

Waldumbau und Regenwurmfauna

Roswitha Walter, Vincent Buness, Bastian Schauer, Thomas Kudernatsch

Wie wirkt sich ein Umbau von reinen Fichtenbeständen hin zu Fichten-Buchen-Mischwäldern auf die Bodenlebewelt aus? Welchen Einfluss hat eine Beimischung von Buche auf die Artenvielfalt, Anzahl und Biomasse der im Waldboden lebenden Regenwürmer? Um diese Fragen zu beantworten, untersuchte die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) gemeinsam mit der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) die Regenwurmfauna im Ebersberger Forst.



Foto:
PantherMedia,
kolesnikovserg

Regenwürmer können in temperierten Wäldern eine wichtige Rolle als Zersetzer übernehmen und die physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften beeinflussen (Kooch & Jalilvand 2008, Schäfer et al. 2009, Ehrmann 2015). Sie zerkleinern organisches Material (z. B. verrottendes Laub), mischen es in den Boden ein und beschleunigen dessen Abbau. Regenwürmer verbessern zudem das Bodengefüge und fördern die Biodiversität, indem sie vielen Tieren (z. B. Großlaufkäfern, Füchsen, Wildschweinen) als Nahrung dienen.

In Deutschland sind bislang 49 Regenwurmarten nachgewiesen. Davon haben zehn eine enge Bindung an Wälder, 28 kommen gleichermaßen in Wald und Offenland vor (Graefe et al. 2019). Das Vorkommen von Regenwürmern wird sowohl von den Standortbedingungen (z. B. Bodentextur, Bodenfeuchte, Boden-pH) als auch von der Nutzungsform ge-

prägt (Ehrmann 2015, Hlava & Kopecký 2013, Jänsch et al. 2013). In Wäldern beeinflussen zudem Baumartenzusammensetzung und Streuqualität die Artenvielfalt und Populationsgröße der Regenwürmer (Cesarz et al. 2007, Schelfhout et al. 2017, Schwarz et al. 2015). Häufig besteht eine enge Abhängigkeit zwischen dem Abbau der Streu sowie der daraus resultierenden Humusform und dem Vorkommen von Regenwürmern (Ehrmann 2015). Ein Einfluss des Waldumbaus auf die Lebensgemeinschaft der Regenwürmer ist daher wahrscheinlich.

Untersuchungsgebiet Ebersberger Forst

Der Ebersberger Forst liegt in der Münchner Schotterebene und besteht seit dem 19. Jahrhundert überwiegend aus Fichtenbeständen. Seit Mitte/Ende des 20. Jahrhunderts baut man diese Bestände zu naturnäheren Laub-/Mischwäldern um. Die dabei wichtigste Baumart ist die Buche.

Aufgrund der tiefgehend entbasten Ausgangssubstrate und der lang andauernden Nadelwaldwirtschaft überwiegen in den Waldbeständen saure Verhältnisse im Oberboden und eher »ungünstige« Humusformen (vor allem Moder, vereinzelt rohhumusartiger Moder, Abbildung 1). In diesen Böden befindet sich die meiste organische Substanz in der Humusaufgabe.

Die »günstigeren« Humusformen »mullartiger Moder« und »F-Mull« treten kleinflächig auf und sind auf Bestandsbereiche mit höheren Buchenanteilen begrenzt.

Um das gesamte Artenspektrum der Regenwürmer im Projektgebiet abzubilden, wurden auch in den Waldkomplex eingebettete Waldwiesen in die Untersuchungen einbezogen. Unter der Grasschicht steht in den Waldwiesen direkt der Mineralboden an, der sehr humos und krümelig ist (Humusform »L-Mull«); die pH-Werte sind hier deutlich höher als in den Waldbeständen. Heterogene Bodenverhältnisse zwischen den Nadelwaldbeständen, Mischbeständen und Waldwiesen sind vor allem auf unterschiedliche Bewirtschaftung zurückzuführen, da die standörtlichen Verhältnisse im untersuchten Teil des Ebersberger Forstes insgesamt sehr homogen sind.

