



# Forschung im Nationalpark Hainich

Bericht des Göttinger  
Graduiertenkollegs 1086  
für den Zeitraum  
2005 - 2009

## Versuchsdesign durch die Natur

### *Die Bedeutung der Biodiversität für Stoffkreisläufe und Biotische Interaktionen in temperaten Laubwäldern*

Der Hainich ist ein Glücksfall für die Wissenschaft. Hier, etwa in Deutschlands Mitte im westlichen Thüringen, findet sich eines der größten zusammenhängenden Laubwaldgebiete der Republik – rund 16.000 Hektar Wald. Es sind Wälder auf reichen Böden, die auf Kalkgestein und Löss entstanden, Wälder, deren unterschiedliche Struktur nicht zuletzt auf unterschiedliche Wirtschaftsweisen zurückgeht. Plenterwald gibt es hier und Altersklassenwald, ehemaligen Bauernwald und auch noch gänzlich unbewirtschafteten Naturwald, um den im Jahr 1997 ein Nationalpark errichtet wurde. Die in so vielen Teilen Deutschlands dominierende Rotbuche ist im Nationalpark oft nur eine Baumart unter vielen anderen, darunter vornehmlich Winterlinden, Sommerlinden und Eschen. Auch Bergahorn, Spitzahorn, Hainbuche und Stieleiche erreichen noch große Flächenanteile, daneben tragen auch Feldahorn, Traubeneiche, Bergulme, Vogelkirsche, Feldulme, Zitterpappel, Elsbeere und Hängebirke zur Artenvielfalt bei. Ein idealer Ort mithin für alle, die Zusammenhänge zwischen Biodiversität und Funktion von Waldökosystemen erkunden wollen.

Grundsätzlich bleibt die Zahl der Baumarten in den Wäldern Mitteleuropas durchaus überschaubar. Nicht nur im Vergleich zu den Tropen, auch verglichen mit anderen Waldgebieten der Erde, die unter ähnlichen Klimabedingungen wachsen, sind sie recht arm an Arten. Der Grund dafür liegt lang zurück und hat einmal nichts mit dem Menschen zu tun: Es waren die Eiszeiten, die in Mitteleuropa einen beträchtlichen Teil jener Arten verdrängten, die – wie man aus Pollenanalysen weiß – dort zuvor heimisch waren. Durch den wirtschaftenden

Menschen, der eine abwechslungsreiche Kulturlandschaft schuf, ist die Artenvielfalt später zunächst ansehnlich gewachsen. Seit geraumer Zeit hat sich dieser Trend aber umgekehrt, geht auch in Mitteleuropa die Biodiversität in allen Lebensräumen deutlich zurück.

### ***Die zentrale Frage:***

*Funktionieren artenreiche Wälder besser?*

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

### ***Der Ansatz:***

#### *Vergleichende Beobachtung natürlicher Systeme*

Die Eigenschaften von „richtigen Wäldern“, von über Jahrhunderte gewachsenen Altbeständen, lassen sich nicht zeitnah an einem künstlich geschaffenen System studieren. Schließlich sind die Bedingungen, die die Funktionen des Waldes heute prägen, im Verlauf langer Zeiträume entstanden, die sich nicht im Schnelldurchgang simulieren lassen. Im Hainich aber finden sich zur Freude der Wissenschaft Wälder, die von Natur aus viel von dem bieten, was man für Experimente sonst künstlich erzeugen würde: Das Waldgebiet, das sich die Wissenschaftler für ihre Untersuchungen ausgewählt haben, wurde seit 40 Jahren nicht mehr bewirtschaftet und zeichnet sich durch eine für Mitteleuropa ungewöhnlich hohe Diversität der Bäume aus. Bis zu 14 Baumarten sind hier pro Hektar zu finden. Die Bestände sind allerdings – in einem homogenen Umfeld – kleinräumig durchaus variabel. Das bietet den Forschern die Chance, analog zu einem experimentell erzeugten System Waldbestände zu finden, die sich bei sonst gleichen standörtlichen Bedingungen vor allem durch die Vielfalt der Baumarten unterscheiden. So können sie deren Einfluss erkunden, indem sie an zwölf Waldflächen, die sie drei Diversitätsstufen zuordnen, vergleichende Messungen verschiedener Ökosystemfunktionen vornehmen. Da viele der Messwerte von Jahr zu Jahr stark schwanken, sollen die wichtigsten Größen über einen Zeitraum von neun Jahren beobachtet werden. In einem umweltökonomischen Projekt versucht man zudem, den wirtschaftlichen Wert der Dienstleistungen von Wäldern hoher Biodiversität zu erfassen.

Den Ursachen für diese Ergebnisse und den Folgen für die Leistungskraft der Wälder werden sich die Wissenschaftler

in ihren weiteren Untersuchungen widmen und dazu die neuen Beobachtungen mit vorhandenem Wissen verknüpfen. Quantitative Analysen mithilfe von Ökosystemmodellen sollen dazu ebenso beitragen wie die georeferenzierte Sammlung aller Messungen in einer Datenbank. Das kommt einem anderen wichtigen Ziel und Zweck des Graduiertenkollegs entgegen: der Ausbildung von Doktoranden an modernen ökologischen Techniken. Um die Naturnähe der Bestände nicht zu gefährden, werden Verfahren eingesetzt, die möglichst wenig in die Wälder eingreifen. Die Kronenraumforschung mit einem 30 Meter hohen Hubwagen etwa gehört ebenso dazu wie Isotopenmarkierungen, Saftflussmessungen an Bäumen und die automatische 3D-Vermessung von Bestandesstrukturen. Aber auch traditionellere Methoden der Biodiversitätsforschung werden im Rahmen des Graduiertenkollegs gelehrt, etwa die Bestimmung von Tier- und Pflanzenarten und ihrer Biomasse. Und auch die internationale Zusammenarbeit wird in diesem Programm gefördert. Besonders intensiv ist sie mit der finnischen Graduiertenschule für Forstwissenschaften. Über die Ländergrenzen hinweg suchen die Nachwuchsforscher gemeinsam nach den Grundlagen, auf denen sich die besten Wälder für die Zukunft bauen lassen.

## Steckbrief

Das Graduiertenkolleg der DFG zur Biodiversitätsforschung in Wäldern ist ein interdisziplinäres Forschungs- und Ausbildungsprogramm. Im Zentrum des Forschungsprojekts steht die Bedeutung der Baumartendiversität für Funktionen des Ökosystems Laubwald.

### **Name des Projektes:**

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

### **Form der Forschungsförderung:**

Graduiertenkolleg der DFG  
(Deutsche Forschungsgemeinschaft)

### **Laufzeit:**

1.4.2005 – 31.12.2009  
(mit Fortsetzungsantrag bis 1.4.2014)

### **Struktur des Projektes:**

offen

### **Ort der Untersuchungen:**

Nationalpark Hainich  
(Thiemsburg, Lindig)

### **Habitat:**

Temperater Laubwald hoher  
Baumartendiversität

### **Beteiligte Disziplinen:**

Pflanzenökologie, Forsthydrologie,  
Entomologie, forstliche Biometrie,  
Bodenkunde, Mykorrhizaforschung,  
Tierökologie, Biogeochemie,  
Umweltökonomie, ökologische  
Modellierung

### **Wissenschaftliche Besonderheit des Projektes:**

Es werden Biodiversitätseffekte an naturnahen, alten Wäldern untersucht, die sich standörtlich im Wesentlichen nur hinsichtlich der Baumartendiversität unterscheiden.

Der Nutzen der Interdisziplinarität wird durch räumlich aufeinander abgestimmte Probenahme auf denselben Flächen gewährleistet.

## Diversität der Ektomykorrhizen im Nationalpark Hainich

Christa Lang, Andrea Polle

Mykorrhizen sind eine Symbiose zwischen höheren Pflanzen und Pilzen. Der Pilz verbessert die Nährstoffversorgung der Pflanzen, indem er Phosphat, Stickstoffverbindungen und andere Nährstoffe sowie Wasser aus dem Boden aufnimmt und zur Pflanze transportiert; er erhält im Gegenzug von der Pflanze Kohlenstoffverbindungen aus der Photosynthese. Es gibt sieben verschiedene Arten der Mykorrhizen, die sich hauptsächlich im Aufbau, teilweise auch in den beteiligten Pilzstämmen oder Pilzarten unterscheiden. Die Ektomykorrhizen bestehen aus drei Hauptbestandteilen: dem Hartig'schen Netz, dem Hyphenmantel und dem ausstrahlenden Myzel. Die Hyphen des Ektomykorrhizen-Pilzes dringen zwischen die Wurzelzellen und umgeben sie vollständig (Hartig'sches Netz), dies ist der Ort des Nährstoffaustausches zwischen Pilz und Pflanze. Die Hyphen wickeln sich auch um die Wurzelspitzen und bilden den sogenannten Hyphenmantel der sich in je nach Pilzart in der Farbe, der Verzweigung, der Form der Hyphen, die in den Boden ausstrahlen und der Struktur der Innenseite des Hyphenmantels unterscheiden (<http://www.deemy.de/>). Weiterhin wächst ein Teil der Hyphen vom Hyphenmantel aus in den Boden (Myzel) hier nimmt der Pilz die Nährstoffe und Wasser aus dem Boden auf und transportiert sie zu der Pflanze. Es wird heute geschätzt, dass 8.000 Pflanzen Ektomykorrhizen ausbilden; das sind nur ungefähr 3 % der Samenpflanzen. Diese relativ geringe Anzahl an Arten hat eine große ökologische und ökonomische Bedeutung, da sie die dominanten Baumarten im Wald der borealen und gemäßigten Zone stellt.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit lag auf den Ektomykorrhizen an Buche (*Fagus sylvatica* L.), Linde (*Tilia platyphyllos* Scop. und *Tilia cordata* Mill.) und Hainbuche (*Carpinus betulus* L.). Zudem wurden auch Baumarten mit arbuskulären Mykorrhizen Esche (*Fraxinus excel-*

*sior* L.) und Ahorn (*Acer pseudo-platanus* L. und *Acer platanoides* L.) untersucht. Das Ziel bestand darin, die vorkommenden Ektomykorrhizaarten zu bestimmen und den Zusammenhang zwischen Baumartenvielfalt und der Diversität der Ektomykorrhizen (ECM) zu untersuchen. Im Nationalpark Hainich wurden Versuchsflächen mit drei verschiedenen Diversitätsleveln (DL) der Baumarten ausgesucht: Buchenreinbestände (DL1); Mischbestände mit Buchen, Linden und Eschen (DL 2) und Mischbestände mit Buchen, Linden, Eschen, Hainbuchen und Ahorn (DL 3). Für jedes Diversitätslevel wurden zwei Flächen ausgewählt und auf jeder Fläche an sieben Probenahmeterminen, die sich über 2 Vegetationsperioden erstreckten, Bodenproben genommen. Nach dem Auswaschen der Wurzeln wurden die Mykorrhizen mit Hilfe des Morphotypings (Unterscheidung der Pilzarten nach Merkmalen des Hyphenmantels) und anschließender DNA-Sequenzierung bestimmt.

