

Universität Würzburg  
Ökologische Station Fabrikschleichach

**„Beta-Diversität experimentell für nachhaltige Waldbewirtschaftung in Mitteleuropa“**

Abschlussbericht über ein Forschungsprojekt  
Gefördert unter dem AZ: 34488/01 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Prof. Dr. Jörg Müller

Juli 2020

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**

Az **34488/01**Referat **14**

Fördersumme

**122.900,00**

**Antragstitel** „Beta-Diversität experimentell für nachhaltige Waldbewirtschaftung in Mitteleuropa“

**Stichworte** Beta-Diversität, Waldnaturschutz, Ökosystemleistungen

Laufzeit

**25 Monate**

Projektbeginn

**23.02.2018**

Projektende

Projektphase(n)

Zwischenberichte

**Bewilligungsempfänger**

Universität Würzburg – Prof. Dr. Jörg Müller  
Ökologische Station Fabrikschleichach  
Glashüttenstraße 5  
96181 Rauhenebrach

Tel 0931 3183378

Fax 0931 3183089

Projektleitung

Prof. Dr. Jörg Müller

Bearbeiter

Michael Junginger

**Kooperationspartner*****Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens***

Im Universitätsforstamt Sailershausen (Universität Würzburg) wurde 2018 ein Before-After-Control-Impact (BACI) Experiment zur Weiterentwicklung der Waldbewirtschaftung und zur Ausbildung aller gesellschaftlich relevanten Personenkreise (Forstpraktiker\*innen, Naturschutzpraktiker\*innen, Behörden, Studierende) eingerichtet.

Es soll Antwort darauf geben, wie durch eine Erhöhung der Strukturvielfalt mit den zwei Größen Licht und Totholz die Beta-Diversität und die Ökosystemleistungen in Wirtschaftswäldern verbessert werden können.

Durch den Before-After Ansatz können bereits nach zwei Jahren erste Erkenntnisse zu Strukturveränderungen sowie zur Reaktion mobiler Artengruppen mit kurzer Reaktionszeit auf Veränderung im Wald gewonnen werden.

***Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden***

2018 wurden in vier ausgewählten Waldbeständen jeweils 15 quadratische Plots mit einer Abmessung von 50m x 50m eingerichtet, auf denen umfangreiche Daten zur Artenausstattung, zu Ökosystemleistungen und zur Bestandsstruktur bereits im Ausgangszustand (Before) erhoben wurden. Im darauffolgenden Winter wurden drei dieser Bestände nach der Vorgabe des experimentellen Designs behandelt. Dabei wurden folgende unterschiedliche Totholzstrukturen geschaffen:

1. Variante R Bäume wurden vollständig, samt Wurzelstöcken entfernt.
2. Variante W Bäume wurden entfernt, Wurzelstöcke verblieben im Bestand.
3. Variante K Stämme wurden entfernt, Wurzelstöcke und Kronen verblieben im Bestand.
4. Variante L Kronen wurden entfernt, Wurzelstöcke und die liegenden Stämme verblieben im Bestand.
5. Variante S Bäume wurden in ca. 5m Höhe „geköpft“, die Kronen wurden entfernt.
6. Variante S/L Die Hälfte der Bäume wurde wie in Variante S und die andere wie in Variante L behandelt.

7. Variante H Bäume wurden durch unterschiedliche Verletzungen zu künstlichen Habitatbäumen gemacht.

Um unterschiedliche Lichtverhältnisse zu schaffen, erfolgte die Maßnahme einmal wie bei einer Durchforstung über die Fläche verteilt (D) und einmal aggregiert (A) auf einer kreisrunden Fläche von 30m Durchmesser in der Mitte der Plotfläche.

Der vierte Bestand und ein weiterer, neu ausgewiesener, ebenfalls mit 15 Plots, wurden regulär durchforstet.

Der Mittelpunkt jedes Plots wurde durch einen eingeschlagenen Magneten dauerhaft markiert. Für alle Aufnahmen wurde ein einheitliches Kennzeichnungsschema mit fünf Subplots festgelegt. An jedem Plot wurden Datalogger zur Messung von Temperatur und Feuchtigkeit der Luft und des Bodens installiert.

Folgende Zielgrößen von Ökosystemstrukturen wurden erhoben:

#### Waldstrukturen

Auf allen Plots wurden 2018 terrestrische Laserscans im laubfreien und belaubten Zustand durchgeführt, 2019 nur im laubfreien. Darüber hinaus wurden die Flächen in beiden Jahren auch mit einem flugzeuggetragenen Scanner aus der Luft erfasst. Nach dem Eingriff wurden alle Bäume auf den Plots eingemessen und die Baumart sowie der Brusthöhendurchmesser aufgenommen. Der ausgeschiedene Bestand wurde über die Wurzelstöcke erfasst. Baumartenzusammensetzung, Holzvorrat und Bestockungsgrad wurden mit diesen Daten unter Zuhilfenahme der Baumarten-Altersklassen-Durchmesser-Tabelle aus der aktuellen Betriebsinventur berechnet.

#### Baumverjüngung

Im Sommer 2019 wurden nach einem definierten Verfahren auf jedem der 75 Plots zwei Flächen von je 6m x 6m festgelegt. Eine davon wurde eingezäunt, um den Verbiss durch Rehwild auszuschließen, die andere bleibt ungezäunt. Im Sommer 2020 wurde die Naturverjüngung aufgenommen.

#### Totholzstrukturen

Das Totholzvolumen auf den Plotflächen wurde nach Länge und Mittendurchmesser ermittelt und nach Baumart und Struktur (Wurzelstock, Kronenholz, liegendes Stammholz, Hochstümpfe) gesondert aufgenommen.

#### Habitatbaumstrukturen

Die Habitatbäume wurden nach Art der Behandlung (Schrubben, Kippen, Köpfen über Grünast und künstliche Höhle) und Baumart aufgenommen. Die Volumensberechnung erfolgte durch Vollklappung.

Folgende Zielgrößen von Ökosystemprozessen und Funktionen wurden erhoben:

#### Streuabbau

Im Frühjahr 2018 wurden auf jedem Plot je fünf Beutel mit Zellulose, vier mit Buchenblättern sowie fünf Birkenholzstäbchen für eine Vegetationsperiode ausgelegt. Anschließend wurde der Abbau der Biomasse im Labor ermittelt.

#### Bestäuber

Im Frühjahr 2018 wurden die Bestäuber der Frühjahrsblüher mit farbigen Fangschalen und Kescherfängen erfasst. 2018 und 2019 waren auf jedem Plot zwei Nisthilfen für Wildbienen installiert.

#### Symbiontengemeinschaft pilzzüchtender Borkenkäfer

Der Bestand der Ambrosiakäfer wurde 2018 mittels Alkoholfallen erfasst.

#### Samenprädation

Die Samenprädationsrate wurde 2019 durch das Auslegen unterschiedlich großer Samen in Plastikschaalen ermittelt.

#### Reaktion von Dungkäfern

Dungkäfer wurden 2018 und 2019 mittels Bodenfallen erfasst, die mit Dung von Wildschwein, Hausrind und Damhirsch beködert waren.

Folgende Zielgrößen von organischer Diversität wurden erhoben:

#### Akustische Diversität und Soundscapes

2018 und 2019 wurden an allen Plots autonome Audiorekorder installiert, die im 10-Minuten-Takt für eine Minute die Umgebungsgeräusche aufzeichnen.

#### Reaktion hochmobiler Arten

Die Vögel wurden 2018 und 2019 von März bis Juni fünfmal mithilfe der standardisierten Punktstopp-Methode erfasst. Zusätzlich wurde eine standardisierte Auswahl von Hörminuten aus den Aufnahmen der Audiorekorder ausgewählt und ornithologischen Experten zur Bestimmung auf Artniveau vorgelegt.

Die Rufe der Fledermäuse wurden im Zeitraum von Mai bis August mittels Batcorder automatisch aufgezeichnet. Die Aufnahmen erfolgten 2018 in fünf Nächten, 2019 in vier.

2018 und 2019 wurden von Mai bis August zwei Flugfensterfallen und zwei Barberfallen installiert, um die oberirdischen Arthropoden zu erfassen. Alle Fänge wurden auf folgende Gruppen vorsortiert: Käfer, Hautflügler (Ameisen separat), Zikaden, Wanzen, Spinnen, Netzflügler, Sonstige (Schwebfliegen separat). Abschließend bestimmt wurden bisher die Käferfänge der Flugfensterfallen von Mai und Juni aus beiden Fangjahren, sowie vom Juli 2018.

#### Reaktion der Arthropoden unterirdisch

Um die Nematoden zu erfassen wurden 2018 und 2019 nach einem festen Schema fünf Bodenproben bis 20 cm Tiefe gezogen und ins Labor verbracht.

#### Veränderung der Vegetation

2018 und 2019 wurden pro Plot auf fünf Kreisflächen mit Radius vier Meter die Strauch-, Kraut- und Moosschicht aufgenommen.

#### Veränderung der Kryptogamen und Pilze

Vor dem Eingriff wurden pro Plot an mindestens drei Bäumen die epiphytischen Moose und Flechten kartiert und die holzbesiedelnden Pilze durch Bohrmehlproben aus dem Stamm erfasst.

Die Wahrnehmung der Maßnahme wurde durch eine Onlinebefragung ermittelt. Hierzu wurden ca. 600 Personen Fotos von den unterschiedlichen Behandlungsvarianten zur Bewertung vorgelegt.

Zur Vermittlung des Versuchsaufbaus und der Ergebnisse wurde ein Lehrpfad durch einen der behandelten Bestände eingerichtet.

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Durch den Eingriff wurden Waldstrukturen geschaffen, in denen dauerhaft kleinflächig unterschiedliche Lichtverhältnisse herrschen werden. Dadurch und durch die Anreicherung mit Totholz und Habitatbäumen wurden zahlreiche Prozesse in Gang gesetzt, die zum Teil bereits nach einem Jahr erkennbar sind. Viele angestoßene Entwicklungen werden aber erst in den kommenden Jahren Wirkung zeigen und bieten eine hervorragende Ausgangssituation für weitere Forschungsarbeiten.

Das bisher einzigartige Experiment mit einer umfassenden Datenerhebung vor dem Eingriff hat das Interesse zahlreicher Wissenschaftler\*innen geweckt, die sich mit eigenen innovativen Forschungen und Mitteln in das Projekt einbrachten.

Das Ziel, beispielhafte Waldstrukturen zu schaffen, um Naturwald-typische Prozesse im Wirtschaftswald zu initiieren ist voll und ganz gelungen. Die ursprüngliche Kostenkalkulation wurde eingehalten. Mit dem Lehrpfad wurde auch die angestrebte Möglichkeit geschaffen, die Ergebnisse einem interessierten Fachpublikum anschaulich zu vermitteln.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Der Sender Sat1 stellte das Experiment am 27.12.2018 in einer Wissenschaftsreportage im Bayerischen Programm vor.

Beim 3. Wissenschaftlichen Symposium Natur- und Artenschutz bei integrativer Waldbewirtschaftung im Steigerwald-Zentrum in Handthal wurde das Projekt am 04.04.2019 mit einem Vortrag vorgestellt.

In der regionalen Presse wurde das Projekt am 07.06.2018 von den beiden Zeitungen „Bote vom Haßgau“ und „Fränkischer Tag“ und am 18.06.2018 in der „Mainpost“ ausführlich vorgestellt.

Der Bayerische Landesverband der Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft besuchte die Flächen bei seiner Jahrestagung am 27.04.2019, ebenso der Lehrstuhl für Waldbau der Universität Wageningen im Rahmen einer Exkursion im Sommer 2019.

Der Lehrpfad bietet eine hervorragende Möglichkeit Studierenden und Praktiker\*innen die Ergebnisse des Experiments zu vermitteln.

Erste wissenschaftliche Veröffentlichungen werden in naher Zukunft folgen.

## ***Fazit***

Im Rahmen des DBU Projektes konnte der Grundstein für ein vielversprechendes Waldexperiment gelegt werden. Das große Interesse vieler hochkarätiger Wissenschaftler bestätigt die Attraktivität eines solchen Frameworks im Universitätswald. Daneben zeigt die Aufmerksamkeit, die das Projekt bei Forstpraktiker\*innen erregt hat, dass experimentelle Ansätze auch hier gefragt sind und Antworten auf Praxisfragen gesucht werden. Schlussendlich zeigt aber auch das hohe Medieninteresse, dass innovative Ansätze auch gesellschaftlich relevant sind.

# Inhaltsverzeichnis

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	6
<u>Abbildungsverzeichnis</u>	7
<u>Tabellenverzeichnis</u>	8
<u>Zusammenfassung</u>	9
<u>Einleitung</u>	10
Ausgangssituation	10
Umweltrelevanz der Problemstellung	12
Zielsetzung	12
<u>Hauptteil</u>	12
Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte sowie der angewandten Methoden und der tatsächlich erzielten Ergebnisse	12
Ökosystemstrukturen	12
• Anlage und Aufbau der Versuchsfelder	12
• Waldstrukturen	15
• Baumverjüngung	21
• Totholzstrukturen	22
• Habitatbaumstrukturen	26
Ökosystemprozesse und -funktionen	30
• Streuabbau	30
• Bestäubung	31
• Veränderungen in der Symbiontengemeinschaft von Borkenkäfern	32
• Samenprädation	32
• Reaktion von Dungkäfern	33
Organismische Biodiversität	33
• Akustische Diversität und Soundscapes	33
• Reaktion hochmobiler Arten (Vögel, Fledermäuse, Nachtschmetterlinge, Arthropoden oberirdisch)	34
• Reaktion von Arthropoden unterirdisch	38
• Veränderungen in der Vegetation	40
• Veränderungen der Kryptogamen (Flechten, Moose) und Pilze	41
Dissemination der Ergebnisse	42
• Wahrnehmung: Reaktion von Waldbesuchern	42
• Lehrpfad	43
Diskussion der Ergebnisse insbesondere in Hinblick auf die ursprüngliche Zielsetzung	46
Ökosystemstruktur	46
Ökosystemprozesse und -funktionen	46
Organismische Biodiversität	47
Dissemination der Ergebnisse	48
Bewertung der Vorhabensergebnisse	48
Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse	49
<u>Fazit</u>	49
<u>Literaturverzeichnis</u>	50
<u>Anlage 1</u> Liste der studentischen Abschlussarbeiten im Rahmen des Projekts	52

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Lage der Versuchsflächen im Universitätsforstamt Sailershausen.	13
Abb. 2: Kennzeichnungsschema auf den Plots.	14
Abb. 3: Versuchsdesign	15
Abb. 4: Vergleich der maximalen und mittleren Baumhöhen in den 50x50m Probeflächen vor und nach dem Eingriff, gemessen im belaubten Zustand.	19
Abb. 5: Vergleich der Foliage height diversity, der Standardabweichung der Vegetationshöhe und der Vegetationsdeckung über 2m vor und nach dem Eingriff im belaubten Zustand.	20
Abb. 6: Ausschluss von Großherbivoren durch kleine Weiserzäune (Sommer 2019.)	21
Abb. 7: Aufnahme der Naturverjüngung im Frühjahr/Sommer 2020 (noch nicht abgeschlossen).	21
Abb. 8: Variante Lichtloch (links) mit verbliebenem Kronentotholz (13,5 m <sup>3</sup> /ha) und Stubben (1,6 m <sup>3</sup> /ha). Variante Durchforstung (rechts) mit verbliebenem Kronentotholz (17,7 m <sup>3</sup> /ha) und Stubben (0,8 m <sup>3</sup> /ha).	23
Abb. 9: Variante Durchforstung (links) mit stehendem (15,9 m <sup>3</sup> /ha) und liegendem (15,5 m <sup>3</sup> /ha) Totholz und Stubben (0,4 m <sup>3</sup> /ha). Variante Lichtloch (rechts) mit stehendem (19,6 m <sup>3</sup> /ha) und liegendem (19,8 m <sup>3</sup> /ha) Totholz und Stubben (0,6 m <sup>3</sup> /ha).	26
Abb. 10: Künstlich geschaffene Habitatbäume auf den Versuchsflächen.	26
Abb. 11: natürliche Struktur im Universitätswald die der Variante „Ansägen und Kippen“ sehr nahekommt (links). Künstlich geschaffene Variante „Ansägen und Kippen“, links im Bild (rechts).	28
Abb. 12: Anlage einer künstlichen Baumhöhle in mehreren Arbeitsschritten mit der Motorsäge.	28
Abb. 13: Verbliebene Zellulosemasse in den Blöcken A, B, C und D vor dem Eingriff (links). Verbliebene Zellulosemasse geordnet nach den geplanten Behandlungsvarianten vor dem Eingriff (rechts).	30
Abb. 14: Verbliebene Holzmasse in den Blöcken A, B, C und D vor dem Eingriff (links). Verbliebene Holzmasse geordnet nach den geplanten Behandlungsvarianten vor dem Eingriff (rechts).	30
Abb. 15: Verbliebene Streumasse in den Blöcken A, B, C und D vor dem Eingriff (links). Verbliebene Streumasse geordnet nach den geplanten Behandlungsvarianten vor dem Eingriff (rechts).	31
Abb. 16: Bestäubereperimente vor dem Eingriff. Ausschlussverfahren (links), Nisthilfen zur Erfassung von Wildbienen (rechts).	31
Abb. 17: Alkohol Falle zur Erfassung der Ambrosiakäfer.	32
Abb. 18: Schalen mit Samen zur Erfassung der Samenprädation.	32
Abb. 19: Autonomer Audiorekorder zur Aufzeichnung von Naturgeräuschen in geöffnetem Zustand.	33
Abb. 20: Rarefaction-Extrapolationskurven für die Diversität von Vogelarten, verhört in 4 Blöcken vor (links) und in 5 Blöcken nach (rechts) den Eingriffen.	34
Abb. 21: Reaktion der Fledermausaktivität gesamt (links) und der Artenzahl der Fledermausarten (rechts) aus Wiesner 2020.	35
Abb. 22: Reaktion der drei Fledermausgilden Waldinnenjäger (closed), Waldrandjäger (edge) und Offenjäger (open) im Jahre 2019 nach den Eingriffen verteilt nach Kontrolle (0), aggregiert (A) und verteilt (D) aus Wiesner 2020.	36
Abb. 23: Rarefaction-Extrapolationskurven für die Diversität von Nachtschmetterlingen, gefangen in 4 Blöcken vor (links) und nach (rechts) den Eingriffen.	36
Abb. 24: Rarefaction-Extrapolationskurven für Käfergemeinschaften erfasst in den 4 bzw. 5 Blöcken vor (links) und nach (rechts) den Eingriffen.	37
Abb. 25: Übersicht der erfassten Parameter in den einzelnen Blöcken in Sailershausen	38
Abb. 26: PCA des Fettsäureprofils aus Bodenproben zur Charakterisierung der mikrobiellen Gemeinschaftsstruktur im Oktober 2018 in den vier Blöcken in Sailershausen	39
Abb. 27: Bodenwassergehalte in 2018 und 2019 für aggregierte und verteiltes Totholz	39

Abb. 28: Nematodenabundanzen in 2018 und 2019 für aggregiertes und verteiltes Totholz.	39
Abb. 29: Mikrobielle Biomasse in Plots mit einer aggregierten und verteilten Totholzverteilung, sowie für die spezifische Art des Totholzes gemittelt über die Jahre 2018 und 2019.	40
Abb. 30: Rarefaction-Extrapolationskurven für Vegetationsgesellschaften erfasst in den 4 bzw. 5 Blöcken vor (links) und nach (rechts) den Eingriffen.	41
Abb. 31: Nachweis von Pilzen durch Gewinnung von Bohrmehl (links) und Ausbringen von Stammstückchen.	42
Abb. 32: Wahrnehmung der Untersuchungsflächen auf einer 5-Punkt Likert Skala von 0 – sehr negativ, bis 5 sehr positiv.	43
Abb. 33: Lehrpfad (Kartenbild).	43
Abb. 34: Informationstafeln am Start des Lehrpfades.	44
Abb. 35: Informationstafel zur Beschreibung eines einzelnen Plots.	45
Abb. 36: Einfluss von <i>Vinca minor</i> auf den Abbau von Zellulose (links), der Holzmasse (Mitte) und der Laubstreu (rechts).	47

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Arbeitszeiten des Harvestereinsatzes	15
Tab. 2: Veränderung der Vorratsdaten lebend sowie des Bestockungsgrads (B°) auf den Versuchsflächen mit der räumlichen Anordnung aggregiert/Lichtloch	16
Tab. 3: Veränderung der Vorratsdaten lebend sowie des Bestockungsgrads (B°) auf den Versuchsflächen mit der räumlichen Anordnung distributed/Durchforstung	17
Tab. 4: Veränderung der Vorratsdaten lebend sowie des Bestockungsgrads (B°) auf den Versuchsflächen der Referenzbestände (Blöcke A und E) mit regulärer Durchforstung	18
Tab. 5: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante W (nur Wurzelstock verbleibt im Bestand)	22
Tab. 6: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante K (Kronen und Wurzelstöcke verbleiben im Bestand)	23
Tab. 7: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante L (Stämme und Wurzelstöcke verbleiben im Bestand)	24
Tab. 8: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante S (Hochstümpfe verbleiben im Bestand)	25
Tab. 9: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante S/L (Hochstümpfe sowie Stämme und Wurzelstöcke verbleiben im Bestand)	25
Tab. 10: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante H (künstlich geschaffene Habitatbäume)	27
Tab. 11: Verteilung der vier Biotopbaumtypen auf den Versuchsflächen mit Behandlungsvariante H	29
Tab. 12: Vergleich der Vogelarten nachgewiesen in den beiden Jahren über Kartierung im Felde und anhand von Audio-Dateien	34
Tab. 13: Fledermausnachweise in beiden Jahren mit Hilfe von Batcorderaufnahmen	35

# Zusammenfassung

Im Universitätsforstamt Sailershausen, wurde ein Experiment angelegt, das die Frage klären soll, inwieweit durch Erhöhung der Strukturvielfalt im Wirtschaftswald die Beta-Diversität und die Ökosystemleistungen von Waldbeständen erhöht werden können.