Erfassung der Regenwürmer und Umweltdaten

Die Regenwurmbeobachtung erfolgte in der zweiten Aprilhälfte 2021 in reinen Fichtenbeständen (Z) sowie in Mischbeständen aus Fichten und Buchen mit einem Buchenanteil von 40–50% (H). Innerhalb dieser beiden Bestandstypen differenzierte man zwischen jungen Beständen in der Stangenholzphase (Jungdurchforstung: JD) und älteren Beständen in der Baumholzphase (Altdurchforstung: AD). Ergänzend zu diesen vier Typen kam die Variante »Waldwiese« hinzu. Je Variante wurden vier Probestellen mit jeweils sechs Stichproben beprobt, wobei der Abstand zwischen den einzelnen Probestellen circa 4 m betrug (Abbildung 2). In den Probestellen mit hohem Buchenanteil lagen jeweils drei Stichproben in fichtendominierten und

Bodeneigenschaften	Wald	Waldwiese
Auflagehumus	Überwiegend Moder, org. Substanz sammelt sich im Laufe der Zeit an	Keiner/kaum vorhanden
Ah-Horizont	Geringmächtig, nicht krümelig, niedrige Aktivität	Mächtig, krümelig, hohe Aktivität
C/N-Verhältnis der Streu	Weit (ca. 40–50)	Eng (ca. 10–15)
pH-Werte der Humusaufgabe in Calciumchlorid (CaCl ₂)	Stark sauer pH-Werte Fichte: JD: 3,1–3,6; AD: 3,0–3,5 pH-Werte Buche: JD: 3,2–4,1; AD: 3,1–5,3	Leicht sauer pH-Werte: 4,8–5,8
Wasserhaushalt in der Vegetationsperiode	Oberboden kann stark austrocknen	Trocknet weniger stark aus

1 Bodeneigenschaften im Ebersberger Forst unter Wald im Vergleich zu den Waldwiesen



2 Regenwurmprobestellen (Fläche des Rings: $\frac{1}{4}$ m²) im Ebersberger Forst (links: Nadelwaldbestand, Mitte: Fichten-Buchen-Mischbestand, rechts: Waldwiese) Fotos: Roswitha Walter, LFL

drei in buchendominierten Bereichen. Insgesamt wurden über die 20 Probestellen somit 120 Stichproben genommen. Zur Erfassung der Regenwürmer im Boden kam eine »Austreibung« mit anschließender Handauslese zum Einsatz. Vor der Austreibung wurde die locker aufliegende Streuauflage von der $\frac{1}{4}$ m² großen Stichprobe entfernt und von Hand nach Regenwürmern durchsucht. Für die Austreibung verwendete man eine stark verdünnte Formaldehydlösung, die verteilt auf zwei Gaben aufgegossen wurde. Nach jeder Gabe wurden über 15 Minuten die an der Bodenoberfläche erscheinenden Regenwürmer eingesammelt. Anschließend stach man einen Teil der Probestelle ($\frac{1}{16}$ m²) circa 30 cm tief aus und durchsuchte ihn nach Regenwürmern. Alle gefundenen Regenwürmer wurden in Ethanol konserviert und im Labor gezählt, gewogen und bestimmt.

3 Mittlere Artenzahl, Abundanz und Biomasse der Regenwürmer in den Waldvarianten und im Boden unter den Waldwiesen (Mittelwerte von je vier Wiederholungen mit Standardabweichung)

Um Einflussfaktoren auf die Regenwurmbesiedlung zu identifizieren, dokumentierten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler folgende Parameter: Bedeckungsgrad jeder Stichprobenfläche mit Laubstreu, Nadelstreu und mit Moos, Fichten- und Buchenanteil im unmittelbaren Umfeld der Probestellen und pH-Wert des Auflagehumus. Weitere Parameter mit potenziellem Bezug zum Regenwurmbestand stammen aus Vegetations-, Waldstruktur- und Humuskartierungen, die auf den ein Hektar großen Probestellen durchgeführt wurden, sowie aus darauf aufbauenden Analysen (z. B. Berechnung der Zeigerwerte nach Ellenberg et al. 2001).

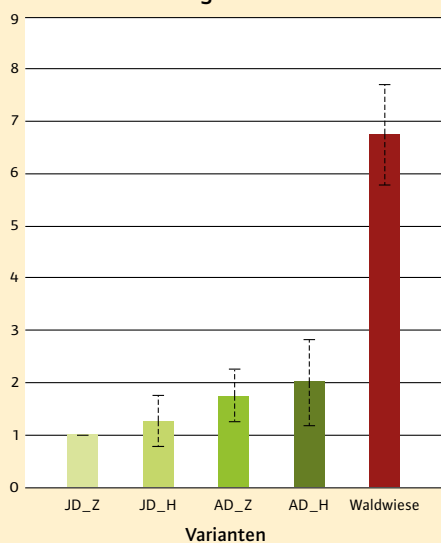
Artenvielfalt, Anzahl und Biomasse der Regenwürmer

