

Wald.Wissen

aus den Biodiversitäts-Exploratorien



Totholz

Ein Schlüssel zu mehr Artenvielfalt im Wald



Autor:innen und Mitwirkende

Dr. Sophie Peter, Prof. Dr. Christian Ammer, Prof. Dr. Steffi Heinrichs

Zudem bedanken wir uns bei

Prof. Dr. Sebastian Seibold, Prof. Dr. Jürgen Bausch, Prof. Dr. Werner Borken, Dr. Tiemo Kahl, Dr. Peter Meyer, Dr. Daniel Rieker und Dr. Peter Schall für die fachkundige Unterstützung sowie beim Koordinationsteam der Biodiversitäts-Exploratorien (BEO) für die Organisation und Gestaltung der Broschüre.

Vorwort

Die große Bedeutung der **biologischen Vielfalt** für den Menschen und der gleichzeitig stattfindende **Artenverlust** rücken immer stärker ins Bewusstsein von Gesellschaft und Politik. Die wichtigste direkte **Ursache des Rückgangs** der biologischen Vielfalt ist nach wie vor die oft zu **intensive Landnutzung**.

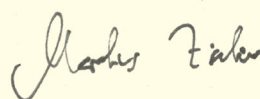
In Mitteleuropa werden die meisten Wald- und Grünlandflächen heute intensiv genutzt, während naturbelassene Flächen oder **naturnahe Nutzungsformen viel seltener** sind. Während die Auswirkungen der Landnutzung für viele Pflanzen und auch einige Tiergruppen relativ gut bekannt sind, ist dies für viele andere Tiere, Pilze, Bakterien und weitere Einzeller und für die vielfältigen Wechselwirkungen zwischen all diesen Lebewesen kaum verstanden. Noch viel weniger bekannt ist das gesamte Ausmaß der Folgen des Rückgangs der biologischen Vielfalt für den Menschen. **Deshalb widmen sich die Biodiversitäts-Exploratorien der umfassenden Erforschung der Zusammenhänge zwischen Landnutzung, biologischer Vielfalt und dem Nutzen der Natur für den Menschen.**

Die Biodiversitäts-Exploratorien werden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG langfristig gefördert. Sie sind ein Forschungsprogramm, in dem über 250 Forschende aus unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen und Forschungseinrichtungen in mehr als 40 Teilprojekten zusammenarbeiten. Jedes dieser Projekte untersucht verschiedene Facetten der Beziehung zwischen Landnutzung, der Vielfalt verschiedener Organismen und verschiedenster Ökosystemfunktionen. Sie alle konzentrieren ihre Forschung auf **300 gemeinsame Untersuchungsflächen** in Wäldern, Wiesen und

Weiden (je 150 Flächen im Wald und im Grünland) in **drei Landschaften: im Südwesten (Schwäbische Alb), der Mitte (Hainich-Dün) und im Nordosten Deutschlands (Schorfheide-Chorin)**. Diese gemeinsame und koordinierte Forschung ermöglicht einen weltweit einmaligen Reichtum an Informationen und Einsichten.

Die vorliegende Broschüre ist die **erste Ausgabe einer neuen Wissensreihe der Biodiversitäts-Exploratorien**, die sich zum Ziel gesetzt hat, die gewonnenen wissenschaftlichen Erkenntnisse verständlich und praxisnah zusammenzufassen. Diese erste Ausgabe beschäftigt sich mit dem **Thema Totholz im Wald**, einer Ressource, die durch eine intensive Waldbewirtschaftung oft limitiert ist, aber eine **Schlüsselfunktion** im Ökosystem Wald einnimmt. Neben wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Bedeutung von Totholz für die Biodiversität und für Stoffkreisläufe im Wald gibt diese Broschüre auch, basierend auf Ergebnissen der Biodiversitäts-Exploratorien, praxisrelevante Tipps, um Totholz effektiv für den Erhalt und die Förderung der Biodiversität im eigenen Wald anzureichern.

Ich danke allen Landbesitzern und Landbesitzerinnen, Behörden und der DFG, die diese Forschung ermöglichen, sehr herzlich für ihre Unterstützung und allen Beteiligten für ihren großen Einsatz und wünsche Ihnen eine spannende Lektüre. **Tauchen Sie ein in die vielfältige Lebenswelt des Totholzes!**



Prof. Dr. Markus Fischer
Sprecher der Biodiversitäts-Exploratorien



Inhaltsverzeichnis

Totholz – Eine Beschreibung	6
Totholz als Forschungsobjekt in den Biodiversitäts-Exploratorien	8
Zahlen zum Totholz in den Biodiversitäts-Exploratorien	9
Ausgewählte langfristige Projekte der Biodiversitäts-Exploratorien rund um Totholz	13
Fakten zum Totholz	16
Totholz und Biodiversität	16
Totholzkäfer	18
Pilzarten	20
Totholz und Ökosystemfunktionen und -leistungen	22
Praxisrelevante Tipps der Expert:innen	24
Schritte zum eigenen Totholzkonzept	26
Glossar	28
Literatur	29

Totholz – Eine Beschreibung

„Totholz“ sind liegende oder stehende Bäume oder Baumteile, die abgestorben sind (z.B. Äste in der Krone, Bereiche an lebenden Bäumen, an denen der Holzkörper freiliegt, aber auch Baumstümpfe oder Kronenmaterial, das nach einer Holzernte im Bestand verbleibt). Im Totholz gibt es kein lebendes Gewebe mehr. Funktionen, die der Stamm sonst erfüllt, wie z.B. Wasser- und Nährstofftransport, sind zum Erliegen gekommen. Totes Holz kann sich daher auch gegen eindringende Pilze und Insekten nicht mehr aktiv wehren (z.B. durch Harzproduktion), so dass es mit der Zeit zersetzt wird. Die Zersetzungsgeschwindigkeit wird dabei von abiotischen Faktoren wie Temperatur und Holzfeuchte, den holzzeretzenden Pilzen und Insekten und von chemischen und physikalischen Holzeigenschaften bestimmt (WEEDON et al. 2009, SEIBOLD et al. 2021). Die Abbauraten unterscheiden sich daher sehr stark zwischen den Baumarten (EDELMANN et al. 2023) und so gibt es Holz, das sich in nur wenigen Jahren zersetzt (wie z.B. das der Buche oder Hainbuche), während das Holz anderer Arten sehr dauerhaft ist (z.B. das der Eiche).

Totholz nimmt eine Schlüsselrolle für den Artenschutz im Wald und insbesondere für die integrative Waldbewirtschaftung ein.

Etwa 30 % aller im Wald vorkommenden Arthropoden-Arten, also Gliederfüßer wie Insekten, Spinnentiere und Tausendfüßer, benötigen Totholz (ULYSHEN & ŠOBOTNÍK 2018). Dazu kommen **tausende Arten an Pilzen und Bakterien**, die in Totholz leben, sowie zahlreiche Moose, Flechten, Pflanzen und auch Wirbeltiere, die von Totholz profitieren (STOKLAND et al. 2012). Dabei ist das Totholz nicht nur für die direkt von und an ihm lebenden Organismen wichtig, sondern auch für solche Arten, die indirekt über die Nahrungskette vom Totholz und seinen Bewohnern abhängen. Wenn Totholz großer Dimension (d.h. dicke stehende oder liegende Stammabschnitte) vorhanden ist, können Pilze große Fruchtkörper ausbilden, welche wiederum Nahrung und Lebensraum für verschiedene Tierarten darstellen (FRIESS et al. 2019). Darunter fallen auch viele Insekten, die auf der Roten Liste der gefährdeten Arten stehen (z.B. Schwarzkäferarten wie *Bolitophagus reticulatus*; BÄSSLER et al. 2014).