In drei Altdurchforstungsbeständen wurde gezielt die Strukturvielfalt erhöht. Hierzu wurden auf je 15 Plots mit einer Abmessung von 50m x 50m sieben verschiedene Totholzstrukturen einmal in besonnener und einmal in beschatteter Situation geschaffen, ein Plot blieb unbehandelt. Folgende Totholzstrukturen wurden angelegt:

1. Kein Totholz (Bäume samt Wurzelstöcke entfernt)
2. Sägestubben (nur die Wurzelstöcke verbleiben im Bestand)
3. Kronenholz (die Wurzelstöcke und die Baumkronen verbleiben im Bestand)
4. Liegendes Totholz (die Wurzelstöcke und die Baumstämme verbleiben im Bestand)
5. Hochstümpfe (die Bäume werden in ca. 5m Höhe gekappt)
6. Kombination aus 50% liegendem Totholz und 50% Hochstümpfen
7. Habitatbäume ( die Bäume werden durch unterschiedliche Verletzungen zu künstlichen Habitatbäumen gemacht)

Auf jedem Plot wurde ca. ¼ des Holzvorrates entnommen, bzw. behandelt. Um eine besonnene Situation zu schaffen, erfolgte der Eingriff aggregiert auf einer kreisrunden Fläche mit 30m Durchmesser in der Mitte des Plots. Für die beschattete Situation wurden die Bäume über den Plot verteilt, wie bei einer Durchforstung, entnommen bzw. behandelt.

Zwei weitere Bestände im gleichen Alter wurden regulär durchforstet. In der Vegetationsperiode vor dem Eingriff wurden zahlreiche Ökosystemstrukturen, Ökosystemfunktionen und –leistungen sowie Parameter der organismischen Diversität erhoben. In der Vegetationsperiode nach dem Eingriff erfolgte eine erste Wiederholungsaufnahme einiger Zielgrößen.

Dabei zeigte sich, dass die Erhöhung der Strukturvielfalt bereits im ersten Jahr nach dem Eingriff einen positiven Effekt auf die Beta-Diversität der Käfergemeinschaften und der Vegetation hatte.

Bei den Fledermäusen stieg die Artenzahl der Offenlandjäger und der Waldrandjäger auf den Plots mit aggregierter Holzentnahme.

Die Vögel und die Nachschmetterlinge zeigten im ersten Jahr nach dem Eingriff noch keine Reaktion.

Die Dungkäfer reagierten negativ auf die aggregierten Eingriffe.

Bei der Samenprädation konnte ein Einfluss der Eingriffe festgestellt werden.

Auf den Plots mit aggregierter Holzentnahme lag der Bodenwassergehalt signifikant höher als auf denen mit verteilter Entnahme.

In einer Onlinebefragung wurde die Wirkung der Eingriffe auf Waldbesucher untersucht. Dabei zeigte sich, dass Waldbilder ohne Totholz signifikant positiver bewertet werden als solche mit Totholz.

Um die Ergebnisse des Experiments und die laufenden Forschungen einer interessierten Öffentlichkeit von Waldbaupraktiker\*innen, Naturschützer\*innen und Studierenden zu vermitteln, wurde ein Lehrpfad durch einen der Versuchsbestände angelegt. Auf Informationstafeln sind an jedem Plot eine Beschreibung des Eingriffs, die Strukturdaten und die ökologische Bedeutung nachzulesen.

Mit der Anlage des Experiments wurde ein Projekt initiiert, das über viele Jahre hinweg wichtige Erkenntnisse über die Bedeutung von Totholz und Bestandeslücken im Wirtschaftswald liefern wird. Es wurden zahlreiche Prozesse in Gang gesetzt, deren Beobachtung und Bewertung die Aufgabe weitere Forschungsvorhaben sein wird.

Das Experiment wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt unter dem Aktenzeichen 34488/01 gefördert.

## Einleitung

### Ausgangssituation

Die temperaten Wälder Mitteleuropas unterliegen seit vielen Jahrhunderten einer wechselhaften Nutzungsgeschichte, orientiert an den Ansprüchen der jeweiligen Gesellschaften. Dabei waren die letzten Jahrhunderte von einer Angst vor Holznot geprägt, nachdem im ausgehenden Mittelalter viele Wälder ausgeplündert waren und gleichzeitig die Bevölkerung anstieg (Radkau 2007). „Moderne“ Forstwirtschaft seit Ende des 18. Jahrhunderts fokussierte daher auf ertragsstarke Forste mit hohen Nadelholzanteilen, in Deutschland vor allem Fichte (Hartig 1808; Schelhaas, Nabuurs & Schuck 2003). Diese Veränderung des Waldes hin zu dichten, nadelholzreichen Beständen und dem Verschwinden alter, besonnter Habitatbäume, wie sie im Mittelalter noch weit verbreitet waren (Miklín et al. 2018), spiegelt sich z.B. in der Roten Liste xylobionter Käfer wieder. Dort sind heute vor allem die Arten besonders gefährdet, die an starke Baumdimensionen gebunden sind, ihren Verbreitungsschwerpunkt in tieferen Lagen haben und sich in Laubhölzern oder in besonntem Totholz entwickeln (Seibold et al. 2015).

Inzwischen ist es allgemein anerkannt, dass sich die Habitat-Ansprüche anspruchsvoller Waldarten nicht im Kielwasser (Zerle 1989) der Holzproduktion erfüllen lassen (Müller et al. 2005; Müller et al. 2010). Daher verfolgen viele Forstbetriebe heute Strategien, die bewusst auch Aspekte des Naturschutzes trotz Holzproduktion berücksichtigen (Neft 2006). Alleine die Anreicherung von Totholz kann dabei ökonomische Werte von mehreren 100 Tsd. Euro pro Forstbetrieb und Jahr bedeuten. Für laubholz-dominierte Betriebe sind dies durchaus erfolgsrelevante Summen. Zusätzlich wurden umfangreiche Förderprogramme initiiert um Naturschutzleistungen im Wald auszugleichen. Ein Schwerpunkt liegt dabei in den letzten zwei Jahrzehnten auf der Vermehrung von Totholzstrukturen und Habitatbäumen (Winter & Möller 2008).

Neben dem durch Totholz bedingten Struktureichtum ist auch die Baumartenvielfalt temperater Laubwälder ein weiterer Garant für eine hohe Artenvielfalt im Wald. Durch den Fokus auf ertragsstarke Nadelforsten, häufig mit nicht standortsheimischen Baumarten wie Fichte oder Douglasie, das Fehlen natürlicher Dynamiken mit Lücken in Wäldern durch Flussschotter und Sturmwurfe, stetig steigende Schalenwildpopulationen seit den 1950er Jahren, aber auch durch die Wahl von Verjüngungsverfahren, die durch lange Schirmstellungen gekennzeichnet sind, ist in vielen Wäldern in den letzten Jahrzehnten ein Rückgang von für die natürliche Biodiversität wichtigen Lichtbaumarten wie der Eiche in der Verjüngung zu beobachten (Annighofer et al. 2015; Hothorn et al. 2015).

Um die verschiedensten Ansprüche an Wälder ausgewogen befriedigen zu können, müssen Waldbewirtschaftler, aber auch Schutzgebietsmanager klare Prioritäten setzen. Diese Priorisierung über begrenzte Ressourcen an Fläche, Qualität und räumlicher Anordnung führt dazu, dass jede Maßnahme die durchgeführt wird, gleichzeitig eine weitere Maßnahme bedeutet, die unterlassen wird (Gilbert 2011). Unter Berücksichtigung der biologischen Vielfalt und der Ökosystemfunktionen des Waldes können rationale Managemententscheidungen aber nur getroffen werden, wenn die grundlegenden ökologischen Mechanismen ausreichend verstanden und damit zielgerichtet beeinflussbar sind.

Grundsätzlich können ökologische Prozesse und Mechanismen durch Vergleiche entlang von Umwelt- oder Bestandesgradienten erfasst werden (Beobachtungsdaten), oder durch gezielte Veränderung einzelner Parameter, bei gleichzeitiger Konstanthaltung anderer Faktoren (experimentelle Daten). Beobachtungsdaten stoßen beim Verstehen komplexer Ökosystemzusammenhänge häufig an Grenzen. Beispielsweise wurden vor einem Jahrzehnt kritische Schwellenwerte für Totholz mengen aus Beobachtungsdaten errechnet (Müller & Bütler 2010). Problematisch waren diese Beobachtungsdaten aber insofern, dass Totholzmenge und -vielfalt gemeinhin stark korreliert sind. Erst Experimente erlauben das Aufdecken kausaler Zusammenhänge und so konnte in jüngerer Zeit gezeigt werden, dass es für die Artenvielfalt z. B. von xylobionten Käfern mehr auf die Vielfalt von Totholz als auf die reine Ressourcenmenge ankommt (Seibold et al. 2016). Auch bei der Totholz anreicherung konnte in weiteren Experimenten gezeigt werden, dass sich durch eine Kombination bestimmter Baumarten von der Totholzmenge unabhängige Effekte auf die Artenvielfalt ergeben (Gossner et al. 2016). Derartige neue Erkenntnisse eröffnen Managern wichtige Spielräume und Alternativen bei der Prioritätensetzung im Spannungsfeld von Ökonomie und Ökologie.

Ähnlich lückenhaft wie beim Totholz ist das Verständnis der Rolle der Habitat-Heterogenität als Treiber für die Artenvielfalt auf Landschaftsebene (Stein, Gerstner & Kreft 2014). In Mitteleuropa herrscht hier bis heute die Meinung vor, dass Areale mit Laubwalddominanz, Waldstrukturen mit Dauerwaldcharakter und großflächig mehrschichtige Beständen am günstigsten für die Artenvielfalt in Wäldern seien (Müller & Bußler 2006), da diese eine hohe vertikale Habitat-Vielfalt bieten. Diese Ideen begründen sich auf den Pionierarbeiten von MacArthur und MacArthur zur Vogelvielfalt in Wäldern (MacArthur & MacArthur 1961). Neuere Untersuchungen in Buchenwäldern haben dagegen deutlich gezeigt, dass eine hohe Heterogenität zwischen Waldbeständen auf Landschaftsebene bezüglich ihrer vertikalen und horizontalen Waldstrukturen über eine höhere Beta-Diversität der Arten die Gesamtartenvielfalt erhöht, während großflächig mehrschichtige Wälder vergleichsweise homogen und artenärmer auf Landschaftsebene sind (Schall et al. 2017). Ergänzend konnte in Experimenten und Beobachtungsdaten die hohe Bedeutung der frühen, verjüngungsarmen Waldentwicklungsphase „Lücke“ für die Artenvielfalt im Wald aufgezeigt werden (z.B. Beudert et al. 2015; Seibold et al. 2016). Gerade die Vielfalt an Mikrohabitaten und Mikroklimaten, die sich in der Vielfalt der Waldentwicklungsphasen eines Naturwaldes widerspiegelt, scheint hier die für eine hohe Artenvielfalt notwendige Lebensraumheterogenität auf Landschaftsebene zu produzieren. In Naturwäldern schaffen Störungsereignisse auf verschiedenen Skalen ein solches Mosaik an unterschiedlichsten Habitaten (Turner, Romme & Tinker 2003).

Ähnlich unklar ist bis heute auch, in wie weit sich heterogene Waldbestände auf insgesamt bessere Ökosystemleistungen auswirken. Auf Grund der Tatsache, dass verschiedene Ökosystemfunktionen und Leistungen häufig nur schwach korrelieren (Ratcliffe et al. 2017), ist eine vereinfachte Ableitung eines Indikators für viele verschiedene Ökosystemdienstleistungen unzureichend. Da eine Waldentwicklungsphase oder eine Bestandsstruktur nie alle Funktionen in gleicher Weise erfüllen kann, stellt sich die Frage, ähnlich wie bei der Habitatvielfalt, auf welche Weise erhöhte Beta-Diversität hinsichtlich Strukturen auch zu einer besseren Erfüllung von Waldfunktionen in einer Waldlandschaft führt. Dieser Aspekt der Beta-Funktionalität ist noch kaum untersucht. Experimente existieren dafür nicht.

Viele Waldbewirtschafter arbeiten unter klaren betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen, wie z.B. Vorgaben zum jährlichen Einnahmesoll. Verfolgen sie nun auch eine Verbesserung der Lebensraumvielfalt, so ist die zentrale Frage wie mit welchen Behandlungsvarianten am raschesten eine hohe Habitat-Heterogenität auf Landschaftsebene erzielt werden kann, und wie mit Totholz und Habitatbäumen sowie mit Lücken im Wald lichtliebende Baumarten wie die Eiche und seltene Waldarten gefördert werden können. Verschiedene Forschungsvorhaben haben sich in Mitteleuropa bereits dieser Frage gewidmet (Winter et al. 2004; Moning, Bussler & Müller 2009; Ratcliffe et al.

2017, Confobi/Freiburg). Diese Ansätze sind aber alle korrelativ auf Beobachtungsdaten basierend. Im Gegensatz zu naturschutzorientierten Experimenten in borealen Wäldern (Hyvärinen, Kouki & Martikainen 2006), existieren bisher kaum experimentellen Ansätze in Laubmischwäldern in Deutschland.

## **Umweltrelevanz der Problemstellung**

Selbst wenn eine Stilllegung von 5% der Waldfläche in Deutschland umgesetzt sein wird, kann damit nicht die Vielfalt in Deutschlands Wäldern gesichert werden, da sich erstens viele Arten nicht in diesen 5% finden werden (Müller & Gossner 2010) und zweitens viele Stilllegungsflächen zu wenig natürliche Dynamik aufweisen, um binnen von Jahrzehnten ausreichend positive Wirkung für bedrohte Arten zu entfalten (Bernes et al. 2015). Für die 95% der übrigen Waldfläche sind dringend Konzepte erforderlich, die eine hohe Wirksamkeit zeigen. Sowohl beim Totholz, als auch bei den Lücken und besonders bei der landschaftsweiten Habitatheterogenität fehlen aktuell Experimente die Antworten auf die kritische Fragen klären. Daher sind kaum Fortschritte in der Waldnutzungs- und Waldnaturschutzpraxis bei diesen drei kritischen Aspekten in Deutschland zu erwarten.

## **Zielsetzung**

Im Universitätsforstamt Sailershausen (Universität Würzburg) wurde daher ein Before-After-Control-Impact (BACI) Experiment zur Weiterentwicklung der Waldbewirtschaftung und zur Ausbildung aller gesellschaftlich relevanten Personenkreise (Forstpraktiker, Naturschutzpraktiker, Behörden, Studierende) eingerichtet. Durch den Before-After Ansatz können bereits nach zwei Jahren erste Erkenntnisse zu Strukturveränderungen sowie zur Reaktion mobiler Artengruppen mit kurzer Reaktionszeit auf Veränderung im Wald gewonnen werden. Im Folgenden wird dargestellt wie die Etablierung des Experiments erfolgt ist und welche ersten Erkenntnisse sich aus dem Pilotansatz bereits gewinnen lassen konnten.

## **Hauptteil**

### **Darstellung der einzelnen Arbeitsschritte sowie der angewandten Methoden und der tatsächlich erzielten Ergebnisse**

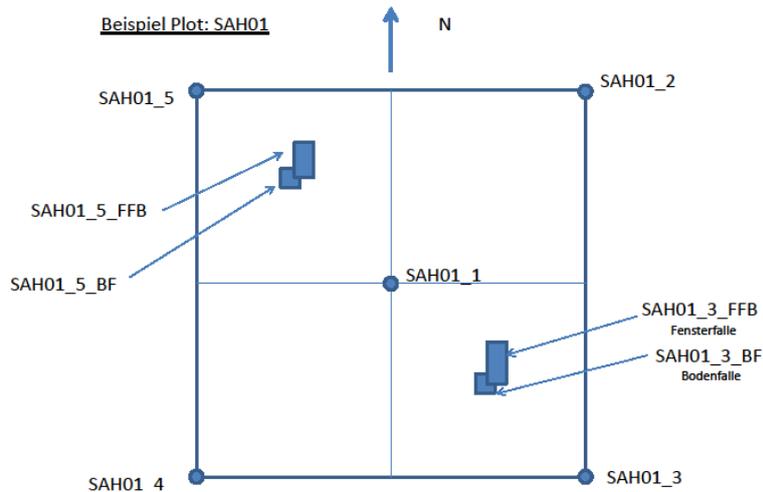
Im Rahmen des DBU Projektes erfolgte die Anlage der Versuchsflächen, sowie eine umfangreiche Erfassung verschiedenster Artengruppen, Strukturen und Ökosystemfunktionen auf allen Flächen vor den Eingriffen. Dies erfolgte weitgehend durch Eigenleistung der Projektpartner. Darüber hinaus konnten zu verschiedenen Artengruppen, Funktionen und Strukturen auch bereits Daten nach dem Eingriff erhoben werden. Wie geplant wurde ein Lehrpfad eingerichtet, der es ermöglicht Praktiker\*innen und Studierende auszubilden. Für eine umfassende Bearbeitung der Versuchsanlage wurde eine DFG Forschergruppe für 12 Jahre beantragt. Der Antrag wird aktuell begutachtet.

## **Ökosystemstrukturen**

### **Anlage und Aufbau der Versuchsflächen**

Im März 2018 wurden im Universitätsforstamt Sailershausen vier laubholzdominierte Altdurchforstungsbestände ausgewählt, die sich in Alter, Struktur, Baumartenverteilung, Größe und Entwicklungsstadium ähnelten. In den Beständen wurden jeweils 15 Plots mit einer Größe von





Alles was dem Plot allgemein zugeordnet ist oder nur am Mittelpunkt passiert erhält das Label SAH01, alles was einem der 5 Subplots zuzuordnen ist erhält das Label SAH01\_1 usw.

Abb. 2: Kennzeichnungsschema auf den Plots.

In der Vegetationsperiode 2018 wurden auf allen Plots die Zielgrößen erhoben und somit die Situation vor dem Eingriff umfassend dokumentiert.