Die Wurzelspitzen der untersuchten Baumarten waren zu allen Zeitpunkten von April bis November im Mittel zu 96 % mykorrhiziert. Insgesamt wurden 145 verschiedene ECM-Pilzarten auf allen Flächen gefunden, 88 an Buche, 76 an Linde und 44 an Hainbuche. Es gab nur 11 Pilzarten, die an allen drei Baumarten vorkamen. Der Großteil der Pilzarten kam fast ausschließlich an einer Baumart vor, so dass viele Pilzarten anscheinend einen bestimmten Wirt (= Baumart) bevorzugen.

Die Artenzahl der ECM-bildenden Pilze nahm mit zunehmender Baumartenzahl deutlich zu und die Ektomykorrhizen hatten eine hohe Diversität. Mit zunehmender Baumartendiversität im Bestand veränderte sich die Diversität der ECM an den einzelnen Baumarten aber nicht. Der Anstieg der Gesamtdiversität der ECM ist daher vermutlich hauptsächlich durch die Wirtspräferenzen der Pilzarten zu erklären. Es konnte

festgestellt werden, dass sich die ECM-Gesellschaften an Buche, Linde und Hainbuche deutlich unterscheiden, was die Vermutung der Wirtspräferenz untermauert. Die ECM-Gesellschaften variierten auch deutlich im Laufe des Jahres und auf den verschiedenen Flächen – wir vermuten daher, dass die ECM-Gesell-

schaften sehr variabel und dynamisch sind. Insgesamt kann man sagen, je mehr verschiedene Baumarten in einem Bestand vorkommen umso mehr verschiedene Pilzarten kommen in dem Bestand vor, aber das Vorkommen der Pilzarten ist sehr variabel und kann sich im Laufe der Zeit sehr stark ändern.



Vier unterschiedliche Ektomykorrhizaarten aus dem Nationalpark Hainich, die sich besonders deutlich in Form, Farbe und Verzweigung ihres Hyphenmantels unterscheiden (<http://www.uni-goettingen.de/de/92389.html>, Christa Lang)

## Artenvielfalt und Produktivität der Waldbodenvegetation

*Andreas Mölder, Wolfgang Schmidt*

Veränderungen in der Baumschichtvielfalt haben Auswirkungen auf die Artenvielfalt anderer Organismengruppen im Wald. Eine entscheidende Rolle spielt dabei die Krautschicht einschließlich Gehölzverjüngung. Waldbodenpflanzen sind zum einen empfindliche Indikatoren für die natürlichen Standortverhältnisse und deren Veränderungen durch den Menschen. Daher sollten sie auch deutliche Veränderungen anzeigen, wenn sich die Baumartenvielfalt erhöht und Ökosystemfunktionen verändern. Zum anderen bietet eine produktive und artenreiche Waldbodenvegetation eine wichtige Lebensgrundlage für viele Tierarten, und die Krautschicht kann einen erheblichen Teil des oberirdischen Biomasse- und Nährstoffvorrats im Wald stellen.

Waldgesellschaften im Bereich der Untersuchungsflächen waren der Waldmeister-Buchenwald, der Waldgersten-Buchenwald sowie der Sternmieren-Eichen-Hainbuchen-Wald. Alle Untersuchungsflächen wiesen eine typische mitteleuropäische Waldflora mit nur wenigen Offenlandarten und Störungszeigern auf. Die krautige Waldbodenvegetation war dabei in Mischbeständen sehr viel vielfältiger als in buchendominierten Beständen. Es ist davon auszugehen, dass diese Vielfalt der Krautschicht vor allem indirekt über die unterschiedlichen Baumarten beeinflusst wurde. Entscheidend dürften hier die Umweltfaktoren „Zustand des Oberbodens“ und „Streuauflage“ sein, die vor allem von der Buche maßgeblich beeinflusst werden. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der Krautschichtdiversität und der Lichtdurchlässigkeit des Kronendaches gefunden.

Die Biomasse der krautigen Waldbodenvegetation stieg mit einer zunehmenden

Baumartenvielfalt an. Die Produktivität der Krautschicht könnte hierbei von einer ansteigenden Nährstoffversorgung sowie erhöhten Bodentongehalten gefördert worden sein. Gleichzeitig zeigte sich, dass in den buchendominierten Beständen die Produktivität der Krautschicht deutlich gehemmt ist.

Wir konnten feststellen, dass bei einer höheren Artenzahl der Baumschicht auch die Artenzahl in der Baumverjüngung zunahm. Beide Bestandesschichten unterschieden sich jedoch erheblich in der Zusammensetzung der Arten. Hauptbaumarten in der Verjüngung waren Bergahorn, Esche, Spitzahorn und Buche. Von den in den Mischbeständen reichlicher in der Baumschicht vertretenen Eichen, Hainbuchen und Linden fand sich selten Verjüngung. Schwer zersetzbare, versauernde Buchenstreu wirkte limitierend auf die Verjüngung. Es konnten keine Beziehungen zwischen Vielfalt sowie Menge der Verjüngung und dem Lichtangebot unter dem geschlossenen Kronendach festgestellt werden. Zwischen der niedrigwüchsigen Verjüngung und den Bäumen fehlte eine Strauchschicht. Wahrscheinlich war es unter dem Kronendach aller Untersuchungsflächen zu dunkel für das weitere Einwachsen der Verjüngung. Zusätzlich hat der Wildverbiss das Wachstum der Verjüngung beeinträchtigt. Insbesondere ehemalige Mittel- und Plenterwaldbestände mit hoher Baumartenvielfalt bieten einen guten Witterungsschutz im Winter durch tief beastete, unterständige Bäume, die vor allem für das Rehwild interessant sind.

Für den praktischen Waldbau bedeuten die Ergebnisse dieser Studie, dass eine Erhöhung der Baumartenzahl in Laubmischwäldern eine diverse und produktive Wald-

bodenvegetation fördern kann, wenn die Streu der neben der Buche eingesetzten Baumarten auf den Boden verbessernd wirkt. Unsere Untersuchungen zeigen außerdem, dass selbst stark buchendomi-

nierte Bestände mit nur vereinzelt eingestreuten Eschen und Ahornen das Potential haben, mittels Naturverjüngung in Mischbestände überführt zu werden



Die Krautschicht eines artenreichen Eichen-Hainbuchen-Waldes im Lindig, fotografiert im Frühling (Foto: A. Mölder)



Vermessung der Baumverjüngung auf einer 1m<sup>2</sup>-großen Bodenfläche (Foto: I. Mölder)

## Insektengemeinschaften und multitrophische Interaktionen im Kronenraum

*Stephanie Sobek, Ingolf Steffan-Dewenter, Teja Tschardt*

Der Zusammenhang zwischen Biodiversität und Ökosystemfunktionen (z. B. biologische Schädlingskontrolle) steht aktuell im Zentrum des Interesses ökologischer Forschung. Versuche im Grünland haben gezeigt, dass artenreiche Pflanzengesellschaften eine ebenfalls diverse Insektenfauna beherbergen, der negative Einfluss von Schadinsekten wird durch natürliche Gegenspieler erfolgreich unterdrückt. Ob ähnliche Muster auch für andere Lebensräume wie zum Beispiel Waldgebiete gelten, ist bislang unklar.

Artenreiche naturnahe Waldgebiete sind in Mitteleuropa seit Jahren im Rückgang, wodurch Auswirkungen auf die Artenvielfalt von Tieren und Pflanzen und auf die Schädlingstoleranz in diesen Lebensräumen zu erwarten sind. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde auf Versuchsflächen unterschiedlicher Baumartenartenvielfalt im Nationalpark Hainich untersucht, ob der Artenreichtum von Arthropoden (Gliedertieren) mit steigendem Baumartenreichtum der Flächen ebenfalls ansteigt. Außerdem wurde die Hypothese überprüft, dass mit erhöhter Baumartenvielfalt die Herbivorie, also der Anteil des durch Schadinsekten verursachten Schadens an Pflanzen, abnimmt. Verschiedene Methoden kamen zum Fang der Insektenfauna zum Einsatz, z. B. Kreuzfensterfallen, Klopfproben und Nisthilfen für Bienen und Wespen. Des Weiteren wurde der Herbivorieschaden von Baumjungwuchs geschätzt (Verlust an Blattfläche, Vorhandensein von Gallen und Minen).

Die Ergebnisse zeigen, dass artenreiche Laubwälder wie erwartet mehr Arten an Käfern, Wanzen, Spinnen, Bienen und Wespen beherbergen. Auch ist der Anteil

an Prädatoren in artenreichen Beständen größer. Fraßschäden an jungen Buchensämlingen sind in Wäldern mit geringer Baumartenanzahl stärker ausgeprägt, allerdings konnte ein ähnlicher Effekt für Berg- und Spitzahorn nicht gezeigt werden. Es wurde kein bestimmtes Muster für das Vorkommen von Gallen und Minen gefunden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die vorliegende Arbeit neue Einsichten bezüglich des Effekts von Baumartenvielfalt auf den Artenreichtum und die Interaktionen von Insektengemeinschaften zulässt. Es konnte deutlich gemacht werden, dass Buchenreinbestände nur unzulänglich in der Lage sind, den vollen regionalen Artenreichtum von Insekten zu erhalten. Wir schlagen vor, dass nachhaltige Waldnutzung darauf abzielen sollte, dass eine Mischung an strukturell verschiedenen Baumarten und Baumindividuen erhalten bleibt. Dadurch würde die Habitatvielfalt erhöht, und es stünden mehr Ressourcen für eine artenreiche Insektenlebensgemeinschaft zur Verfügung.



