

03

Die Vielfalt der Vielfalt

Biodiversität und Multifunktionalität im Wald auf drei räumlichen Ebenen



Die Forschergruppe des Projekts „BETA-FOR – Enhancing structural diversity in production forests“ beschäftigt sich mit der Frage, ob die Verbesserung der strukturellen Beta-Komplexität (ESBC) in Wäldern durch Waldbau oder natürliche Störungen die Biodiversität und Multifunktionalität in ehemals homogenen Produktionswäldern erhöht. In 11 Wäldern in Deutschland von Lübeck über den Hunsrück und das Saarland bis in den Bayerischen Wald wurden je zwei buchendominierte, homogene Waldbestände ausgewählt und jeweils einer davon wurde ESBC-Behandlungen unterzogen. Dabei wurden Kronendach und Totholzangebot manipuliert. Auf allen Teilflächen werden die Diversität 18 taxonomischer Gruppen sowie 21 Ökosystemfunktionen erfasst. Parallel werden statistische Verfahren entwickelt, um die Daten von Biodiversität und Multifunktionalität auf α -, β - und γ -Ebene zu quantifizieren. Insgesamt wird die Studie einen neuen Forschungsweg eröffnen, nämlich die Verbindung zwischen β -Diversität und Multifunktionalität. Damit soll sie dazu beitragen, Leitlinien für verbesserte Waldbaukonzepte und Konzepte für das Management natürlicher Störungen in Wäldern der gemäßigten Zonen zu entwickeln, um die Homogenisierungseffekte der Vergangenheit umzukehren.



Kerstin Pierick, Oliver Mitesser, Lisa Albert, Christian Ammer, Johanna Asch, Claus Bässler, Mirjana Bevanda, Peter Biedermann, Pia Bradler, Lena Carlson, Simone Cesarz, Alice Classen, Nico Eisenhauer, Heike Feldhaar, Andreas Fichtner, Michael Junginger, Patrick Kacic, Andrea Kaus-Thiel, Sonja Kümmer, Claudia Künzer, Bronwyn Lira Dyson, Claudia Masso, Martin Mörsdorf, Marcel Peters, Michael Scherer-Lorenzen, Thomas Schmitt, Bernhard Schuldt, Rike Lena Schwarz, Dominik Seidel, Ingolf Steffan-Dewenter, Simon Thorn, Goddert von Oheimb, Martin Wegmann, Wolfgang Weisser, Clara Wild, Jörg Müller

Die Autoren

BETA-FOR ist eine von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierte Forschungsgruppe mit Wissenschaftler*innen der Universitäten in Würzburg, Freiburg, Göttingen, Dresden, Leipzig, Bayreuth, Frankfurt, Lüneburg und München. In der

Forschungsgruppe arbeiten über dreißig Expert*innen aus verschiedenen Fachrichtungen der Biodiversitäts- und Ökosystemforschung und verwandten Fachgebieten zusammen.



Abb. 1: Mikroklima-Messungen: Ein vertikales Profil mit drei Luftfeuchte- und Temperatursensoren am Seil, ein Sensor in Nahansicht und Seilinstallationen in einer digitalen Punktwolke.

Einleitung

Der in jüngster Zeit beobachtete kontinuierliche Verlust der β -Diversität in Ökosystemen deutet auf zunehmend homogene Lebensgemeinschaften durch Intensivierung der Landnutzung auf Landschaftsebene hin. Da biologische Vielfalt mit Ökosystemfunktionen zusammenhängt, ist daher auch mit einer abnehmenden Multifunktionalität zu rechnen. Natürliche Wälder bilden ein vielfältiges Mosaik aus verschiedenen Sukzessionsstadien, wobei die Variabilität der Umweltbedingungen und der Artenzusammensetzung die Gesamtfunktionen des Ökosystems bestimmen. Im Laufe der Jahrhunderte hat die Konzentration auf Holzproduktion einerseits die Homogenisierung der Wälder in den gemäßigten Breiten erheblich verstärkt. Andererseits kann durch Waldbewirtschaftung sowie Störungsereignisse auch Heterogenität geschaffen werden. Bis heute fehlt es aber an empirischen Studien zu Auswirkungen der β -Diversität auf die β -Multifunktionalität. Das beruht auf dem Mangel an experimentellen Studien und auf dem Fehlen statistischer Methoden. Um diese Lücke zu schließen, haben wir in der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft finanzierten Forschungsgruppe BETA-FOR Fachwissen aus Forstwissenschaft, Ökologie, Fernerkundung, chemischer Ökologie und Statistik in einem experimentellen β -Diversitätsansatz kombiniert. Das Projekt ist in mehrere Teilprojekte gegliedert, die sich im Folgenden kurz vorstellen.