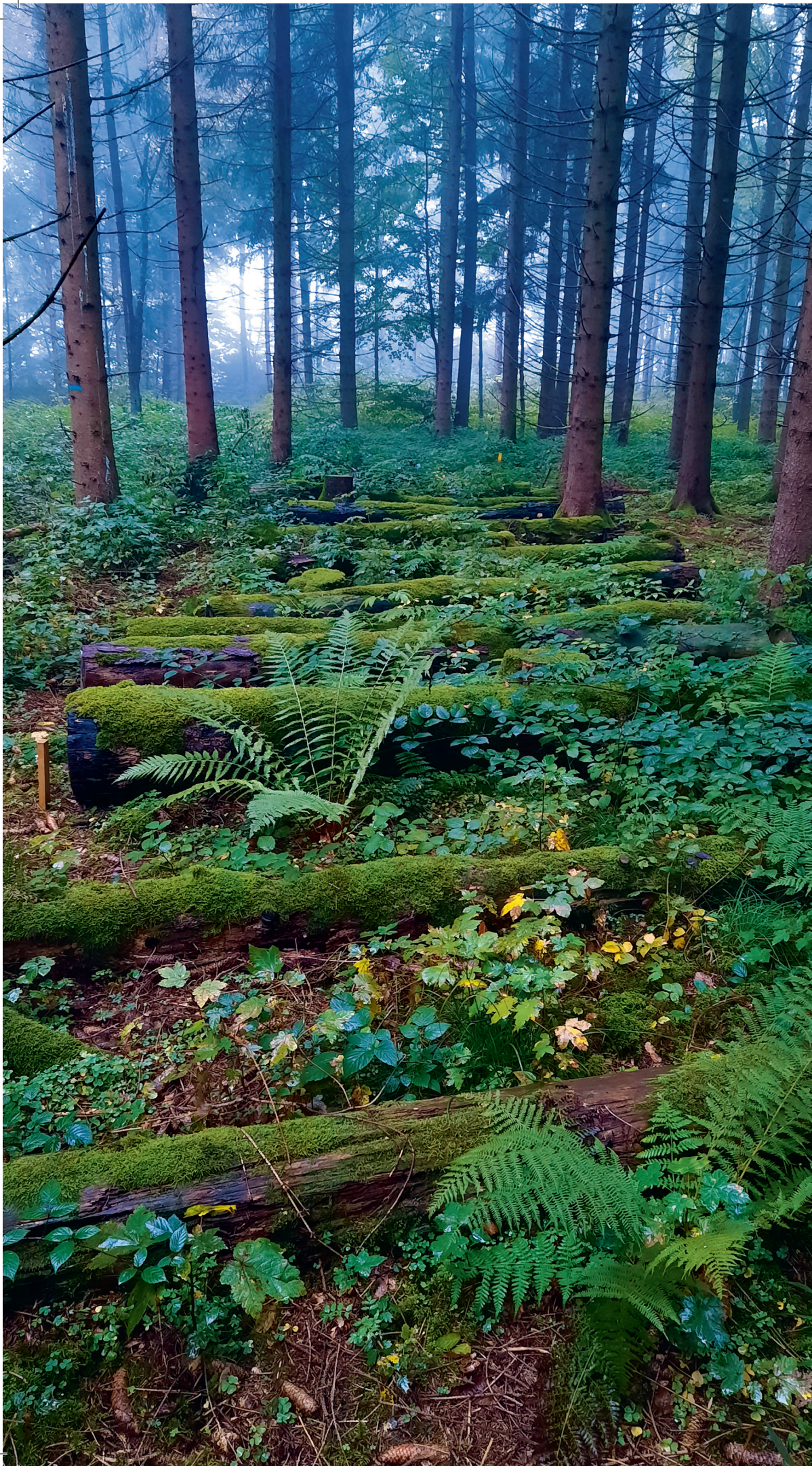


Abbildung 1
BElongDead Experiment
der Biodiversitäts-
Exploratorien.
Totholzstämme unter-
schiedlicher Arten nach
12 Jahren Zerfallsprozess.



Totholz als Forschungsobjekt in den Biodiversitäts-Exploratorien



Das Kernprojekt „Waldstruktur“ widmet sich in enger Kooperation mit vielen anderen Projekten der Biodiversitäts-Exploratorien der Erforschung der Waldstruktur für die Biodiversität auf insgesamt 150 1 ha großen Untersuchungsflächen (= Experimentierplots) in drei Regionen Deutschlands (Schwäbische Alb, Hainich-Dün, Schorfheide-Chorin). Ziel dieses Kernprojekts ist es, umfassende Daten bereitzustellen, anhand derer sich die Waldflächen der Exploratorien quantitativ charakterisieren lassen, z.B. durch die Erfassung von Strukturmerkmalen, der Produktivität oder der Dynamik der Baumartenzusammensetzung. Zudem werden die Intensität und Frequenz der Bewirt-

schaftung registriert und zu Maßzahlen verdichtet, die sich Biodiversitätserhebungen gegenüberstellen lassen und als erklärende Variablen innerhalb der funktionalen Biodiversitätsforschung dienen. Funktional bedeutet hierbei, dass man wissen möchte, welche Bedeutung ein bestimmtes Merkmal für bestimmte Arten hat und welche Bedeutung wiederum diesen Arten für die im Wald ablaufenden Prozesse, wie beispielsweise dem Nährstoffkreislauf, zukommt. Eine Kernaufgabe des Projekts besteht zudem darin, regelmäßig die Menge und die Zusammensetzung des Totholzes durch (Wiederholungs-)Inventuren (Lokalisierung und Messung von Totholzobjekten) zu quantifizieren.

Zahlen zum Totholz in den Biodiversitäts-Exploratorien

Das Kernprojekt „Waldstruktur“ hat bisher drei Totholzinventuren in den Jahren 2012, 2017 und 2023 durchgeführt. Aus dem Vergleich der Ergebnisse der zweiten und dritten Inventur, in der jeweils > 6000 Totholzobjekte inventarisiert wurden, wird eine Zunahme der Totholz mengen in den drei Exploratorien-Regionen in den letzten fünf Jahren deutlich (**Abbildung 2**):

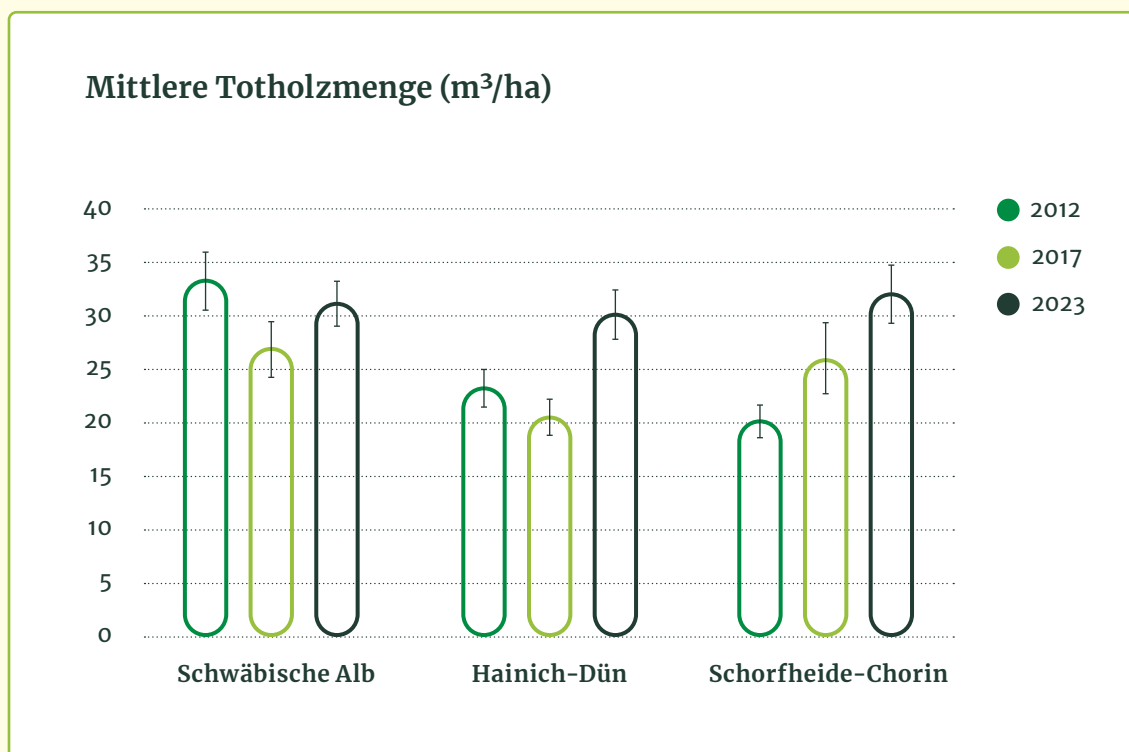


Abbildung 2

Mittlere Totholzmenge (mit Standardfehler) in den Exploratorien auf der Schwäbischen Alb, im Hainich-Dün und in Schorfheide-Chorin zu drei Aufnahmezeitpunkten (2012, 2017, 2023).

Die Totholz mengen der Exploratorien lagen in den meisten Jahren über den durchschnittlichen Totholz mengen in Deutschland, die im Rahmen der 3. Bundeswaldinventur mit ca. 20,6 m³/ha ermittelt wurden (BUNDESWALDINVENTUR 2014). Die Wiederholungsinventuren zeigen dabei auch die hohe Dynamik des Strukturelements Totholz, zu dem neben großen Objekten > 80 cm Durchmesser auch stehende und liegende Objekte ab 7 cm Durchmesser sowie Baumstümpfe zählen.

Bitte beachten

Totholz war nicht in jedem Bestandes- und Waldnutzungstyp in gleicher Menge vorhanden (Tabelle 1).

Bestandes- und Waldnutzungstyp



Schwäbische Alb



Hainich-Dün



Schorfheide-Chorin

Buche

Unbewirtschaftet 58.3 (+ 18.5) 33.4 (+ 7.7) 46.7 (+ 15.4)

Plenterwald
(plenterartig) 30.8 (+ 14.9)

Altersklassenwald 28.4 (+ 1.3) 27.7 (+ 7.3) 37.3 (+ 9.8)

Eiche

Altersklassenwald
(Schwaches bis
starkes Baumholz) 36.3 (- 8.3)

Kiefer

Altersklassenwald
Kiefer/Buche
(Starkes Baumholz) 27.4 (+ 6.7)

Altersklassenwald
(Schwaches bis
starkes Baumholz) 19.5 (+ 3.4)

Fichte

Altersklassenwald 28.4 (+ 6.8)
(Schwaches bis
starkes Baumholz)

Tabelle 1

Totholzmenge in m^3/ha in den Exploratorien mit der Unterscheidung der Bewirtschaftungstypen für die Totholzinventur im Jahr 2023 und die Veränderung zum Jahr 2017 in Klammern (in $m^3/ha/Jahr$).

In den unbewirtschafteten Buchenwäldern waren die Totholz mengen im Jahr 2023 von allen Bestandestypen am höchsten, erreichten jedoch noch nicht die Totholz mengen, wie sie in den Buchen-Urwäldern der Ukraine mit im Schnitt 162,5 m³/ha (HOBİ et al. 2015) nachgewiesen wurden. Die Akkumulationsraten von Totholz nahmen aber in den nicht mehr bewirtschafteten Wäldern zwischen den Inventuren deutlich zu (ALB: 0,9 m³/ha zwischen 2012 und 2017 auf 3,1 m³/ha zwischen 2017 und 2023; HAI: von 0,8 auf 1,5 m³/ha; SCH: von 0,3 auf 2,6 m³/ha), was sich auf natürliche Absterbeprozesse zurückführen lässt, die mit zunehmendem Alter der Bäume und Dauer der Nichtbewirtschaftung an Bedeutung gewinnen (VANDEKERKHOVE et al. 2009). Die deutlichen Zunahmen in den Buchen-Wirtschaftswäldern im Hainich und in Schorfheide-Chorin lassen sich u.a. auf Trockenschäden in der Buche zurückführen.