Aufnahme der Herbivorie an einem Bergahorn-Sämling  
(Foto: T. Gebauer)

## Bodenfauna und ihr Einfluss auf den Streuabbau in artenreichen Laubwäldern

*Nadine Weland, Christian Platner, Matthias Schaefer*

In der aktuellen ökologischen Forschung ist die Beziehung zwischen Artenvielfalt und Ökosystemfunktionen ein wichtiges Thema. Die Diversität der Pflanzen ist bekanntermaßen ein wichtiger Einflussfaktor auf strukturelle und biologische Eigenschaften von Ökosystemen. Doch obwohl die Abhängigkeit des Bodennahrungsnetzes von den oberirdischen Ressourcen gut untersucht ist, ist das Wissen über die Interaktion zwischen Tiergemeinschaften, Bodenprozessen und Baumartenvielfalt noch unvollkommen. Gerade Wälder mit mehr als zwei Baumarten wurden selten untersucht. Der Nationalpark Hainich bietet so durch seine große Vielfalt von Tier- und Pflanzenarten und durch die kleinräumigen Unterschiede in der Baumvielfalt optimale Bedingungen für Forschung.

In diesem Forschungsprojekt wurde untersucht, ob und wie sich eine Veränderung in der Baumartenvielfalt auf Gemeinschaftsstruktur der Bodentiere und ihre Aktivität beim Streuabbau auswirkt. Wichtigste Methoden für diese Erfassung waren das Sammeln von Streu- und Bodenproben, aus denen dann die Tiere ausgetrieben wurden, sowie das Aufstellen von Bodenfallen für lauffähigere Tiere. Außerdem wurden Streubeutel ausgebracht, um den Verlust an Blattmaterial zu bestimmen, und Blätter in den verschiedenen Zerfallsstadien auf ihre Nährstoffgehalte untersucht.

Wie die Ergebnisse zeigen, war die Beziehung zwischen steigender Baumartenvielfalt und der Siedlungsdichte bzw. Vielfalt der Bodentiere (Schnecken, Regenwürmer, Asseln, Laufkäfer und Spinnen) unterschiedlich

ausgeprägt. Wichtige Streuzersetzer wie Regenwürmer und Asseln wurden durch eine große Vielfalt von Streuressourcen gefördert, was sicher mit den größeren Mengen hoch-qualitativer Nahrung zusammenhängt (z.B. Linden- und Eschenblätter). Die größte Anzahl von Schnecken/-arten war hingegen auf den Flächen mit mittlerer Baumvielfalt zu finden. Räuber wie Spinnen und Laufkäfer waren seltener auf den Flächen hoher Baumartenvielfalt, wohl bedingt durch den schnellen Abbau der Streu und der damit zusammenhängenden Verkleinerung des Streu-Lebensraumes. Die Vielfalt der Räuber wurde allerdings positiv von einer gemischteren Kraut- und Streuschicht beeinflusst. Die Baumartenvielfalt wirkte sich also in verschiedenster Weise auf die Bodentiere aus. Diese Wirkung war aber eng verknüpft mit strukturierenden Kräften einzelner entscheidender Arten, wie z.B. der Buche.

Der Streuabbau der 6 häufigsten Baumarten (Buche, Linde, Esche, Spitz-, Bergahorn und Hainbuche), sowie deren Mischung verlief typisch für diese Arten. Buche wurde allgemein am langsamsten abgebaut; eine erhöhte Baumartenvielfalt, in Verbindung mit höherem pH-Wert des Bodens, ausgeprägter Feuchtigkeit in der Streuschicht und einem höheren Asselvorkommen, beschleunigte aber diesen Prozess. Der Abbauprozess von Ahorn- und Linden-Blättern wurde ebenfalls auf den gemischten Beständen beschleunigt und war eng verknüpft mit dem Vorkommen von Regenwürmern. Die Nährstofffreisetzungsraten aus den Blättern hingen stark von den Anfangsgehalten an Nährstoffen ab, genauso wie von der Menge an Regenwürmern vor Ort.

Auch hier zeigt sich, dass charakteristische Eigenschaften einzelner Baumarten (Buche im Gegensatz zu Linde und Esche) den Lebensraum Boden und dessen Tiergemeinschaften beeinflussen. Das Vorkommen und die Häufigkeit



Probefläche (0,5 x 0,5m) mit markierten Regenwurmbauten (*Lumbricus terrestris*)  
(Foto: N. Weland)



Austreibung der Bodentiere durch Hitzegradienten (Hitze von oben und Kühlung von unten)  
(Foto: V. Eißfeller)



Auswechseln der Bodenfallen (Foto: N. Weland)

bestimmter Baumarten und ihre assoziierten Bodentiere, wie z.B. Regenwürmer, spielen eine Schlüsselrolle durch ihre direkten und indirekten Effekte auf das ganze Waldökosystem.



Einschlagbohrer für Streu- und Bodenproben zur Austreibung der Bodentiere  
(Foto: N. Weland)



Regenwurm in freier Wildbahn (am Lindig)  
(Foto: S. Schuch)

## Produktivität und Nährstoffflüsse von Bäumen und Waldbeständen

*Mascha Jacob, Christoph Leuschner,  
Frank Thomas*

Welche Auswirkung hat die Baumartenvielfalt auf das Waldökosystem? Sind Mischwälder genauso produktiv wie reine Buchenwälder? Wie unterscheiden sich die einzelnen Baumarten? Mit diesen spannenden Fragen, die nicht nur für Forstwissenschaftler und Ökologen relevant sind, beschäftigen wir uns in diesem Forschungsprojekt. Unser Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Rotbuche, dem häufigsten Laubbaum in Deutschland. Rotbuchenreiche Laubmischwälder sind die potenzielle natürliche Vegetation großer Teile Mitteleuropas. Das bedeutet, dass diese Wälder vorherrschend wären, wenn der Mensch nicht eingreift. Der Hainich weist zudem für mitteleuropäische Verhältnisse außergewöhnlich viele weitere Laubbaumarten auf, die in dieser Studie entlang eines Diversitätsgradienten untersucht wurden.

Das Projekt gliedert sich in drei Teilbereiche: 1. Messung und Berechnungen der oberirdischen Biomasse und Produktivität (aller Bäume, die einen Durchmesser von mehr als 7 cm haben), 2. Erfassung der Streuzersetzungsraten und die damit verbundenen Nährstoffflüsse, und 3. Ermittlung der Nährstoffvorräte in einzelnen Baumkompartimenten (Holz, Rinde, Blätter, Früchte, Streu). Der Zuwachs fast aller Bäume wurde auf 1,30 m Höhe (Brusthöhendurchmesser, BHD) mit dauerhaft angebrachten Zuwachsbändern gemessen. Der Streufall und die Menge der Früchte wurden mit 15 Streusammlern je Untersuchungsfläche erfasst. Die Biomasse eines Baumes wurde mit Hilfe von Modellen berechnet, die die Höhe, den BHD und baumartenspezifische Kronenholzanteile berücksich-

tigen. Die Streuzersetzung am Waldboden wurde in Kooperation mit Nadine Weland mit Streuzersetzungsbeuteln („litterbags“) gemessen, die mit der für die Untersuchungsfläche typischen Streuartmischung gefüllt waren. Im Labor wurden die Nährstoffgehalte von Holzbohrkernen, der Baumrinde, frischem Laub, abgefallenem Laub und den Früchten der verschiedenen Baumarten gemessen.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass sich die Baumarten in ihrer Produktivität deutlich unterscheiden. So investieren Esche und Rotbuche deutlich mehr in ihr Holzwachstum, während insbesondere die Linden mehr Energie in die Ausbildung der Blätter stecken. Diese Unterschiede machen sich bei der Gesamtbiomasse in den Beständen bemerkbar: Flächen, die hauptsächlich mit Rotbuche bestanden sind, kommen auf  $480 \text{ t ha}^{-1}$ , während die Mischwälder  $200 \text{ t ha}^{-1}$  auf die Waage bringen. Die Unterschiede kommen auch durch ehemals unterschiedliche Bewirtschaftung und damit verbundene Alters- und Höhenunterschiede der Bestände zustande. Die Produktivität aller Bestände war bei den Blattmengen mit ca.  $3,5 \text{ t ha}^{-1}$  vergleichbar hoch und über die drei Messjahre konstant. Im Jahr 2006 haben alle Baumarten viele Früchte ausgebildet (bis zu  $3 \text{ t ha}^{-1}$  in den Buchenbeständen). Diese Vollmast der Buchen hatte keinen Einfluss auf das Stammickenwachstum; die Holzproduktion war in allen Jahren höher als in den Mischbeständen. Die Nährstoffflüsse hingegen sind in den Mischbeständen schneller, selbst die schwer zersetzbar und vergleichsweise nährstoffarme Buchenstreu wird hier rascher abgebaut als in den reinen

Buchenbeständen. Auch weisen die Mischbestände generell höhere Nährstoffvorräte in den einzelnen Baumkompartimenten auf.

Wir konnten zeigen, dass der Nährstoffkreislauf in Mischwäldern durch die besser abbaubare und nährstoffreichere Streu zu höheren Elementvorräten im

Boden und in den Bäumen führt. Die vermutlich schnelleren Nährstoffumsätze in den Mischbeständen führen jedoch nicht generell zu einer erhöhten Produktivität der Bestände. Vor allem die Artzusammensetzung kann für die Gesamtproduktivität eines Baumbestandes und beispielsweise die Kohlenstofffixierung bedeutend sein.