Mikroklima und Waldstruktur (Teilprojekt 1)

Eine wichtige Funktion von Wäldern ist, unter ihrem Kronendach die täglichen Schwankungen des Mikroklimas im Vergleich zum Offenland abzupuffern. Gerade während der durch den Klimawandel immer häufiger auftretenden Hitze- und Dürreperioden können Wälder durch ihr kühleres und feuchteres Mikroklima Arten wertvolle Refugien bieten. Öffnungen im Kronendach sind ein wichtiges strukturelles Merkmal naturnaher Walddynamik sowie forstlicher Praxis und sorgen für lokale Heterogenität der mikroklimatischen Bedingungen. In unserem Projekt messen wir, wie sich die Waldstrukturen von geschlossenen und aufgelichteten Beständen sowie Lichtungen auf das Mikroklima auswirken. Dabei interessiert uns auch die kleinräumige Heterogenität – wie unterschiedlich können die Bedingungen innerhalb weniger Meter sein? Wie ändert sich das Mikroklima vertikal vom Boden bis ins Kronendach? Um das zu messen, hängen wir unsere Sensoren an zwischen Bäumen gespannten Seilen auf verschiedenen Höhen auf. Lamellengehäuse

schützen die Messgeräte, die halbstündlich Lufttemperatur und -feuchte messen, vor direkter Sonneneinstrahlung. Waldstruktur messen wir mit Laserscanning-Technik, die uns ermöglicht, ein digitales 3D-Modell eines Waldstücks am Computer zu erhalten. Ein Laserscanner sendet tausende von (unsichtbaren und ungefährlichen) Laserstrahlen pro Sekunde aus, die von Bäumen und anderen Strukturen reflektiert werden. Aus der Zeitdifferenz zwischen Aussendung und Reflektion kann die Distanz zwischen dem Laserscanner und der reflektierenden Struktur berechnet und so ein digitales Modell des Waldes erstellt werden. Wie die Abbildung 1 zeigt, sind in der digitalen Punktwolke kleinste Strukturen – zum Beispiel unsere an Seilen hängenden Mikroklima-Sensoren – zu erkennen.

Das Volatilom des Waldes (Teilprojekt 2)

Volatile (VOCs; engl. volatile organic compounds) sind flüchtige chemische Verbindungen. An warmen, sonnigen Sommertagen sind viele Volatile in der Luft, die von Organismen – Bakterien, Pilzen, Pflanzen und Tieren – an ihre Umwelt abgegeben werden. Auch auf den BETA-FOR-Flächen im Hunsrück ist dies der Fall: Es ist Juli und es weht ein leichter Wind. Obwohl ich mitten in einem Buchenwald stehe und hier auf den Flächen die Volatile sammeln möchte, rieche ich die Volatile (Terpene) der Fichten, die gerade auf den Hängen rundherum gefällt werden.

Terpene sind eine Substanzklasse, die Bestandteile des Harzes, des Holzes und der Nadeln der Fichte sind. Wenn eine Fichte oder ein anderer Nadelbaum gefällt wird, werden sie in großen Mengen freigesetzt. Terpene können wir Menschen riechen, viele andere Volatile nehmen wir in den vorhandenen Konzentrationen gar nicht wahr. Dies macht sie schwer fassbar, aber ihre wichtige Bedeutung für das Ökosystem wird zunehmend deutlicher, denn Volatile spielen eine größtenteils noch wenig verstandene Rolle bei der Kommunikation zwischen Organismen und sind für die Regulierung von Ökosystemfunktionen wichtig (Tumlinson 2014). Einzelne Beziehungen zwischen Organismen sind gut erforscht, wie zum Beispiel die zwischen den Blütendüften und ihren Bestäubern (Tumlinson 2014), oder der Anlockung der Borkenkäfer, ihrer assoziierten Pilze und der Fichte (Kandasamy et al. 2023). Wir interessieren uns in dem BETA-FOR-Projekt für die potenziellen Funktionen der Gesamtheit der Volatile, das Volatilom, im Wald.

Mit Hilfe eines Gaschromatographen gekoppelt mit einem Massenspektrometer (GC/MS) können wir die auf den BETA-FOR-Flächen gesammelten Volatile erfassen.

Die Ergebnisse der GC/MS-Analyse geben uns die Anzahl, die Menge und Informationen zur Struktur der Volatile an, manchmal bis zur genauen Bezeichnung. Anschließend werden wir die Profile der Volatile zwischen den Flächen vergleichen, um zu erkennen, ob beispielsweise Flächen mit mehr Totholz eine andere Volatil-Zusammensetzung aufweisen als Flächen mit weniger Totholz. Zusätzlich untersuchen wir, ob die Volatile einen Hinweis zur Biodiversität auf der Fläche geben können. Wir analysieren nicht nur die Volatile, sondern messen auch die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit sowie die Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Sonneneinstrahlung zum Aufnahmezeitpunkt, denn diese Faktoren können die Zusammensetzung des Volatiloms stark beeinflussen, wie uns die Terpene der umliegenden Fichten schon verraten haben. Ob wir die Terpene der Buchen von den Terpenen der Fichte unterscheiden können und was uns die Volatile noch verraten werden, müssen wir abwarten, bis die Auswertung der Proben abgeschlossen ist.