Im November 2018 erfolgte dann der Eingriff. Hierbei wurde ein Bestand (Block A) regulär durchforstet, die Maßnahme erfolgte motormanuell durch Waldarbeiter des Universitätsforstamtes. Die Rückung erfolgte mit einem Seilschlepper. Das Kronenmaterial wurde durch Brennholzelbstwerber aufgearbeitet. Die drei anderen Bestände erfuhren, gemäß dem Versuchsdesign (Abbildung 3), auf jedem der 15 Plots eine andere Behandlung. Hierbei wurden zum einen unterschiedliche Totholzstrukturen geschaffen:

1. Variante R Bäume wurden vollständig, samt Wurzelstöcken entfernt.
2. Variante W Bäume wurden entfernt, Wurzelstöcke verblieben im Bestand.
3. Variante K Stämme wurden entfernt, Wurzelstöcke und Kronen verblieben im Bestand.
4. Variante L Kronen wurden entfernt, Wurzelstöcke und die liegenden Stämme verblieben im Bestand.
5. Variante S Bäume wurden in ca. 5m Höhe „geköpft“, die Kronen wurden entfernt.
6. Variante S/L Die Hälfte der Bäume wurde wie in Variante S und die andere wie in Variante L behandelt.
7. Variante H Bäume wurden durch unterschiedliche Verletzungen zu künstlichen Habitatbäumen gemacht.

Zum anderen wurden unterschiedliche Lichtverhältnisse geschaffen, indem die Maßnahme einmal wie bei einer Durchforstung über die Fläche verteilt (D) erfolgte und einmal aggregiert (A) auf einer kreisrunden Fläche von 30m Durchmesser in der Mitte der Plotfläche. Diese Eingriffe wurden durch einen erfahrenen Maschinenführer mit dem Harvester ausgeführt. Dies wurde durch eine Arbeitszeitstudie begleitet, um den etwaigen Mehraufwand für die einzelnen Behandlungsmethoden zu dokumentieren. Die Rückung erfolgte mit dem Forwarder, die Entfernung der Wurzelstöcke mit dem Radbagger.

Eine Fläche blieb unbehandelt (CC).

Tab. 1: Arbeitszeiten des Harvestereinsatzes, die Holzurückung und die Entfernung der Wurzelstöcke bei Variante R sind nicht berücksichtigt.

Verteilung	D	A
	(Durchforstung)	(Lichtloch)
Variante	durchschnittliche Arbeitszeit in Minuten	
R	25,3	27,3
W	37	33,3
K	41,6	34,3
L	40,6	39
S	37,6	29,3
S/L	40,6	33,3
H (ohne Höhlenbäume)	34	45,3

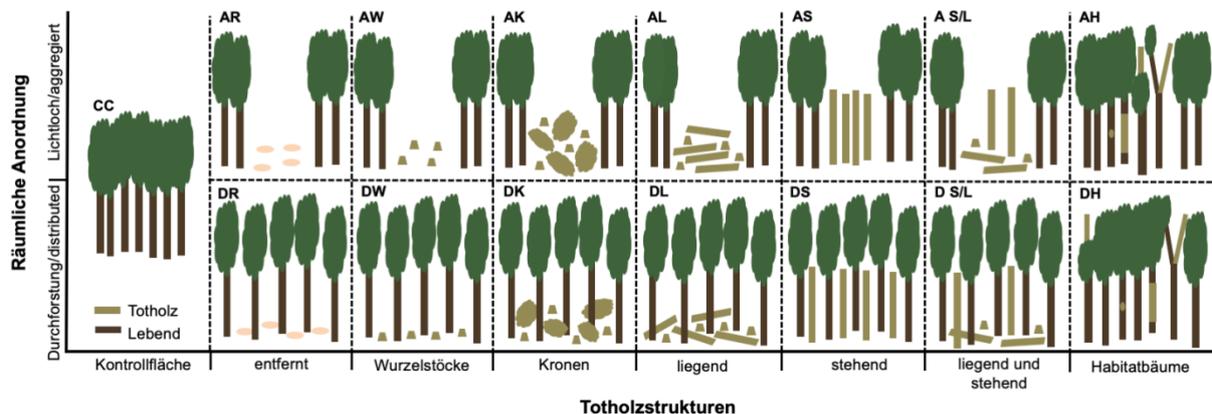


Abb. 3: Versuchsdesign

Nach ersten Auswertungen der Ergebnisse aus der Aufnahme von 2018 zeigte sich, dass ein weiterer Referenzbestand mit regulärer Durchforstung zur statistischen Absicherung der Ergebnisse notwendig ist. Daher wurde im Januar 2019 ein weiterer Block E mit 15 Plots angelegt und durchforstet (analog zu Block A).

### Waldstrukturen

Im Frühjahr 2018 wurden in den Blöcken A, B, C und D auf allen 60 Plots je fünf terrestrische Laserscans durchgeführt. Hierbei wurde die Waldstruktur in laubfreiem Zustand erfasst. Im Sommer 2018 erfolgte die Wiederholung in belaubtem Zustand, hier wurde pro Plot eine Messung am Mittelpunkt vorgenommen. Nach dem Eingriff wurde im Frühjahr 2019 in laubfreiem Zustand auf den mittlerweile 75 Plots erneut je ein Scan am Mittelpunkt durchgeführt. Hierbei wurden die Bestandsstruktur, die Unterholzstruktur und die Durchdringungsrate erfasst. Die Daten werden derzeit noch ausgewertet.

Daneben wurden aber auch alle Bäume auf den Plots eingemessen und die Baumart sowie der Brusthöhendurchmesser aufgenommen. Der ausgeschiedene Bestand wurde über die Wurzelstöcke erfasst. Baumartenzusammensetzung, Holzvorrat und Bestockungsgrad wurden mit diesen Daten

unter Zuhilfenahme der Baumarten-Altersklassen-Durchmesser-Tabelle aus der aktuellen Betriebsinventur berechnet.

Tab. 2: Veränderung der Vorratsdaten lebend sowie des Bestockungsgrads (B°) auf den Versuchsflächen mit der räumlichen Anordnung aggregiert/Lichtloch.

Block	Plot	Verteilung	Behandlung	Before		After		Reduktion des Vorrates	
				Vorrat in m <sup>3</sup> /ha	B°	Vorrat in m <sup>3</sup> /ha	B°	in m <sup>3</sup>	in %
B	40	A	R	360	1,16	262	0,83	98	27,2
C	23	A	R	437	1,26	349	1	88	20,1
D	10	A	R	408	1,18	305	0,89	103	25,2
Mittelwert				402	1,20	305	0,91	96	24,2
B	33	A	W	421	1,16	310	0,89	111	26,4
C	20	A	W	317	1,14	241	0,88	76	24,0
D	2	A	W	357	1,21	275	0,93	82	23,0
Mittelwert				365	1,17	275	0,90	90	24,4
B	39	A	K	411	1,26	295	0,9	116	28,2
C	26	A	K	382	1,22	290	0,93	92	24,1
D	5	A	K	465	1,42	356	1,08	109	23,4
Mittelwert				419	1,30	314	0,97	106	25,2
B	41	A	L	372	1,2	268	0,85	104	28,0
C	28	A	L	331	1,22	243	0,9	88	26,6
D	7	A	L	439	1,33	293	0,91	146	33,3
Mittelwert				381	1,25	268	0,89	113	29,3
B	30	A	S	595	1,29	452	0,94	143	24,0
C	27	A	S	349	1,08	255	0,78	94	26,9
D	12	A	S	385	1,24	286	0,9	99	25,7
Mittelwert				443	1,20	331	0,87	112	25,6
B	35	A	S/L	350	0,95	246	0,63	104	29,7
C	25	A	S/L	378	1,26	271	0,85	107	28,3
D	3	A	S/L	346	1,19	254	0,88	92	26,6
Mittelwert				358	1,13	257	0,79	101	28,2
B	38	A	H	492	1,23	367	0,9	125	25,4
C	17	A	H	275	0,98	201	0,72	74	26,9
D	15	A	H	318	1,07	238	0,76	80	25,2
Mittelwert				362	1,09	269	0,79	93	25,8
Mittelwert der Plots mit Verteilung A				390	1,19	288	0,87	101	26,1

Tab. 3: Veränderung der Vorratsdaten lebend sowie des Bestockungsgrads (B°) auf den Versuchsflächen mit der räumlichen Anordnung distributed/Durchforstung.

Block	Plot	Verteilung	Behandlung	Before		After		Reduktion des Vorrates	
				Vorrat in m <sup>3</sup> /ha	B°	Vorrat in m <sup>3</sup> /ha	B°	in m <sup>3</sup>	in %
B	42	D	R	317	0,92	264	0,79	53	16,7
C	24	D	R	346	1,1	266	0,86	80	23,1
D	11	D	R	487	1,29	401	1,06	86	17,7
Mittelwert				383	1,10	310	0,90	73	19,2
B	36	D	W	312	0,98	272	0,86	40	12,8
C	60	D	W	354	1,27	271	0,98	83	23,4
D	8	D	W	402	1,31	312	1,03	90	22,4
Mittelwert				356	1,19	285	0,96	71	19,6
B	43	D	K	363	1,01	317	0,89	46	12,7
C	21	D	K	387	1,27	302	1,03	85	22,0
D	13	D	K	304	1,06	256	0,88	48	15,8
Mittelwert				351	1,11	292	0,93	60	16,8
B	37	D	L	352	1,16	292	0,99	60	17,0
C	22	D	L	385	1,22	276	0,92	109	28,3
D	6	D	L	361	1,29	285	1,04	76	21,1
Mittelwert				366	1,22	284	0,98	82	22,1
B	31	D	S	533	1,34	379	0,98	154	28,9
C	16	D	S	501	1,38	402	1,12	99	19,8
D	14	D	S	379	1,25	290	0,98	89	23,5
Mittelwert				471	1,32	357	1,03	114	24,0
B	32	D	S/L	480	1,15	359	0,86	121	25,2
C	29	D	S/L	340	1,13	264	0,9	76	22,4
D	1	D	S/L	365	1,31	272	0,99	93	25,5
Mittelwert				395	1,20	298	0,92	97	24,3
B	44	D	H	491	1,4	388	1,13	103	21,0
C	19	D	H	346	1,1	260	0,85	86	24,9
D	4	D	H	348	1,17	255	0,88	93	26,7
Mittelwert				395	1,22	301	0,95	94	24,2
Mittelwert der Plots mit Verteilung D				388	1,20	304	0,95	84	21,5

Tab. 4: Veränderung der Vorratsdaten lebend sowie des Bestockungsgrads (B°) auf den Versuchsflächen der Referenzbestände (Blöcke A und E) mit regulärer Durchforstung.

Block	Plot	Verteilung	Behandlung	Before		After		Reduktion des Vorrates	
				Vorrat in m <sup>3</sup> /ha	B°	Vorrat in m <sup>3</sup> /ha	B°	in m <sup>3</sup>	in %
A	45	D	W	525	1,3	416	1,06	109	20,8
A	46	D	W	437	1,15	387	1,01	50	11,4
A	47	D	W	346	1,06	306	0,94	40	11,6
A	48	D	W	505	1,23	406	1,02	99	19,6
A	49	D	W	515	1,25	451	1,09	64	12,4
A	50	D	W	462	1,14	421	1,04	41	8,9
A	51	D	W	464	1,16	420	1,05	44	9,5
A	52	D	W	583	1,44	468	1,15	115	19,7
A	53	D	W	417	1,17	351	0,99	66	15,8
A	54	D	W	426	1,06	383	0,96	43	10,1
A	55	D	W	481	1,17	428	1,06	53	11,0
A	56	D	W	460	1,25	366	0,98	94	20,4
A	57	D	W	363	0,93	332	0,86	31	8,5
A	58	D	W	467	1,06	404	0,93	63	13,5
A	59	D	W	378	1,07	312	0,91	66	17,5
Mittelwert				455	1,16	390	1,00	65	14,0
E	61	D	W	307	1,15	268	1	39	12,7
E	62	D	W	462	1,53	393	1,31	69	14,9
E	63	D	W	305	1,05	259	0,9	46	15,1
E	64	D	W	315	1,14	269	0,99	46	14,6
E	65	D	W	406	1,32	365	1,19	41	10,1
E	66	D	W	320	1,11	283	0,98	37	11,6
E	67	D	W	328	1,19	282	1,01	46	14,0
E	68	D	W	273	1,06	249	0,97	24	8,8
E	69	D	W	374	1,33	316	1,14	58	15,5
E	70	D	W	353	1,19	312	1,06	41	11,6
E	71	D	W	271	1,12	246	1,01	25	9,2
E	72	D	W	311	1,23	284	1,09	27	8,7
E	73	D	W	349	1,28	289	1,07	60	17,2
E	74	D	W	286	1,02	263	0,93	23	8,0
Mittelwert				333	1,19	291	1,05	42	12,3

Neben den Waldstrukturaufnahmen vom Boden aus, wurden alle Flächen 2018 und 2019 mit einem flugzeuggetragenen Laserscanner (ALS) vermessen. Aus den Returnwerten wurden verschiedene Metriken für jeden Bestand errechnet.

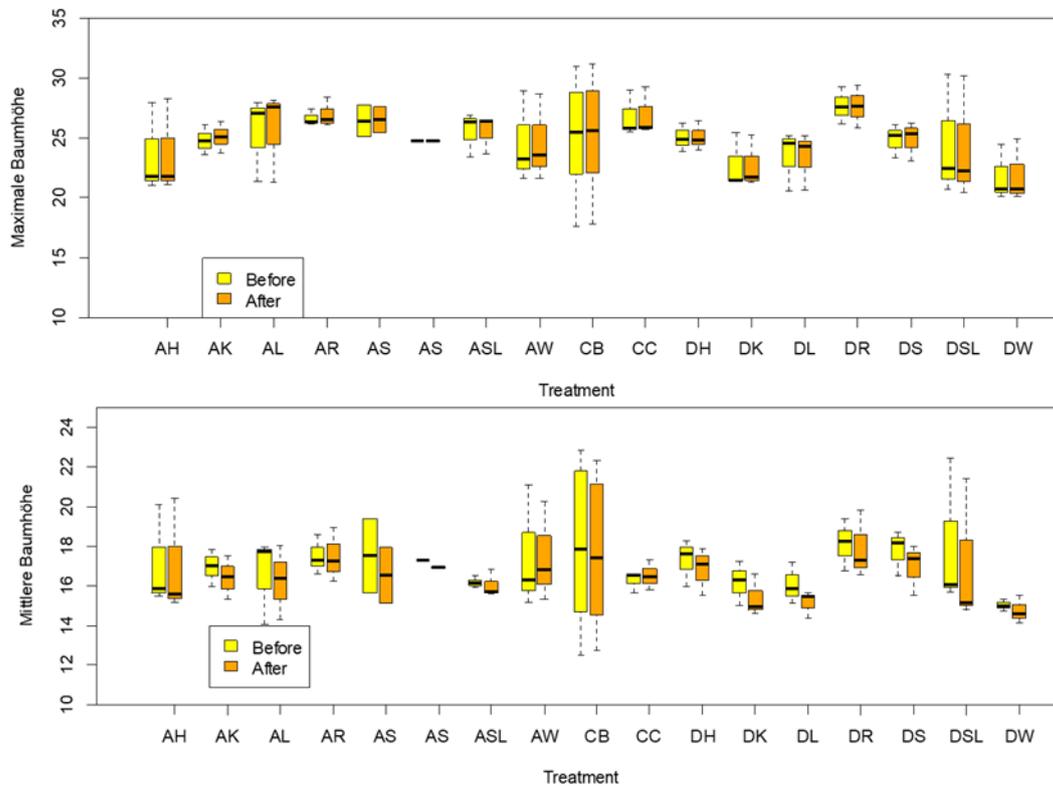


Abb. 4: Vergleich der maximalen und mittleren Baumhöhen in den 50x50m Probestellen vor und nach dem Eingriff, gemessen im belaubten Zustand. Der erste Buchstabe kennzeichnet immer die Verteilung der Behandlung (A=Aggregiert, D=Distributed, C=Control), der zweite Buchstabe die Art des Eingriffs, R=Removed Baum wurde komplett entfernt, W=Wurzelstock wurde belassen, K=Krone wurde belassen, L=Liegendes Stammtotholz, S=Stehend Totholz, B=Biotopbaum, C=Control ohne Eingriff, B=Controlbestand.

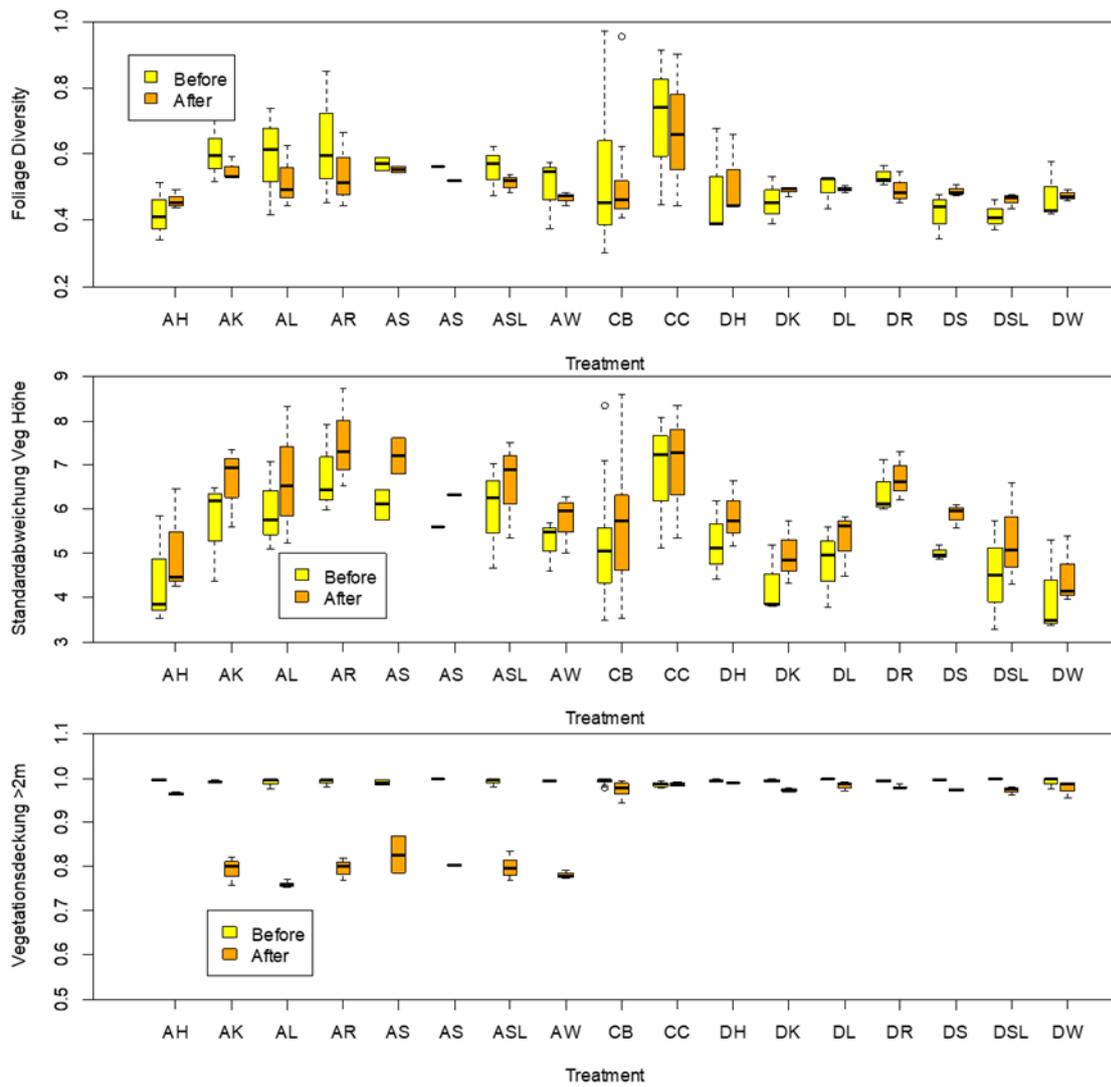


Abb. 5: Vergleich der Foliage height diversity, der Standardabweichung der Vegetationshöhe und der Vegetationsdeckung über 2m vor und nach dem Eingriff im beliebigen Zustand. Für die Erläuterung der Kürzel siehe Abb. 4.