Streusammler entlang eines Transektes zur Messung der Blatt- und Fruchtproduktion. (Foto: M. Jacob)



Streuzersetzungsbeutel, gefüllt mit Blättern verschiedener Baumarten. Mit diesen Beuteln wird die Abbaugeschwindigkeit der Streu ermittelt. (Foto: M. Jacob)

## Biomasse und Produktion von Feinwurzeln

*Catharina Meinen, Dietrich Hertel,  
Christoph Leuschner*

In der vorliegenden Studie wurden die Baumfeinwurzelsysteme in 12 Laubbaumbeständen im Nationalpark Hainich untersucht. Feinwurzeln sind wichtig für die Wasser- und Nährstoffaufnahme von Bäumen. Sie haben einen Durchmesser bis zu 2 mm und können bis zu mehreren Metern lang werden. Bisher ist noch nicht geklärt, wie und ob sich die Wurzelsysteme von Mischwäldern gegenüber Buchenreinbeständen unterscheiden. Denkbar wäre, dass sich Feinwurzeln in Mischwäldern stärker überlappen. Das würde zu einer höheren Biomasse in einer bestimmten Bodensäule führen. Da Wurzeln verschiedener Baumarten unterschiedliche Lebenserwartungen haben und verschieden schnell nachwachsen können, vermuteten wir einen höheren ‚Feinwurzelsatz‘ in den Mischbeständen.

Die Feinwurzeln einzelner Arten wurden anhand morphologischer Merkmale wie zum Beispiel der Struktur der Oberfläche, der Farbe und dem Verzweigungsmuster unterschieden. Zusätzlich wurden noch der Durchmesser, die Oberfläche und die Spitzenanzahl an den Feinwurzeln der unterschiedlichen Baumarten bestimmt. Diese Merkmale wurden bisher noch kaum erforscht, da die Untersuchungen sehr aufwändig und zeitintensiv sind. Während eines Zeitraums von 12 Monaten wurden die saisonalen Schwankungen der Feinwurzelmasse gemessen. Aus diesen Ergebnissen konnte mit Hilfe zweier unabhängiger Methoden (ingrowth cores, sequential coring) die Feinwurzelproduktivität errechnet werden.

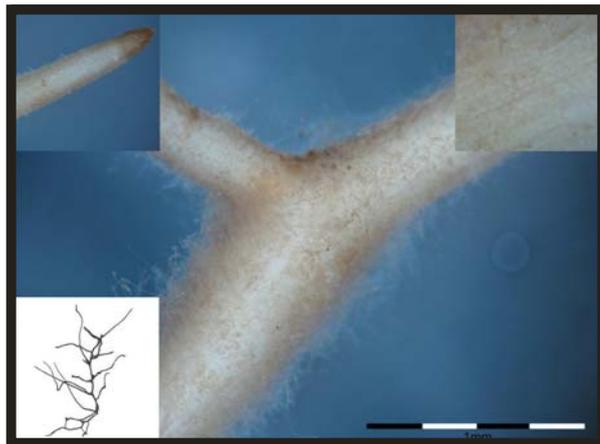
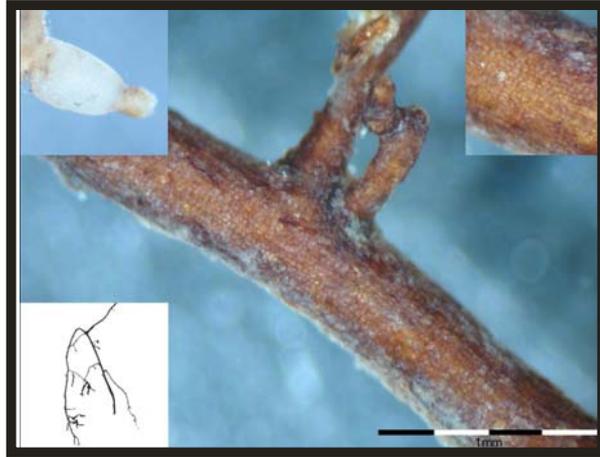
Die Feinwurzelbiomasse war in den Buchenbeständen und in den Mischwäldern sehr ähnlich (ca. 460 g m<sup>-2</sup>). Dabei ist mit bis zu 77 % der

Gesamtmasse der größte Teil der Feinwurzeln in den obersten 20 cm des Bodens konzentriert. Wir konnten zeigen, dass in den Mischbeständen die Feinwurzelproduktion größer war als in den reinen Buchenbeständen.

Wir fanden Belege für eine schnellere Feinwurzelregeneration nach einer Bodenstörung in den Mischbeständen im Vergleich zu den Buchenreinbeständen. Die Baumartenansprache anhand der Feinwurzeln eröffnet neue Perspektiven für weitere Studien über die Beeinflussung der Feinwurzelndynamik in Mischwäldern durch die Anwesenheit bestimmter Baumarten.



Bild von einer Buchenwurzel mit ectomykorrhizierten Wurzelspitzen (Foto: C. Meinen)



Wurzelfotos (*Catharina Meinen, Boris Rewald*)

Die Bilder zeigen Wurzelcharakteristika von *Acer pseudoplatanus* (Spitzahorn), *Fagus sylvatica* (Buche) und *Fraxinus excelsior* (Esche). Jedes Bild besteht aus vier Teilbereichen. Links oben ist die typische Wurzelspitze der jeweiligen Art abgebildet, rechts oben die Wurzeloberflächenstruktur und links unten die Verzweigungsstruktur. In der Mitte sieht man die Wurzel unter dem Mikroskop.

## Niederschlagsverteilung und Bodenwasserdynamik im Nationalpark Hainich

*Inga Krämer, Dirk Hölscher*

Für die Untersuchung von Diversitätseffekten auf Aspekte des Wasserkreislaufs wurden zwölf Waldflächen im Hainich Nationalpark ausgewählt. Dieser Baumdiversitätsgradient reichte von reinen Buchenbeständen zu Beständen mit elf Baumarten wie Winter- und Sommerlinde, Berg-, Spitz- und Feldahorn, Hainbuche und Esche. In dieser Teilstudie wurden Bestandteile des Wasserkreislaufes wie Stammabfluss, Bestandesniederschlag (Regen, der durch das Kronendach tropft), Kronendachinterzeption (der Teil des Regens, der auf den Blättern und Zweigen hängen bleibt und wieder verdunstet) und Bodenwasserdynamik untersucht. Zusätzlich wurde in Zusammenarbeit mit anderen Mitgliedern des Graduiertenkollegs die chemischen Inhaltstoffe des Niederschlagswassers (z.B. Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor) vor und nach Passieren des Kronendaches analysiert und der Wasserkreislauf modelliert.

Untersuchungsmethoden waren zum einen die Messung des Niederschlags auf den zwölf Flächen mit je 15 Regensammlern. Gleichzeitig wurde der Freilandniederschlag an fünf Orten am Waldrand gemessen. Der Stammabfluss wurde an insgesamt etwa 50 Bäumen der fünf Hauptbaumarten (Buche, Linde, Esche, Hainbuche und Bergahorn) mit Hilfe von stammumfassenden Rinnen in Regentonnen geleitet und gleichzeitig mit dem Wasser aus den Regensammlern alle zwei Wochen abgelesen und geleert. Die Interzeption erhält man, wenn man Stammabfluss und Bestandesniederschlag vom Gesamtfreilandniederschlag abzieht. Zusätzlich wurden die Regenmengen beprobt und im Labor analysiert (siehe Studie von Ulrike Talkner). Mit einer

Fischaugenlinsen-Kamera wurden Photos direkt über den Regensammlern senkrecht nach oben ins Kronendach gemacht, um den Kronenschluss zu bestimmen. Das Bodenwasser wurde mit zwei unterschiedlichen Messmethoden (FDR-Sonden und Tensiometer) bis maximal 70 cm Tiefe auf den zwölf Flächen untersucht. Alle Messungen wurden von Sommer 2005 bis Herbst 2007 durchgeführt.

Im Jahr 2005 lag der Freilandniederschlag bei 601 mm, 2006 bei 518 mm und 2007 bei 838 mm. Der größte Teil des Regens tropfte durch das Kronendach hindurch, im Durchschnitt waren es 76% vom Freilandniederschlag. Das war in allen Jahreszeiten recht ähnlich. Damit wurde das Ergebnis von vielen anderen vorherigen Studien bestätigt, dass im Sommer durchaus genauso viel Regen durch die Krone tropft wie im Winter, trotz der vorhandenen Belaubung. Erklärt wird das damit, dass im Sommer meistens Starkregen auftreten und im Winter eher Nieselregen, der auch an den kleinen Zweigen und Ästen hängen bleibt. Generell kam in den Mischbeständen mehr Regen durch das Blätterdach als in den reinen Buchenbeständen. Mögliche Gründe sind, dass die Buchenbestände eher höher sind, längere Kronen haben und die Kronenoberfläche rauer war. Der Kronenschluss war auf allen Flächen recht ähnlich und lag im Sommer durchschnittlich bei 88% (das heißt 12% waren Lücken in der Krone). Der Stammabfluss im gesamten Zeitraum lag zwischen 0 und 6% vom Freilandniederschlag (durchschnittlich 3%) und war bei den Buchen am höchsten. Linden, Bergahorn und Eschen hatten nur sehr wenig Stammabfluss. Weil der Bestandesniederschlag mit zunehmender Baumartendiversität tendenziell eher zunahm,

der Stammabfluss aber abnahm, zeigt die Interzeption keine gerichtete Tendenz entlang des Baumartendiversitätsgradienten. Sie lag durchschnittlich bei 21% vom Freilandniederschlag.

Die Bodenwasseruntersuchungen haben gezeigt, dass der Boden auf den Untersuchungsflächen im Hainich meistens Ende Mai/Anfang Juni auszutrocknen begann und erst im Spätherbst oder Winter wieder feuchter wurde. Im Sommer 2006 wurden die niedrigsten Werte im gesamten Untersuchungszeitraum gemessen und der Bodenwassergehalt sank von Anfang Juni bis Ende Juli rapide ab. Das geschah allerdings in den Mischbeständen viel schneller als in den buchendominierten Flächen. Dieser Effekt konnte daher am besten durch die Baum-

artendiversität der Untersuchungsflächen erklärt werden: mit zunehmender Baumartendiversität wurde das Bodenwasser schneller erschöpft und es kam zu Wasserknappheit im weiteren Verlauf der Austrocknung. Vermutlich hat auch die Krautschicht, die überwiegend in den Mischbeständen vorhanden war, einen recht bedeutenden Anteil des Bodenwassers zur Transpiration genutzt

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass bei der Untersuchung vom Wasserkreislauf in Waldbeständen viele Faktoren zusammenspielen und eine klare Ursachentrennung schwierig ist. Allerdings scheinen sowohl einzelne Baumarten als auch die Baumartendiversität eine Rolle für die Niederschlagsverteilung und die Bodenwasserdynamik zu spielen.