Im Ebersberger Forst wurden über alle 20 Probestellen insgesamt 3.295 Regenwurmindividuen gefangen. Die mittlere Abundanz (Anzahl der Individuen/m²) und auch die mittlere Biomasse der Re-

genwürmer (g/m²) stieg in den beprobten Waldvarianten von »Jungdurchforstung mit hohem Buchenanteil von 40–50%« (JD_H) über »Altdurchforstung ohne Buche« (AD_Z) zu »Altdurchforstung mit hohem Buchenanteil von 40–50%« (AD_H) an (Abbildung 3). Daraus lässt sich kein deutlicher Einfluss des Waldumbaus auf die Regenwurmbestandsdichte ableiten. Auffällig war eine hohe Streuung der Regenwurmwerte in allen Waldvarianten. Dies deutet auf eine hohe räumliche Heterogenität der Lebensraumbedingungen hin, z. B. aufgrund einer kleinräumig voneinander abweichenden Struktur- und Nischenvielfalt oder Unterschieden in den Bodenfeuchtebedingungen.

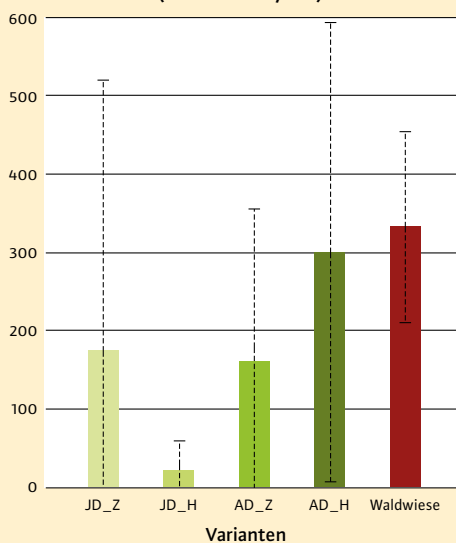
Vergleicht man die durchschnittliche Artenzahl der Regenwürmer je Waldvariante, zeigt sich ein Anstieg der Diversität gemäß folgender Reihenfolge: JD_Z, JD_H, AD_Z, AD_H (Abbildung 3, links). Dies spricht dafür, dass die Regenwurmart-

Artenzahl der Regenwürmer



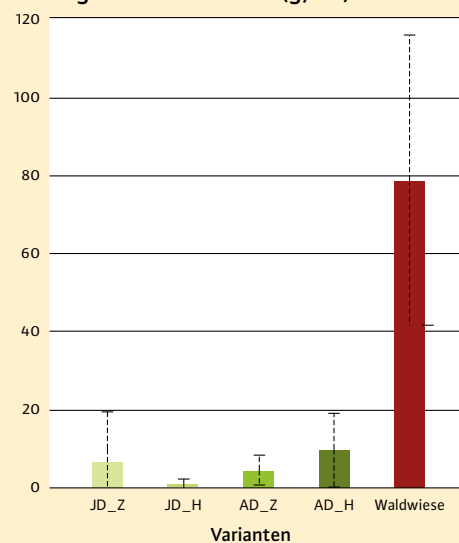
JD_Z: Jungdurchforstung ohne Buche
JD_H: Jungdurchforstung mit hohem Buchenanteil von 40–50 %

Abundanz (Individuen/m²)



AD_Z: Altdurchforstung ohne Buche
AD_H: Altdurchforstung mit hohem Buchenanteil von 40–50 %

Regenwurmbiomasse (g/m²)