## Baumverjüngung

Im Sommer 2019 wurden nach einem definierten Verfahren auf jedem der 75 Plots zwei Flächen von je 6m x 6m festgelegt, auf denen die Naturverjüngung erhoben werden soll. Eine davon wurde eingezäunt, um den Verbiss durch Rehwild auszuschließen, die andere bleibt ungezäunt.



Abb. 6: Ausschluss von Großherbivoren durch kleine Weiserzäune (Sommer 2019).

Der Winterverbiss 2019/2020 sollte im Frühjahr 2020 im Zuge einer Masterarbeit erfasst werden. Wegen der Einschränkungen durch die Corona Pandemie kam es jedoch zu erheblichen Verzögerungen, so dass die Aufnahmen erst im Juni und im Juli erfolgen können und die Ergebnisse erst nach Fertigstellung des Abschlussberichts vorliegen werden.



Abb. 7: Aufnahme der Naturverjüngung im Frühjahr/Sommer 2020 (noch nicht abgeschlossen).

## Totholzstrukturen

Bei dem Eingriff wurden durch die Verteilung des Totholzes und seine Beschaffenheit unterschiedliche Prozesse nachgeahmt, wie sie im Naturwald oder im Wirtschaftswald stattfinden.

### *Behandlungsvariante R (Rodung):*

Bäume wurden vollständig entfernt, es verbleibt kein Totholz im Bestand.

Bei der Verteilung D (verteilt, Durchforstung) entspricht der Eingriff einer Hochdurchforstung, bei der Verteilung A (aggregiert, Lichtloch) einem Lochhieb. Allerdings wurden zusätzlich die gesamten unterirdischen Totholzvorräte entnommen. In früheren Zeiten der Holznot erfolgte dies häufig und führt einerseits zu einer deutlichen Reduktion des Totholzvorrats andererseits entstehen Rohbodensituationen die kleinflächige neue Habitate für Pflanzen und Insekten bieten. Diese entstehen auch natürlich durch das Wühlen von Wildschweinen oder das Aufbrechen des Waldbodens durch aufgeklappte Wurzelteller nach Windwurf.

### *Behandlungsvariante W (Wurzelstock):*

nur die Wurzelstöcke (Sägestubben) verbleiben im Bestand.

Bei der Verteilung D (verteilt, Durchforstung) entspricht diese Behandlung der in Deutschland am weitesten verbreiteten Maßnahme, der Hochdurchforstung. Durch den Eingriff kommt Seitenlicht in den Wald aber ohne den Charakter einer Lücke. An Totholzstrukturen verbleiben nur Sägestümpfe. Damit ist der zusätzliche Beitrag an Lebensraumvervielfältigung relativ gering.

Bei der Verteilung A (aggregiert, Lichtloch) wird ein Lochhieb nachgeahmt. Dieser kommt im Gegensatz zum Femelhieb, dem Zusammenbruch eines oder zweier Urwaldriesen nahe. Licht kommt plötzlich bis zum Waldboden, die Jahresmitteltemperatur und die Extremtemperaturen nehmen hier deutlich zu. Dort erhalten jetzt auch lichtliebende Baumarten und Pionierpflanzen in der Bodenvegetation eine Chance für die Besiedlung. Durch die Holzentnahme ist die Totholzmenge stark eingeschränkt. Allerdings werden auch die frischen Sägestubben intensiv von Totholzbewohnern wie den Ambrosiakäfern genutzt. Die Lichtinsel mit ihrem eigenen Mikroklima bietet vielen Arten im Wald einen wichtigen Lebensraum. Freiraumjäger unter den Fledermäusen wie die Abendsegler können hier auch im Wald die hohe Dichte an Nachtschmetterlingen verfolgen (Müller et al. 2012).

Tab. 5: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante W (nur Wurzelstöcke verbleiben im Bestand).

Plot	Behandlung	Verteilung	Volumen Wurzel- stöcke (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Stämme (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Hoch- stümpfe (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Kronen (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Habitat- bäume (m <sup>3</sup> /ha)
2	W	A	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
20	W	A	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
33	W	A	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mittelwert:</b>			<b>1,2</b>				
8	W	D	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
36	W	D	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
60	W	D	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Mittelwert:</b>			<b>0,9</b>				

### Behandlungsvariante K (Kronenholz):

Die Kronen und die Wurzelstöcke verbleiben im Bestand.

Kronenmaterial im Wald ist wichtiger Lebensraum für Pilze und Insekten. Bezogen auf das Volumen findet man im schwachen Totholz sogar mehr Pilzarten als im starken Totholz (Heilmann-Clausen and Christensen, 2004). Auch bei den Totholzkäfern gilt, schwaches Totholz ist genauso wichtig wie starkes, allerdings ist letzteres in unseren Wäldern durch die Konkurrenz mit der menschlichen Holznutzung schlichtweg seltener. In den Totholzkronen nisten gerne Vogelarten wie der Zaunkönig (Winter, S. et al., 2002.). Gleichzeitig kann Totholz als Barriere Huftiere davon abhalten Jungpflanzen zu befressen. Andererseits kann es aber auch wichtiges Versteck für Mäuse sein (Hagge et al., 2019).

Tab. 6: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante K (Kronen und Wurzelstöcke verbleiben im Bestand).

Plot	Behandlung	Verteilung	Volumen Wurzel- stöcke (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Stämme (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Hoch- stümpfe (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Kronen (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Habitat- bäume (m <sup>3</sup> /ha)
5	K	A	1,6	0,0	0,0	13,5	0,0
26	K	A	1,3	0,0	0,0	14,5	0,0
39	K	A	1,3	0,0	0,0	22,1	0,0
<b>Mittelwert:</b>			<b>1,4</b>			<b>16,7</b>	
13	K	D	0,8	0,0	0,0	17,7	0,0
21	K	D	1,1	0,0	0,0	19,6	0,0
43	K	D	0,5	0,0	0,0	11,8	0,0
<b>Mittelwert:</b>			<b>0,8</b>				

Das gezielte Belassen von Baumkronen gehört zu den betrieblich einfachsten Maßnahmen der Totholzanreicherung.



Abb. 8: Variante Lichtloch (links) mit verbliebenem Kronenholz (13,5 m<sup>3</sup>/ha) und Stubben (1,6 m<sup>3</sup>/ha). Variante Durchforstung (rechts) mit verbliebenem Kronenholz (17,7 m<sup>3</sup>/ha) und Stubben (0,8 m<sup>3</sup>/ha).

*Behandlungsvariante L (liegendes Stammholz):*

Die Stämme und die Wurzelstöcke verbleiben im Bestand.

Diese Variante ist in der Praxis eher unüblich, da hierbei gezielt das ökonomisch wertvollste Holz belassen wird. Es dient aber der Trennung von dünnem und dickem Holz in seiner Bedeutung für die Biodiversität. Im Vertragsnaturschutz wird gerade das Belassen von starken Stämmen gefördert, weshalb es immer häufiger auch in Wirtschaftswäldern anzutreffen ist.

Bei der Verteilung D (verteilt, Durchforstung) kommt durch den Hochdurchforstungseingriff vermehrt Seitenlicht in den Wald aber ohne den Charakter einer Lücke. Durch das gezielte Belassen von Ernteresten und Stammteilen kann rasch der Totholzvorrat im Nutzwald erhöht werden. Eine Anwendung auf großer Fläche kann in weniger als 10 Jahren zur Rückkehr lokal ausgestorbener Pilz- und Käferarten führen und eine deutliche Anhebung der Artenvielfalt hervorrufen (Roth et al. 2019, Dörfler et al. 2018).

Tab. 7: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante L (Stämme und Wurzelstöcke verbleiben im Bestand).

Plot	Behandlung	Verteilung	Volumen Wurzel- stöcke (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Stämme (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Hoch- stümpfe (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Kronen (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Habitat- bäume (m <sup>3</sup> /ha)
7	L	A	1,7	51,5	0,0	0,0	0,0
28	L	A	1,3	40,0	0,0	0,0	0,0
41	L	A	1,5	55,7	0,0	0,0	0,0
<b>Mittelwert:</b>			<b>1,5</b>	<b>49,0</b>			
6	L	D	1,1	37,6	0,0	0,0	0,0
22	L	D	1,3	64,7	0,0	0,0	0,0
37	L	D	0,7	44,7	0,0	0,0	0,0
<b>Mittelwert:</b>			<b>1,0</b>	<b>49,0</b>			

*Behandlungsvariante S (Stehendes Totholz):*

Hochstümpfe verbleiben im Bestand

Starkes Totholz von Laubbäumen in besonnter Lage ist laut Rote Liste der Käfer Deutschlands besondere Mangelware (Seibold et al 2015). Durch den konzentrierten Eingriff (Verteilung A, aggregiert/Lichtloch) erfahren die Hochstümpfe eine entsprechende Besonnung. Viele Bockkäferarten wie der Hornissenbock *Plagionotus detritus* aber auch der Hirschkäfer *Lucanus cervus* fliegen solche Strukturen an. Die Gattung Eiche *Quercus* weist laut Literatur die höchste Zahl an Totholzkäfern auf (Müller et al 2015).

Verteilte Hochstümpfe (Verteilung D, verteilt/Durchforstung) entsprechen den natürlichen Strukturen die durch Absterbeprozesse im Konkurrenzkampf von Bäumen oder durch selektive Schwächung von Bäumen durch Pilze wie den Zunderschwamm entstehen. Verschiedene landesweite Projekte fördern heute derartige Hochstümpfe. Durch die Lage im Schatten werden sie von vielfältigen Pilzen besiedelt. Diese Pilze wiederum bieten Lebensraum für spezialisierte Totholzkäfer und Dipteren. Im von Pilzen zersetzten Holz können auch Vogelarten mit zierlicheren Schnäbeln wie die Weidenmeise eigene Höhlen zimmern. Durch gezieltes Schaffen von stehendem Totholz wird gerade die Komponente ergänzt, die in Wirtschaftswäldern im Vergleich zu Naturwäldern besonders defizitär ist.

In direkter Nähe zu Forst- oder Wanderwegen bietet das Schaffen von Hochstümpfen eine interessante Alternative zur Fällung, die die Biodiversität und die Verkehrssicherheit gleichermaßen berücksichtigt.

Tab. 8: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante S (Hochstümpfe verbleiben im Bestand).

Plot	Behandlung	Verteilung	Volumen Wurzel- stöcke (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Stämme (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Hoch- stümpfe (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Kronen (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Habitat- bäume (m <sup>3</sup> /ha)
12	S	A	0,2	0,0	33,6	0,0	0,0
27	S	A	0,0	0,0	35,6	0,0	0,0
30	S	A	0,1	0,0	46,5	0,0	0,0
<b>Mittelwert:</b>			<b>0,1</b>		<b>38,6</b>		
14	S	D	0,0	0,0	32,8	0,0	0,0
16	S	D	0,1	0,0	33,1	0,0	0,0
31	S	D	0,5	0,0	38,4	0,0	0,0
<b>Mittelwert:</b>			<b>0,2</b>		<b>34,8</b>		

*Behandlungsvariante S/L (Stehendes und Liegendes Totholz):*

Diese Variante stellt eine Kombination aus den Behandlungen S und L zu je 50% dar.

Bei der Verteilung A (aggregiert, Lichtloch) wird der Zusammenbruch eines oder zweier Urwaldriesen nachgeahmt. Durch das Belassen verschiedener Totholztypen und -baumarten wird zusätzlich zur Besonnung auch eine hohe neue Lebensraumvielfalt angeboten, in Anlehnung an die Strukturen in einer Zusammenbruchlücke im Urwald. Dies konnte bereits in Experimenten als besonders wichtig für eine hohe Artenvielfalt gezeigt werden (Seibold et al. 2016).

Tab. 9: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsflächen mit der Behandlungsvariante S/L (Hochstümpfe sowie Stämme und Wurzelstöcke verbleiben im Bestand).

Plot	Behandlung	Verteilung	Volumen Wurzel- stöcke (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Stämme (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Hoch- stümpfe (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Kronen (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Habitat- bäume (m <sup>3</sup> /ha)
3	S/L	A	0,6	19,8	19,6	0,0	0,0
25	S/L	A	0,6	22,3	17,9	0,0	0,0
35	S/L	A	0,6	25,9	20,9	0,0	0,0
<b>Mittelwert:</b>			<b>0,6</b>	<b>22,7</b>	<b>19,5</b>		
1	S/L	D	0,7	24,1	20,8	0,0	0,0
29	S/L	D	0,4	15,5	15,9	0,0	0,0
32	S/L	D	0,7	38,9	18,4	0,0	0,0
<b>Mittelwert:</b>			<b>0,6</b>	<b>26,2</b>	<b>18,3</b>		



Abb. 9: Variante Lichtloch (links) mit stehendem ( $19,6 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) und liegendem ( $19,8 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) Totholz und Stubben ( $0,6 \text{ m}^3/\text{ha}$ ). Variante Durchforstung (rechts) mit stehendem ( $15,9 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) und liegendem ( $15,5 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) Totholz und Stubben ( $0,4 \text{ m}^3/\text{ha}$ ).

Nach dem Eingriff wurden alle neu entstandenen Totholzstrukturen nach Totholztyp, Baumart und Volumen durch Kartierung im Gelände erfasst. Dies erfolgte durch Studierende der Universität Würzburg im Rahmen eines Waldökologischen Praktikums.

### Habitatbaumstrukturen

Habitatbäume werden heute in vielen Wäldern gezielt erhalten. Allerdings fehlt es dabei meistens an Bäumen mit hochwertigen Mikrohabitaten. Daher wurden verschiedene Techniken entwickelt um einen verfrühten Alterungsprozess (Speight, P. 1989) durch ein Verletzen von Bäumen, die Initiierung von Höhlen oder das Anbrechen von Kronen einzuleiten (Cavalli, R. 2003). Dadurch, dass die Bäume nicht sofort absterben werden sogenannte Mikrohabitats für längere Zeiträume als Lebensraum zur Verfügung gestellt. Dadurch lässt sich die Vielfalt an hochwertigen Habitats gezielt und langfristig erhöhen (Sebek, P. et al. 2013).



Abb. 10: Künstlich geschaffene Habitatbäume auf den Versuchsflächen.

Tab. 10: Neu geschaffene Totholzvorräte auf den Versuchsfeldern mit der Behandlungsvariante H (künstlich geschaffene Habitatbäume).

Plot	Behandlung	Verteilung	Volumen Wurzel- stöcke (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Stämme (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Hoch- stümpfe (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen liegende Kronen (m <sup>3</sup> /ha)	Volumen Habitat- bäume (m <sup>3</sup> /ha)
15	H	A	0,1	0,0	0,0	0,0	78,6
17	H	A	0,2	0,0	0,0	0,0	64,4
38	H	A	0,1	0,0	0,0	0,0	95,7
<b>Mittelwert:</b>			<b>0,1</b>				<b>79,6</b>
4	H	D	0,0	0,0	0,0	0,0	91,1
19	H	D	0,0	0,0	0,0	0,0	87,5
44	H	D	0,0	0,0	0,0	0,0	104,1
<b>Mittelwert:</b>							<b>94,3</b>

Bei dem Eingriff wurden die Bäume auf unterschiedliche Weise behandelt. So wurden typische Verletzungen, wie sie im Naturwald oder Wirtschaftswald häufig vorkommen nachgeahmt.

Folgende Behandlungen wurden durchgeführt:

#### *Köpfen über Grünast oder Starkast abbrechen*

Die Behandlung simuliert einen starken Sturm- oder Schneebruch, wie er bei Extremwetterereignissen in belaubtem Zustand vorkommt. Der Baum wird durch den Verlust eines Großteils seiner Krone deutlich geschwächt, aber nicht wie beim Hochstumpf zum vollständigen Absterben gebracht.

#### *Schrubben*

An diesen Bäumen wurde das Harvesteraggregat in geschlossenem Zustand auf ca. 5m Höhe herauf und herunter gefahren. Dabei wurde die Rinde in ähnlicher Weise verletzt wie bei einem Streifschaden.

#### *Ansägen und Kippen*

Die Bäume wurden mit dem Harvesteraggregat möglichst hoch angepackt und zu 2/3 durchtrennt. Dann wurden sie von der durchtrennten Seite her angeschoben, so dass sie auf die Seite kippten, an der noch eine Verbindung zwischen Stamm und Krone besteht. Im Idealfall verhaken sich die Bäume in den Kronen der Nachbarn, wo sie noch Jahre lang verbleiben und in geschwächtem Zustand überleben werden. Es kam aber auch vor, dass Bäume umstürzten und von der Schnittstelle bis zum Wurzelstock rissen, wobei die Verbindung zwischen Wurzel und Krone auf der nicht angesägten Seite durchgehend hielt. Diese Bäume überlebten das Folgejahr am Boden liegend. In der Natur kommt es zu solchen Teilbrüchen, wenn Bäume Schäden aufweisen, die sie einseitig destabilisieren, wie z.B. Befall durch holzersetzende Pilze. Auch an Druckwieseln können Bäume auf ähnliche Weise reißen.



Abb. 11: Natürliche Struktur im Universitätswald, die der Variante „Ansägen und Kippen“ sehr nahekammt (links). Künstlich geschaffene Variante „Ansägen und Kippen“, links im Bild (rechts).

### *Künstliche Höhle*

Dies war der einzige Habitatbaumtyp, der nicht mit dem Harvester, sondern motormanuell behandelt wurde. Zuerst wurde ein „Brettchen“ aus dem Stamm herausgeschnitten. Hinter dieser Öffnung wurde dann die Höhle angelegt und anschließend wieder mit dem „Brettchen“ verschlossen. In die „Brettchen“ wurden Öffnungen gebohrt oder gesägt, die sie nach Größe, Form und Position für unterschiedliche Tierarten attraktiv machen (z.B. Hornissen, Blaumeise/Tannenmeise, Halsbandschnäpper/Trauerschnäpper, Fledermäuse).

Natürlich werden Höhlen in Bäumen von Spechten „gezimmert“ oder sie entstehen durch Ausfallen an Astabbrüchen. Sie bilden eine überlebenswichtige Struktur für eine Vielzahl von Insekten, Vögeln und Kleinsäugetern.



Abb. 12: Anlage einer künstlichen Baumhöhle in mehreren Arbeitsschritten mit der Motorsäge.

Die künstlich geschaffenen Biotopbäume wurden im Rahmen der Aufnahme der Waldstrukturen im Gelände eingemessen und nach Baumart, Brusthöhendurchmesser, Volumen und Behandlung erfasst.

Tab. 11: Verteilung der vier Biotopbaumtypen auf den Versuchsflächen mit Behandlungsvariante H

Biotopbaumvariante	Verteilung D		Verteilung A	
	Plot 4, Block D		Plot 15, Block D	
	Stammzahl	Stammzahl/ha	Stammzahl	Stammzahl/ha
Köpfen über Grünast	4	16	17	68
Schrubben (Streifschaden)	19	76	27	108
Ansägen und kippen	17	68	17	68
Künstliche Höhle	5	20	6	24
Summe:	45	180	67	268

Biotopbaumvariante	Plot 19, Block C		Plot 17, Block C	
	Stammzahl	Stammzahl/ha	Stammzahl	Stammzahl/ha
Köpfen über Grünast	11	44	14	56
Schrubben (Streifschaden)	9	36	10	40
Ansägen und kippen	7	28	10	40
Künstliche Höhle	7	28	4	16
Summe:	34	136	38	152

Biotopbaumvariante	Plot 44, Block B		Plot 38, Block B	
	Stammzahl	Stammzahl/ha	Stammzahl	Stammzahl/ha
Köpfen über Grünast	6	24	15	60
Schrubben (Streifschaden)	6	24	7	28
Ansägen und kippen	7	28	6	24
Künstliche Höhle	5	20	5	20
Summe:	24	96	33	132

# Ökosystemprozesse und -funktionen

## Streuabbau

In den Blöcken A, B, C und D wurden im Frühjahr 2018 auf jedem Plot je fünf Beutel mit Zellulose, vier mit Buchenblättern sowie fünf Birkenholzstäbchen für eine Vegetationsperiode ausgelegt. Anschließend wurde der Abbau der Biomasse im Labor ermittelt.