Bodenwasser-Messungen  
(Foto: D. Herlemann )



Stammabfluss-Messungen an einer  
Buche (Foto: I. Krämer)



Regensammler entlang eines  
Transektes (Foto: I. Krämer)

Hemisphärische Fotos.  
Aufnahmen der Baumkronen im Winter  
(links) und im Sommer (rechts)  
(Fotos: I. Krämer)



# Wasseraufnahme, Xylemsaftfluss und Kronendachtranspiration

*Tobias Gebauer, Viviana Horna,  
Christoph Leuschner*

Dieses Projekt untersucht den Wasserfluss vom Boden durch die Pflanze in die Atmosphäre (Boden-Pflanze-Atmosphäre-Kontinuum, SPAC) in unterschiedlich artenreichen Laubwaldbeständen. Im reinen Buchenbestand, auf Flächen mittlerer Baumartenvielfalt (Buche, Linde und Esche) und in Beständen hoher Baumartenvielfalt (Buche, Linde, Esche, Ahorn und Hainbuche) werden der Wasserverbrauch der unterschiedlichen Laubbaumarten sowie der verschiedenen Bestände über mehrere Jahre analysiert. Es wurden folgende Ziele verfolgt:

- Quantifizierung der täglichen, saisonalen und jährlichen Summen der Kronendachtranspiration und Kronendachleitfähigkeit in unterschiedlich artenreichen Beständen,
- Ermittlung von baumartspezifischen Unterschieden im Wassertransport und der hydraulischen Architektur
- Auswirkungen von Mikroklima und Bodenwasser auf den Wasserverbrauch einzelner Arten sowie Bestände mit unterschiedlicher Baumdiversität,
- Bestimmung von Blattleitfähigkeit, Blattwasserpotential und hydraulischer Leitfähigkeit, um artspezifische Regulationsmechanismen der Transpiration identifizieren zu können,
- Bilanzierung der Wasserkreisläufe in Beständen unterschiedlicher Baumdiversität (in Kooperation mit Inga Krämer).

Folgende Untersuchungsmethoden wurden eingesetzt:

- Wärmeausbreitungsmethode (nach Granier) zur Ermittlung des Xylemsaftflusses (Wassertransport) im Baumstamm
- Porometer (LiCor 1600) zur Messung der Blattleitfähigkeit und Transpiration auf Blattebene
- Scholander-Druckbombe für Blattwasserpotentialmessungen
- Splintflächenbestimmung (wasserleitende Holzfläche) mit Hilfe einer Farbstoffinjektionstechnik in den Wasserstrom von Baumstämmen und anschließender Holzbohrkerngewinnung
- Mikroklimamessungen auf den Untersuchungsflächen (Luftfeuchte und Lufttemperatur in 2m Höhe, in der Baumkrone und über dem Bestand)
- Ermittlung der Bodenfeuchte

Ein mobiler Hubwagen ermöglichte Probenahmen in den Baumkronen bis zu einer Höhe von maximal 30 m. In den Jahren 2005 und 2006 herrschten unterschiedliche klimatische Bedingungen – durchschnittlicher Regenfall 2005 (601 mm) und trockenere Bedingungen 2006 (518 mm) als im langjährigen Mittel (590 mm; Daten: Meteomedia AG, langjähriges Mittel: Deutscher Wetterdienst) (siehe auch Inga Krämer). In den Vegetationsperioden der beiden Jahre konnten auch auf Bestandesebene unterschiedliche Transpirationsraten gemessen werden. Im relativ feuchteren Jahr 2005 zeigte der baumartenreichste Bestand eine um 50 % höhere Kronendachtranspiration (158 mm)

als die artenärmeren Bestände (97 und 101 mm). Dass sich die beiden wenig diversen Bestände kaum unterscheiden, liegt vor allem an dem hohen Buchenanteil von etwa 75 % im Bestand mittlerer Diversität. Im Gegensatz zu 2005 unterschieden sich die drei Flächen nicht in der jährlichen Kronendachtranspiration (128 bis 139 mm) im trockeneren Jahr 2006. Vor allem zu Vegetationsbeginn bis Anfang Juli 2006 sorgte der hohe Anteil an Linde im artenreichsten Bestand für eine starke Bodenwasseraufzehrung und damit nachfolgend für einen verstärkten Trockenstress.

2005 wurde etwa 30 % (Bestände geringer Diversität) und 50 % (artenreichster Bestand) des in der Vegetationsperiode gefallenen Niederschlages von den Bäumen an die Atmosphäre über Transpiration wieder abgegeben; im Jahr 2006 wurde von allen Beständen etwa 40 % des gefallenen Niederschlages transpiriert. Verglichen mit anderen Wäldern sind dies relativ geringe Werte.



Gut verkabelt ist ein Baum, dessen Xylemsaftstrom mit Hilfe vieler Sensoren in verschiedenen Holztiefen gemessen wird. (Foto:T. Gebauer)

Auf Baumartebene stellt sich die Esche eindeutig als toleranteste, die Buche als empfindlichste Art gegenüber Trockenstress dar. Der Bergahorn kann als Trockenstress vermeidende Art eingestuft werden. Als Ergebnis dieser Arbeit lassen sich die Arten hinsichtlich ihre Trockenstresstoleranz in die folgende Reihenfolge bringen: Esche > Hainbuche > Winterlinde > Bergahorn > Buche.

Schlussfolgernd kann man sagen, dass bei einer prognostizierten Zunahme der Frequenz und Intensität von sommerlichen Hitzewellen in Mitteleuropa Baumarten wie Esche und Hainbuche einen Vorteil gegenüber der zurzeit noch dominierenden Buche erlangen werden. Baumarten mit einem hohen Wasserverbrauch, wie zum Beispiel Linde, können die Bodenwasserreserven bereits früh im Jahr reduzieren und somit Trockenstress in trockenen Jahren verstärken. Dies kann zu einer geringeren Ökosystemstabilität im Mischwald führen.

Der Wasserkreislauf in Wäldern wird weniger vom Baumartenreichtum beeinflusst als von den funktionalen Eigenschaften der anwesenden Baumarten.



Tobias Gebauer bei nächtlichen bzw. frühmorgendlichen Blattwasserpotentialmessungen mit einer Scholander-Druckbombe (Foto: S. Haverstock)

## Böden im Hainich – Nährstoffvorräte, Stickstoffumsätze und Nettoaufnahme von Methan

Anja Guckland, Heiner Flessa

Baumarten können Bodeneigenschaften, Prozesse und zugehörige Bodenfunktionen beeinflussen. Während Unterschiede zwischen Nadelbäumen und Laubbäumen häufig untersucht wurden, ist der Einfluss verschiedener Laubbaumarten in Mischbeständen auf Bodenprozesse weitgehend unbekannt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde deshalb die Produktion und Zusammensetzung der Laubstreu, die Bodenversauerung, die austauschbaren Nährstoffe und die Gehalte der organischen Bodensubstanz bestimmt. Weiterhin haben wir die Umsätze von Stickstoff (N) im Boden und die Senkenstärke des Waldbodens für atmosphärisches Methan (CH<sub>4</sub>) untersucht.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die mit der Streu eingetragene Calcium-, Magnesium-, und Stickstoffmenge mit zunehmender Baumartenvielfalt deutlich ansteigt (Calcium von 47 auf 88; Magnesium von 3,8 auf 7,9 und Stickstoff von 21 auf 51 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup>) – und das bei gleichbleibend hoher Streumenge in allen untersuchten Beständen! Dementsprechend sind auch die Vorräte von Calcium, Magnesium und Stickstoff in den obersten 30 cm des Mineralbodens 12–15, 4–13 bzw. 2,5-mal höher unter Mischbeständen. Die Buche beeinflusst die Böden vor allem durch ihre schwer zersetzbare und nährstoffärmere Streu. Wir messen in den reinen Buchenbeständen niedrigere pH-Werte und eine geringere Basensättigung im Oberboden (pH 4,3 vs. 5,7; Basensättigung 15–20% vs. 80–100%). Der geringere pH-Wert führt ausserdem zu sehr viel höheren Mengen an austauschbarem Aluminium und Mangan.

Nahezu der gesamte Stickstoff – in Form von Ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) und Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) – wurde von Mikroorganismen verbraucht.

Wir sprechen daher von einem sehr engen Stickstoffkreislauf mit einer mittleren geschätzten Verweildauer im Humus von 2–4 Jahren in den Mischbeständen und 13 Jahren in den Buchenwäldern.

Die wichtigsten Faktoren, die die Variabilität der Bodenversauerung und der Nährstoffvorräte im Boden verursachen, waren der Tongehalt im Unterboden und die unterschiedliche Qualität der Laubstreu. Die Umverteilung von Nährstoffen mit der Laubstreu hat ein hohes Potenzial der Bodenversauerung entgegenzusteuern und die Basensättigung in diesen Lössböden über Kalkstein zu erhöhen. Die Nettoaufnahme von CH<sub>4</sub> wurde nicht von der Buchenhäufigkeit beeinflusst. Aus den Ergebnissen lässt sich schlussfolgern, dass die Klimaveränderung mit dem Trend zu trockeneren Sommern und wärmeren Wintern im Hainich zu steigenden Methan-Aufnahmeraten führen wird.



Closed-chamber-Messungen der Methan-Flüsse  
(Foto: A. Guckland)

# Die Rolle der Baumvielfalt auf die bodenmikrobielle Gemeinschaft im Nationalpark Hainich

Carolin Thoms, Gerd Gleixner

Im Forschungsfeld der Biodiversität sind die Einflussfaktoren, die die Zusammensetzung von Mikroorganismen im Boden von Waldökosystemen steuern noch weitgehend unerforscht. In Waldböden kann die vertikale und horizontale Verteilung von Mikroorganismen stark variieren. Die höchste mikrobielle Dichte findet sich in den ersten 30 cm unter der Bodenoberfläche und hier speziell in den ersten Zentimetern, aufgrund des hohen Nahrungsangebotes durch die Zersetzung von Streu-, Pflanzen- und Tierresten. Die Mikroorganismen im Boden umfassen Bakterien und Pilze. Unter aeroben Bedingungen werden komplexe Substrate wie Lignin oder die Lignocellulosekomplexe hauptsächlich von Pilzen zersetzt. Bakterien verwerten die entstandenen Abbauprodukte. Ob bestimmte Streuarten spezifische Pilz- und Bakterienarten aktivieren, ist noch unbekannt. In tieferen Bodenschichten, wo der Einfluss der Streuzersetzung abnimmt, steigt der Einfluss anderer Faktoren wie Wurzelexudate, Tier- und Pflanzenreste (Detritus) sowie abiotischer Faktoren wie Korngrößenverteilung, Wassergehalt und pH-Wert.

