entwickelt. Die Software ist ideal für Anfänger und ausreichend für die Erstellung einfacher publizierfähiger Modelle. Außerdem gibt es eine umfangreiche Bibliothek mit existierenden Modellen, die den Einstieg erleichtert. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

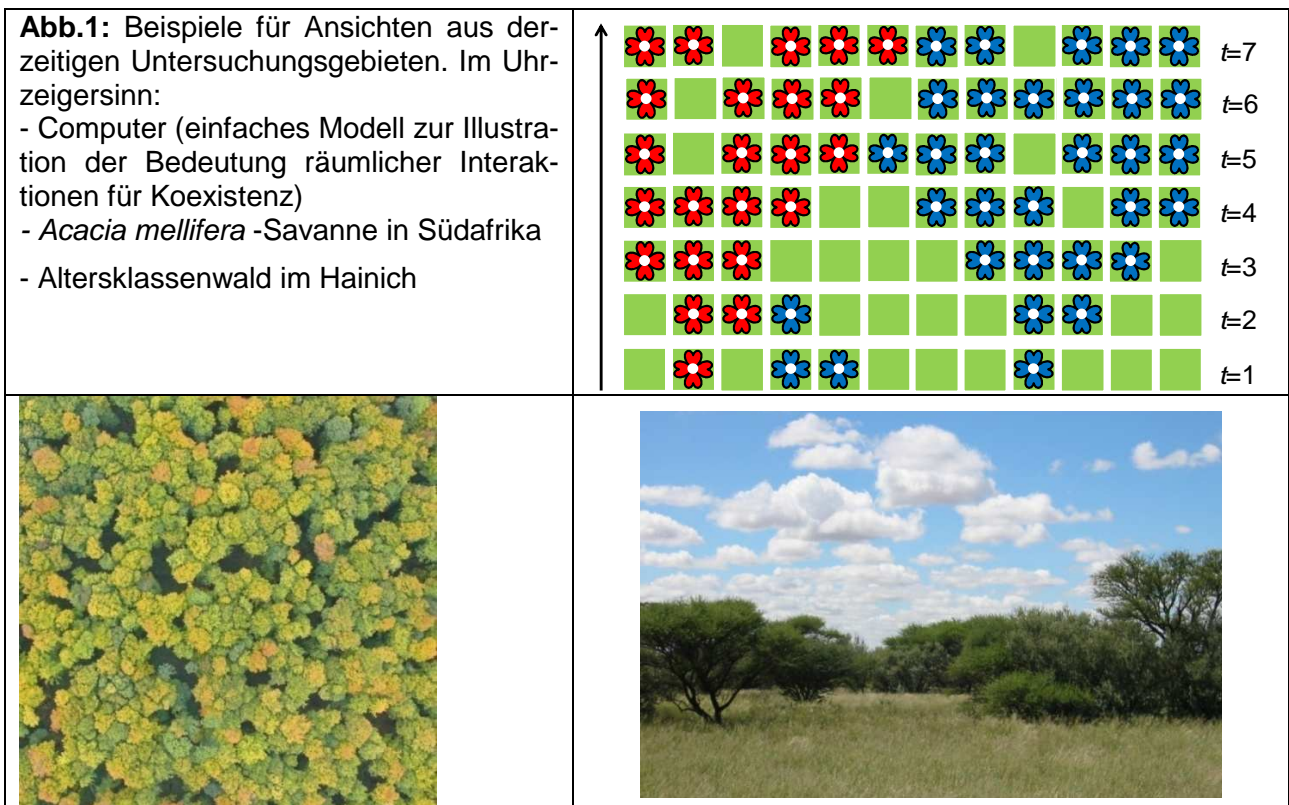
*Forschung:* Ein Schwerpunkt unserer Arbeit in den nächsten Jahren wird auf der Biodiversität liegen. Derzeit sind wir mit zwei Projekten bei den Biodiversitätsexploratorien und mit einem Teilprojekt im Graduiertenkolleg 1086 beteiligt ([www.biodiversity-exploratories.de](http://www.biodiversity-exploratories.de); [www.uni-goettingen.de/de/82664.html](http://www.uni-goettingen.de/de/82664.html)).