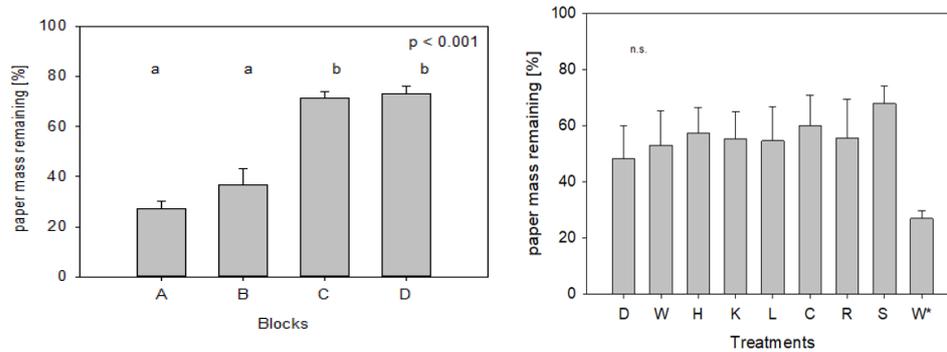


Abb. 13: Verbliebene Zellulosemasse in den Blöcken A, B, C und D vor dem Eingriff (links). Verbliebene Zellulosemasse geordnet nach den geplanten Behandlungsvarianten vor dem Eingriff (rechts). Die Bezeichnungen der Behandlungen entsprechen denen des Versuchsdesigns, mit der Ausnahme D=S/L und W\*= Durchforstungsplots des Referenzblocks A

Die Auswertung der Zellulosebeutel ergab, dass Block A als einziger Referenzbestand nicht geeignet ist, da die Ergebnisse deutlich von denen in den Blöcken C und D abweichen.

Der Vergleich zwischen den Plots zeigte keine deutlichen Unterschiede zwischen den geplanten Behandlungsvarianten vor dem Eingriff beim Zelluloseabbau.

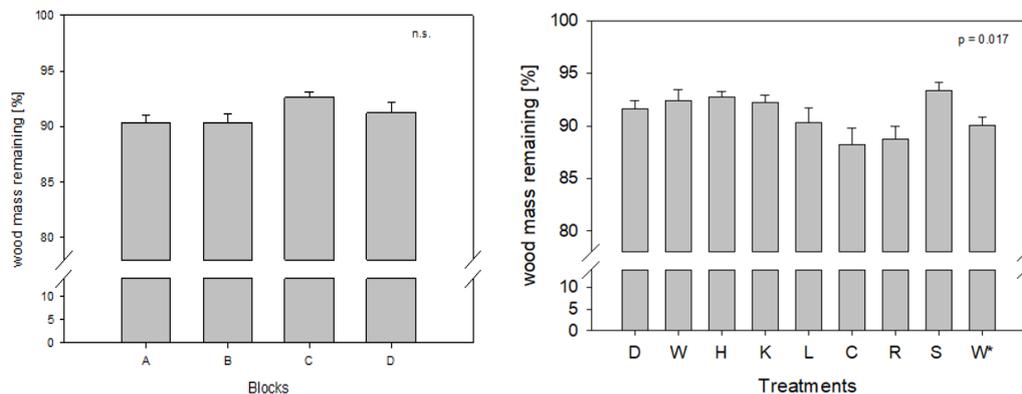


Abb. 14: Verbliebene Holzmasse in den Blöcken A, B, C und D vor dem Eingriff (links). Verbliebene Holzmasse geordnet nach den geplanten Behandlungsvarianten vor dem Eingriff (rechts). Behandlungsbezeichnungen siehe Abb. 13.

Beim Abbau der Holzmasse waren keine Unterschiede zwischen den einzelnen Blocks erkennbar. Hier gab es aber leichte Unterschiede zwischen den geplanten Behandlungsvarianten vor dem Eingriff.

Beim Streuabbau gab es weder zwischen den geplanten Behandlungsvarianten, noch zwischen den Blöcken Unterschiede.

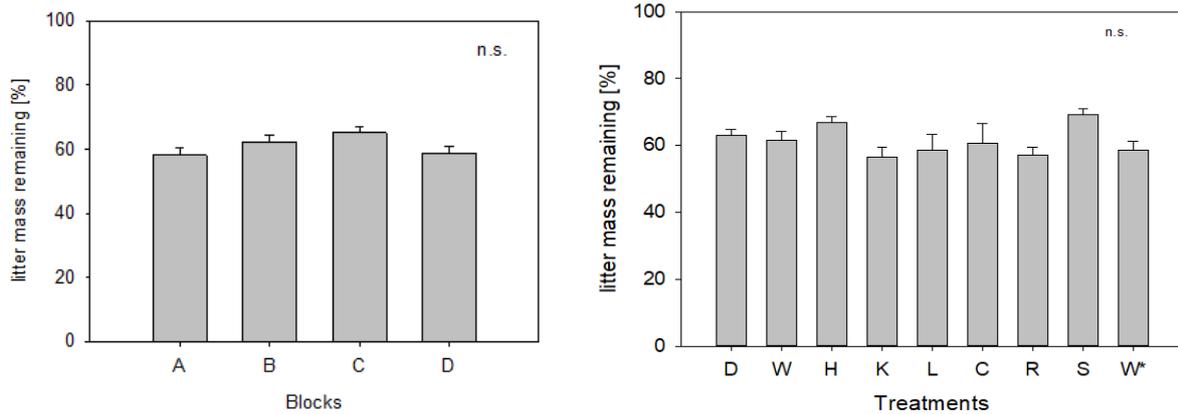


Abb. 15: Verbliebene Streumasse in den Blöcken A, B, C und D vor dem Eingriff (links). Verbliebene Streumasse geordnet nach den geplanten Behandlungsvarianten vor dem Eingriff (rechts). Behandlungsbezeichnungen siehe Abb. 13.

## Bestäubung

Im Frühjahr 2018 wurden die Bestäuber der Frühjahrsblüher im Rahmen einer Bachelorarbeit erfasst. Die Erhebung erfolgte mit farbigen Fangschalen und Kescherfängen auf allen Plots der Blöcke A, B, C und D. Eine Wiederholungsaufnahme konnte noch nicht durchgeführt werden.



Abb. 16: Bestäuberexperimente vor dem Eingriff. Ausschlussverfahren (links), Nisthilfen zur Erfassung von Wildbienen (rechts).

Im April 2018 wurden auf allen 60 Plots der Blöcke A, B, C und D je zwei Nisthilfen für Wildbienen installiert, die den Sommer über besiedelt wurden. Bei der Wiederholungsaufnahme 2019 wurden zusätzlich die Plots des Blocks E erfasst. Die Auswertung der Ergebnisse liegt aufgrund der durch den Ausbruch der Corona Pandemie bedingten Einschränkungen noch nicht vor.

## Veränderungen in der Symbiontengemeinschaft von Borkenkäfern

Der Bestand der pilzzüchtenden Borkenkäfer (Ambrosiakäfer) wurde 2018 auf allen Plots der Blöcke A, B, C und D vor dem Eingriff mit Alkoholfallen erfasst. Hierbei konnten vier verschiedene Arten mit insgesamt ca. 50 Individuen nachgewiesen werden.



Abb. 17: Alkoholfalle zur Erfassung der Ambrosiakäfer.

## Samenprädation



Abb. 18: Schalen mit Samen zur Erfassung der Samenprädation.

Im Jahr nach dem Eingriff wurden auf den 75 Plots je eine Schale mit 100 kleinen Samen (Sonnenblume) und eine mit 10 großen Samen (Roteiche) für 24 Stunden aufgestellt und anschließend die verbliebenen Samen gezählt. Dies erfolgte im Zaun und außer Zaun fünfmal mit einwöchigem Abstand.

Bei der Samenprädationsrate konnte ein signifikanter Unterschied weder zwischen den einzelnen Behandlungen noch zwischen den Verteilungen aggregiert/Lichtloch und verteilt/Durchforstung festgestellt werden. Die Untersuchung erfolgte im Rahmen einer Bachelorarbeit.

## Reaktion von Dungkäfern

Im Jahr vor dem Eingriff wurden auf den 60 Plots der Blöcke A, B, C und D im Rahmen einer Masterarbeit Dungkäfer erfasst. Hierzu wurden für drei Tage drei Bodenfallen eingerichtet und mit dem Dung von Wildschwein, Damhirsch und Hausrind beködert. So wurden 15.354 Individuen von 17 Arten gefangen. Die Auswertung zeigte, dass die Arten- und Individuenzahl mit der Nähe zum Waldrand und der Vegetationsdichte zunimmt.

Bei der Wiederholungsaufnahme 2019 wurden 4.421 Individuen von 10 Arten gefangen. Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurde untersucht, in wie weit die experimentellen Behandlungen und deren Verteilung einen Einfluss auf die Dungkäferpopulation haben. Hierbei konnte gezeigt werden, dass sowohl die Arten- als auch die Individuenzahl bei der Verteilung verteilt/Durchforstung signifikant höher war als bei der Verteilung aggregiert/Lichtloch. Ein signifikanter Einfluss der durch die experimentelle Behandlung geschaffener Totholzstrukturen konnte nicht festgestellt werden.

## Organismische Biodiversität

### Akustische Diversität und Soundscapes

2018 wurde an jedem Plot der Blöcke A, B, C und D ein autonomer Audiorekorder installiert, der im 10-Minuten-Takt für eine Minute die Umgebungsgeräusche aufzeichnet. Die Rekorder wurden von April bis August betrieben. 2019 wurden zusätzlich die Plots des Blocks E erfasst und die Aufnahmezeit von März bis September verlängert.

Die Diversitätsindizes aus den Audiodateien wurden für jede Minute getrennt berechnet. Aktuell erfolgt die Verschneidung mit den Vorher-Nachher Strukturdaten.



Abb. 19: Autonomer Audiorekorder zur Aufzeichnung von Naturgeräuschen in geöffnetem Zustand.

## Reaktion hochmobiler Arten

### Vögel

Die Vogelarten wurden 2018 auf allen Plots der Blöcke A, B, C und D erfasst, 2019 zusätzlich auf den Plots des Blocks E. Die Erhebung der vorkommenden Vogelarten erfolgte jeweils im Rahmen einer Bachelorarbeit. Hierfür wurden von März bis Juni alle Plots fünfmal mithilfe der standardisierten Punktstopp-Methode erfasst.

Zusätzlich wurde eine standardisierte Auswahl von Hörminuten aus den Aufnahmen der Audiorekorder ausgewählt und ornithologischen Experten zur Bestimmung auf Artniveau vorgelegt. Dabei hat sich trotz hervorragender Kenntnisse insbesondere des Vogelkartierers im Jahr 2019 gezeigt, dass eine absolut zeitgleiche Auswahl von Audiodateien gestreut über die Morgenstunden mehr Vogelarten zu Tage fördert als die direkte Kartierung, die neben der Akustik ja auch noch die visuellen Nachweise hat.

Tab. 12: Vergleich der Vogelartenzahl nachgewiesen in den beiden Jahren über Kartierung im Felde und anhand von Audio-Dateien.

	2018	2019
Aufnahmeflächen 50x50 m	60	75
Vogelarten Feldkartierung	39	35
Vogelarten Audiodateien	60	57

Aktuell werden die Vogelgemeinschaftsdaten, die Sounddaten und die Waldstrukturdaten des Experiments ausgewertet. Eine erste Auswertung der hochstandardisierten Daten aus den autonomen Audiorekordern beider Jahre zeigt noch keine deutlichen Unterschiede der Rarefaction Kurven im Vergleich der Before und After Situation (Abb. 20).

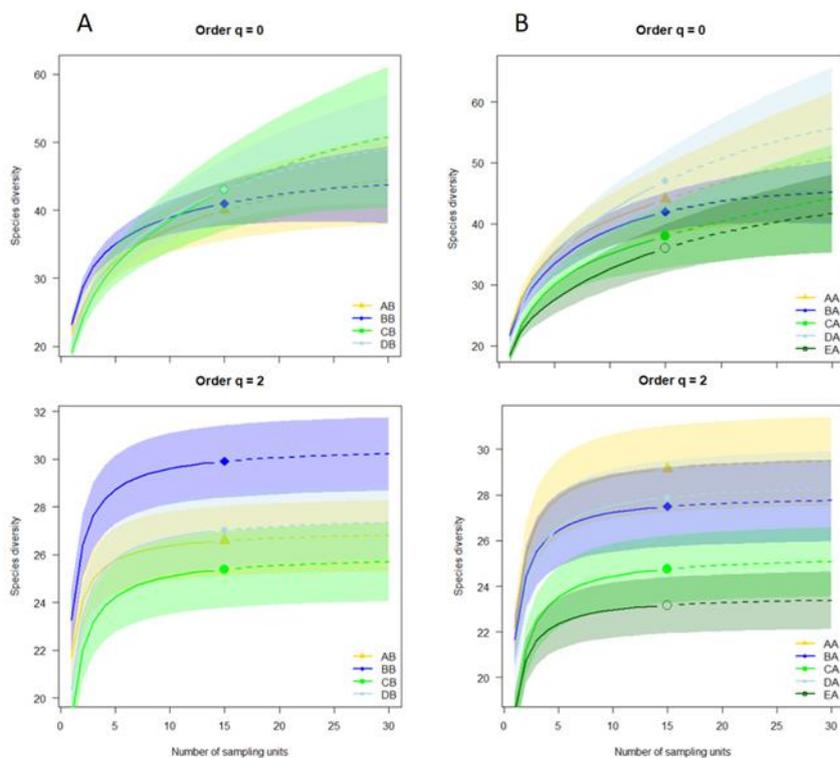


Abb. 20: Rarefaction-Extrapolationskurven für die Diversität von Vogelarten, verhört in 4 Blöcken vor (links) und in 5 Blöcken nach (rechts) den Eingriffen. Die Graphiken oben zeigen das Ergebnis für eine Gewichtung seltener Arten, und unten für dominante Arten.

## Fledermäuse

Auf allen Plots der Blöcke A, B, C und D wurden im Zeitraum von Mai bis August Fledermausrufe mittels Batcorder automatisch aufgezeichnet. Die Aufnahmen erfolgten 2018 in fünf Nächten, 2019 in vier. Sie erfolgten im Rahmen von zwei Bachelorarbeiten, zwei Zulassungsarbeiten zum 1. Staatsexamen für das Lehramt an Gymnasien und einer interdisziplinären Projektarbeit. Insgesamt konnten 14 Arten oder Artkomplexe nachgewiesen werden (Tab. 13).

Tab. 13: Fledermausnachweise in beiden Jahren mit Hilfe von Batcorderaufnahmen.

Fledermausarten	2018					2019					
	Block A	Block B	Block C	Block D	Σ	Block A	Block B	Block C	Block D	Σ	
<i>Nyctalus noctula</i>		1	0	0	1	2	7	29	25	12	73
<i>Nyctalus leisleri</i>		0	0	0	0	0	15	10	1	3	29
<i>Eptesicus nilssonii</i>		0	0	0	0	0	3	12	8	2	25
<i>Eptesicus serotinus</i>		0	0	0	0	0	0	1	1	1	3
<i>Vespertilio murinus</i>		0	0	0	0	0	9	6	0	2	17
<i>Pipistrellus nathusii</i>		0	1	0	1	2	4	6	30	22	62
<i>Myotis myotis</i>		5	1	2	3	11	3	3	14	6	26
<i>Myotis daubentonii</i>		8	3	9	2	22	5	14	1	2	22
<i>Myotis brandtii</i>											
<i>mystacinus</i>		162	30	69	103	364	58	52	86	29	225
<i>Pipistrellus pygmaeus</i>		0	1	1	2	4	2	4	2	3	11
<i>Pipistrellus pipistrellus</i>		70	132	77	224	503	240	802	742	581	2365
<i>Barbastella barbastellus</i>		6	8	3	5	22	31	45	19	13	108
<i>Myotis nattereri</i>		10	2	36	21	69	16	10	36	24	86
<i>Myotis bechsteinii</i>		12	2	31	9	54	6	8	7	7	28
	Σ	274	180	228	371	1053	399	1002	972	707	3080

Erste Auswertungen im Rahmen der studentischen Arbeiten zeigen, dass wie erwartet die konzentrierte Entnahme von Bäumen zu neuen Lebensräumen insbesondere von Offenlandarten und Waldrandjägern führt (Abb. 22).

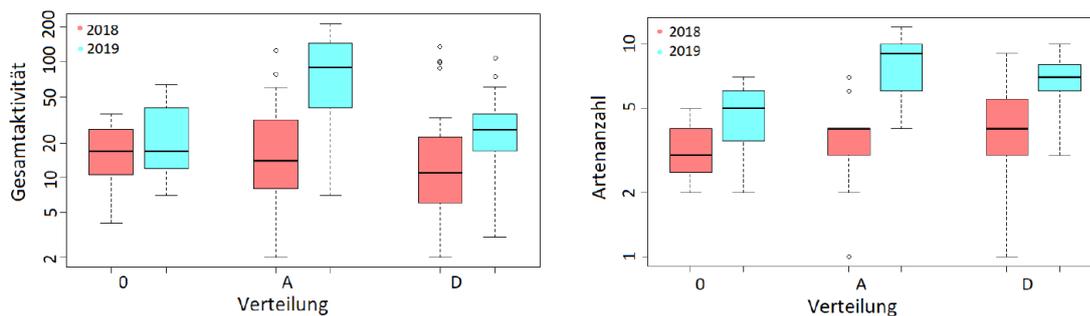


Abb. 21: Reaktion der Fledermausaktivität gesamt (links) und der Artenzahl der Fledermausarten (rechts) aus Wiesner 2020.

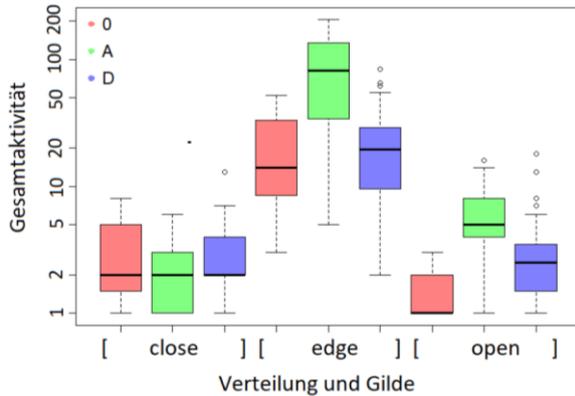


Abb. 22: Reaktion der drei Fledermausgilden Waldinnenjäger (close), Waldrandjäger (edge) und Offenjäger (open) im Jahre 2019 nach den Eingriffen verteilt nach Kontrolle (0), aggregiert (A) und verteilt (D) aus Wiesner 2020.

### Nachtschmetterlinge

Die Nachtschmetterlinge wurden im Rahmen von zwei Masterarbeiten erfasst. 2018 und 2019 wurde von Mai bis August auf allen Plots der Blöcke A, B, C und D in vier Nächten mittels Lichtfallen gefangen. Abschließend wurden die Fänge von je drei vergleichbaren Intervallen aus beiden Jahren ausgewertet. Insgesamt wurden 38.899 Individuen aus 334 Makro-Lepidoptera bestimmt.

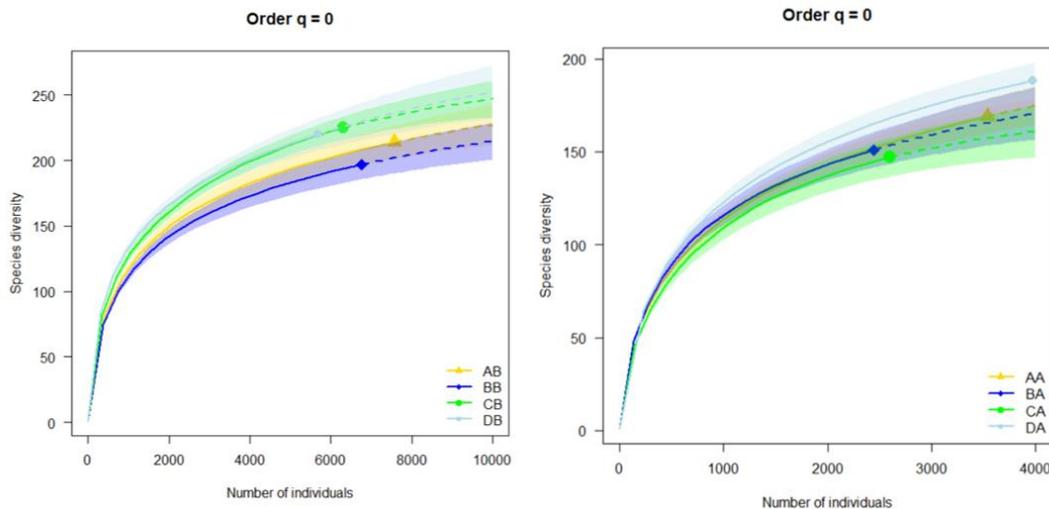


Abb. 23: Rarefaction-Extrapolationskurven für die Diversität von Nachtschmetterlingen, gefangen in 4 Blöcken vor (links) und nach (rechts) den Eingriffen.