In dieser Untersuchung geht es speziell um den Einfluss unterschiedlicher Baumartenzusammensetzungen auf die Bodenmikroorganismen. Zunächst sollte allgemein geklärt werden, ob das unterschiedliche Angebot an Streuarten auf den Untersuchungsflächen zu einer Aktivierung unterschiedlicher Gruppen von Mikroorganismen führt.

Auf insgesamt neun Flächen der drei Diversitätsstufen des Graduiertenkollegs wurden mit Hilfe eines Bodenbohrers Bodenmischproben in verschiedenen

Tiefenintervallen: 0 – 5 cm, 5 – 10 cm und 10 – 20 cm entnommen. Mit Hilfe der Phospholipid Fatty Acid (PLFA)-Methode können verschiedene mikrobielle Gruppen unterschieden werden, wobei die Tatsache genutzt wird, dass diese Gruppen spezielle Fettsäuren in ihrer Zellmembran bilden, die sie voneinander unterscheiden.

Die Ergebnisse zeigen, dass im Mittel eine steigende Baumartenvielfalt und somit ein höheres Angebot an Streuarten zu einer Steigerung der mikrobiellen Biomasse im Boden (0-20 cm) führt. Die Zusammensetzung der Mikroorganismen zeigt allerdings keine bis kaum nachweisbare Unterschiede in den ersten Zentimetern des Bodens. Mit zunehmender Bodentiefe konnten jedoch strukturelle Verschiebungen nachgewiesen werden. Unsere Ergebnisse tragen dazu bei, den Zustand von Waldböden hinsichtlich der Umsetzung und Speicherung von organischem Material zukünftig besser bewerten zu können



Carolin Thoms bei der Bodenprobenahme mit dem Bodenbohrer „Split tupe“ der Firma Eijkelkanp

# Einfluss der Baumartenvielfalt und –nachbarschaft auf den Dickenzuwachs der Buche und die Bodensamenbank

Inga Mölder, Christoph Leuschner

Viele kürzlich veröffentlichte Studien beschäftigen sich mit Effekten der Artenvielfalt auf Funktionen des Ökosystems, doch nur wenige Arbeiten untersuchen Langzeiteffekte. Deshalb werden in dieser Arbeit Langzeiteffekte in den Mittelpunkt gestellt und mittels Untersuchungen der Bodensamenbank sowie durch Jahrringanalysen erforscht.

Dabei wurden drei Haupthypothesen überprüft:

1. Die Artidentität der benachbarten Bäume und ihre speziellen Eigenschaften können Reaktionen im Dickenzuwachs der Buche sowie die Bodensamenbank signifikant beeinflussen. Die Baumartenvielfalt selbst ist dabei nur von untergeordneter Bedeutung.
2. Die Baumartenvielfalt in der Nachbarschaft hat einen Einfluss auf die Fähigkeit von Buchen, auf Störungen zu reagieren.
3. Einige Prozesse beeinflussen gleichzeitig die Baumartenvielfalt, den Dickenzuwachs der Buche sowie die Bodensamenbank.

Für die Untersuchung der Bodensamenbank wurden in 12 Waldbeständen Bodenproben genommen. Ein Drittel der Proben stammte aus Buchenreinbeständen, ein Drittel aus Mischbeständen mit Buche, Esche sowie Linde und ein Drittel aus artenreichen Waldbeständen mit Buche, Esche, Linde, Ahorn und Hainbuche. Im Gewächshaus wurden die im Boden enthaltenen Pflanzensamen zum Keimen gebracht, die Keimlinge gezählt und den Pflanzenarten zugeordnet. Die Bodensamenbank der Mischbestände

erwies sich nicht nur als artenreicher als die Bodensamenbank der Buchenreinbestände, sondern enthielt auch mehr keimfähige Pflanzensamen. Die Artenzahl in der Samenbank hing jedoch nicht unmittelbar mit der Artzusammensetzung in der Krautschicht zusammen. Vielmehr zeigten die Artenzusammensetzungen der Krautschicht und der Samenbank nur eine geringe Ähnlichkeit. Verantwortlich für diesen Effekt sind neben dem bodenverändernden Effekt der Streu der Baumarten die früher unterschiedlichen Formen der Waldbewirtschaftung in den Rein- und Mischbeständen.

Die Bewirtschaftung hat die Artenzusammensetzung der Baumschicht beeinflusst. Während einige Buchen als so genannte „helfende Baumarten“ in Mischbeständen den Wuchs von Edellaubhölzern günstig beeinflussen sollten, sind andere Buchen in der Nachbarschaft von Buchen aufgewachsen. Bei einem Vergleich des Dickenzuwachses von Buchen in Buchennachbarschaft und von Buchen in Nachbarschaft anderer Baumarten zeigte sich, dass auf tonarmen Böden letztere einen größeren durchschnittlichen Zuwachs haben. Des Weiteren waren diese Bäume weniger stark von Zuwachseinbrüchen aufgrund des Trockenjahres 1976 betroffen. Die Untersuchung stabiler Isotope, welche Rückschlüsse auf den Trockenstress eines Baumes zulassen ( $\delta^{13}\text{C}$ - + Signaturen), zeigt noch heute Muster in den Jahrringen, die sich u.a. durch die frühere Bewirtschaftung der Bestände erklären lassen.

Der Wald, wie er sich uns heute mit seinen Bäumen und krautigen Pflanzen darstellt, ist sowohl ein Ergebnis der Konkurrenz zwischen Pflanzen als auch der Waldbewirtschaftung, durch welche

der Mensch die Konkurrenzverhältnisse aktiv beeinflusste. Noch Jahrzehnte nach dem Ende der regelmäßigen Holznutzung sind Spuren dieses menschlichen Einflusses

in den Jahrringen und in der Bodensamenbank zu finden.



Keimungsversuch zur Bodensamenbank. In den Schalen wurde der Boden aus Waldbeständen mit unterschiedlicher Baumartenzahl und aus unterschiedlichen Bodentiefen (bis zu 20cm) ausgebracht (Foto: I. Mölder)



Jahrringuntersuchungen an einer Buche. Der aus dem Stamm einer lebendigen Buche entnommene Bohrkern (Durchmesser 5mm) wird mit einem Skalpell angeschnitten und einem Kontrastmittel eingerieben, um die Jahrringe sichtbar zu machen und ihre Breite vermessen zu können. In der Mitte des Photos ist das Zentrum des Bohrkerns zu sehen, d.h. die ältesten Jahrringe dieses Baumes. (Foto: I. Mölder)

## Nutzen von Naturleistungen und Artenvielfalt

*Sandra Rajmis, Jan Barkmann,  
Rainer Marggraf*

Der Nationalpark Hainich beheimatet viele Tier- und Pflanzenarten. Zusammen mit ihrem Lebensraum sind sie eine Quelle vieler Naturleistungen, die die Gesellschaft nutzt. Einige Naturleistungen sind gut bekannt. Zum Beispiel erholen sich viele Einheimische und Touristen im Wald. Der Hainich hat daher eine Erholungsfunktion, die von der Vielfalt seiner Tier- und Pflanzenarten unterstützt wird. Andere Naturleistungen artenreicher Wälder wirken eher im Verborgenen. Dazu gehören die Speicherung des Treibhaus-Gases Kohlendioxid und der Schutz vor schädlichen Insekten und Stürmen.

In unserem Forschungsprojekt haben wir mit Hilfe einer wissenschaftlichen Befragung untersucht, ob und in welchem Umfang die Menschen in der Umgebung des Hainich die eher verborgenen Naturleistungen des Hainich und seiner Artenvielfalt schätzen. In unserem Fragebogen ging es neben dem Klimaschutz und dem Schutz vor schädlichen Insekten und Stürmen um die Stärkung der Widerstandskraft der Wälder im Hainich gegen Umweltgefahren, die heute noch gar nicht erkennbar sind. Zusätzlich haben wir untersucht, welche Bekämpfungsmaßnahmen gegen die Riesenbärenklau-Pflanze, die eine giftige eingewanderte Pflanze ist, von der Bevölkerung erwünscht sind.

Insgesamt wurden 302 Bürgerinnen und Bürger aus 14 Gemeinden in den Kreisen Unstrut-Hainich und Wartburg sowie der Stadt Eisenach befragt. Die Befragung wurde zwischen Oktober und Dezember 2006 durchgeführt. 282 Befragte haben den Fragebogen vollständig beantwortet. Unsere Ergebnisse zeigen, dass die befragten Einwohner durchschnittlich 20,- €

zusätzlich für einen Klimaschutz durch Aufforstungen ausgeben würden. Zudem wünschen sich die Befragten eine Stärkung der Widerstandskraft gegen Stürme und Schädlinge sowie gegen neue oder unbekannte Risiken in ähnlichem Ausmaß. Für den Riesenbärenklau wird die Entfernung der Pflanze nur in Einzelfällen gewünscht, keine radikale Bekämpfung. Insgesamt wünschen sich die Bürgerinnen und Bürger in den Kreisen Unstrut-Hainich und Wartburg mehr Aktivitäten um die Naturleistungen des Hainich auch langfristig zu schützen.

Die Ergebnisse können zusammen mit ökologischen Studien auch dafür genutzt werden, um Schäden zu beziffern, die durch unvermeidbare Eingriffe in die Natur entstehen, etwa beim Straßenbau. Auch in der Landschafts- und Raumplanung bieten unsere Zahlen neue Argumentationsansätze. Beispielweise müsste den verborgenen Naturleistungen eine höhere Bedeutung zukommen. Nicht zuletzt helfen unsere Daten, neben der Kostenseite und auch die Nutzenseite von Naturschutzmaßnahmen bestimmen zu können.