vielfalt mit zunehmendem Bestandsalter bzw. höheren Buchenanteilen tendenziell ansteigt. Daraus lässt sich ein gewisser positiver Effekt der Buchenbeimischung auf die Regenwurmdiversität ableiten; Schelfhout et al. (2017) beispielsweise bestätigen dies ebenfalls. Mit im Durchschnitt ein bis zwei Arten je Probefläche ist die Artenzahl in allen Waldvarianten vergleichsweise niedrig. Betrachtet man jedoch die Artenzahl aller vier Probeflächen einer Variante insgesamt, ergibt sich eine Gesamt-Diversität von jeweils drei Arten in JD_Z, in JD_H und in AD_Z sowie vier Arten in AD_H (Abbildung 4) – dies entspricht einer für Wälder typischen Größenordnung. So fand Ehrmann (2015) auf 106 untersuchten Waldflächen in Baden-Württemberg im Mittel 3,5 Regenwurmarten, Jänsch et al. (2013) nennen durchschnittlich 3,9 Regenwurmarten für Laubwälder und 2,9 Arten für Nadelwälder. Zu berücksichtigen ist, dass sich der Waldumbau erst nach mehreren Jahrzehnten auf die Lebensbedingungen der Regenwürmer auswirkt. Beispielsweise ändern sich die pH-Werte der Humusaufgabe und vor allem des Mineralbodens nur sehr langsam. Zudem besiedeln Regenwürmer neu geschaffene Lebensräume nur ganz allmählich: Ihre Mobilität ist auf circa 5–10 m pro Jahr begrenzt. Die im Mittel höchsten Regenwurmbestandswerte wurden unter den Waldwiesen des Ebersberger Forsts festgestellt. Ihre Abundanz und Artenvielfalt liegen hier in der Größenordnung der für bayarisches Grünland ermittelten Durchschnittswerte (Boden-Dauerbeobachtungsflächen, Walter & Burmeister 2022).

Welche Faktoren wirken auf den Regenwurmbestand?

Insbesondere die Bodenfeuchte beeinflusst die Artenvielfalt positiv; sie wurde indirekt über Feuchtezeigerwerte der Vegetation ermittelt. Darüber hinaus bestimmt vor allem der Stickstoffgehalt im Boden die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer im Ebersberger Forst. Diesen Schluss lässt die signifikant positive Korrelation mit dem Stickstoffzeigerwert zu, der über die Vegetationskartierung bestimmt wurde. Ein tendenziell negativer Zusammenhang mit der Artenzahl ergab sich für das Totholzvolumen sowie für den Bedeckungsgrad durch Fichtennadeln. Letzteres deutet auf einen ungünstigen Einfluss

der Fichte auf Regenwürmer hin. Sowohl die Nadelstreu der Fichten als auch die Laubstreu der Buchen bieten aufgrund ihrer geringen Qualität (hoher Säuregehalt, breites C/N-Verhältnis) keine optimalen Lebensbedingungen für Regenwürmer (Cesarz et al. 2007, Kuznetsova et al. 2021, Schwarz et al. 2015) – insgesamt ist die Fichte in diesem Zusammenhang jedoch ungünstiger zu bewerten (Schelfhout et al. 2017). Weitere einbezogene Umweltvariablen wie »Mächtigkeit des Auflagehumus«, »pH-Wert«, »Lichtzeigerwert«, »Buchen« bzw. »Fichtenanteil« sowie »Moos-Deckungsgrad zeigten keine Korrelation zu Artenzahl, Abundanz und Biomasse der Regenwürmer. Was den pH-Wert betrifft: In den Mischbeständen mit einem hohen Buchenanteil wurden vor allem in den Altdurchforstungen etwas höhere, d.h. weniger saure pH-Werte als unter Fichtenreinbeständen gemessen. Dennoch liegen nach wie vor sehr saure Bodenbedingungen vor, was die fehlende Korrelation der Regenwurmartenzahl, -abundanz und -biomasse mit dem pH-Wert erklären könnte. Eine signifikant höhere Biomasse der Regenwürmer fanden Hlava & Kopecký (2013) erst ab einem pH-Wert über 3,9. Der positive Effekt der Bucheneinbringung auf die Bodenreaktion (insbesondere in der Humusaufgabe) ist wahrscheinlich noch nicht stark genug, um deutlich höhere Regenwurmbestandswerte zu erzielen.

Streubewohnende Regenwurmarten dominieren in den Waldbeständen

Über alle 16 beprobten Waldflächen waren insgesamt sechs Regenwurmarten nachweisbar, darunter fünf streubewohnende, säureliebende bzw. säuretolerante Arten (*Dendrobaena attemsi*, *D. octaedra*, *D. rubidus*, *Lumbricus castaneus*, *L. rubellus*). Dieses Artenspektrum und die niedrigen Regenwurmbiomassen sind typisch für bodensaure Wälder wie den Ebersberger Forst, die durch niedrige pH-Werte (< 3,8) und meist ungünstige Humusformen (Moder oder rohhumusartiger Moder) gekennzeichnet sind (Ehrmann 2015, Beylich & Graefe 2010). Da tiefgrabende Regenwurmarten in keiner der vier Waldvarianten vorkamen, unterbleibt die Einmischung der Streuauflage durch Regenwürmer in den Boden (Bioturbation) weitestgehend. Lediglich auf einer Altdurchforstungsfläche mit hohem Buchenanteil fand sich eine endogäische, flachgrabende Art (*Aporrectodea rosea*). Die im Ebersberger Forst dominierenden streubewohnenden Arten reagieren empfindlich auf die Bodenfeuchte und das Kohlenstoff/Phosphor-Verhältnis der Streu (Schelfhout et al. 2017). Eine Korrelation zwischen dem Vorkommen der bei-