Abb. 2: Sammlung der Volatilproben auf einer BETA-FOR-Fläche im Hunsrück.



Abb. 3.1: Winterliche Feldarbeiten zur Einmessung der Untersuchungsflächen. (Foto: Andrea Kaus-Thiel)

Waldstruktur und Biodiversität in der Fernerkundung (Teilprojekt 3)

Das Teilprojekt 3 von BETA-FOR befasst sich mit der Analyse der Waldstruktur und Biodiversität aus der Fernerkundungsperspektive. Hierzu werden vor allem Daten der Landoberfläche ausgewertet, die von zivilen Forschungssatelliten mit globaler Abdeckung gemessen werden (z. B. Sentinel-1 und Sentinel-2 der Europäischen

Raumfahrtagentur, ESA). Basierend auf räumlichen und zeitlichen Signaturen der Radardaten und multispektralen Daten können Veränderungen in der Phänologie, Vitalität und Vegetationsstruktur quantifiziert werden.

Zur exakten Verortung der BETA-FOR-Untersuchungsflächen waren wir im Frühjahr 2023 im Nationalpark Hunsrück-Hochwald unterwegs, um mittels satellitengestützter Vermessungstechniken die Untersuchungsflächen einzumessen. Die Vermessungsarbeiten finden am besten bei fehlendem Blätterdach der Laubbäume statt, um weitere Störfaktoren ausschließen zu können. Aufgrund spontanen Schneefalls fanden unsere Vermessungsarbeiten bei winterlichen Bedingungen statt (Abbildung 3.1).

Eine Zeitreihe des multispektralen Satelliten Sentinel-2 (Messungen im sichtbaren, nahen Infrarot und fernen Infrarot) zeigt die Veränderungen der Vegetationsstruktur in der BETA-FOR-Untersuchungsfläche „AB“, bei der ein aggregierter Eingriff vorgenommen wurde, um eine Freifläche zu schaffen, die mit stehendem und liegendem Totholz angereichert ist (Abbildung 3.2). Basierend auf der Zeitreihe können die Charakteristiken der Vegetationsstruktur vor und nach dem Eingriff analysiert werden. In Kombination dieser Daten mit Biodiversitätsdaten aus der Feldarbeit anderer Sub-Projekte können Aussagen zur Heterogenität der Biodiversität und Multifunktionalität getroffen werden.

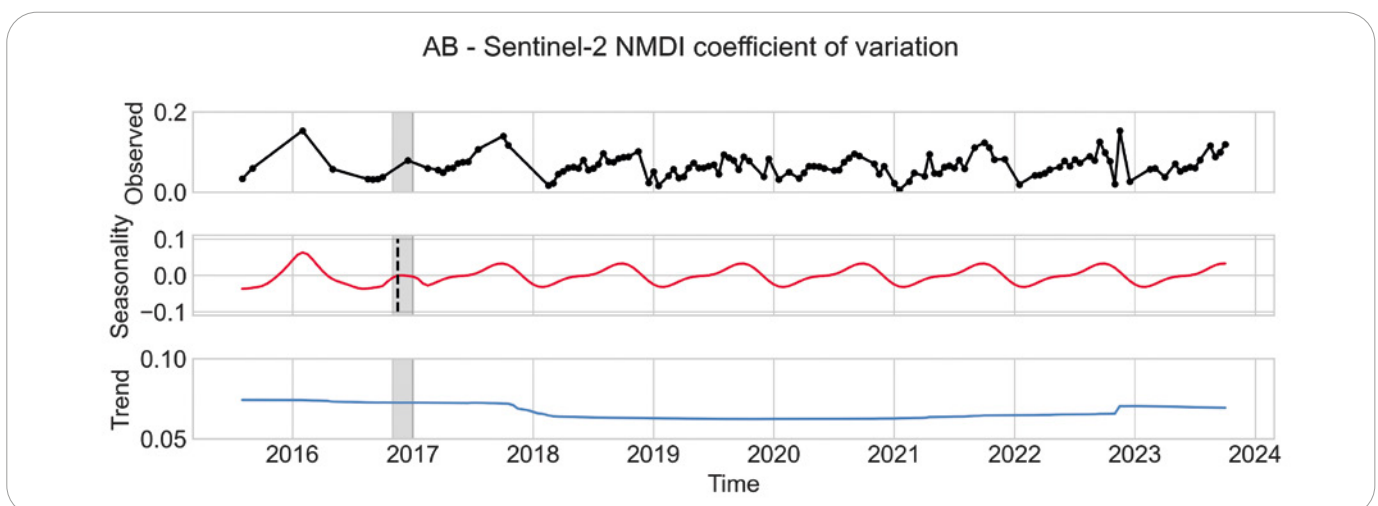


Abb. 3.2: Die originale Sentinel-2-Zeitreihe des Normalized Multi-band Drought Index (proxy für die Vegetationsstruktur und Vitalität, schwarz), der für das Treatment „AB“ (aggregiertes Treatment mit liegendem und stehendem Totholz) als Heterogenitäts-Index dargestellt ist (coefficient of variation, Aggregation aller Pixel des Treatments), wurde in die Komponenten Saisonalität (rot) und Trend (blau) aufgeteilt, um die zeitliche Dynamik dieser Komponenten getrennt analysieren zu können. Die akkurate Erfassung der Implementierung des Treatments im Winter 2016 in der Saisonalitäts-Komponente ist mit einem vertikalen gestrichelten Balken dargestellt. Dieses Ereignis trennt die Vegetationsstruktur vor und nach dem Eingriff, d. h. Zunahme der Heterogenität der Waldstruktur seit Frühjahr 2017.