Das FOX Experiment

Im Januar 2020 wurde im Rahmen des Waldexperiments (Forest Gap Experiment – FOX) das Kronendach in der Nachbarschaft von insgesamt 29 Untersuchungsflächen geöffnet. Je Untersuchungsfläche wurden dabei zwei sogenannte “Lochhiebe”, durchgeführt, d.h. dass von einem bestimmten Punkt aus in einem Radius von ca. 15 m alle Bäume > 7 cm Brusthöhendurchmesser entnommen wurden. In einem der entstandenen Löcher wurde Totholz einer bestimmten Menge belassen, das andere Loch blieb frei von Totholz. Eine vergleichbare Menge Totholz des ersten Loches wurde zudem im geschlossenen Bestand angereichert. Daraus resultieren insgesamt vier Varianten: die unberührte Untersuchungsfläche (EP, keine künstlich geschlagene große Lücke, kein zusätzliches Totholz), eine Lochfläche ohne Totholz, eine Lochfläche mit Totholz und ein geschlossener Bestand mit einer der Lochfläche entsprechenden Totholz-

Veränderungen der Totholz mengen in den bewirtschafteten Wäldern hängen aber auch stark von Eingriffsintensitäten ab. So nahm die Nutzungsintensität auf der Schwäbischen Alb und im Hainich-Dün zwischen 2012 und 2017 ab, was auch die Totholz anreicherung in Form von Ernteresten verringerte, während in Schorfheide-Chorin die Nutzungsintensität stetig zunahm (**Abbildung 2**). Der Maximalwert von 131 m³/ha wurde z.B. im Jahr 2017 in Schorfheide-Chorin in einem Eichenwald nach der Ernte im Zuge eines Verjüngungseingriffs gemessen. Zwischen 2017 und 2023 konnte in allen drei Regionen wieder eine positive Totholz entwicklung festgestellt werden. Während Wälder mit natürlicher Entwicklung langfristig zur Totholz anreicherung größerer Mengen und Dimensionen beitragen, zeigen die Daten der Biodiversitäts-Exploratorien auch das Potential der Wirtschaftswälder bei der Akkumulation von Totholz.

menge (**Abbildung 3 und 4**). In diesem Experiment wird untersucht, wie sich Lücken mit und ohne Totholz anreicherung auf die Biodiversität und die damit zusammenhängenden Ökosystemfunktionen auswirken. Das Experiment zielt also darauf ab, die Auswirkungen von zwei wichtigen Faktoren der Waldbewirtschaftung aufzuklären:

1. die Veränderung der abiotischen Bedingungen durch die Öffnung des Kronendachs
2. die Verfügbarkeit biotischer Ressourcen in Abhängigkeit vom Holzeinschlag.

Laufzeit

Das Experiment soll für mindestens 15 Jahre laufen.

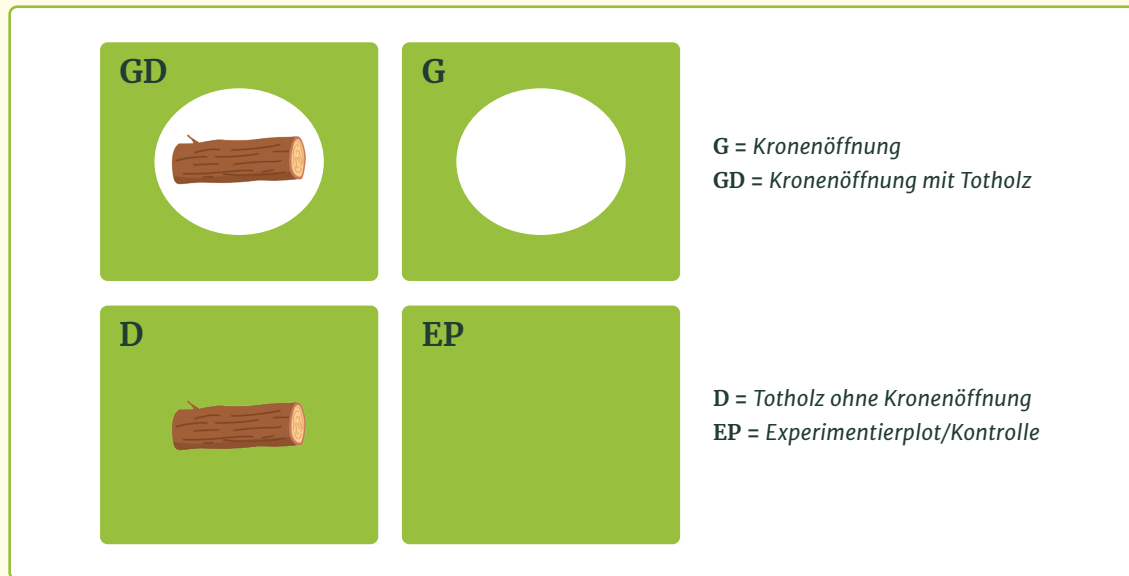


Abbildung 3

Design des FOX-Experiments mit Totholzanreicherung und Kronenöffnung.

Abbildung 4

Foto des FOX-Experiments mit Totholzanreicherung und Kronenöffnung aus dem Jahr 2022.



Ausgewählte langfristige Projekte der Biodiversitäts-Exploratorien rund um Totholz



Kernprojekt 6

Waldstruktur: Eigenschaften, Struktur und Bewirtschaftung der Wald-Experimentierplots

Wesentliches Ziel des Kernprojekts ist es, umfassende Daten zur Waldstruktur und zur Bewirtschaftungsintensität für alle Untersuchungsflächen im Wald bereitzustellen (siehe SCHALL et al. 2018), zu denen auch die Flächen des FOX-Experiments zählen. Die daraus resultierenden Informationen und Kennwerte können als erklärende Variablen für die funktionale Biodiversitätsforschung dienen. Im Einzelnen werden

1. Merkmale der Struktur der Waldbestände einschließlich deren Veränderung durch Bewirtschaftung und natürliche Prozesse,
2. die Bestandsentwicklung und Produktivität,
3. Art und Umfang forstlicher Eingriffe,
4. die Menge und Zusammensetzung des Totholzes und
5. das Vorkommen und die Häufigkeit von Mikrohabitaten quantifiziert.

Darüber hinaus werden bereits existierende Ansätze zur Quantifizierung der forstlichen Landnutzungsintensität weiterentwickelt, um die Beziehung zwischen Waldeigenschaften und forstlicher Bewirtschaftung zu analysieren.

BELongDead

Langzeitmonitoring Totholz

Im Rahmen von BELongDead wurden im Jahr 2009 über 1100 Baumstämme von 13 verschiedenen Baumarten gleicher Herkunft und Dimension in unterschiedlichen Waldbeständen der Biodiversitäts-Exploratorien ausgelegt (**Abbildung 5**).

Wissenschaftler:innen verschiedener Interessengebiete untersuchen seitdem die Entwicklung der Biodiversität von Insekten, Pilzen, Bakterien und anderen Artengruppen sowie den Einfluss von Baumart, Standort, Waldbestand und der Biodiversität auf den Abbau von Totholz. Das BELongDead Experiment ist mit seiner Größe und durch seine 14-jährige Laufzeit weltweit einzigartig.



Abbildung 5
Ausgelegte Totholzstämme des BELongDead-Experiments.

Folgenden Fragen wird in BELongDead nachgegangen:

1. Was ist die Bedeutung von Totholz in Ökosystemprozessen?
2. Wie unterscheidet sich Totholz verschiedener Baumarten in ihrer Biodiversität und ihren Zersetzungsraten?
3. Wie ist der Einfluss des umliegenden Habitats auf die Biodiversität und die Zersetzungsprozesse?
4. Wie verläuft die Besiedelung des Totholzes durch unterschiedliche Taxa über die Zeit?
5. Welchen Einfluss hat die Biodiversität auf die Zersetzungsprozesse?
6. Wie beeinflusst die Zersetzung den Kohlenstoffgehalt und die Mikroorganismenaktivität des Bodens unter dem Totholz?

BLD-MultiFuncDiv_I bis IV

Multitrophische funktionale Diversität im Totholz

Das Projekt ist Teil des BELongDead-Konsortiums. Es konzentriert sich auf molekulare und biochemische Prozesse des organismisch beeinflussten Totholzabbaus in Abhängigkeit von den umgebenden Waldbeständen, ihrer Bewirtschaftung und räumlich geographischen Merkmalen.

Insbesondere wird untersucht

1. wie Mikroorganismen Totholzstämme besiedeln und sich etablieren,
2. wie Arten unterschiedlicher taxonomischer Gruppen im Verlauf der Sukzession miteinander interagieren,
3. wie sich der Einfluss der Holzeigenschaften und der Umgebung/Umwelt auf die Sukzession auswirken und
4. ob sich kausale Zusammenhänge zwischen Diversität und Abbau besser verstehen lassen, wenn man möglichst viele Organismengruppen betrachtet.