⁴ Nachgewiesene adulte Regenwurmarten in den untersuchten Varianten im Ebersberger Forst mit Angabe ihrer deutschlandweiten Bestandssituation nach Lehmitz et al. (2016); alle Arten kommen sowohl im Wald als auch im Offenland vor – mit Ausnahme von *D. attemsi* (an den Wald gebunden) (Graefe et al. 2019).

Arten im Ebersberger Forst	JD_Z	JD_H	AD_Z	AD_H	Waldwiese	Bestandssituation
Streubewohnende Arten						
<i>Dendrobaena attemsi</i>	x	x	x	x	x	selten
<i>Dendrobaena octaedra</i>	x	x	x		x	häufig
<i>Dendrobaena rubidus</i>			x			häufig
<i>Lumbricus castaneus</i>				x	x	häufig
<i>Lumbricus rubellus</i>	x			x	x	sehr häufig
Mineralschichtbewohnende Arten						
<i>Aporrectodea rosea</i>				x	x	sehr häufig
<i>Aporrectodea caliginosa</i>					x	sehr häufig
<i>Octolasion tyrtaeum</i>					x	häufig
<i>Proctodrilus antipae</i>					x	selten
<i>Proctodrilus opisthoductus</i>					x	extrem selten
Tiefgrabende Art						
<i>Lumbricus terrestris</i>					x	sehr häufig
Summe	3	3*	3	4	10	

* Da in der Variante JD_H auch juvenile Tiere der Gattung *Lumbricus* gefunden wurden, die nicht eindeutig einer Art zuzuordnen waren, beträgt die Mindestartenzahl 3.

JD_Z: Jungdurchforstung ohne Buche
 JD_H: Jungdurchforstung mit hohem Buchenanteil von 40–50 %
 AD_Z: Altdurchforstung ohne Buche
 AD_H: Altdurchforstung mit hohem Buchenanteil von 40–50 %



Streubewohner
epigäische Arten

dunkel pigmentierte Arten

leben oberflächennah in der Streu und Humusauflage

bilden keine oder nur temporäre Röhren



Flachgräber/Mineralschichtbewohner
endogäische Arten

hell pigmentierte Arten

leben im Mineralboden bis ca. 60 cm Tiefe und graben ständig neue, auch horizontale Röhren

tragen zur Feindurchmischung von organischer Substanz mit dem Mineralboden bei



Tiefgräber
anezische Arten

vorne dunkel, hinten hell pigmentiert

legen nahezu senkrechte, tief in den Unterboden reichende stabile Röhren an

sammeln organisches Material an der Oberfläche und bringen dies in den Boden ein

5 Lebensformen der bodenbewohnenden Regenwürmer Fotos: Roswitha Walter, LfL

den streubewohnenden Arten *D. attemsi* und *D. octaedra* mit der Bodenfeuchtigkeit bestätigen auch Geraskina & Shevchenko (2021). So führen trockene Sommer insbesondere bei streubewohnenden Arten zu Populationsrückgängen, wobei *D. octaedra* empfindlicher reagiert als der in Südeuropa verbreitete *D. attemsi* (Eggleton et al. 2009).

Dendrobaena attemsi: Charakterart im Ebersberger Forst

Hervorzuheben ist in den Waldvarianten das Vorkommen von *D. attemsi*, einer bundesweit als selten eingestuften Regenwurmart (Lehmitz et al. 2016) mit enger Waldbindung (Graefe et al. 2019). Diese Art, die Massenvorkommen entwickeln kann (Römbke et al. 2012), lebt in der Streuschicht und bevorzugt saure Böden. Sie ist die dominante und häufigste Regenwurmart der Waldflächen im Ebersberger Forst und kann als dessen Charakterart bezeichnet werden. Ihre höchste Besiedlungsdichte zeigte die Art in der AD_H Variante. Zudem kam sie in mehr Alt- als in Jungdurchforstungsflächen vor. Nicht selten besiedelt die Art auch Totholz (Geraskina & Shevchenko 2021, Ashwood et al. 2019). Da die Erhebungsmethode im Ebersberger Forst auf den Boden beschränkt war, sind hier keine Aussagen zu Vorkommen von *D. attemsi* im Totholz möglich. In einem weiteren LWF-Projekt zur Bodenfauna in bayerischen Wäldern (Projekt »BYSoilFauna«) wies man *D. attemsi* auf 40% der 25 untersuchten Standorte nach – die Einstufung als »selten« ist deshalb zumindest in Bayern fraglich.