Abb. 4.1: Nematoden (Foto: Andy Murray)

Die dunkle Seite der Biodiversität beleuchten (Teilprojekt 4)

Unterschiedliche Strukturen in Wäldern, wie sie bei BETA-FOR untersucht werden, können auf verschiedenen Wegen einen Einfluss auf den Waldboden haben. Unter Lücken im Kronendach kommt es beispielsweise am Boden zu höheren Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht, da ein „Puffereffekt“ der Baumkronen wegfällt. Zusätzlich erreicht tagsüber mehr Licht den Waldboden, was das Pflanzenwachstum in den Lücken verändert. Bodenvegetation und auch das Vorkommen von Totholz spielen eine wichtige Rolle bezüglich der Menge und Qualität des Kohlenstoffs und der Nährstoffe, die den Boden erreichen. Totholz beeinflusst außerdem die Bedingungen für bodenlebende Organismen, indem es verschiedene abiotische Parameter, wie pH und Wassergehalt des Bodens, verändert. Böden gelten als der artenreichste Lebensraum, der ca. 60% aller Arten auf der Erde beherbergt (Anthony et al. 2023). Darunter sind Mikroorganismen und Nematoden die am weitesten verbreiteten und vielfältigsten Taxa im Boden. Nematoden, auch Fadenwürmer genannt, sind mikroskopisch kleine Würmer (Abbildung 4.1), die häufigsten Mehrzeller auf der Erde (Hodda et al. 2009), und werden aufgrund ihrer funktionalen Diversität als Bioindikatoren verwendet. Sie werden in große trophische Gruppen unterteilt, z.B. Bakterienfresser, Pilzfresser, Pflanzenfresser und Räuber. Wenn wir beispielsweise viele pilzfressende Nematoden im Boden finden, können wir daraus schließen, dass es

viele Pilze gibt. Ein hoher Anteil an Pilzen deutet auf schwer zersetzbares Material hin, wohingegen Bakterien eher leicht zersetzbare Materialien bevorzugen. Diese Informationen helfen uns, zu verstehen, wie das Ökosystem Wald funktioniert. Denn diese beeindruckende Vielfalt des Lebens im Boden spielt auch bei vielen Ökosystemfunktionen eine entscheidende Rolle. Totes organisches Material (wie z.B. Blätter) wird zersetzt und die Nährstoffe werden so wieder für Pflanzen verfügbar gemacht.



Abb. 4.2: Bodenkern (Foto: Rike Lena Schwarz)

Um die Böden des Nationalparks Hunsrück-Hochwald zu untersuchen, haben wir diese im Oktober 2023 beprobt. Dafür haben wir auf jeder BETA-FOR-Fläche vier Bohrkerne mit einer Tiefe von 10 cm und einem Durchmesser von 5 cm genommen (Abbildung 4.2). Daraus werden die Nematoden extrahiert und identifiziert, die Zusammensetzung von den Mikroorganismengemeinschaften untersucht, die Aktivität der Mikroorganismen gemessen und abiotische Parameter wie pH, Nährstoffe, Wassergehalt und Textur des Bodens ermittelt.

Zersetzungsprozesse (Teilprojekt 5)

Zersetzungsprozesse sorgen für die Rückführung von Nährstoffen und Energie aus toter organischer Materie (Detritus) in den Ökosystemkreislauf und spielen damit eine essenzielle Rolle für das Funktionieren eines Ökosystems. Die Art und Geschwindigkeit der Zersetzung hängen von der Zusammensetzung des Detritus, den Umweltbedingungen und den beteiligten Destruenten ab (Bradford et al. 2016). In Wäldern beeinflusst die Struktur des Waldes, also zum Beispiel die Offenheit des Kronendachs, alle obengenannten Faktoren (Joly et al. 2017, Staab et al. 2022). Laubfall im Herbst sorgt für zyklisch wiederkehrende, große Mengen an Detritus, der sich als Laubschicht am Boden sammelt und das Waldökosystem prägt. Totholz kommt häufig und in vielen verschiedenen Formen vor und bietet auf Grund seiner Beständigkeit Lebensräume sowie Nahrungsressource für eine große Anzahl an Organismen. Detritus tierischen Ursprungs wie

Kadaver und Exkremete entstehen seltener und in unregelmäßigen zeitlichen und räumlichen Abständen. Auf Grund ihres hohen Nährstoffgehalts spielen sie aber eine wichtige Rolle im Nährstoffkreislauf und bieten Nahrungsquellen sowie Brutstätten für viele speziell angepasste Arten, wie zum Beispiel den Waldmistkäfer (Carter et. al. 2007, Benbow et al. 2019).