Teilnehmer der Befragung  
(Foto: Sandra Rajmis)

## Dynamik von Phosphor in Böden und von Nährstoffen im Kronenraum

*Ulrike Talkner, Friedrich Beese*

Nährstoffvorräte, -konzentrationen und -umsätze wurden weltweit in den verschiedensten Waldökosystemen intensiv untersucht. Dabei wurden sowohl die Prozesse im Boden als auch im Kronenraum erforscht. In Studien über Wälder der gemäßigten Zonen lag der Schwerpunkt hinsichtlich der Makronährstoffe auf Kohlenstoff und Stickstoff, während Phosphor eher in tropischen Wäldern von Interesse war. Im Zuge zunehmender Stickstoffdeposition ist bzw. könnte Phosphor jedoch ein wachstumslimitierender Faktor vieler Wälder der gemäßigten Zonen werden. Über die Auswirkungen zunehmender Baumartenvielfalt auf Bodennährstoffe und Nährstoffkreisläufe in gemäßigten Buchenwäldern ist wenig bekannt. Untersuchungen zum Einfluss der Baumartenzusammensetzung auf Phosphorvorräte und -konzentrationen im Boden und den Phosphorumsatz fehlen fast ganz.

Wir verglichen die Vorräte und Konzentrationen von Phosphor im Boden und den Phosphorumsatz reiner Buchenbestände mit denen von Mischbeständen. Außerdem untersuchten wir die Phosphatsorptionskapazität und den -transport in Waldböden. Zudem verglichen wir die Deposition und den Kronenraumaustausch von Phosphor und anderen Nährstoffen reiner Buchenbestände mit denen von Mischbeständen.

Die Vorräte an organisch gebundenem Phosphor waren geringer in den Böden reiner Buchenbeständen ( $378 \text{ kg ha}^{-1}$ ) als in denen der Mischbestände ( $710\text{-}772 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Dieser Unterschied kann jedoch hauptsächlich den niedrigeren Tongehalten der reinen Buchenbestände zugeschrieben werden, wohingegen die

Baumarten eine geringere Rolle in der Phosphorspeicherung dieser Böden spielen. Der Phosphoreintrag mit der Blattstreu in den Boden zeigte eine klare Tendenz, mit steigender Baumartenvielfalt zuzunehmen ( $1,4 - 2,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ). Die Umsatzzeit von Phosphor in der organischen Auflage war kürzer in Mischbeständen (2 – 3 Jahre) als in reinen Buchenbeständen (10 Jahre). Folglich wurde der Eintrag und Umsatz von den Baumarten beeinflusst. Jedoch haben der niedrigere pH-Wert, die geringere Basensättigung und Kationenaustauschkapazität der reinen Buchenbestände die Streuzersetzung durch Veränderungen in der Zusammensetzung der Bodenbiota beeinflusst.

Die Böden enthielten vergleichsweise geringe Mengen an Phosphor, was als mangelhaftes Phosphorangebot gedeutet werden kann. Jedoch waren die Phosphorkonzentrationen der frischen Buchenblätter in einem Bereich, der auf gute Versorgung mit diesem Nährstoff hindeutet.

Die Ergebnisse zeigen, dass es schwer ist, die Effekte der Baumartenvielfalt auf Boden-Phosphor und Nährstoffkreisläufe von denen der Bodeneigenschaften klar zu trennen. Die Böden der Waldbestände unterschieden sich ursprünglich in einigen Bodeneigenschaften, v.a. im Tongehalt. Jedoch ist bekannt, dass Bäume Bodeneigenschaften beeinflussen können, die schnellen Veränderungen unterliegen (pH-Wert, Basensättigung und Kationenaustauschkapazität). Folglich wurden die Unterschiede zwischen den reinen Buchenbeständen und den Mischbeständen noch ausgeprägter. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Baumarten sowohl eine direkte als auch eine indirekte Rolle in der Nährstoffspeicherung und den -kreisläufen spielen. Sie haben einen

Einfluss auf Bodeneigenschaften, die wiederum zu Veränderungen in der Phosphorspeicherung und dem Phosphortrans-

port, dem Umsatz von organischem Material und der Kronenraumauswaschung von Ionen führen.



*Ulrike Talkner bei der Installation von Saugkerzen zur Entnahme von Bodenproben.*

## Waldwachstumssimulation und räumliche Analysen

*Maximilian Daenner, Branislav Sloboda,  
Joachim Saborowski*

Innerhalb des Projektes wurde ein webbasiertes räumliches Informationssystem für das Graduiertenkolleg 1086 entwickelt. Ziel für das Informationssystem war zum einen der Erhalt und die Strukturierung des innerhalb der Teilprojekte gewonnenen Wissens und der Daten und zum anderen der Transfer von Daten und Wissen zwischen den Projekten und den Forschungsperioden.

Ein weiterer Forschungsbereich waren Waldwachstumssimulationen und räumliche Analysen. Die Ausnutzung des vorhandenen Raums durch die einzelnen Bäume hat Auswirkungen auf das Wachstum des Einzelbaums und auf die Produktivität des Bestandes. Dabei sind die einzelnen Bäume in ihren Möglichkeiten den vorhandenen Raum auszunutzen eingeschränkt. Im Gegensatz zu Tieren und Insekten, die sich frei bewegen können, wird bei Pflanzen die Position von der Keimung des Samens an fest vorgegeben. Eine Reaktion auf die Ausgangsposition erfolgt dann durch asymmetrisches Kronenwachstum. Diese Asymmetrie erfolgt allerdings auf Kosten der physikalischen Stabilität des einzelnen Baumes. Die einzelnen Baumarten unterscheiden sich einerseits in ihrer Fähigkeit Ressourcen zu erschließen und andererseits in ihren physikalischen Eigenschaften. Auf den Untersuchungsflächen im Hainich wurde den Fragen nachgegangen: Wie wird der verfügbare Raum von den Bäumen erschlossen und welche räumliche Muster bilden sich dabei aus? Erschließen artenreichere Bestände den Raum effizienter als artenarme Bestände?

Um diese Fragen zu beantworten wurden die Positionen der einzelnen Bäume und deren Kronen eingemessen und mit räumlich statistischen Methoden untersucht. Es wurden eine regelmäßige,

zufällige oder aggregierte Anordnungen (Abbildung 1) als mögliche Muster gewählt und getestet in wie weit sich die Stamm- und Kronenpositionen der Bäume der Versuchsflächen davon unterscheiden. Für jedes dieser Muster findet man Beispiele in der Natur. Das Auftreffen von Regentropfen auf dem Boden ist ein Beispiel für ein zufälliges Muster. Die Ansammlung von Bakterien um eine Nährstoffquelle herum ist ein Beispiel für ein aggregiertes Muster. Regelmäßige Muster findet man in der Anordnung von Atomen in einem Kristallgitter. Auf den Versuchsflächen im Hainich bilden die Stammfußpunkte ein zufälliges Muster, Die Kronen neigen dazu regelmäßige Strukturen einzunehmen (Abbildung 2). Die Ausgangssituation der Bäume verhält sich also eher so wie das Aufkommen von Regentropfen auf dem Boden während die Kronen durch asymmetrisches Wachstum versuchen ein Muster ähnlich derer von Atomen in einem Kristallgitter einzunehmen. Obwohl sich die einzelnen Baumarten in ihrer Neigung den Abstand zu ihrem Nachbarn zu vergrößern unterscheiden - Buche, Ahorn und Linde regiert am stärksten während Eichen, Eschen und Hainbuchen weniger stark ihre Krone verschieben, sind die gebildeten Muster in den unterschiedlichen artenreichen Beständen der Versuchsflächen gleich. Die Kronenmuster sind über die Distanz von bis zu 5 Meter regelmäßiger strukturiert als ihre Stammfußpunkte.

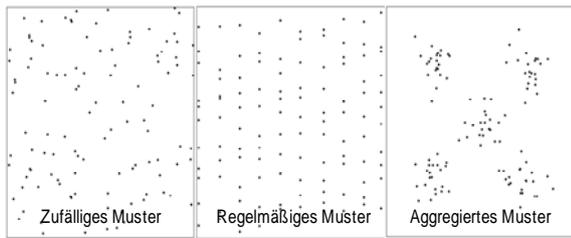


Abbildung 1: Die drei gewählten Grundmuster als Punktverteilung

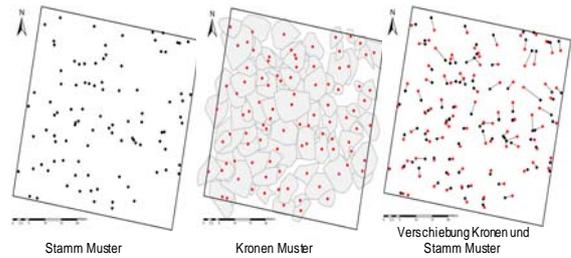


Abbildung 2: Kronen und Stamm Punktmuster und die Verschiebung zwischen den Kronen und Stamm Punkten

Weiterhin interessant ist dann die Frage wie viel an Produktivitätssteigerung durch die Verschiebung des Kronenmusters erreicht wird? Um diese Frage beantworten zu können benötigt man zu den Versuchsflächen vergleichbare Bestände ohne Kronenverschiebung. Hierfür wurde auf ein Computermodell zurückgegriffen (Abbildung 3). In diesem können die Versuchsbestände mit und ohne Kronenverschiebung nachgebaut werden. Durch Simulationen gewinnt man einen Einblick wie stark sich Überschildung, Biomassen-,

Höhen- und Dickenwachstum in den Beständen unterscheiden. In alle Fällen erreichten Bestände mit asymmetrischem Wachstum höhere Ergebnisse. Die Überschildung mit regelmäßigen Kronenmuster ist im Mittel war um 8,7% höher (Abbildung 3). Nach 25 Jahren Wachstum hatten die Bestände mit dem regelmäßigeren Kronenmuster um 3% mehr an Biomasse zugelegt. Ihre Stämme waren um 0,6% dicker und sie waren um 0,3% höher als die Bestände ohne asymmetrisches Wachstum.