WOODSTOCK I bis II

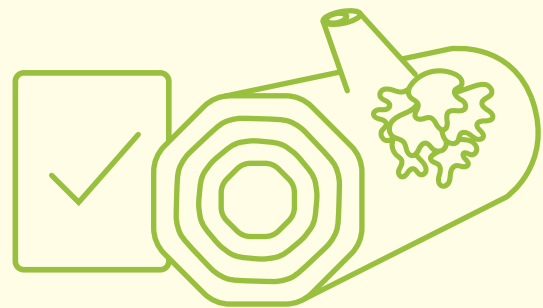
Unterschiedliche Phasen des Totholzabbaus

WOODSTOCK erforscht die funktionelle Biodiversität von Mikroorganismen im Wald und ihre Bedeutung bei der Kohlenstoffverfügbarkeit von Totholzstämmen (**Abbildung 6**). Es nutzt dafür die Stämme des BELongDead-Projektes. Aktuell untersucht das Projekt die letzte Zerfallsphase des Totholzes und prüft die übergeordnete Hypothese, dass sich die Funktion von Totholz als Lebensraum und Substrat für Mikroorganismen beim Übergang von Totholz zu Humus verändert.

Abbildung 6

Totholz in einer späten Zerfallsphase als Forschungsobjekt.





Fakten zum Totholz

Eine Zusammenschau von Veröffentlichungen (der Biodiversitäts-Exploratorien und anderer Projekte) sowie Expertenwissen ergab wichtige Fakten zum Thema Totholz im Wald. Folgende Experten wurden in Interviews befragt: Prof. Dr. Christian Ammer, Prof. Dr. Jürgen Bausch, Prof. Dr. Werner Borken, Dr. Tiemo Kahl, Dr. Peter Meyer, Dr. Daniel Rieker, Dr. Peter Schall und Prof. Dr. Sebastian Seibold.

Totholz und Biodiversität

- Totholz stellt in Wäldern ein zusätzliches Strukturelement dar, das Habitate bietet, die es ohne Totholz nicht gäbe.
- Stark zersetztes Totholz, das in der Lage ist Wasser zu speichern, trägt zu einem ausgeglichenen Mikroklima bei, indem es Extreme abpuffert.
- In Hanglagen führt Totholz zur Verminderung von Erosion und Oberflächenabfluss, auf Freiflächen reduziert es Windbewegung und verursacht Schattenwurf, was kleinstandörtlich variierende Verhältnisse schafft, die z.B. eine Etablierung von Naturverjüngung begünstigt.

- Auch auf zersetztem Totholz wachsen junge Bäume. Dies nennt man Kadaver- oder Moderholzverjüngung. Man erkennt diese Bäume noch viele Jahrzehnte später daran, dass sie aussehen, als würden sie auf Stellen wachsen; tatsächlich ist das unter ihnen befindliche Totholz durch die vollständige Zersetzung verschwunden (**Abbildung 7**).



Abbildung 7
Kadaververjüngung der Fichte

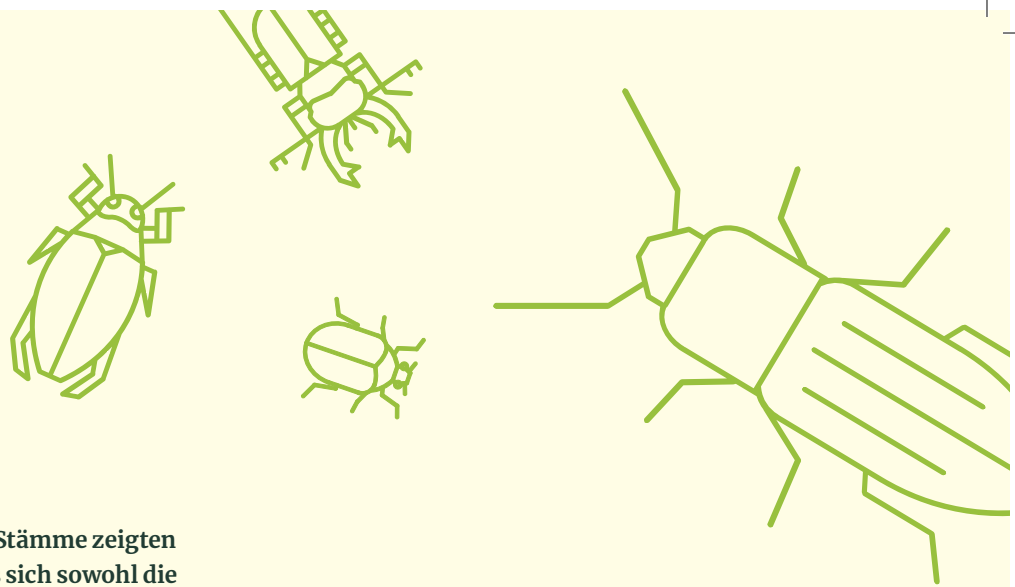
- Wenn Holz abgestorben ist, unterliegt es dem Zersetzungsprozess. Dadurch haben verschiedene Organismengruppen die Möglichkeit, es zu besiedeln. Allerdings können nur bestimmte Insekten, Bakterien und Pilzarten das Totholz abbauen und auch diese nicht alle zur selben Zeit, sondern in einer bestimmten Reihenfolge, die sich aus dem Zersetzungsgrad des Holzes ergibt.
- Totholz ist Habitat und Ressourcenpool für totholzabhängige Arten zugleich. Wenn Totholz fehlt, wirkt sich dies aber auch auf totholzunabhängige Arten negativ aus, die über das Nahrungsnetz des Waldes vom Fehlen totholzabhängiger Arten betroffen sind.
- Eine der wichtigen Fragen in Zeiten des Biodiversitätsverlusts ist es, wie man auf das Totholz angewiesene, besonders gefährdete Artengruppen schützen kann. Beispiele für gefährdete totholzbewohnende Käfer sind Urwaldreliktarten wie der Alpenbock (*Rosalia alpina*). Diese Arten sind auf urwaldähnliche Strukturen und ihre dauerhafte Verfügbarkeit angewiesen. Viele dieser Arten sind aber auch auf besonntes, dickes Totholz und/oder Laubtotholz angewiesen. Wie sich gezeigt hat, ist also nicht nur die Menge an totem Holz ausschlaggebend für die Biodi-

versität, sondern auch seine Lage, also ob es im Schatten oder in der Sonne liegt bzw. Bodenkontakt hat oder nicht, die Totholzart (Kronenmaterial, Stamm) und die Totholzzusammensetzung (Baumart, stehendes oder liegendes Totholz).

- Je unterschiedlicher die Durchmesser (also neben stark dimensioniertem Totholz auch dünnere Objekte, die z.B. im Zuge der Holzernte anfallen), die Baumarten und der Zersetzungsgrad sind, desto eher wird das gesamte Spektrum an totholzbewohnenden Arten gefördert. Stehendes Totholz ist z.B. für Arten, die Höhlen bewohnen (wie Spechte, Fledermäuse, Siebenschläfer) besonders wichtig.
- Andere Arten, die nicht auf Totholz angewiesen sind, nutzen es als Schutz, Strukturelement und Ressource, wenn es zur Verfügung steht (z.B. als Anknüpfungspunkt für ein Spinnennetz oder als Versteck für einen Salamander). Unter den Arthropoden sind viele bodenbewohnende Arten bekannt, die nicht zu den klassischen Xylobionten gezählt werden, aber dennoch vom Totholz profitieren (z.B. Laufkäfer, Spinnen).

Zusammengefasste Ergebnisse

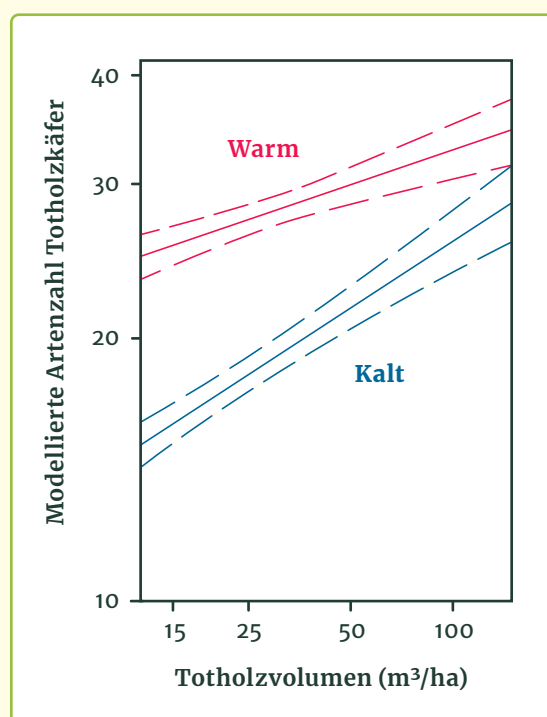
Im Folgenden finden sich kurz zusammengefasst Ergebnisse einiger Arbeiten aus den Biodiversitäts-Exploratorien, die auch wichtige Hinweise für eine naturnahe Waldbewirtschaftung geben.