Im Projekt BETA-FOR SP5 untersuchen wir die Auswirkungen von Waldmanagement auf die Zersetzung von verschiedenen Formen von Detritus sowie die damit verbundenen Stoff- und Energieflüsse. Um den jährlichen Energiefluss im Waldökosystem durch Laub zu erfassen, wurden im Sommer 2023 Laubfallen im Nationalpark Hunsrück-Hochwald aufgestellt, die einen Teil des fallenden Laubs auffangen und einen Einblick in die Menge und Zusammensetzung des Herbstlaubs erlauben. Des Weiteren wurden im Frühjahr Proben mit Buchenlaub und Astscheiben auf dem Waldboden platziert, um den Zersetzungsprozess des Laubs und Totholzes über längere Zeiträume zu verfolgen. Im Frühjahr und Spätsommer 2023 wurden Zersetzungsdaten von Rattenkadavern und Tierexkrementen sowie die Abundanz und Diversität von Mistkäfern, Aaskäfern und Fliegen aufgenommen. Im weiteren Verlauf des Projekts wird der Einfluss der Waldstruktur auf die verschiedenen Zersetzungsprozesse untersucht. Es wird erwartet, dass in strukturell diverseren Wäldern eine höhere Diversität von Destruenten erhalten und eine größere Bandbreite an Zersetzungsdaten gefunden werden kann. Erste Ergebnisse des Projekts werden im kommenden Jahr (2024) zur Verfügung stehen.



Abb. 5.1: Michael Scherer-Lorenzen beim Auslegen von Proben mit Buchenlaub und Astscheiben auf dem Waldboden. Die Proben liegen für 6–18 Monate im Wald und werden am Anfang und Ende gewogen. (Foto: Monika Siegel)



Abb. 5.2: Waldmistkäfer (*Anoplotrupes stercorosus*) auf dem Weg zu im Wald ausgelegten Tierexkrementen. (Foto: Johanna Asch)

Samenausbreitung (Teilprojekt 6)

Die diesem Teilprojekt zugrundeliegende Ökosystemfunktion ist die Samenausbreitung. Verschiedenste Tierarten sind hierbei beteiligt und teilweise essenziell für einige Pflanzenarten. Über Säugetiere und Vögel, die einem zuerst in den Sinn kommen, gibt es allerdings auch wirbellose Invertebraten, wie Schnecken (Gastropodochorie) und Ameisen (Myrmekochorie), die eine entscheidende Rolle für viele Pflanzen in der Verbreitung der Samen spielen. Um speziell diese Tiergruppen dreht sich dieser Teil des BETA-FOR-Projekts. Im Nationalpark Hunsrück-Hochwald wurden hierfür im Jahr 2023 jeweils im Frühjahr und im Herbst Versuche durchgeführt. Der Fokus im Frühjahr lag auf der Diversität der wirbellosen Samenausbreiter Ameisen und Schnecken. Mit Hilfe von Kamerafallen wurden diese jeweils über 24 h beobachtet, ob sie die wegen des Elaiosoms (fettreiches Anhängsel an Samen) für sie attraktiven Samen (Bärlauch, Finger-Segge, Buschwindröschen) mitnehmen, die auf Holzplatten bereitgelegt wurden. Im Herbst wurde der Versuch wiederholt, allerdings mit dem Ziel, Säugetiere und Vögel und die Interaktion mit ihren präferierten Samen Eicheln und Sonnenblumenkernen zu beobachten. Allgemein war sowohl im Frühjahr als auch im Herbst keines der zu erwartenden Tiere direkt an den Samen, es konnte aber dennoch der ein oder andere potenzielle Samenausbreiter beobachtet werden. Als häufigste Gäste im Herbst konnte man dabei die Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*), die Singdrossel (*Turdus philomelos*) (Abbildung 6.1), das Rotkehlchen (*Erithacus rubecula*) und die Amsel (*Turdus merula*) beobachten. Bei keiner Tierart konnte jedoch eine Präferenz zur strukturellen Vielfalt der Eingriffsflächen verglichen mit den Kontrollflächen festgestellt werden. Im Frühjahr hingegen konnten ebenso kaum Schnecken und auch keine Ameisen beobachtet werden. Interessanterweise waren hier aber die Gelbhalsmäuse teilweise zu beobachten, als sie die Bärlauchsamen gefressen haben (Abbildung 6.2).