Nach Reduktion auf vergleichbare Erfassungen verblieben 32.207 Individuen aus 307 Arten. Der Vergleich der vier Blöcke vor und nach den Eingriffen lässt nach Standardisierung auf die Zahl der Individuen noch keinen klaren Unterschied erkennen (Abb. 23). Dies wurde auch in den Auswertungen von Pickert (2020) untermauert. Es scheint so als ob nach den wenigen Monaten des Eingriffs noch nicht ausreichend Pflanzenarten der lichten Waldphasen als Futterpflanzen aufgetreten sind.

## Reaktion von Arthropoden oberirdisch

2018 wurden auf jedem Plot der Blöcke A, B, C und D von Mai bis August zwei Flugfensterfallen und zwei Barberfallen installiert, 2019 zusätzlich auch auf den Plots des Blocks E.

Alle Fänge wurden auf folgende Gruppen vorsortiert:

- Käfer
- Hautflügler (Ameisen separat)
- Zikaden
- Wanzen
- Spinnen
- Netzflügler
- Sonstige (Schwebfliegen separat)

Abschließend bestimmt wurden bisher die Käferfänge der Flugfensterfallen von Mai und Juni aus beiden Fangjahren, sowie vom Juli 2018.

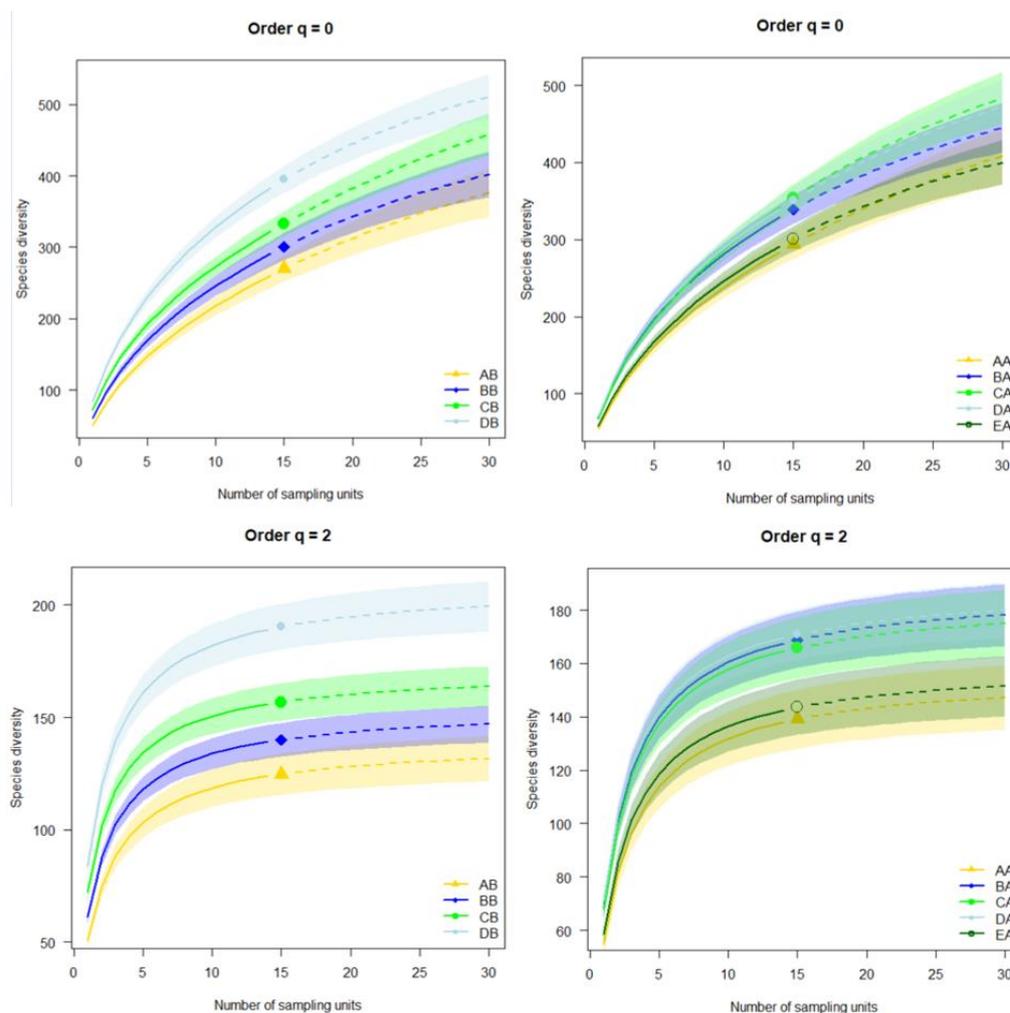


Abb. 24: Rarefaction-Extrapolationskurven für Käfergemeinschaften erfasst in den 4 bzw. 5 Blöcken vor (links) und nach (rechts) den Eingriffen. Die Graphiken oben zeigen das Ergebnis für eine Gewichtung seltener Arten, und unten für dominante Arten.

Die Kurven zeigen, dass nach dem Eingriff, die Blöcke ohne Erhöhung der Struktur eine geringere Betadiversität aufweisen, während die drei Blöcke mit Strukturerrhöhung eine ähnliche hohe Diversität zeigen. Auffällig ist hierbei vor allem der relative Anstieg im Block B.

## Reaktion von Arthropoden unterirdisch

Jeweils im Oktober 2018 und 2019 erfolgte durch die Experimentelle Interaktionsökologie (iDiv) die Erhebung mikrobieller Parameter: Basalrespiration und mikrobielle Biomasse im Boden nach Anderson & Domsch, 1976, sowie die mikrobielle Gemeinschaftsstruktur durch Fettsäureanalytik (Frostegård & Bååth 1996). Aus den gleichen Bodenproben wurden zudem freilebende Boden nematoden extrahiert (Cesarz et al 2019).

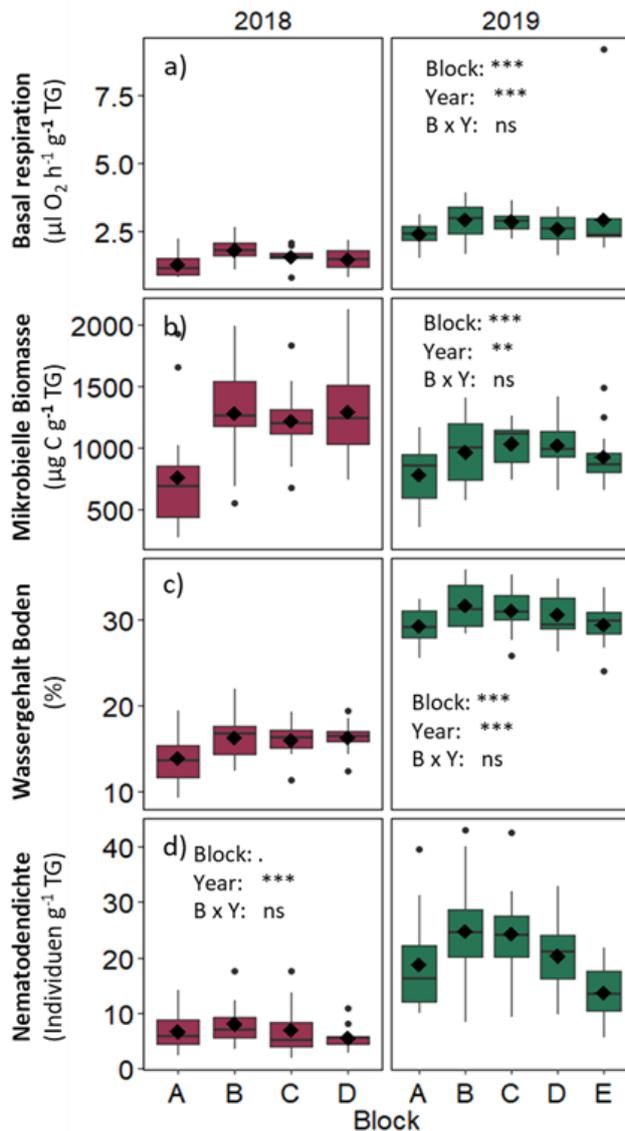


Abb. 25: Übersicht der erfassten Parameter in den einzelnen Blöcken in Sailershausen. Block E wurde erst 2019 etabliert.

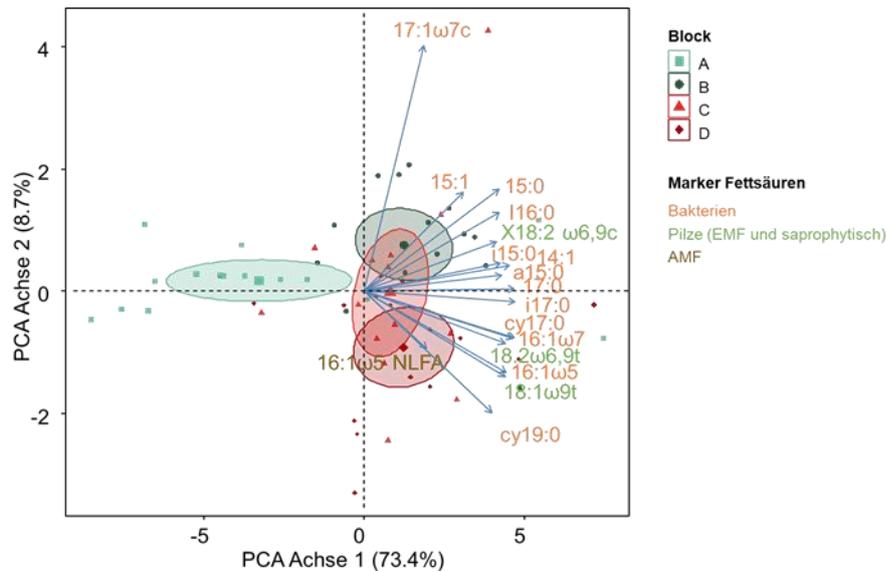


Abb. 26: PCA (Principal Component Analysis = Hauptkomponentenanalyse) des Fettsäureprofils aus Bodenproben zur Charakterisierung der mikrobiellen Gemeinschaftsstruktur im Oktober 2018 in den vier Blöcken in Sailershausen. (EMF: Ektomykorrhiza, NLFA: Neutralfettsäuren, AMF: Arbuskuläre Mykorrhiza).

Die Werte für die erhobenen Parameter unterschieden sich stark signifikant zwischen den beiden Jahren. Während 2019 für die Basalrespiration, den Wassergehalt (nur eine punktuelle Momentaufnahme), und die Nematodendichte höhere Werte gemessen wurden, war die mikrobielle Biomasse 2019 signifikant niedriger. Auch konnten signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Blöcken gemessen werden. Die Probenahme in 2018 erfolgte kurz (wenige Tage/Wochen) nach dem Eingriff. Wir gehen davon aus, dass sich hier noch keine starken Effekte ausbilden konnten. Die Blöcke erfuhren daher in der Vergangenheit eine Gleichbehandlung und Unterschiede sind vermutlich hauptsächlich durch den Standort und eventuell unterschiedliche Baumartenzusammensetzung zu erklären. Block A unterschied sich für alle mikrobiellen Parameter signifikant von den Blöcken B, C und D, teilweise auch noch in 2019, wobei sich Block A nicht von Block E unterschied (Abb. 25).

Die Analyse der mikrobiellen Gemeinschaftsstruktur zeigte ebenfalls deutliche Unterschiede von Block A zu den anderen an. Diese sind hauptsächlich mit geringeren Mengen der Fettsäuremarker zu begründen. Block C und D, die räumlich entfernt von Block A und B liegen, wiesen zudem höhere Pilzmarker auf (Abb. 26).

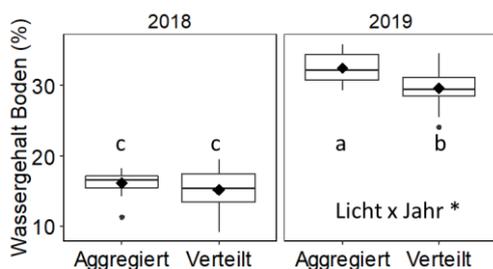


Abb. 27: Bodenwassergehalte in 2018 und 2019 für aggregierte und verteiltes Totholz. Unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede an.

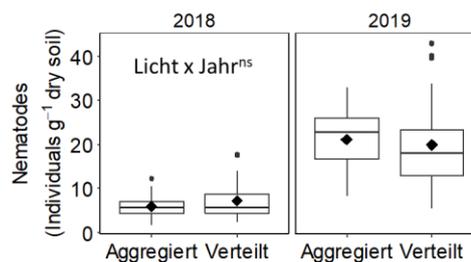


Abb. 28: Nematodenabundanz in 2018 und 2019 für aggregierte und verteiltes Totholz.

Im Oktober 2019 sind die Behandlungen zum Lichteinfall und Totholz ein Jahr lang aktiv. Bisher konnte lediglich für den Wassergehalt eine Interaktion von Jahr und Licht gefunden werden, mit einem allgemein höheren Wassergehalt in 2019 und zudem signifikant höheren Wassergehalten in Plots die eine aggregierte Totholzverteilung aufwiesen (Abb. 27). Ein ähnliches Muster konnte für die Nematoden beobachtet werden, jedoch ohne signifikante Unterschiede (Abb. 28).

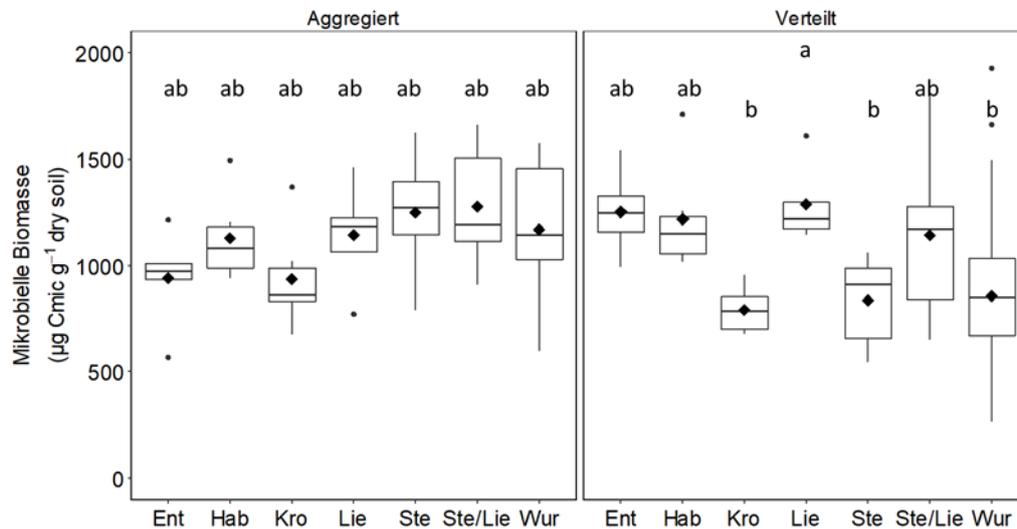


Abbildung 29: Mikrobielle Biomasse in Plots mit einer aggregierten und verteilter Totholzverteilung, sowie für die spezifische Art des Totholzes gemittelt über die Jahre 2018 und 2019. Ent: Entferntes Totholz, Hab: Habitatbaum; Kro: Kronentotholz; Lie: Liegende Stämme; Ste: Stehende Stämme; Steh/Lie: Stehend und liegende Stämme; Wur: Wurzelstöcke

Die mikrobielle Biomasse war 2018 marginal höher als 2019. Die Lichtbehandlung zeigte nur in Verbindung mit der Totholzbehandlung signifikante Unterschiede, wobei das Jahr keine Rolle spielte und signifikante Unterschiede nur in den Plots mit verteilter Totholz zu finden waren. Signifikant am höchsten war die mikrobielle Biomasse in Plots mit liegendem Totholz sobald dieses gleichmäßig verteilt auf dem Plot lag. Am niedrigsten war die mikrobielle Biomasse bei gleichmäßiger Verteilung von Kronenholz, stehendem Totholz, und Wurzelstöcken (Abb. 29).

### Veränderungen in der Vegetation

Auf den 300 Subplots der Blöcke A, B, C und D wurden 2018 auf einer Kreisfläche mit Radius vier Meter die Strauch-, Kraut- und Moosschicht aufgenommen. Die Frühblüher und der beginnende Sommeraspekt wurden überwiegend im Juni erfasst, ergänzende Kartierungen erfolgten im August und Oktober. Die Wiederholungsaufnahme der Strauch-, Kraut- und Moosschicht an allen Subplots erfolgte im Mai 2019, zusätzlich wurden alle Subplots des Blocks E erfasst. Ergänzende Aufnahmen folgten im Sommer 2019. Im Rahmen der Kartierarbeiten wurde eine Bachelorarbeit verfasst.

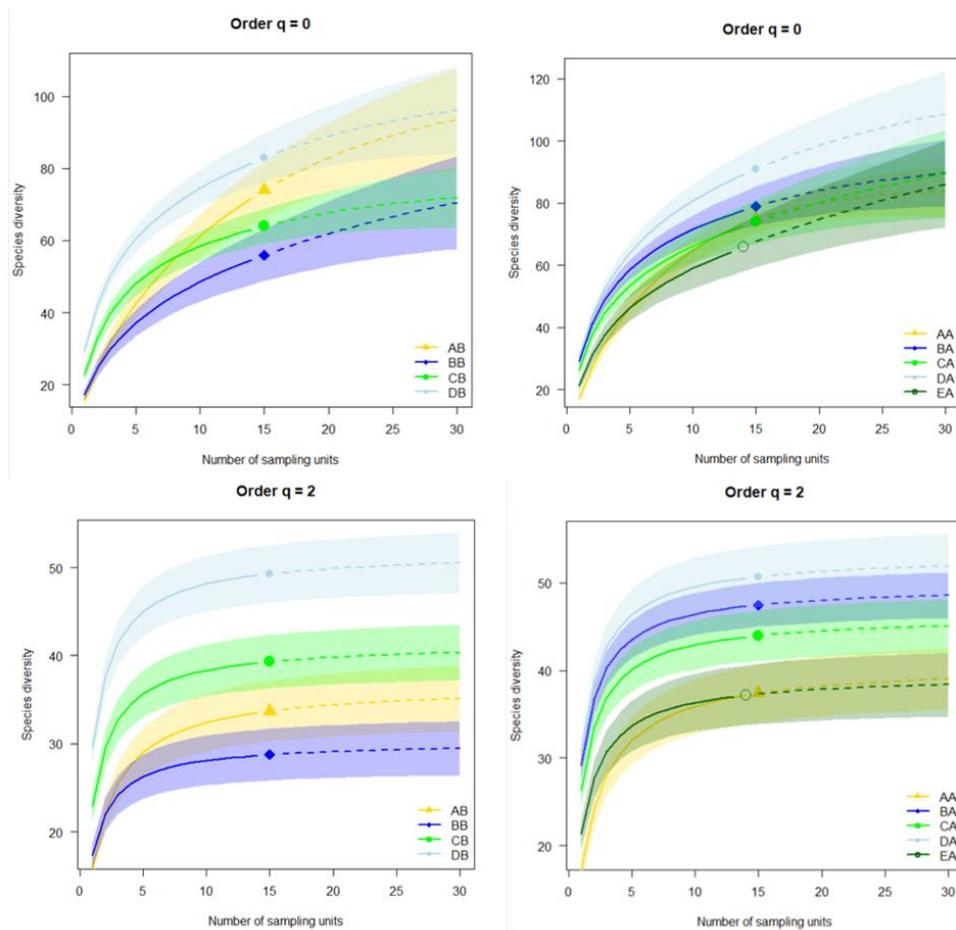


Abb. 30: Rarefaction-Extrapolationskurven für Vegetationsgesellschaften erfasst in den 4 bzw. 5 Blöcken vor (links) und nach (rechts) den Eingriffen. Die Graphiken oben zeigen das Ergebnis für eine Gewichtung seltener Arten, unten für dominante Arten.