Großes Artenspektrum und seltene Arten in den Waldwiesen

Im krümeligen Boden der sehr humosen Waldwiesen traten – wie für die Humusform »L-Mull« typisch – alle drei ökologischen Lebensformen der Regenwürmer auf (Abbildung 5). Die mittlere Artenvielfalt auf einer Waldwiese lag bei knapp sieben Regenwurmarten. Insgesamt wurden zehn Regenwurmarten über die vier untersuchten Flächen erfasst, davon vier streubewohnende (*D. attemsi*, *D. octaedra*, *L. castaneus*, *L. rubellus*), fünf mineral-schichtbewohnende, flachgrabende Arten (*Aporrectodea caliginosa*, *A. rosea*, *Octolasion tyrtaeum*, *Proctodrilus antipae*, *P. opisthoductus*) und eine tiefgrabende Art (*Lumbricus terrestris*). Die Aktivität der Regenwürmer im Boden unter den Waldwiesen ist hoch: Die tiefgrabende Art arbeitet die anfallende Streu in den Mineralboden ein, so dass der Ah-Horizont (humoser Oberbodenhorizont) intensiv mit organischer Substanz durchmischt wird. Hinzu kommt, dass der Wurzelumsatz im Boden der Waldwiesen deutlich höher ist als im Boden der Waldflächen. So ernähren sich die horizontal im Boden bewegenden, endogäischen Regenwurmarten vor allem von abgestorbenen Wurzeln.

Auf den Waldwiesen wurden zwei in Deutschland seltene endogäische Regenwurmarten erfasst: *Proctodrilus antipae* ist die einzige im Ebersberger Forst nachgewiesene Art, die sich in der Vorwarnstufe der Roten Liste befindet (Lehmitz et al. 2016); von *Proctodrilus opisthoductus* (2016 Erstnachweis in Deutschland) sind bislang nur sehr wenige Vorkommen in Deutschland bekannt, die alle in Südbayern liegen.

Zusammenfassung

Die Bodenbedingungen im Ebersberger Forst sind ungünstig für Regenwürmer: niedriger pH-Wert sowie meist ungünstige Auflagehumusformen. Aufgrund des basen- und stickstoffarmen Nahrungsangebots umfasst das Artenspektrum fast ausschließlich acidotolerante/acidophile, streubewohnende Arten mit *Dendrobaena attemsi* als Charakterart. Die Regenwurmbiomasse ist niedrig, die Einmischung der Streu in den Boden durch Regenwürmer sehr gering. Ein positiver Einfluss des Waldumbaus auf Regenwürmer war in dem vergleichsweise kurzen Zeitraum nicht deutlich erkennbar. Dennoch schnitt unter den vier Waldvarianten die Altdurchforstung mit hohem Buchenanteil tendenziell am besten ab. Die im Mittel höchste Artenvielfalt, Abundanz und Biomasse der Regenwürmer im Ebersberger Forst hatten die Waldwiesen.

Literatur

Das Literaturverzeichnis finden Sie unter www.lwf.bayern.de in der Rubrik »Publikationen«.

Projekt

Das Projekt »Auswirkungen von Waldumbaumaßnahmen auf Waldstruktur und Biodiversität (L59)« (Laufzeit: 01.12.2018 – 31.03.2022) wurde durch die Bayerische Forstverwaltung gefördert.

Autoren

Roswitha Walter ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau der LfL und leitet dort die Arbeitsgruppe Bodentiere.

Vincent Bunes bearbeitete das Forschungsprojekt Bo8o (BYSoil-Fauna) an der LWF. Derzeit ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Department of Forest Ecology and Management an der Schwedischen Agraruniversität (SLU) tätig.

Dr. Bastian Schauer bearbeitete das Forschungsprojekt L59 an der LWF. Derzeit ist er als Forschungsgruppenleiter am Lehrstuhl für Tierökologie der Universität Bayreuth tätig.

Dr. Thomas Kudernatsch ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung »Biodiversität und Naturschutz« der LWF und leitete das Forschungsprojekt L59.

Kontakt: roswitha.walter@lf.l.bayern.de