Bei den Biodiversitätsexploratorien werden in einem Projekt die Effekte von Landnutzung und struktureller Heterogenität auf die Biodiversität untersucht wobei eine neue Erfassungsmethode unter Verwendung kostengünstiger Fernerkundung und kleinskaliger Musteranalyse Anwendung findet. Eine der zentralen Hypothesen ist, dass die Artendiversität auf dem Waldboden anhand von Luftbildern mit einem strukturellen Komplexitätsindex des Baumkronendachs korrelierbar ist. In einem weiteren Projekt „Für ein mechanistisches Verständnis der Biodiversität und ihrer funktionellen Konsequenzen – BEAM Teilprojekt 2“ wird der Einfluss der Landnutzung auf die

Diversität funktioneller Pflanzentypen in Grünland-Ökosystemen untersucht. Ziel ist die Entwicklung, Evaluierung und Anwendung neuer gitterbasierter, mechanistischer Modelle zur Simulation von Veränderungen der Diversität funktioneller Pflanzentypen im Verlauf von Sukzessionen im Grünland unter Landnutzungseinfluss. Dabei werden in einem bottom-up Ansatz Mechanismen und Prozesse auf kleiner Skala (z.B. Wachstum und Konkurrenz von Individuen) mit Prozessen auf regionaler Ebene (z.B. Ausbreitung, Landnutzung) gekoppelt.

In einem Teilprojekt des Graduiertenkolleg 1086 soll die Rolle von Komplementarität, Artidentität und Neutralität bei der Erhaltung von Diversität in Laubwaldbeständen modelliert werden.

Weitere Arbeiten zum Zusammenspiel von Biodiversität, Ökosystemfunktionen und Wohlfahrt in Untersuchungsgebieten in Indonesien sind in der Vorbereitung. Mit integrierten Modellen soll der Einfluss von Landnutzungsänderungen an Regenwaldrändern untersucht werden. Die Modelle werden auf Daten aufbauen, die im SFB 552 gesammelt wurden. Des Weiteren sind wir an mehreren interdisziplinären Teilprojekten des im Oktober 2010 anlaufenden Graduiertenkollegs 1644 "Skalenprobleme in der Statistik" beteiligt. Ziel dieses Graduiertenkollegs ist die Entwicklung von Lösungen für Skalenprobleme, die in der empirischen Datenanalyse oftmals auftreten. (<http://www.zfs.uni-goettingen.de/sps>; Scales of bacterial interactions on the leaf surface; Scale and context mediated conservation management in fragmented landscapes and populations; The role of heterogeneity in spatial plant population dynamics). Im letztgenannten Teilprojekt sollen räumliche Strukturen in Wäldern mittels räumlicher Statistik untersucht werden. Ziel dieser Arbeiten ist es, aus den räumlichen Strukturen auf die zugrundeliegenden Prozesse zurückzuschließen, von denen diese Strukturen einst verursacht wurden. Ein weiterer Schwerpunkt unserer Arbeit liegt auf der Erforschung der Koexistenz von Gräsern und Bäumen in Savannen. Hier werden sowohl theoretische als auch angewandte Fragestellungen im Zentrum unserer Arbeit stehen.







Georg-August-Universität Göttingen  
Göttingen Centre for Biodiversity and Ecology

Chairman: Prof. Dr. Stefan Scheu (sscheu@gwdg.de)  
Coordinator: PD Dr. Dirk Gansert (dganser@gwdg.de)

**Departments:**

Agroecology

Agroentomology

Animal Ecology

Conservation Biology

Didactics of Biology

Forest Ecology

Geobiology

Historical Anthropology & Human Ecology

Landscape Ecology

Neurobiology

Palynology & Climate Dynamics

Phycology

Plant Ecology & Ecosystems Research

Sociobiology

Systematic Botany

Systematics, Zoology & Evolutionary Biology

Vegetation Analysis & Phytodiversity

[www.biodiversitaet.gwdg.de](http://www.biodiversitaet.gwdg.de)