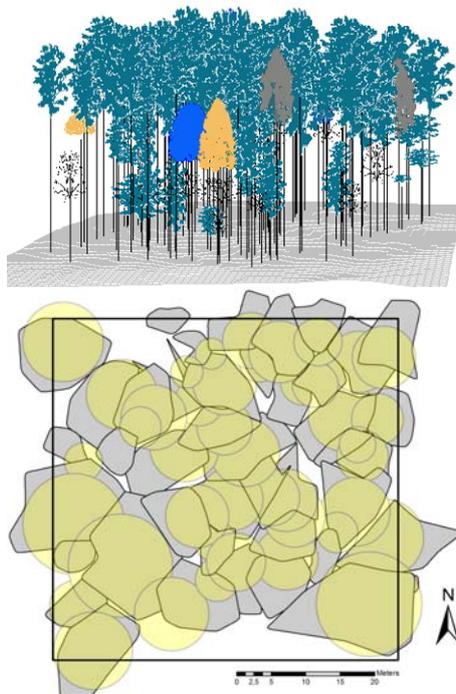


Abbildung 3: Oben ein Ausschnitt aus einer Wachstumssimulation ohne Verschiebung der Kronen. Unten die Überlagerung der Überschildung der Kronen mit asymmetrischem Wachstum und regelmäßigem Kronenmuster (grau) und symmetrischem Wachstum und zufälligem Kronen Muster (gelb).

## Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle sehr herzlich bei der Verwaltung des Nationalparks Hainich für die gute Zusammenarbeit und großzügige Unterstützung bei all unseren Forschungsarbeiten bedanken.

Ohne die Finanzierung der Deutschen Forschungsgesellschaft wäre dieses Projekt nicht durchführbar gewesen.

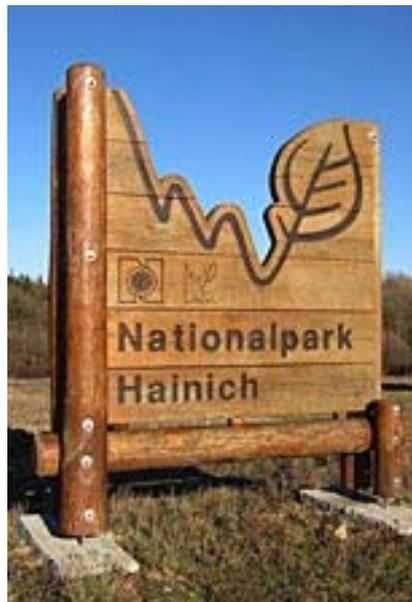
Stefan Fleck erstellte dankenswerterweise die Vorlage des Einleitungstextes.

## Weiterführende Literatur

- Cesarz S, Fahrenholz N, Migge-Kleian S, Platner C, Schaefer M, 2007.** Earthworm communities in relation to tree diversity in a deciduous forest. *European Journal of Soil Biology* 43: 61-67.
- Druebert C, Lang C, Valtanen K, Polle A, 2009.** Beech carbon productivity as driver of ectomycorrhizal abundance and diversity. *Plant Cell Environment*. 32, 992-1003, doi:10.1111/j.1365-3040.2009-01983.x
- Gebauer T, Horna V, Leuschner C, 2008.** Variability in radial sap flux density and sapwood area among seven co-occurring temperate broad-leaved tree species. *Tree Physiology*. 28: 1821-1830.
- Guckland A, Flessa H, Prenzel J, 2009.** Controls of temporal and spatial variability of methane uptake in soils of a temperate deciduous forest with different abundance of European beech (*Fagus sylvatica* L.). *Soil Biology and Biochemistry* 41: 1659-1667.
- Guckland A, Jacob M, Flessa H, Thomas FM, Leuschner C, 2009.** Acidity, nutrient stocks and organic matter content in soils of a temperate deciduous forest with different abundance of European beech (*Fagus sylvatica* L.) *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 172: 500-511.
- Jacob M, Leuschner C, Thomas FM, 2009.** Productivity of temperate broad-leaved forest stands differing in tree species diversity. *Annals of Forest Science* (in press).
- Jacob M, Weland N, Platner C, Schaefer M, Leuschner C, Thomas FM, 2009.** Nutrient release from decomposing leaf litter of temperate deciduous forest trees along a gradient of increasing tree species diversity. *Soil Biology and Biochemistry*. 41: 2122-2130.
- Köcher P, Gebauer T, Horna V, Leuschner C, 2009.** Leaf water status and stem xylem flux in relation to soil drought in five temperate broad-leaved tree species with contrasting water use strategies. *Annals of Forest Science*. 66: 101p1-101p11.
- Krämer I, Hölscher D, 2009.** Rainfall partitioning along a tree diversity gradient in a deciduous old-growth forest in Central Germany. *Ecohydrology* 2: 102-114.
- Lang, C, 2008.** Diversität der Ektomykorrhizen in verschiedenen artenreichen Laubbaumbeständen im Nationalpark Hainich (Thüringen). Reihe „Göttinger Forstwissenschaften“, Band 1. Universitätsverlag Göttingen
- Leuschner, Ch., Jungkunst, H.F., Fleck, S, 2009.** Studying the functional role of tree diversity in forests: the pros and cons of synthetic stands and across-site comparisons in established forests. *Basic and Applied Ecology*. 10: 1-9
- Meinen C, 2008.** Fine root dynamics in broad-leaved deciduous forest stands differing in tree species diversity. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2008/meinen/>
- Meinen C, Hertel D, Leuschner Ch. 2009.** Fine root biomass and morphology in Central European broad-leaved forests differing in tree species diversity. *Oecologia*, 161: 99-111
- Meinen C, Leuschner Ch, Hertel D, Ryan NT. 2009.** No evidence of spatial root system segregation and elevated root biomass in species-rich temperate broad-leaved forests. *Trees-Structure and Function*, doi: 10.1007/s00468-009-0336-x.
- Mölder A, 2008.** Zur Struktur und Diversität der Bodenvegetation in Laubwäldern mit unterschiedlicher Baumartenvielfalt. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2008/moelder/>

- Mölder A, Bernhardt-Römermann M, Leuschner C, Schmidt W. 2009.** Zur Bedeutung der Winterlinde (*Tilia cordata* Mill.) in mittel- und nordwestdeutschen Eichen-Hainbuchen-Wäldern. *Tuexenia*, 29: 9-23
- Mölder A, Bernhardt-Römermann M, Schmidt W. 2006:** Forest ecosystem research in Hainich National Park (Thuringia): First results on flora and vegetation in stands with contrasting tree species diversity. *Waldökologie-Online* 3: 83-99.
- Mölder A, Bernhardt-Römermann M, Schmidt W. 2008:** Herb-layer diversity in deciduous forests: Raised by tree richness or beaten by beech? *Forest Ecology and Management* 256: 272-281.
- Mölder A, Bernhardt-Römermann M, Schmidt W. 2008.** Zur Beziehung zwischen Baumschichtvielfalt und Produktivität der Krautschicht in Laubwäldern. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 60: 139-144.
- Mölder A, Bernhardt-Römermann M, Schmidt W. 2009.** Vielfältige Baumschicht – reichhaltige Verjüngung? Zur Naturverjüngung von artenreichen Laubwäldern im Nationalpark Hainich. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 180: 76-87.
- Rajmis S, 2008.** Preferences for forest-based biodiversity and ecosystem insurance services in the Hainich National Park region (Thuringia, Germany). Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- Rajmis S, Barkmann J, Marggraf R. 2008.** Der ökonomische Wert von Versicherungsdienstleistungen der Biodiversität gegen bekannte und unbekannte Risiken am Beispiel des Hainich National Parks (Thüringen). In: *Naturschutz und Biologische Vielfalt*. Hrsg: Bundesamt für Naturschutz, Bonn, Volume 60: 209-214.
- Rajmis S. 2006.** Wertschätzung von Biodiversität als Quelle ökologischer Versicherungsleistungen in Deutschland. In: *Treffpunkt Biologische Vielfalt*. Hrsg: Bundesamt für Naturschutz, Bonn, Volume 6: 143-148.
- Rajmis S., Barkmann J. 2007.** Utilisation of Grounded Theory Methodology for the Development of a choice experiment: Preliminary Studies on the insurance value of biodiversity. In: *Stated Preference Methods for Environmental Valuation: Applications from Austria and Germany*. Hrsg: Meyerhoff J, Lienhoop N, Elsasser P. Metropolis Verlag, Marburg, Reihe Ecology and Economic Research, Volume 76: 175-202.
- Schmidt I, Leuschner C, Mölder A, Schmidt W 2009.** Structure and composition of the seed bank in monospecific and tree species-rich temperate broad-leaved forests. *Forest Ecology and Management* 257: 695–702.
- Schuldt A, Fahrenholz N, Brauns M, Migge-Kleian S, Platner C, Schaefer M, 2008:** Communities of ground-living spiders in deciduous forests: Does tree species diversity matter? *Biodiversity Conservation* 17: 1267-1284.
- Sobek S, 2008.** Spatiotemporal patterns of insect diversity and multitrophic interactions across a tree diversity gradient in a Central European deciduous forest. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2008/sobek/>
- Sobek S, Goßner MM, Scherber C, Steffan-Dewenter I, Tschardtke, T 2009.** Tree diversity drives abundance and spatiotemporal  $\beta$ -diversity of true bugs (Heteroptera). *Ecological Entomology*. DOI: 10.1111/j.1365-2311.2009.01132.x.
- Sobek S, Scherber C, Steffan-Dewenter I, Schiele S, Tschardtke, T 2009.** Canopy vs. understory: How does tree diversity affect bee and wasp communities and their natural enemies across forest strata? *Forest Ecology and Management*. 258: 609-615.

- Sobek S, Scherber C, Steffan-Dewenter I, Tscharnike, T 2009.*** Sapling herbivory, invertebrate herbivores and predators across a natural tree diversity gradient in Germany's largest connected deciduous forest. *Oecologia*. 160: 279-288.
- Sobek S, Steffan-Dewenter I, Scherber C, Tscharnike, T 2009.*** Spatiotemporal changes of beetle communities across a tree diversity gradient. *Diversity and Distributions* 15: 660-670.
- Talkner U, Jansen M, Beese F.O. 2009.*** Soil phosphorus status and turnover in central-European beech forest ecosystems with differing tree species diversity. *European Journal of Soil Science*, 60:338-346.



Mit freundlicher Unterstützung:

GEORG-AUGUST-UNIVERSITÄT  
GÖTTINGEN 

Deutsche  
Forschungsgemeinschaft  
**DFG**