Insgesamt konnten 144 Pflanzenarten in der Krautschicht erfasst werden. Die Artengemeinschaften der beiden Jahre wurden wiederum mit Hilfe von Rarefaction-Extrapolationskurven verglichen (Abb. 30). Die Ergebnisse zeigen, dass die beiden Kontrollblöcke in 2019 die geringste Beta-Diversität aufweisen. Dies gilt insbesondere für die dominanten Arten.

### Veränderungen der Kryptogamen (Flechten, Moose) und Pilze

Die epiphytischen Moose und Flechten wurden im Oktober 2018 an 242 ausgewählten und nummerierten Bäumen erfasst. Die Epiphyten in den Baumkronen, die im Bestand verblieben, wurden nach der Maßnahme an den dann liegenden Kronen erfasst (Frühjahr 2019). An jedem Plot wurden mindestens drei Bäume untersucht, wenn möglich je ein Exemplar der drei häufigsten Baumarten Eiche, Buche, Esche. Die Behandlungsvariante „Habitatbaum“ wurde überproportional beprobt, hier wurden mindestens 12 Bäume pro Plot kartiert, um neben den drei Hauptbaumarten auch die verschiedenen Behandlungsvarianten abzubilden. Im Mai 2019 wurden zusätzlich die epiphytischen Moose und Flechten an 45 Bäumen in Blöcke E erfasst.

An allen Bäumen, an denen Epiphyten aufgenommen wurden, wurden auch die holzbesiedelnden Pilze erfasst. Hierzu wurde der Stamm in 1,3m Höhe durchbohrt und das Bohrmehl aufgefangen. Die Bohrmehlproben wurden eingefroren und werden zu einem späteren Zeitpunkt einer DNA-Analyse unterzogen. Von allen untersuchten Bäumen der Behandlungsvarianten L (liegendes Stammholz), S (Hochstumpf) und K (liegendes Kronenholz) wurde eine Stammscheibe von ca. 10cm Stärke

abgeschnitten und getrocknet. Bei den Bäumen der Behandlungsvariante W (Wurzelstock verbleibt) wurde wegen des begrenzten Materials am Plot ein Ersatzwurzelstock derselben Baumart ausgewählt und von diesem eine Stammscheibe gewonnen. Durch Wiederholungsaufnahmen in den Folgejahren kann dann der Holzabbau in Abhängigkeit von Baumart und Behandlungsvariante ermittelt werden.



Abb. 31: Nachweis von Pilzen durch Gewinnung von Bohrmehl (links) und Ausbringen von Stammstückchen.

In der Nähe der Mittelpunkte der Plots 1 bis 60 wurde je ein Stammstückchen einer Buche und einer Kiefer aufgehängt. Vor dem Ausbringen und nach der ersten Vegetationsperiode wurde je eine Scheibe abgesägt und eingefroren. Sie werden zu einem späteren Zeitpunkt auf Pilz-DNA untersucht. Im Laufe der nächsten Jahre können weitere Scheiben entnommen werden. So kann der Verlauf der Besiedelung durch Pilze dokumentiert werden.

## Dissemination der Ergebnisse

### Wahrnehmung: Reaktion von Waldbesuchern

Im Rahmen einer Onlinebefragung wurde ermittelt, wie die experimentellen Eingriffe auf Waldbesucher wirken. Hierzu wurden zwei Fotoserien erstellt, die jede der 15 Varianten abbilden. Jede Serie wurde ca. 300 Personen vorgelegt, die jedes Bild in einer fünfstufigen Skala von sehr positiv bis sehr negativ bewerteten.

Insgesamt nahmen 312 Frauen und 292 Männer an der Umfrage teil. Im Mittel waren die Teilnehmer der Umfrage 48 Jahre alt und gaben an, öfter als einmal im Monat den Wald zu besuchen.

Im Vergleich zur unbehandelten Kontrollfläche wurden die beiden Varianten mit Stockrodung signifikant besser bewertet. Alle anderen Varianten wurden schlechter bewertet, allerdings gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen der Unbehandelten Fläche und der verteilten Variante mit verbliebenen Wurzelstöcken. Im Mittel wurden alle durchschnittlich positiv bewertet, bei keiner Variante konnte also eine schlechte oder sehr schlechte Wahrnehmung festgestellt werden.

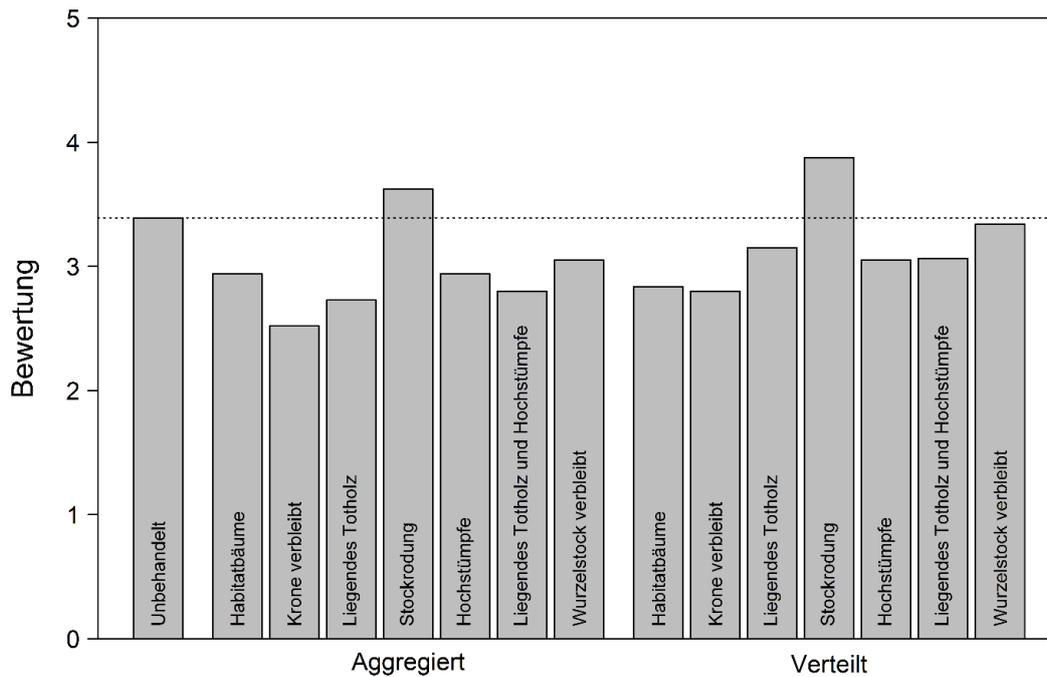


Abb. 32: Wahrnehmung der Untersuchungsflächen auf einer 5-Punkt Likert Skala von 0 – sehr negativ, bis 5 sehr positiv. Die Analyse durch ein lineares, gemischtes Modell zeigt, dass sich alle Varianten, bis auf verteilte Anreicherung mit Wurzelstock (ganz rechts), signifikant von der unbehandelten Kontrolle (ganz links, gestrichelte Linie) unterscheiden. Die Auswertung wurde um die demographischen Variablen Geschlecht, Alter und höchster Bildungsabschluss korrigiert.

### Lehrpfad

Im Block B wurde ein Lehrpfad eingerichtet, in dem entlang eines Rundweges das Versuchsdesign und die unterschiedlichen Behandlungsvarianten erklärt werden.

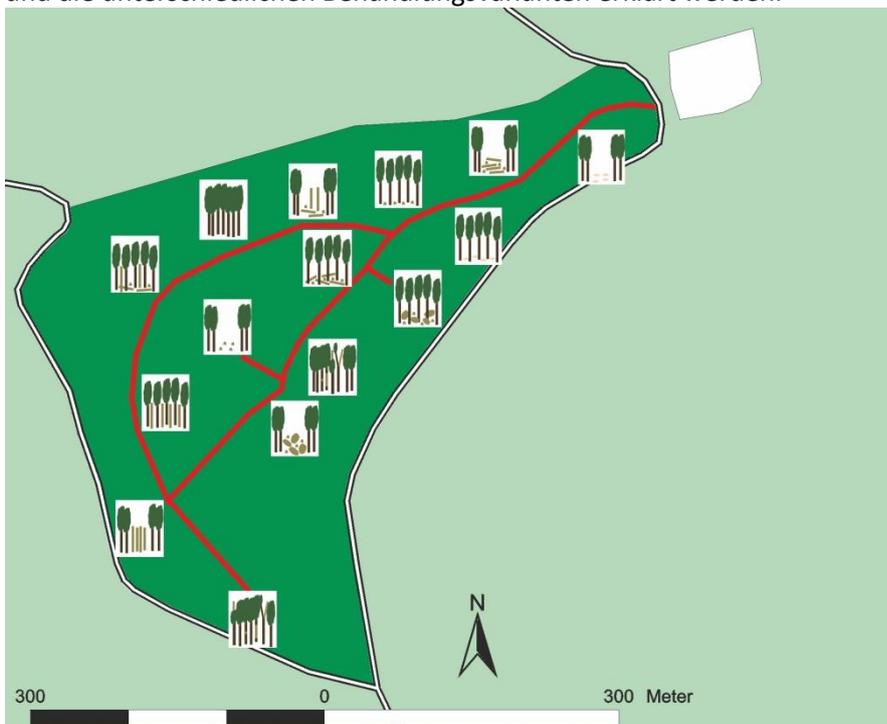


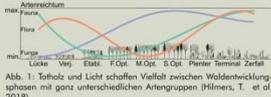
Abb. 33: Lehrpfad (Kartenbild).

# Förderung von Beta-Diversität und Ökosystemleistungen in Nutzwäldern durch neue Formen des Waldmanagements - ein Experiment

## Ausgangssituation

Durch die Forstwirtschaft der letzten drei Jahrhunderte sind fädig vorratsreiche und zwischensstarke Waldbestände mit geringem Totholzvorrat entstanden. Die Hinwendung zu langfristigen Verjüngungszyklen begünstigte vor allem schattentolerante Arten.

Die für die Artenvielfalt bedeutenden Parameter Licht und Totholz sind in unseren Wirtschaftswäldern Mangelware geworden.



## Problemstellung

Selbst wenn die Stilllegung von 5% der Waldfläche in Deutschland umgesetzt sein wird, kann damit nicht die Vielfalt in unseren Wäldern gesichert werden. Denn erstens befinden sich viele Arten nicht in diesen 5% und zweitens weisen viele Stilllegungsflecken zu wenig Dynamik auf, um binnen von Jahrzehnten ausreichend positive Wirkung für bedrohte Arten zu entfalten. Für die 95% der übrigen Waldfläche sind dringend Konzepte erforderlich, die eine hohe Wirksamkeit zeigen. Sowohl beim Totholz, als auch bei den Lichtflecken und besonders bei der landschaftlichen Heterogenität fehlen aktuell Experimente und Antworten auf die kritischen Fragen.

Viele Waldbewirtschafter arbeiten unter klaren betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen, wie z.B. Vorgaben zum jährlichen Einholertrag. Verfolgen sie nun eine Verbesserung der Lebensumwelt, so ist die zentrale Frage wie mit welchen Behandlungsvarianten am effektivsten eine hohe Habitat-Heterogenität auf Landschaftsebene erzielt werden kann und wie mit Totholz und Habitatbäumen sowie mit Lücken im Wald lichtliebende Baumarten wie die Eiche und seltene Waldarten gefördert werden können.

## Gegenstand und Ziel des Projektes

Durch ein Before-After-Control-Impact (BACI) Experiment sollen Erkenntnisse zur Strukturveränderung sowie der Reaktion mobiler Artengruppen auf Veränderungen im Wald gewonnen werden.

Dabei wird auf den Versuchsflecken folgendes erfasst und ausgewertet:

- Waldstruktur
  - Halbverrat, Baumartenzusammensetzung, Vegetationsdeckung und Totholz
- Biodiversität
  - Vögel, Fledermäuse, Käfer, Hautflügler, Spinnen, Fliegen, Nachschmetterlinge, Springschwärze, Nematoden, Pilze, Bakterien, Pflanzen, Moose, Flechten
- Ökosystemfunktionen
  - Mikrobenaktivität im Boden, Bodenproduktivität, Mikrobielle Atmung, Nährstoffumsetzung, Laubbau, Holzbau, Korbbaubau, Korbbaubau, Primärproduktion, Bestäubung, Samenverbreitung, Pflanzenfresserwiderstand, Hülfenfraß, Symbiosen, Prädation, Parasitismus

## Versuchsaufbau

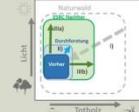


Abb. 2: Wir erhöhen die Strukturvielfalt und berücksichtigen dabei die beiden Faktoren Licht und Totholz.

Der graue Rahmen zeigt das im Naturwald mögliche Spektrum. Blau ist die Ausgangssituation, ein Alldurchforstungsbestand vor der Durchforstung. Der Hellblau-Rahmen zeigt die Veränderung durch eine normale Durchforstung. Der grüne Rahmen zeigt die Veränderungen durch die Erhöhung der Strukturvielfalt (ESBC = Enhancement of Structural Beta Complexity).

In fünf Alldurchforstungsbeständen im Alter von 67-92 Jahren wurden je 15 Probeblöcke von 50x50m eingerichtet. Zwei dieser Bestände wurden als Vergleichsflächen konventionell behandelt (durchforstet). Die anderen drei Bestände wurden experimentell behandelt. Durch einen davon führt dieser Lehrpfad.

## Licht und Schatten

Die Behandlungsvarianten orientieren sich an der Erkenntnis, dass vor allem Licht und Schatten bestimmend für die unterschiedlichen Lebensgemeinschaften sind. Die Ernte bzw. Behandlung der Bäume erfolgte daher in einer Variante konzentriert in der Mitte der Probeblöcke. Auf einer kreisförmigen Fläche von 30m Durchmesser wurde so ein „Lichtloch“ geschaffen, das zu dauerhafter Besonnung führt. In einer zweiten Variante wurde dieselbe Holzmenge verteilt über die Fläche entnommen bzw. behandelt. Diese Verteilung entspricht dem Vorgehen bei einer Durchforstung. Nach einer kurzen Auflichtung schließt sich der Bestand wieder und das Totholz ist beschattet.



Abb. 3: „Licht und Schatten“, auf den beiden Versuchsflecken wurde dieselbe Holzmenge entnommen. Das linke Bild zeigt die verteilte Entnahme einer Durchforstung, das rechte Bild zeigt die konzentrierte Entnahme beim Lichtloch.

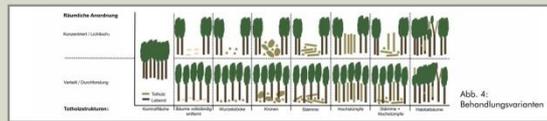


Abb. 4: Behandlungsvarianten

## Totholzstrukturen



Abb. 5: Schaffung von unterschiedlichen Totholzstrukturen

Es wurden unterschiedliche Totholzstrukturen geschaffen. Im Extremfall wurden die Bäume vollständig samt der Wurzelstöcke entfernt. Bei der Variante Wurzelstock verblieb nur dieser im Bestand. Bei weiteren Varianten wurden zusätzlich zu den Wurzelstöcken entweder die Kronen oder die legenden Stämme im Bestand belassen. Bei der Variante Hochabwurf wurden die Bäume durch das Kappen in ca. 5m Höhe zum Absterben gebracht. Eine weitere Variante stellt die Kombination von Hochstümpfen und liegendem Totholz dar. Bei der Variante Habitatbaum wurde durch gezielte Verletzung der Bäume ein verfrühter Alters- bzw. Absterbeprozess eingeleitet.

## Was ist Beta-Diversität?

Die Alpha-Diversität beschreibt die Diversität innerhalb des betrachteten Habitats. Bei dem schematisch dargestellten Beispiel in Abbildung # liegt sie auf allen Flächen bei 2. Die Gamma-Diversität beschreibt die Diversität auf Landschaftsebene. In dem Beispiel von Abbildung # liegt sie in dem homogenen Wald auf demselben Niveau wie die Alpha-Diversität. In einer heterogenen Landschaft ist sie wegen der unterschiedlichen Habitats deutlich höher, hier liegt sie bei 9. Die Beta-Diversität ist die Differenz aus diesen beiden Werten und gibt Auskunft über die Diversität zwischen den Habitats einer Landschaft. Bei diesem Schema liegt sie im homogenen Wald bei 0, im heterogenen bei 6.



Abb. 6: Biodiversität in homogenen und heterogenen Landschaften

## Lehrpfad



Abb. 7: Verlauf des Lehrpfades

Im Jahr 2018 wurden vor dem Eingriff umfangreiche Daten auf allen Versuchsflecken erhoben. Im November 2018 wurden die experimentellen Behandlungen ausgeführt. 2019 erfolgten dann die ersten Wiederholungsaufnahmen. Der vielschichtige Versuchsaufbau mit den zahlreichen Daten aus den ersten beiden Jahren stellt eine hervorragende Grundlage für weitere Forschungsarbeiten dar.



Abb. 34: Informationstafeln am Start des Lehrpfades.

Auf Informationstafeln werden an jedem Plot die relevanten Strukturdaten wie Bestockungsgrad und Baumartenzusammensetzung des Bestandes vor und nach dem Eingriff dargestellt. Der Totholzvorrat ist nach Struktur (z.B. Hochstumpf oder Sägestubben) und Holzart gegliedert aufgelistet. Für jede Behandlungsvariante wird die ökologische Bedeutung des Eingriffs erläutert. Ergänzt wird die Präsentation durch Exkursionsführer in Papierform, die nach den neusten Forschungsergebnissen ständig aktualisiert und bei Bedarf neu ausgedruckt werden können. Somit ist auch eine ständige Anpassung des Informationsangebotes an die speziellen Interessen der unterschiedlichen Besuchergruppen (z.B. Waldbesitzer oder Naturschutzverbände) möglich.

# Plot 38

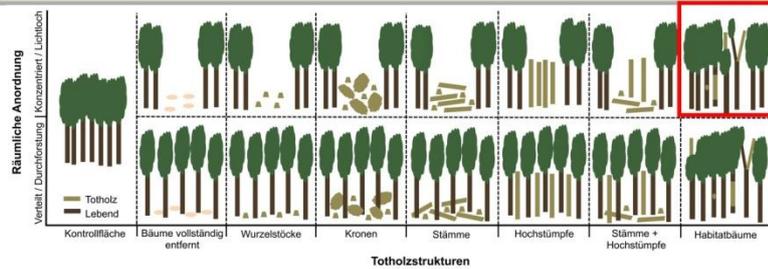


Abb. 1: Versuchsaufbau

## Räumliche Anordnung des Eingriffs: Konzentriert/Lichtloch Verbleibende Totholzstrukturen: Habitatbäume

Tab. 1: Bestandesdaten

Plot 38	vor dem Eingriff (2018)	nach dem Eingriff (2019)
Alter 86 Jahre	1,22	B° 0,90
Baumart	Anteil	Anteil
Buche	51 %	53 %
Esche	20 %	22 %
Eiche	11 %	7 %
Lärche	5 %	7 %
Linde	3 %	4 %
Bergahorn	2 %	2 %
Feldahorn	3 %	2 %
Ulme	3 %	1 %
Hainbuche	1 %	1 %
Fichte	1 %	1 %
gesamt	100%	100%
Totholz	Vorrat	Vorrat
Habitatbäume		96,6 m³/ha
Stubben		0,1 m³/ha
stehend (alt)	0,4 m³/ha	0,4 m³/ha
gesamt	15,8 m³/ha	97,1 m³/ha

### Beschreibung des Eingriffes:

Im Winter 2018/2019 wurden in einer Versuchsfläche von 50x50m auf einer kreisrunden Fläche mit einem Durchmesser von 30m alle hauptständigen Bäume in Form eines Lochhiebtes durch unterschiedliche Verletzungen zu künstlichen Habitatbäumen gemacht. Dabei wurden folgende Behandlungen durchgeführt:

- Köpfen über Grünast oder Starkast abbrechen
- Schrubben (großflächige Rindenverletzung mit dem Harvesteraggregat)
- Ansägen und kippen
- künstliche Höhle



Abb. 2: Plot direkt nach dem Eingriff im Dezember 2018

Der Unter- und Zwischenstand wurde entfernt. Der Vorrat des unbehandelten Bestandes wurde, ähnlich wie bei einer Durchforstung, um gut 24% reduziert, der Bestockungsgrad von 1,22 auf 0,90 gesenkt.