Totholzkäfer

- **Anhand der BELongDead-Stämme zeigten GOSSNER et al. (2016), dass sich sowohl die mittlere Artenzahl pro Stamm (α -Diversität) als auch die Gesamtartenzahl der Totholzkäfer über mehrere Stämme (γ -Diversität) zwischen Baumarten in den ersten drei Jahren der Totholzzersetzung unterscheiden.** Besonders viele und auch seltene Arten kamen beispielsweise an der Hainbuche vor. Dabei spielte es keine Rolle, ob die Stämme in Laub- oder Nadelwald bzw. in bewirtschafteten oder unbewirtschafteten Beständen ausgelegt worden waren, allerdings war die Zersetzung bei dieser Baumart nach drei Jahren auch schon wesentlich weiter fortgeschritten als bei anderen Arten. Insgesamt nahm die Käfervielfalt mit einer Kombination unterschiedlicher Baumarten (v.a. Hainbuche und Fichte) zu. Daher sollten sich Totholzanreicherungsstrategien weniger auf die bloße Menge an Totholz, sondern viel mehr auf attraktive Baumartenkombinationen konzentrieren.
- **Die Bedeutung der Baumartenvielfalt für die Vielfalt der Totholzkäfer war zu Beginn der Zersetzung am höchsten und nahm dann über die Zeit mit zunehmender Zersetzung ab** (SEIBOLD et al. 2023).
- **Auch die Bewirtschaftungsintensität beeinflusste die Artenvielfalt der Totholzkäfer.** Eine höhere Bewirtschaftungsintensität (und ein höherer Nadelholzanteil) förderte den Artenreichtum der Totholzkäfer insgesamt, der Generalisten und der Nadelholz-Spezialisten, jedoch nicht der Laubholz-Spezialisten. Zudem profitierten viele Arten von den mikroklimatischen Bedingungen in weniger geschlossenen Beständen (EDELMANN et al. 2022). Für die Praxis untermauern die Ergebnisse die Bedeutung unterschiedlicher Bestandestypen (z.B. Laub- und Nadelholzbestände) für die Artenvielfalt und die Bedeutung von Licht z.B. in Form von Lücken.
- **In acht Untersuchungsflächen wurde getestet, ob experimentell aufgehängtes bzw. ausgelegtes Totholz im Kronendach und am Waldboden für Totholzkäfer attraktiv ist und wie sich Totholz am Boden von dem in der Krone unterscheidet.** Damit sollte geprüft werden, ob künstliche Totholzanreicherung eine wirksame Strategie zur Förderung der Totholzkäfervielfalt sein kann. In bewirtschafteten Wäldern, in denen die Abundanz und Diversität saproxylicher Käferarten gering war, führte die Anreicherung von Totholz zu einer unmittelbaren Zunahme der Arten und zu einer Veränderung der Gildenzusammensetzung, insbesondere im Kronendach. Die Ergebnisse zeigen also, dass durch die Anreicherung von Totholz die Artenvielfalt von Totholzkäferarten gesteigert werden kann (GOSSNER et al. 2013).
- **In einer weiteren Studie wurde untersucht, inwieweit höhere Temperaturen mögliche negative Auswirkungen geringer Totholz-mengen auf den Artenreichtum von Totholzkäfern kompensieren können (Temperatur-Totholz-Kompensationshypothese), und zwar sowohl auf makroklimatischer als auch auf topoklimatischer Ebene (nord- und südexponierte Hänge).** Dafür analysierten die Wissenschaftler:innen 1404 Fallen-Fänge in ganz Europa (u.a. auf den Untersuchungsflächen der Biodiversitäts-Exploratorien), um die Wechselwirkungen

zwischen Temperatur und Totholzmenge auf den Artenreichtum zu untersuchen. Es wirkten sich sowohl die Temperatur als auch die Totholzmenge unabhängig voneinander positiv auf den Gesamtartenreichtum und den Reichtum an bedrohten Arten aus, aber Temperatureffekte waren bei kleinen Totholz mengen bedeutsamer als bei großen. Das Ergebnis ist für die praktische Waldbewirtschaftung in doppelter Hinsicht von Bedeutung: Erstens hat sich gezeigt, dass nicht nur die Totholzmenge allein für die Vielfalt an Totholzkäferarten entscheidend ist, sondern auch die Frage wo das Holz liegt, d.h. welchem Temperaturregime es ausgesetzt ist (**Abbildung 8**). Zweitens zeigt das Ergebnis Möglichkeiten auf, durch eine geschickte Verteilung des Totholzes auch mit geringeren Mengen positive Effekte für die Artenvielfalt der Totholzkäfer zu erreichen



(MÜLLER et al. 2015). So kann durch die Anreicherung von Totholz in südexponierten Bestandesbereichen eine nur geringe verfügbare Menge an Totholz insgesamt teilweise kompensiert werden.

- **WENDE et al. (2017) untersuchten die Netzwerkstruktur von drei trophischen Gruppen von Totholzkäfern über drei Sukzessionsjahre in den BELongDead-Stämmen. Die Autor:innen fanden eine bemerkenswert hohe Spezialisierung der totholzfressenden Xylophagen und eine geringere Spezialisierung der pilzfressenden und räuberischen Käferarten.** Die Spezialisierung der Käferartengemeinschaft auf bestimmte Baumarten nahm mit zunehmendem Zersetzungsgrad des Totholzes ab. Bei fortgeschrittener Zersetzung spielten vielmehr abiotische Faktoren, wie der Wassergehalt des Holzes, eine Rolle für die Frage von welchen Arten das Holz besiedelt wurde. Auch dieses Ergebnis unterstreicht, dass Totholz möglichst vieler Baumarten im Wald verbleiben sollte, um darauf spezialisierten Käfergemeinschaften eine ausreichende Überlebensfähigkeit und ihre wichtige Funktion im Hinblick auf den Holzabbau und den damit zusammenhängenden Nährstoffkreislauf zu sichern.

Abbildung 8
Einfluss der Interaktion von Totholzmenge und Umgebungstemperatur auf den Artenreichtum von Totholzkäfern (verändert nach MÜLLER et al. 2015).

Pilzarten

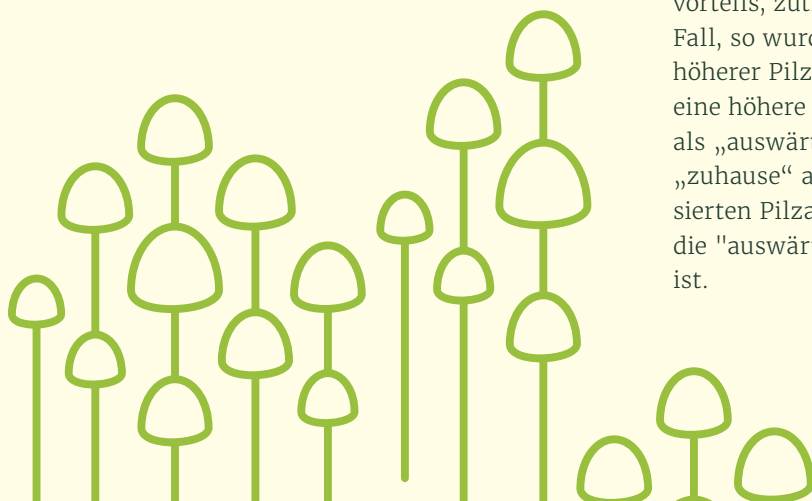
● **Mit einer neuartigen Methode bestimmten KAHL et al. (2015) an den BELongDead-Stämmen die Kohlenstoffemissionsraten, die Aufschluss über die Zersetzungsgeschwindigkeit geben.** Wie sich zeigte, waren die Baumart, die Holztemperatur und der Pilzartenreichtum die für die Zersetzung wesentlichen Einflussfaktoren. Andere Größen wie z.B. die Holzdichte, der Wassergehalt oder die Bewirtschaftungsintensität des umliegenden Bestandes waren für die Zersetzung von untergeordneter bzw. ohne Bedeutung. Die höchsten CO₂-Emissionen fanden sich für die Hainbuche, die Birke und die Buche, drei Arten, die die Pilze besonders schnell zersetzen.

● **Es wurde bisher davon ausgegangen, dass es für Pilze bei der Besiedelung toten Holzes keinen großen Unterschied macht von welcher Baumart das Holz stammt.** Dass dem nicht so ist, konnte anhand molekulargenetischer Methoden (also der genetischen Analyse von Holzproben ohne auf Pilzfruchtkörper angewiesen zu sein) von PURAHONG et al. (2018) gezeigt werden. So scheinen die verschiedenen Pilzartengemeinschaften je nach Baumart sehr wohl unterschiedlich zusammengesetzt zu sein (**Abbildung 9**). Trotz ähnlicher Holzeigenschaften unterschieden sich Esche und Eiche am meisten in ihren Artengemeinschaften. Die meisten Arten pro Stamm (α -Diversität = 42) und Baumart

(γ -Diversität = 473) wurden auf der Douglasie nachgewiesen, mit die wenigsten Arten auf der Buche (22/290). Insgesamt lagen α - und γ -Diversität der Nadelhölzer deutlich über den Werten der Laubhölzer.

● **In Erweiterung der Studie von PURAHONG et al. (2018) stellten sich LEONHARDT et al. (2019) die Frage, inwieweit sich die Pilzartengemeinschaften nicht nur zwischen den Baumarten unterscheiden, sondern es bei der Besiedelung von Splint- und Kernholz auch innerhalb der Baumarten zu unterschiedlich zusammengesetzten Artengemeinschaften kommt.** Erstaunlicherweise war dies aber nicht der Fall. Da die Stämme zum Zeitpunkt der Studie schon über sechs Jahre dem Pilzbefall ausgesetzt waren, ließen sich mögliche anfänglich vorhandene Unterschiede in der Besiedelung von Splint- und Kernholz nicht mehr nachweisen.

● **In einer weiteren Studie untersuchten PURAHONG et al. (2019), inwiefern die Zersetzergemeinschaft auf totem Holz von Buche und Fichte davon abhängt, ob das Holz jeweils in einem Buchenbestand oder einem Fichtenbestand liegt.** Salopp ausgedrückt: die Wissenschaftler:innen fragten sich, ob es wie z.B. im Fußball eine Rolle spielt, ob das Spiel zuhause (also Buchentotholz im Buchenbestand) oder auswärts (Buchentotholz im Fichtenbestand) stattfindet. Damit untersuchten sie, ob die sogenannte Hypothese des „Home-Field-Advantage“, also die Hypothese des Heimvorteils, zutrifft. In der Tat war das der Fall, so wurde „zuhause“ nicht nur ein höherer Pilzartenreichtum, sondern auch eine höhere Zersetzungsrate festgestellt als „auswärts“, was vermutlich mit einer „zuhause“ allgegenwärtigen und spezialisierten Pilzartengemeinschaft zu tun hat, die „auswärts“ nicht komplett vorhanden ist.