Mikrobielle Diversität im Totholz (Teilprojekt 7)

Der Abbau und Kreislauf von Nährstoffen in Waldökosystemen sind von entscheidender Bedeutung, und Mikroben spielen als Zersetzer eine wichtige Rolle. Mikroben sind extrem vielfältig, aber wenig erforscht. Mit den jüngsten Fortschritten bei der DNA-Sequenzierung haben wir die Möglichkeit, diese mikrobiellen Gemeinschaften – ihre Vielfalt, Zusammensetzung und Funktionen – zu



Abb. 6.1: Die Singdrossel (*Turdus philomelos*) als potenzieller Samenausbreiter der Sonnenblumenkerne.



Abb. 6.2: Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) fressend an den Bärlauchsamen auf der für die Schnecken und Ameisen bereitgelegten Samenkarte.

erforschen und zu untersuchen, wie die Mikroben durch Holzernte, Waldstruktur und Mikroklima beeinflusst werden. In diesem Teilprojekt wird sich besonders auf Totholz als Schlüsselement der Waldstruktur konzentriert. Totholz ist ein wesentlicher Lebensraum und eine wichtige Ressource für viele Organismengruppen. Das Hauptinteresse gilt der Erforschung totholzabhängiger Mikroben und der Frage, wie sich verschiedene Aspekte des Totholzes (z. B. Art, Alter, Lage, usw.) auf die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft, die Vielfalt und



Abb. 7.1: Standardisiertes Holz, teilweise aufgehängt und teilweise auf dem Boden ausgelegt, um den Massenverlust des Holzes sowie die mikrobiellen Gemeinschaften zu bewerten.



Abb. 7.2: Anbohren des Totholzes zur Bewertung der mikrobiellen Gemeinschaft.

die mikrobielle Funktion auswirken. Bislang wurden an fünf Waldstandorten über 2000 Proben von natürlichem Totholz entnommen. Darüber hinaus werden der Massenverlust und die mikrobielle Gemeinschaft von standardisierten Hölzern, die in den Wald eingebracht werden, bewertet (inkl. Kiefer, Buche und Fichte). Ein Teil dieses Holzes wird freihängend und ein Teil auf dem Boden platziert, um die Auswirkungen der Luft- und Bodenbesiedlung zu bewerten (Abbildung 7.1). Um die Mikroben von Totholz zu untersuchen, werden Bohrspäne gewonnen (Abbildung 7.2). Dieses gebohrte Holz wird dann im Labor weiterverarbeitet, um es für die Sequenzierung vorzubereiten. Von Anfang bis Ende kann der gesamte Prozess mehrere Monate dauern. In den nächsten Monaten sollten die ersten Ergebnisse vorliegen.

Bodennahe Vegetation (Teilprojekt 8)

Für die bodennahe Vegetation besteht durch vorherige Arbeiten im Bioholz-Projekt neben den 2023 durchgeführten Vegetationsaufnahmen bereits eine Zeitreihe mit Daten zur Artzusammensetzung und Deckung der jeweiligen Arten auf den Versuchsflächen von 2017 bis 2019 (siehe Forschungsband 1, Dittrich und Krautkrämer 2021).

Die Vegetation der Krautschicht (bis zu 1 m hoch) wurde vollständig auf den Versuchsflächen aufgenommen. Über alle Jahre hinweg betrug die höchste auf einer solchen Fläche vorkommende Anzahl an Arten 12. Über alle Flächen und Jahre hinweg wurden insgesamt 30 verschiedene Pflanzenarten gefunden. Davon wurden 27 Arten in Flächen mit geöffnetem Kronendach und 11 in Durchforstungsflächen erfasst. Während die Anzahl der Arten in den Durchforstungsflächen im Mittel über die Jahre abgenommen hat, hat sie in Flächen mit geöffnetem Kronendach durch das Hinzukommen lichtbedürftiger Arten zugenommen. Es zeigt sich somit, dass eine Öffnung des Kronendachs in Kombination mit unterschiedlicher Totholzverfügbarkeit in den Jahren nach der Intervention positive Auswirkungen auf die Artenvielfalt der Gefäßpflanzen hat.