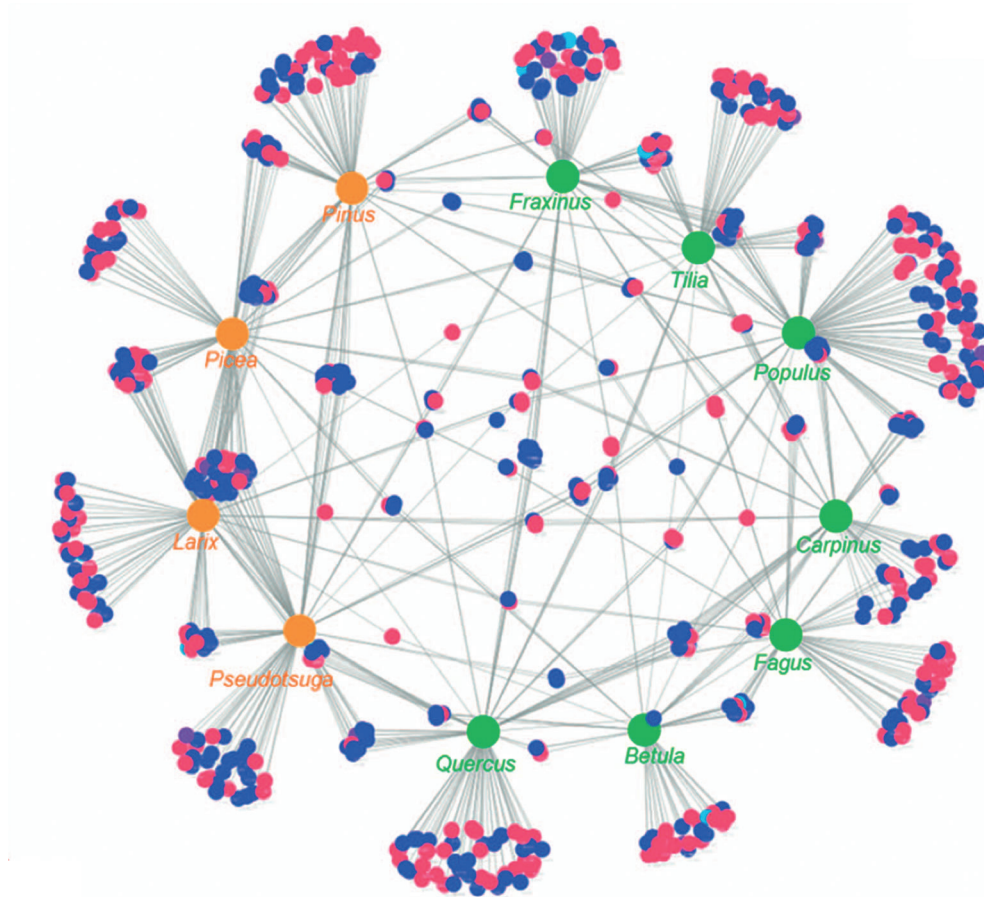


Abbildung 9

Visualisierung der Netzwerkstruktur der Pilzarten mit Spezialisierung auf bestimmte Baumarten. Große Knotenpunkte zeigen die Baumarten (orange für Nadelbäume, grün für Laubbäume), kleine Knotenpunkte zeigen Schlauchpilze (blau),

Ständerpilze (rot), Jochpilze (hellblau) und nicht identifizierte Pilze (violett). Es sind Pilzarten dargestellt, die auf maximal zwei Baumarten vorkamen (aus PURAHONG et al. 2018).

Weitere Artengruppen

- **In den Biodiversitäts-Exploratorien wurden auch weniger prominente Artengruppen untersucht.** So konnten MOLL et al. (2021) nachweisen, dass auch Nematoden (Fadenwürmer) von der Baumartenidentität des Totholzes abhängig sind. Ob dies an den Holzeigenschaften liegt oder an den das Holz zersetzenden Pilzen und Bakterien, die die Nahrung der Nematoden bilden, ist noch unklar, auch ob die Nematoden direkt an der Totholzzersetzung beteiligt sind.

Totholz und Ökosystemfunktionen und -leistungen

- **Anhand der BELongDead-Stämme wurde nachgewiesen, dass die Zersetzung des Totholzes entscheidend von der Vielfalt der besiedelnden Käfer- und Pilzarten und dem Vorhandensein der holzzersetzenden Enzyme Laccase und Endocellulase bestimmt wird (KAHL et al. 2017).**
- **Zerstreuporer (z.B. Buche) zersetzten sich über ca. 10 Jahre am schnellsten (ca. 70 % zersetzt) gefolgt von Nadelhölzern (49 %) und Ringporern (z.B. Eiche, 46 %).**
Die Zersetzungsgeschwindigkeit war in Schorfheide-Chorin mit höheren Temperaturen und nährstoffärmeren Bodenbedingungen am schnellsten (EDELMANN et al. 2023).
- **Es wurde außerdem nachgewiesen, dass atmosphärische Stickstoffdepositionen vor allem die Zersetzung von Nadelholz beschleunigen, was sich langfristig auf den Kohlenstoffkreislauf auswirken kann (ROY et al. 2023).** Auf das Laubholz hatten erhöhte Stickstoffwerte keinen Einfluss.
- **Der Einfluss der Zersetzung auf die Bodenbedingungen unterschied sich jedoch kaum zwischen den Baumarten. Kohlenstoff-, Stickstoff-, Phosphor- und Calcium-Konzentrationen waren um 5-18 % höher unter den Stämmen als in den Kontrollbereichen.** Die stärksten Auswirkungen der Baumstämme auf die Bodenparameter traten in Flächen mit niedrigem Nährstoffgehalt und niedrigem pH-Wert des Bodens auf (MINNICH et al. 2021).
- **Die meisten Mikroorganismen und Pilze benötigen Sauerstoff, um Totholz zu zersetzen und bilden bei der Atmung Kohlenstoffdioxid (CO₂).** Darüber hinaus können Archaeen CO₂ in Abwesenheit von Sauerstoff veratmen, was zur Methanbildung (CH₄) führt. KIPPING et al. (2022) haben die

Gasemissionsraten beider Gase während der Zersetzung der 13 Baumarten im BELong-Dead-Experiment bestimmt. Die Emissionsraten von CO₂ und CH₄ unterschieden sich dabei stark zwischen den Baumarten, was von ihren Holzeigenschaften abhing. Beide Gasemissionsraten waren unter feuchten Bedingungen höher, während höhere Temperaturen nur die CO₂-Emissionsrate erhöhte. Die Intensität der Waldbewirtschaftung verringerte die CO₂-Emissionsrate, während Methanemissionen sehr variabel waren.

- **Aus sich zersetzendem Totholz wird Stickstoff freigesetzt.** In einer Studie von BANTLE et al. (2014) zeigte sich, dass dies für alle der untersuchten 13 Baumarten der Fall war und es sich dabei im wesentlichen um gelösten organischen Stickstoff handelte. Interessanterweise stand das Verhältnis von gelöstem Kohlenstoff zu gelöstem Stickstoff in einem positiven Zusammenhang zum Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis des Ausgangsmaterials (Rinde und Splintholz).
- **Wenn sich totes Holz zersetzt, wird es zum einen bis zu den mineralischen Nährstoffen abgebaut, die z.B. von Pflanzenwurzeln wieder aufgenommen werden können und damit dem Wachstum der Vegetation dienen.** Zum anderen wird ein großer Teil der Holzmasse zu Huminstoffen umgebaut, wodurch sich Kohlenstoff längerfristig im und auf dem Boden anreichert und unter anderem dessen Wasserspeicherkapazität

Abbildung 10
BELongDead-Stämme mit experimentellen Aufbauten – sogenannte Eklektoren – zum Fangen holzbewohnender Insekten.

erhöht. Allerdings sind diese Effekte zeitlich und auch räumlich begrenzt, da sie im Wesentlichen auf den Bereich unterhalb des Totholzes beschränkt bleiben (Interviewergebnis).

- **Totholz trägt zum Kohlenstoffhaushalt der Wälder bei und ist somit, zumindest bis zu seiner vollständigen Zersetzung, ein wertvoller Speicher für Kohlenstoff.** Global be-

trachtet macht das Totholz ~8 % des Kohlenstoffpools im Wald aus (PAN et al. 2011), ihm kommt daher temporär eine wichtige regulierende Wirkung zu. Diese ergibt sich auch durch seine Bedeutung als Wasserspeicher und Erosionsschutz sowie seine Rolle im Nährstoffkreislauf. Außerdem bekommt Totholz für immer mehr Menschen einen ästhetischen Wert (Interviewergebnis).





Praxisrelevante Tipps der Expert:innen

- i** In verschiedenen Beständen eines Reviers sollten **mengenmäßige Untergrenzen von 20 bis 50 m³/ha Totholz angestrebt** werden (vgl. auch MÜLLER & BÜTLER 2010). Tatsächlich reicht für manche Organismen bereits eine Totholzmenge von 1–2 m³/ha aus, andererseits gibt es Arten, die erst bei 120–140 m³/ha vorkommen. Die genannte Größe von 20 bis 50 m³/ha stellt demnach einen Richtwert dar, der wirtschaftlich vertretbar scheint, für die Biodiversität jedoch eine große Bedeutung hat. Wo es möglich ist, sollten allerdings **vereinzelt auch höhere Mengen** realisiert werden. Höhere Mengen in einzelnen Beständen sind nach MÜLLER & BÜTLER (2010) wichtiger als eine Realisierung geringerer Mengen in allen Beständen. Für die Praxis heißt dies, dass **Totholz räumlich verteilt in unterschiedlichen Mengen** vorhanden sein sollte.
- i** Wie viele Untersuchungen zeigten, ist es nicht nur die **Menge an Totholz**, die den Artenreichtum begünstigt, sondern auch **seine Zusammensetzung**. Je **unterschiedlicher** die Durchmesser, die Baumarten und der Zersetzungsgrad sind und je vielfältiger die Umweltbedingungen (Schatten und Sonne), in denen das tote Holz zu finden ist, **desto eher wird das gesamte Spektrum an Arten**, die Totholz für Überleben und Vermehrung benötigen, **gefördert**.
- i** Grundsätzlich sollten **Baumstümpfe und Ernterückstände** (Kronenmaterial) **im Bestand belassen** werden, da auch diese Komponenten zur Totholzmenge und zur Diversifizierung von Totholz beitragen.
- i** Auch starkes Totholz im Bestand belassen: **Je dicker das Totholz, desto länger braucht die Zersetzung**, desto länger steht das Substrat zur Verfügung und desto eher können sich **artenreiche Lebensgemeinschaften entwickeln**. Gerade seltene Pilzarten und Käferarten sind auf große Baumstämme angewiesen. Große Baumstämme bieten mehr Ressourcen und Nischen und können daher mehr Arten beherbergen. Von besonderer Bedeutung ist auch **stehendes Totholz**, das durch fehlenden Bodenkontakt dauerhafter ist und vor allem Höhlenbrütern Habitate bietet (**Abbildung 11**).
- i** **Auch Wurzelmaterial sollte als Totholz im Wald belassen** werden, weil es ebenfalls ein wichtiges Habitat für viele Tierarten darstellen kann.



Abbildung 11
Buntspechte in Baumhöhle

i Im Falle flächig abgestorbener Bestände: **Untersuchungen haben gezeigt, dass die Artenvielfalt davon profitiert, wenn das tote (meist stehende) Holz zumindest teilweise auf der Fläche verbleibt** (THORN et al. 2020). Insbesondere dann, wenn eine Räumung der Flächen wirtschaftlich nicht mehr lohnend erscheint, sollten die abgestorbenen Bäume auf der Fläche verbleiben. Sie sorgen für ein ausgeglichenes

Mikroklima und erleichtern damit auch den Waldumbau mit spätsukzessionalen Baumarten.

i **Totholz** sollte aus mikroklimatischen Gründen und aus Gründen der Arbeitssicherheit eher **in Gruppen** als einzeln auf der Fläche verteilt **stehen bleiben**.



Schritte zum eigenen Totholzkonzept

- ✓ Sich über die Bedeutsamkeit von **Totholz im Wald informieren**.
- ✓ Eine **Totholzinventur durchführen**, um das Auge zu schulen, Potenziale auszuloten und gezielt Bereiche für eine Totholz-anreicherung auszusuchen. Allgemein gilt bei begrenzter Totholzverfügbarkeit, dass eine Anreicherung vor allem in wärmeren Bestandesbereichen (z.B. Lücken, südexpo-nierte Hänge) für die Artenvielfalt effektiv ist.
- ✓ **Misch- und Nebenbaumarten**, die im Zuge von Bestandespflegemaßnahmen entnommen werden, sollten **im Bestand als Totholz verbleiben**, um Totholzorganismen ein breites Baumartenspektrum zu bieten. Anreicherungen sollten zudem in unter-schiedlichen Bestandestypen und räumlich heterogen stattfinden (wo räumlich mög-lich höhere Mengen erzeugen, während in anderen Beständen wenig Totholz ver-bleibt).
- ✓ Es kommt nicht nur auf die großen Dimen-sionen an. Auch **Baumstümpfe und Kro-nenmaterial zählen zur Totholzmenge** dazu und bieten Arten Lebensraum. Wenn möglich, sollten aber auch Totholzobjekte größerer Dimension in Beständen belassen werden.
- ✓ Wenn der **Bestand geschlossen** ist, kön-nen **Lücken geschaffen** werden, in denen man das Totholz liegen lässt. Oft reichen schon Lücken von ca. 1000m², **um das Mi-kroklima zu verändern** und zusätzlichen Arten einen Lebensraum zu bieten. Das veränderte Mikroklima manifestiert sich in einer höheren Einstrahlung, größeren Temperaturunterschieden und einer höhe-ren Niederschlagsmenge, die den Waldbo-den erreicht, im Vergleich zum geschlos-senen Bestand. **Zusätzliches Totholz im geschlossenen Bestand erhöht die Gesamt-artenvielfalt**, da sich die Artengemein-schaften in besonntem und beschattetem Totholz unterscheiden.
- ✓ Eine weitere aktive Anreicherungsmaß-nahme kann das **Ringeln von Bäumen** sein, um sie langsam zum Absterben zu bringen und stehendes Totholz zu erzeu-gen (**Abbildung 12**). Eine **Besiedelung des Baumes mit Totholzbewohnern** aller Suk-

zessionsstadien ist so möglich. Zudem trägt diese Maßnahme zur Vielfalt des Totholzes (stehend und liegend, unterschiedliche Dimensionen) bei. **Aber Vorsicht:** eines Tages fällt der Baum in sich zusammen, man sollte dafür nur Bereiche wählen, die unzugänglich sind. Vor diesem Hintergrund ist es auch besser, stehendes Totholz in Baumgruppen zu akkumulieren.

- ✓ Nach Möglichkeit sollte das Totholz **unterschiedliche Zersetzungsgrade** repräsentieren, es muss deshalb in Abhängigkeit der Baumarten und ihrer spezifischen Zersetzungsdauer immer auch an Nachschub gedacht werden.

- ✓ Bei einer anstehenden Holzernte sollten **Ernterückstände stets im Bestand belassen** werden. Zudem können bei der Ernte geschädigte Bäume als sog. **Habitatbäume** markiert werden, die bis zu ihrem natürlichen Verfall im Bestand verbleiben. Dies kann langfristig die Bereitstellung von Totholz sichern.

Sie haben Fragen?

Die Biodiversitäts-Exploratorien stehen Ihnen zur Verfügung:
beo@senckenberg.de

Abbildung 12

Geringelte Bäume sterben ab und werden zu Totholz.



Glossar

Altersklassenwälder	Waldbestände, die aus gleichaltrigen oder annähernd gleichaltrigen Bäumen bestehen (Altersspanne innerhalb eines Bestandes unter 20 Jahre) und flächenweise („schlagweise“) gepflegt, durchforstet, genutzt und verjüngt werden. Die Ernte kann im Kahlschlag, Saumschlag oder verschiedenen Schirmschlagverfahren erfolgen, die Verjüngung über Pflanzung oder Naturverjüngung.
Arthropoden	Gliederfüßer. Ein sehr umfangreicher Stamm des Tierreichs, zu dem die Tiergruppen Insekten, Tausendfüßer, Krebstiere und Spinnentiere gehören.
Biodiversität	Beschreibt die Vielfalt unterschiedlichen Lebens in einem bestimmten Landschaftsraum. Man unterscheidet zwischen α -, β - und γ -Diversität. Die α -Diversität ist das Maß für die mittlere Artenvielfalt in einem sich aus unterschiedlichen Habitaten zusammensetzenden Lebensraum. Auch die Zahl der gefundenen Arten auf einem Totholzstamm zählt zur α -Diversität. Die β -Diversität beschreibt hingegen den Unterschied in der Artenvielfalt zwischen den Habitaten einer Landschaft oder zwischen den Totholzstämmen einer Baumart oder verschiedener Baumarten. Die γ -Diversität beschreibt schließlich die gesamte Artenvielfalt der betreffenden Landschaft, einer Baumart oder einer Kombination verschiedener Baumarten.
Habitat	Charakteristischer Lebensraum einer Art (evtl. mehrere Teilhabitate für Eiablage, Larvenstadium, Imaginallebensraum, Paarungsraum).
Habitatbaum	Ein Habitatbaum ist ein lebender oder toter, stehender Baum, der mindestens ein Mikrohabitat aufweist (waldwissen.net).
Lignin	Ein in der pflanzlichen Zellwand eingelagertes Biopolymer, das die Verholzung der Zelle bewirkt (Lignifizierung).
Mikrohabitat	Ein Lebensraum mit kleiner räumlicher Ausdehnung (auch Kleinlebensraum), z.B. Baumhöhle, Flechtenrasen auf einer Rinde, winziges Feuchtbiotop in einer Astgabel, etc..
Mikroklima	Die klimatischen Verhältnisse, die in einem kleinen, klar umrissenen Bereich vorherrschen und das im Gebiet herrschende Makroklima modifizieren (z.B. die kühleren Temperaturen und die höhere Luftfeuchtigkeit am Boden in einem geschlossenen Wald). Das Mikroklima eines Waldes wird im Wesentlichen durch die standörtlichen Gegebenheiten und die Bestandesdichte- und Zusammensetzung bestimmt.
Ökosystemleistungen	Bezeichnet den von Ökosystemen für den Menschen geleisteten Nutzen. Beispiele für Ökosystemdienstleistungen sind das Bestäuben von Obstblüten durch Insekten, die Bereitstellung von nutzbarem Wasser durch natürliche Filtration von Niederschlag sowie die Bereitstellung von frischer Luft und einer ansprechenden Umwelt für Freizeit, Erholung und ästhetische Erbauung.
Ökosystemfunktionen	Allgemeine Bezeichnung für die in einem Ökosystem ablaufenden Prozesse und Stoffflüsse. Beispiele sind die Zersetzung der Laubstreu oder von Totholz und der damit zusammenhängende Nährstoffkreislauf oder der Wasserkreislauf.
Plenterwälder	Sich stetig verjüngende Dauerwälder, in denen Bäume aller Dimensionen und Altersklassen kleinflächig vermischt sind. Im Plenterbetrieb werden in häufigen, aber schwachen Eingriffen einzelne vorzugsweise dicke Bäume gefällt.
Saproxylisch	sapro- = faulig, xylos = Holz also von Alt- und Totholz abhängig
Xylobiont	xylos = Holz, bios = Leben also "das Holz bewohnend", "im Holz lebend" oder "Holzbewohner".