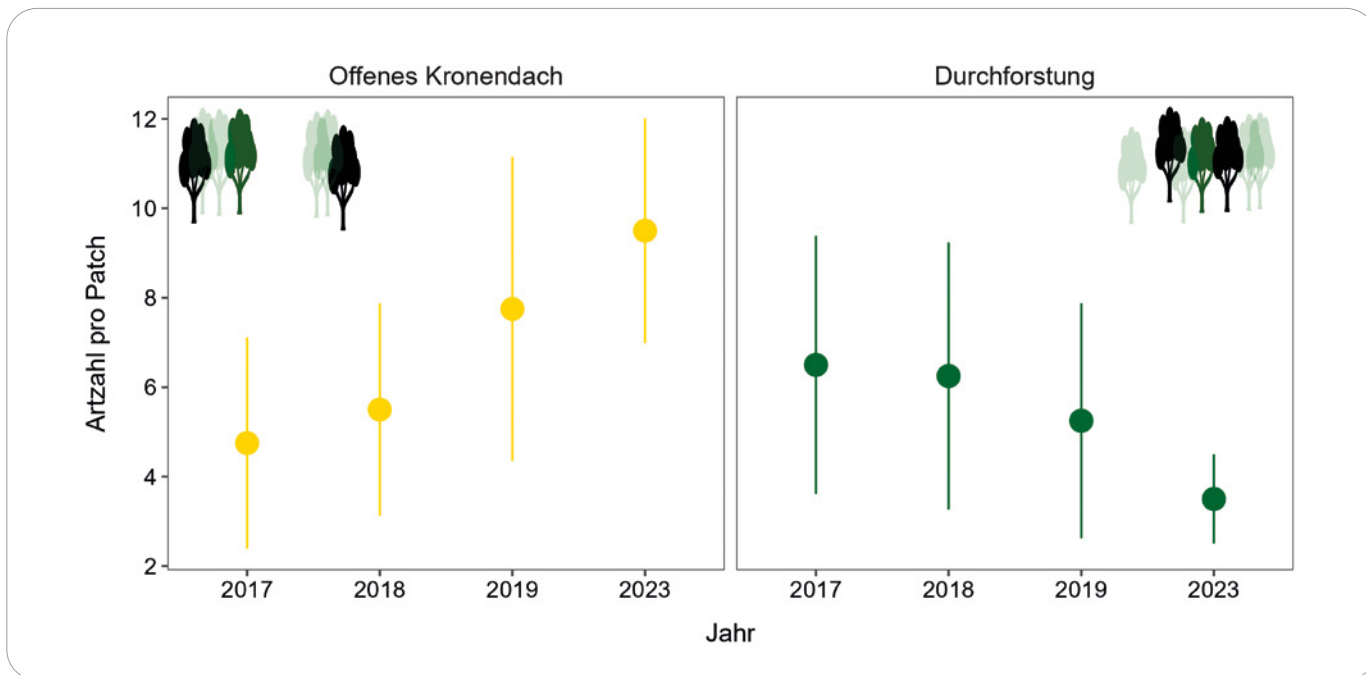


Abb. 8: Mittlere Anzahl und der Pflanzenarten pro Patch über die Jahre 2017–2019 sowie 2023 aufgeteilt nach Patches mit geöffnetem Kronendach sowie Durchforstungsflächen ohne deutliche Öffnung des Kronendachs.

Wildkameras, Vogelnester und Blattfraß (Teilprojekt 9)

Fördert ein heterogener, strukturreicher Wald die Artenvielfalt im Vergleich zum homogenen Wald? Wie wirkt sich dieser Effekt auf die Funktionalität des Ökosystems aus? Diesen und anderen Fragen wird im Teilprojekt „Biodiversität und Multifunktionalität höherer trophischer Ebenen“ nachgegangen. Untersucht werden ausgewählte Tierartengruppen wie Vögel, Fledermäuse, Käfer oder Nachtfalter sowie Ökosystemfunktionen, die ausschlaggebend für die Gesundheit eines Waldökosystems sind, z.B. Prädation an Raupenattrappen und Blattfraß an Buchenblättern. Zur Datenerhebung kommen eine Reihe von Fang- und Aufnahmegeräten zum Einsatz, z. B. Malaise-, Flugfenster- und Bodenfallen zum Nachweis von Arthropoden, Tonaufzeichnungen zur automatisierten Bestimmung von Fledermäusen und Vögeln oder Kamerafallen zur Aufnahme von Großsäugern sowie Nistkästen, deren Kontrolle Aufschluss über den Bruterfolg bei Vögeln geben soll.



Abb. 9.1: Forschungsteam im März beim Aufbau der Versuchsfelder.



Abb. 9.2: Wildtiere, die in den Forschungsflächen von Wildkameras aufgezeichnet wurden.



Abb. 9.3: Blaumeise füttert am Nistkasten. (Foto: A. Ebert)



Abb. 9.4: Einsatz mit Slingshot zum Ernten von Buchenblättern.

Im März 2023 besuchten wir erstmalig den Nationalpark. Dabei wurden wir von einem Schneesturm und einem frierenden Team rund um Andrea Kaus-Thiel und Martin Mörsdorf begrüßt. Gemeinsam trotzten wir Schnee und Eisregen und installierten die ersten Geräte auf den Versuchsflächen, welche bis zum Spätsommer regelmäßig von Rangern und Praktikanten gewartet wurden. Erste Analysen der Wildkameras zeigen, dass vor allem Rehwild und Wildschweine den Wald dominieren, aber auch Feldhase und Fuchs waren regelmäßige Besucher auf unseren Versuchsflächen. Besonders schön ist, dass auch einige Wildkatzen in unsere Fotofallen tappten.