Literatur

Bantle A., Borken W., Matzner E. (2014) Dissolved nitrogen release from coarse woody debris of different tree species in the early phase of decomposition. In: *Forest Ecology and Management* 334, S. 277–283. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.015>.

Bässler C., Ernst R., Cadotte M., Heibl C., Müller J. (2014) Near-to-nature logging influences fungal community assembly processes in a temperate forest. In: *Journal of Applied Ecology* 51, S. 939–948. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12267>.

Bundeswaldinventur (2014) Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur. <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bundeswaldinventur3.html>

Edelmann P., Ambarlı D., Gossner M. M., Schall P., Ammer C., Wende B. et al. (2022) Forest management affects saproxylic beetles through tree species composition and canopy cover. In: *Forest Ecology and Management* 524, 120532. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120532>.

Edelmann P., Weisser W. W., Ambarlı D., Bässler C., Buscot F., Hofrichter M. et al. (2023) Regional variation in deadwood decay of 13 tree species: Effects of climate, soil and forest structure. In: *Forest Ecology and Management* 541, 121094. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121094>.

Friess N., Müller J. C., Aramendi P., Bässler C., Brändle M., Bouget C. et al. (2019) Arthropod communities in fungal fruitbodies are weakly structured by climate and biogeography across European beech forests. In: *Diversity and Distributions* 25, 783–796. <https://doi.org/10.1111/ddi.12882>.

Gossner M. M., Floren A., Weisser W. W., Linsenmair K. E. (2013) Effect of dead wood enrichment in the canopy and on the forest floor on beetle guild composition. In: *Forest Ecology and Management* 302, S. 404–413. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.039>.

Gossner M. M., Wende B., Levick S., Schall P., Floren A., Linsenmair K. E. et al. (2016) Deadwood enrichment in European forests – Which tree species should be used to promote saproxylic beetle diversity? In: *Biological Conservation* 201, S. 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.06.032>.

Hobi M. L., Commarmot B., Bugmann H. (2015) Pattern and process in the largest primeval beech forest of Europe (Ukrainian Carpathians). In: *Journal of Vegetation Science* 26, S. 323–336. <https://doi.org/10.1111/jvs.12234>.

Kahl T., Arnstadt T., Baber K., Bässler C., Bauhus J., Borken W. et al. (2017) Wood decay rates of 13 temperate tree species in relation to wood properties, enzyme activities and organismic diversities. In: *Forest Ecology and Management* 391, S. 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.012>.

Kahl T., Baber K., Otto P., Wirth C., Bauhus J. (2015) Drivers of CO₂ Emission Rates from Dead Wood Logs of 13 Tree Species in the Initial Decomposition Phase. In: *Forests* 6, S. 2484–2504. <https://doi.org/10.3390/f6072484>.

Kipping L., Gossner M. M., Koschorreck M., Muszynski S., Maurer F., Weisser W. W. et al. (2022) Emission of CO₂ and CH₄ From 13 Deadwood Tree Species Is Linked to Tree Species Identity and Management Intensity in Forest and Grassland Habitats. In: *Global Biogeochemical Cycles* 36, e2021GB007143. doi: 10.1029/2021GB007143.

Leonhardt S., Hoppe B., Stengel E., Noll L., Moll J., Bässler C. et al. (2019) Molecular fungal community and its decomposition activity in sapwood and heartwood of 13 temperate European tree species. In: *PloS One* 14, e0212120. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212120>.

Minnich C., Persoh D., Poll C., Borken W. (2021) Changes in Chemical and Microbial Soil Parameters Following 8 Years of Deadwood Decay: An Experiment with Logs of 13 Tree Species in 30 Forests. In: *Ecosystems* 24, S. 955–967. doi: 10.1007/s10021-020-00562-z.

Moll J., Roy F., Bässler C., Heilmann-Clausen J., Hofrichter M., Kellner H. et al. (2021) First Evidence That Nematode Communities in Deadwood Are Related to Tree Species Identity and to Co-Occurring Fungi and Prokaryotes. In: *Microorganisms* 9, 1454. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071454>.

Müller J., Brustel H., Brin A., Bussler H., Bouget C., Obermaier E. et al. (2015) Increasing temperature may compensate for lower amounts of dead wood in driving richness of saproxylic beetles. In: *Ecography* 38, S. 499–509. <https://doi.org/10.1111/ecog.00908>.

- Müller J., Bütler R. (2010)** A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. In: *European Journal of Forest Research* 129, S. 981–992. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0400-5>.
- Pan Y., Birdsey R. A., Fang J., Houghton R., Kauppi P. E., Kurz W. A. et al. (2011)** A large and persistent carbon sink in the world's forests. In: *Science* 333, S. 988–993. <https://doi.org/10.1126/science.1201609>.
- Purahong W., Wubet T., Krüger D., Buscot F. (2018)** Molecular evidence strongly supports deadwood-inhabiting fungi exhibiting unexpected tree species preferences in temperate forests. In: *The ISME Journal* 12, S. 289–295. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.177>.
- Purahong W., Kahl T., Krüger D., Buscot F., Hoppe B. (2019)** Home-Field Advantage in Wood Decomposition Is Mainly Mediated by Fungal Community Shifts at "Home" Versus "Away". In: *Microbial Ecology* 78, S. 725–736. <https://doi.org/10.1007/s00248-019-01334-6>.
- Roy F., Ibayev O., Arnstadt T., Bässler C., Borken W., Groß C. et al. (2023)** Nitrogen addition increases mass loss of gymnosperm but not of angiosperm deadwood without changing microbial communities. In: *Science of The Total Environment* 900, 165868. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165868.
- Schall P., Schulze E.-D., Fischer M., Ayasse M., Ammer C. (2018)** Relations between forest management, stand structure and productivity across different types of Central European forests. In: *Basic and Applied Ecology* 32, S. 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2018.02.007>.
- Seibold S., Rammer W., Hothorn T., Seidl R., Ulyshen M.D., Lorz J. et al. (2021)** The contribution of insects to global forest deadwood decomposition. *Nature* 597, S. 77–81. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03740-8>
- Seibold S., Weisser W.W., Ambarlı D., Gossner M. M., Mori A. S., Cadotte M. W. et al. (2023)** Drivers of community assembly change during succession in wood-decomposing beetle communities. In: *Journal of Animal Ecology* 92, S. 965–978. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13843>.
- Stokland J.N., Siitonen J., Jonsson B.G. (2012)** *Biodiversity in Dead Wood*. Cambridge University Press.
- Thorn S., Chao A., Georgiev K. B., Müller J., Bässler C., Campbell J. L. et al. (2020)** Estimating retention benchmarks for salvage logging to protect biodiversity. In: *Nature Communications* 11, 4762. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18612-4>
- Ulyshen M. D.; Šobotník J. (2018)** An Introduction to the Diversity, Ecology, and Conservation of Saproxylic Insects. In: Ulyshen M. D. (Hrsg.): *Saproxylic Insects*. Cham: Springer International Publishing (Zoological Monographs), S. 1–47.
- Vandekerckhove K., De Keersmaecker L., Menke N., Meyer P., Verschlede P. (2009)** When nature takes over from man: Dead wood accumulation in previously managed oak and beech woodlands in North-western and Central Europe. In: *Forest Ecology and Management* 259, S. 425–435. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.01.055>.
- Weedon J.T., Cornwell W.K., Cornelissen J.H.C., Zanne A.E., Wirth C., Coomes D.A. (2009)** Global meta-analysis of wood decomposition rates: a role for trait variation among tree species? In: *Ecology Letters* 12, S. 45–56. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01259.x>
- Wende B., Gossner M. M., Grass I., Arnstadt T., Hofrichter M., Floren A. et al. (2017)** Trophic level, successional age and trait matching determine specialization of deadwood-based interaction networks of saproxylic beetles. In: *Proceedings. Biological Sciences* 284, Nr. 1854. <https://doi.org/10.1098/rspb.2017.0198>.



„Exploratorien für funktionelle Biodiversitätsforschung“
gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)



Wald.Wissen
aus den Biodiversitäts-Exploratorien



**Besuchen Sie
unsere Website!**

Impressum

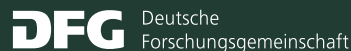
Biodiversitäts-Exploratorien

BEO – Biodiversity Exploratories Office
Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung
Senckenberganlage 25
60325 Frankfurt

beo@senckenberg.de
www.biodiversity-exploratories.de

Gefördert durch die

Deutsche Forschungsgemeinschaft



Projektsprecher

Prof. Dr. Markus Fischer

Bildnachweis

Victoria Grießmeier (S. 12), Jörg Hailer (S. 8), Steffi Heinrichs (S. 9, S. 10), Willem van Hoesel (S. 25), Harald Kellner (S. 1, S. 2, S. 7, S. 16, S. 23, S. 32), Ilka Mai (S. 14), Martinus Martin (S. 17), Jörg Müller (S. 27), Peter Schall (S. 9, S. 10, S. 12), Ralf Schlehahn (S. 15), Miriam Teuscher (S. 32), verändert nach MÜLLER et al. 2015 (S. 19), aus PURAHONG et al. 2018 (S. 21)

Gestaltung

KLEINEFISCHE // Agentur für Konzept und Gestaltung