Rund ein Drittel der Nistkästen waren belegt, vorrangig von Kohl- und Blaumeise, gefolgt von Tannen- und Sumpfmeise. Trotz niedriger Belegungsrate waren 86% der Bruten erfolgreich, das heißt, dass sich die Mehrheit der gelegten Eier erfolgreich bis zum flügge gewordenen Nestling entwickelten. Im Schnitt waren es acht Eier, die pro Nest gelegt wurden und sieben Nestlinge, die ausflogen. Die

niedrige Besetzungsrate lässt sich dadurch erklären, dass bei einer durchschnittlichen Höhe von ungefähr 650 m ü.NN die klimatischen Bedingungen im Hunsrück rau, kühl und feucht sind. Vögel können sich an diese Bedingungen anpassen, indem sie ihre Nester mit isolierendem Nistmaterial schützen. Im Vergleich zu anderen Versuchsgebieten wie dem Saarland (295 m ü.NN) sind die Nester im Hunsrück schwerer, was den Bruterfolg erhöht.

Mit sogenannten Slingshots, ähnlich einer großen Steinschleuder, wurden Seile in die Baumkrone geschossen (Abbildung 9.4), um einzelne Äste zu ernten und die Blätter der Rotbuche genauer zu analysieren. Dabei konnten sechs verschiedene Schadbilder identifiziert werden, die hauptsächlich durch Raupen, Käfer sowie Gallmilben verursacht wurden. Auffällig war, dass der Blattfraß auf Flächen mit heterogener Waldstruktur signifikant abnahm. Woran das liegt und ob ein möglicher Zusammenhang mit dem Vorkommen von insektenfressenden Tieren wie Vögeln besteht, soll weiterhin untersucht werden.

Im Überblick

- Die biologische Vielfalt oder **Biodiversität einer Landschaft** ergibt sich durch die **lokale Diversität** in jedem Teil-Lebensraum der Landschaft und wie unterschiedlich die Teil-Lebensräume der Landschaft hinsichtlich ihrer Artgemeinschaften sind. Diese Unterschiedlichkeit nennt man **β-Diversität**.
- Auf lokaler Ebene ist bekannt, dass eine höhere Biodiversität förderlich für die Bereitstellung von **Ökosystemfunktionen** ist. Wir vermuten, dass dieser Zusammenhang auch auf der β-Ebene besteht.
- Um das zu untersuchen, wurde in einem großangelegten Freilandexperiment die strukturelle **Heterogenität von Waldlandschaften** an verschiedenen Orten in Deutschland, unter anderem im Nationalpark Hunsrück-Hochwald, künstlich erhöht.
- Mit **diversen Methoden** werden in den Forschungsflächen Biodiversität und Ökosystemfunktionen erfasst.

Quellen

- Anthony MA, Bender SF, van der Heijden MG. 2023.** Enumerating soil biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120, e2304663120
- Benbow ME, Barton PS, Ulyshen MD, Beasley JC, DeVault TL, Strickland MS, Tomberlin JK, Jordan HR, Pechal JL. 2019.** Necrobiome framework for bridging decomposition ecology of autotrophically and heterotrophically derived organic matter. *Ecological Monographs* 89, e01331. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ecm.1331>
- Bradford MA, Berg B, Maynard DS, Wieder WR, Wood SA. 2016.** FUTURE DIRECTIONS: Understanding the dominant controls on litter decomposition. *Journal of Ecology* 104, 229–238
- Carter DO, Yellowlees D, Tibbett M. 2007.** Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. *Naturwissenschaften* 94, 12–24. <https://doi.org/10.1007/s00114-006-0159-1>
- Dittrich S, Krautkrämer O. 2021.** Die Dynamik im Fokus. 5 Jahre Nationalpark Hunsrück-Hochwald – ein wissenschaftlicher Streifzug durch die Forschungslandschaft (Forschungsband 1) (pp. 82–91). Herausgeber: Nationalparkamt Hunsrück-Hochwald, Birkenfeld
- Hodda M, Peters L, Traunspurger W. 2009.** Nematode diversity in terrestrial, freshwater aquatic and marine systems. In: *Nematodes as environmental indicators* (pp. 45–93). Wallingford UK: CABI
- Joly FX, Milcu A, Scherer-Lorenzen M, Jean LK, Bussotti F, Dawud SM, Müller S, Pollastrini M, Raulund-Rasmussen K, Vesterdal L, Hättenschwiler S. 2017.** Tree species diversity affects decomposition through modified micro-environmental conditions across European forests. *New Phytologist* 214, 1281–1293. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/nph.14452>
- Kandasamy D, Zaman R, Nakamura Y, Zhao T, Hartmann H, Andersson MN, Hammerbacher A, Gershenzon J. 2023.** Conifer-killing bark beetles locate fungal symbionts by detecting volatile fungal metabolites of host tree resin monoterpenes. *PLoS Biology* 212. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001887>
- Staab M, Achury R, Ammer C, Ehbrecht M, Irmischer V, Mohr H, Schall P, Weisser WW, Blüthgen N. 2022.** Negative effects of forest gaps on dung removal in a full-factorial experiment. *Journal of Animal Ecology* 91, 2113–2124. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1365-2656.13792>
- Tumlinson JH. 2014.** The Importance of Volatile Organic Compounds in Ecosystem Functioning. *Journal of Chemical Ecology* 40, 212–213. <https://doi.org/10.1007/s10886-014-0399-z>