Auf der Fläche des „Lichtlochs“ befinden sich nun 25m³ frisch geschaffenes „werdendes“ Totholz in Form von Habitatbäumen von fünf verschiedenen Baumarten.

Dies entspricht 97 m³/ha. Kurze Zeit nach dem Eingriff kam es bei den nächsten Sommerstürmen bereits zum Abbrechen der teilweise angesägten Bäume. Allerdings blieben viele der Bäume in der Vegetationsperiode noch am Leben. Einige der Nisthöhlen wurden bereits im ersten Jahr von Brutvögeln bezogen.

Ökologische Bedeutung: Habitatbäume werden heute in vielen Wäldern gezielt erhalten. Allerdings fehlt es dabei meistens an Bäumen mit hochwertigen Mikrohabitaten. Daher wurden verschiedene Techniken entwickelt um einen verfrühten Alterungsprozess (Speight, P. 1989) durch ein Verletzen von Bäumen, die Initiierung von Höhlen oder das Anbrechen von Kronen einzuleiten (Cavalli, R. 2003). Dadurch, dass die Bäume nicht sofort absterben werden sogenannte Mikrohabitats für längere Zeiträume als Lebensraum zur Verfügung gestellt. So lässt sich die Vielfalt an hochwertigen Habitaten gezielt und langfristig erhöhen (Sebek, P. et al. 2013).

Tab. 2: Totholzstrukturen

Zusammensetzung des Totholzes	Totholzstruktur in m³/ha		
	Stubben	Habitatbäume	stehend (alt)
Baumart			gesamt
Buche	0,1	57,7	0,1 57,9
Eiche		23,1	23,1
Ulme		7,7	7,7
Feldahorn		3,8	3,8
Fichte		3,8	3,8
Laubholz			
unbestimmt			0,3 0,3
gesamt	0,1	96,1	0,4 96,6



Abb. 3: Lageplan



Speight, M. C. D. 1989. Saproxyl invertebrates and their conservation. Council of Europe, Nature and environment series 42:1-79.

Cavalli, R., and E. Mason. 2003. Techniques for re-establishment of dead wood for saproxyl fauna conservation. LIFE Nature project NAT/IT/99/6245 "Bosco della Fontana" (Mantova, Italy). Page 105. National Centre for the Study and Conservation of Forest Biodiversity, Mantova.

Sebek, P., J. Altman, M. Platek, and L. Cizek. 2013. Is active management the key to the conservation of saproxyl biodiversity? Pollarding promotes the formation of tree hollows. PlosOne 8:e60456.

Abb. 35: Informationstafel zur Beschreibung eines einzelnen Plots.

# Diskussion der Ergebnisse insbesondere in Hinblick auf die ursprüngliche Zielsetzung

## Ökosystemstrukturen

Verschiedene Untersuchungsergebnisse (Streuabbau, Arthropoden unterirdisch) im Jahr vor dem Eingriff zeigten, dass Bestand A als einziger Referenzbestand nicht ausreicht. Daher wurde im Winter 2018/2019 Block E als zweiter Referenzbestand durchforstet.

2018 war ein ausgesprochen starkes Samenjahr. Dies führte 2019 zu einer flächigen Ansammlung aller im Altbestand vorhandenen Baumarten auf allen Plots. Auf die ursprünglich geplante experimentelle Pflanzung wurde daher verzichtet, stattdessen wurde die üppige Naturverjüngung zur Dokumentation der Konkurrenzverhältnisse und des Einflusses von Verbiss durch Huftiere genutzt. Statt der ursprünglich geplanten sechs Versuchsflächen mit drei Zäunen wurden auf allen 75 Plot je zwei Flächen eingerichtet, eine davon gezäunt und eine ohne Zaun.

Das Holz wurde auf den meisten Plots im Winter 2018/2019 mit dem Harvester geerntet und mit dem Forwarder gerückt. Wo das Kronenholz durch Brennholz-Selbstwerber aufgearbeitet wurde kam es teilweise zu Verzögerungen. V.a. in den Blöcken A und E war im Sommer 2019 das Totholz noch nicht vollständig entfernt. Diese Mengen wurden dokumentiert und können bei der Auswertung der Daten berücksichtigt werden.

Bei den vorbereitenden Arbeiten mit dem Holzernteunternehmer zeigte sich, dass mit dem erfahrenen und engagierten Maschinenführer mehr Arbeiten als ursprünglich geplant mit der Maschine durchgeführt werden können. Das Köpfen der Bäume oberhalb eines Grünastes, ebenso wie das Schaffen von Hochstümpfen bei den Totholzstrukturen war mit der Maschine schnell und gefahrlos möglich. Die Variante „ansägen und kippen“ wurde bei der Vorbereitung entwickelt. Der ursprünglich geplante Einsatz eines Baumsteigers für diese Arbeiten erübrigte sich. Lediglich die Variante „künstliche Höhle“ wurde motormanuell ausgeführt.

Es gab aber auch Fehlschläge bei der Ausführung. Gerade bei der Variante „Ansägen und Kippen“ passierte es mehrfach, dass der Wipfel beim Kippen brach und zu Boden stürzte. Dies lag vor allem daran, dass die Bestände dicht erwachsen und die Bäume entsprechend kleinkronig waren. Die Kronen der angesägten Bäume konnten sich daher nur schwer in denen der verbleibenden Bäume verhaken.

Bei der Variante „künstliche Höhle“ wurden zwei Bäume durch den Eingriff so geschwächt, dass sie nach kurzer Zeit an dieser Stelle brachen.

## Ökosystemprozesse und -funktionen

Die Untersuchung des Streuabbaus im Jahr vor dem Eingriff zeigte zum einen, dass die einzelnen Plots der Versuchsbestände keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Abbaus von Zellulose und Laubstreu aufweisen und daher für den before-after-Vergleich geeignet sind. Zum andern wurde deutlich, dass der Zellulose Abbau in Block A deutlich von dem in den Blöcken C und D abweicht und daher ein weiterer Referenzbestand notwendig ist. Dieser wurde im Winter 2018/2019 mit Block E angelegt.

Beim Ausbringen der Streubeutel war aufgefallen, dass die Subplots teils stark und teils gar nicht mit Immergrün (*Vinca minor*) bewachsen waren. Dieser Bewuchs wurde vorsorglich erhoben. Die Auswertung zeigte, dass der Bewuchs durch *Vinca minor* einen deutlich messbaren Einfluss auf den Abbau der Zellulose hat und bei weiteren Untersuchungen berücksichtigt werden muss.

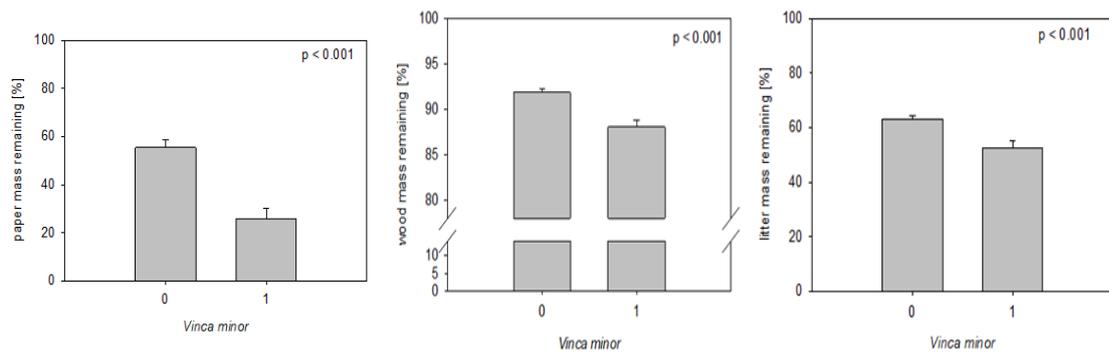


Abb. 36: Einfluss von *Vinca minor* auf den Abbau von Zellulose (links), der Holzmasse (Mitte) und der Laubstreu (rechts).

Ein weiterer störender Faktor war das Auftreten von Schließmundschnecken (Clausiliidae) die in einzelnen ausgelegten Zellulosebeuteln gefunden wurden und den Inhalt durch Fraß vermutlich deutlich dezimiert hatten.

Die Zahlen der im Sommer 2018 gefangenen Borkenkäferarten und Individuen war im Verhältnis zum Aufwand äußerst gering. Auf eine Wiederholungsaufnahme 2019 wurde verzichtet, da keine statistisch verlässlich auswertbaren Daten zu erwarten waren.

Die Aufnahmen zur Bestäubung und Samenprädation dokumentieren die Situation im Jahr vor bzw. nach dem Eingriff. Folgeaufnahmen in den nächsten Jahren können zeigen, in wie weit sich die in Gang gesetzten Prozesse auf diese Funktionen auswirken werden. Das gleiche gilt für die Dungkäfer, die bereits im ersten Jahr eine Reaktion auf den Lichteinfall zeigten.

## Organismische Biodiversität

Die Vögel wurden mittels der standardisierten Punktstopp-Methode im Jahr vor und nach dem Eingriff von zwei unterschiedlichen Kartierern an je fünf Tagen erfasst. Ein Vergleich mit der Auswertung zeitgleicher einminütiger Aufnahmen der Audiorekorder aus den beiden Jahren zeigte, dass mit dieser Methode deutlich mehr Arten nachgewiesen werden können als durch die Feldkartierung und die Bearbeitung besser standardisiert werden kann; eine Option für viele weitere Projekte mit Vogelkartierungen.

Bei den Fledermausdaten mussten noch umfangreiche Nachkorrekturen an den automatischen Arterkennungen durchgeführt werden. Diese wurden erste kürzlich abgeschlossen. Mit ihnen werden jetzt Auswertungen in Verbindung mit den Waldstrukturveränderungen durchgeführt.

Die Lichtfänge der Nachschmetterlinge wurden 2020 fortgeführt. Eine erste Publikation zu diesen Daten ist in Vorbereitung. Es soll aber noch die vollständige laufende Saison abgewartet werden.

Von den Arthropoden (oberirdisch) wurde als erste Artengruppe die der Käfer ausgewertet. Sobald wieder finanzielle Mittel für weitere Bestimmung zur Verfügung stehen, werden noch weitere Gruppen ausgewertet werden. Die gefangene Schwebfliegen und Ameisen werden derzeit in Verbindung mit einem anderen Forschungsprojekt bestimmt, die Ergebnisse liegen jedoch noch nicht vor.

Die Auswertung der Bodenproben (Arthropoden unterirdisch) vor dem Eingriff zeigte, dass die mikrobielle Biomasse in Block A signifikant niedriger war als in den drei anderen Blöcken. Dies war mit ein Grund, Block E als zweiten Referenzbestand einzurichten.

Die Vegetationsaufnahmen konnten wie geplant durchgeführt werden.

Von den Kryptogamen und Pilzen wurden umfangreiche Daten gesammelt, um den Zustand der Flächen vor dem Eingriff zu dokumentieren. Da bei Flechten, Moosen und Pilzen eine spürbare Reaktion auf die Eingriffe erst mit einer gewissen Zeitverzögerung zu erwarten ist, werden die Wiederholungsaufnahmen erst in den kommenden Jahren erfolgen und dann wichtige Ergebnisse liefern.

## **Dissemination der Ergebnisse**

Die Onlinebefragung zeigte, dass die Varianten mit dem geringsten ökologischen Wert, nämlich die vollständige Beseitigung jeglichen Totholzes, bei den Befragten die größte Zustimmung fanden. Waldbilder mit sichtbarem Totholz im Bestand wurden in fast allen Fällen signifikant schlechter bewertet als solche ohne Totholz.

Hier zeigt sich, dass Maßnahmen zur Anreicherung von Wirtschaftswäldern mit Totholz von Öffentlichkeitsarbeit begleitet werden sollten, um von der Bevölkerung akzeptiert zu werden.

Vor der Anlage des Lehrpfades wurde der Verlauf mit unterschiedlichen Exkursionsgruppen mehrfach getestet. So konnten zwei Routen ausgewiesen werden. Ein Komplettrundgang führt zu jedem einzelnen Plot und bietet die Möglichkeit, sich umfassend mit dem Versuch auseinanderzusetzen. Eine verkürzte Route verbindet nur einen Teil der Plots, auf denen zwar alle Behandlungsvarianten und die beiden Verteilungen Lichtloch und Durchforstung betrachtet werden können, aber nicht in allen Kombinationen.

## **Bewertung der Vorhabensergebnisse**

Durch den Eingriff wurden Waldstrukturen geschaffen, in denen dauerhaft kleinflächig unterschiedliche Lichtverhältnisse herrschen werden. Dadurch und durch die Anreicherung mit Totholz und Habitatbäumen wurden zahlreiche Prozesse in Gang gesetzt, die zum Teil bereits nach einem Jahr erkennbar sind. Viele angestoßene Entwicklungen werden aber erst in den kommenden Jahren Wirkung zeigen. Die Vielzahl an Daten, die bereits vor und nach dem Eingriff erhoben wurde ist eine hervorragende Grundlage für Folgeprojekte.

Das bisher einzigartige Experiment mit einer umfassenden Datenerhebung vor dem Eingriff hat das Interesse zahlreicher Wissenschaftler\*innen geweckt, die sich mit eigenen innovativen Forschungen und Mitteln in das Projekt einbrachten. Beispielhaft sind hier die autonomen Audiorekorder, die Boden-Klima-Datalogger, die terrestrischen und luftgestützten Laserscans sowie die Hyperspektralaufnahmen aus den Befliegungen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR).

Das Ziel, beispielhafte Waldstrukturen zu schaffen, um Naturwald-typische Prozesse im Wirtschaftswald zu initiieren ist voll und ganz gelungen. Bei den Arbeiten an den Habitatbäumen konnten neue Erfahrungen gesammelt werden, die bei der praktischen Umsetzung strukturfördernder Maßnahmen im Wald sehr hilfreich sein werden. So wurde zum Beispiel klar, dass der Erfolg beim Ansägen und Kippen von Bäumen stark von der Kronendimension abhängt. Die ursprüngliche Kostenkalkulation wurde eingehalten. Mit dem Lehrpfad wurde auch die angestrebte Möglichkeit geschaffen, die Ergebnisse einem interessierten Fachpublikum anschaulich zu vermitteln.

## **Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse**

Der Sender Sat1 stellte das Experiment am 27.12.2018 in einer Wissenschaftsreportage im Bayerischen Programm vor.

Beim 3. Wissenschaftlichen Symposium Natur- und Artenschutz bei integrativer Waldbewirtschaftung im Steigerwald-Zentrum in Handthal wurde das Projekt am 04.04.2019 mit einem Vortrag vorgestellt.

In der regionalen Presse wurde das Projekt am 07.06.2018 von den beiden Zeitungen „Bote vom Haßgau“ und „Fränkischer Tag“ und am 18.06.2018 in der „Mainpost“ ausführlich vorgestellt.

Der Bayerische Landesverband der Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft besuchte die Flächen bei seiner Jahrestagung am 27.04.2019, ebenso der Lehrstuhl für Waldbau der Universität Wageningen im Rahmen einer Exkursion im Sommer 2019.

Der Lehrpfad bietet eine hervorragende Möglichkeit Studierenden und Praktiker\*innen die Ergebnisse des Experiments zu vermitteln.

## **Fazit**

Im Rahmen des DBU Projektes konnte der Grundstein für ein vielversprechendes Waldexperiment gelegt werden. Die Flächen konnten ganz im Sinne der Forschungsziele gestaltet werden. In der zweijährigen Laufzeit flossen laufend neue Erkenntnisse aus den aktuellen Arbeiten vor Ort in die Gestaltung des Projekts ein. Es bildete somit die Initiierungsphase für weitere Folgeprojekte. Das große Interesse vieler hochkarätiger Wissenschaftler bestätigt die Attraktivität eines solchen Frameworks im Universitätswald. Daneben zeigt die Aufmerksamkeit, die das Projekt bei Forstpraktiker\*innen erregt hat, dass experimentelle Ansätze auch hier gefragt sind und Antworten auf Praxisfragen gesucht werden. Bereits jetzt wird das im Projekt vorgestellte Hochköpfen von Bäumen in den Betrieben der Bayerischen Staatsforsten (BaySF) angewendet. Weitere vielversprechende Methoden zur Anlage von Habitatbäumen konnten entwickelt und erprobt werden und stehen nun den Praktiker\*innen zur Nachahmung zur Verfügung. Schlussendlich zeigt aber auch das hohe Medieninteresse, dass innovative Ansätze bei der Waldbewirtschaftung auch gesellschaftlich relevant sind.

# Literatur

- Anderson, J. P. E., & Domsch, K. H. (1978). A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 10, 215–221.
- Annighofer, P., Beckschafer, P., Vor, T. & Ammer, C. (2015) Regeneration Patterns of European Oak Species (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Quercus robur* L.) in Dependence of Environment and Neighborhood. *Plos One*, 10.
- Bernes, C., Gunnar Jonsson, B., Junninen, K., Löhmus, A., Macdonald, E., Müller, J. & Sandström, J. (2015) What is the impact of active management on biodiversity in boreal and temperate forests set aside for conservation or restoration? A systematic map *Environmental Evidence*.
- Beudert, B., Bässler, C., Thorn, S., Noss, R., Schröder, B., Dieffenbach-Fries, H., Foullois, N. & Müller, J. (2015) Bark beetles increase biodiversity while maintaining drinking water quality. *Conservation Letters*, 8, 272–281.
- Cavalli, R., and F. Mason. 2003. Techniques for re-establishment of dead wood for saproxylic fauna conservation. LIFE Nature project NAT/IT/99/6245 "Bosco della Fontana" (Mantova, Italy). Page 105. National Centre for the Study and Conservation of Forest Biodiversity, Mantova.
- Cesarz, S., Schulz, A. E., Beugnon, R., & Eisenhauer, N. (2019). Testing soil nematode extraction efficiency using different variations of the Baermann-funnel method. *Soil Organisms*, 91(August), 61–72. <https://doi.org/10.25674/so91201>
- Dörfler, I., J. Mueller, W. Weisser, M. M. Gossner, and S. Seibold. 2018. Deadwood enrichment combining integrative and segregative conservation elements enhances biodiversity of multiple taxa in managed forests *Biological Conservation* 228:70-78
- Frostegård, A., & Bååth, E. (1996). The use of phospholipid fatty acid analysis to estimate bacterial and fungal biomass in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 22(1–2), 59–65. <https://doi.org/10.1007/BF00384433>
- Gilbert, D. (2011) Buried by bad decisions. *Nature*, 474, 275–277.
- Gossner, M., Wende, B., Levick, S., Schall, P., Floren, A., Linsenmair, K.E., Steffan-Dewenter, I., Schulze, E.D. & Weisser, W.W. (2016) Deadwood enrichment in European forests - Which tree species should be used to promote saproxylic beetle diversity? *Biological Conservation*, 201, 92-102.
- Hagge, J., J. Müller, C. Bässler, S. S. Biebl, R. Brandl, M. Drexler, A. Gruppe, S. Hotes, T. Hothorn, P. Langhammer, H. Stark, R. Wirtz, V. Zimmerer, and A. Myrsterud. 2019. Deadwood retention in forests lowers short-term browsing pressure on silver fir saplings by overabundant deer. *Forest Ecol Manag.*
- Hartig, G.L. (1808) *Anweisung zur Holzzucht für Förster*. Neue Akademische Buchhandlung, Marburg.
- Heilmann-Clausen, J., and M. Christensen. 2004. Does size matter? On the importance of various dead wood fractions for fungal diversity in Danish beech forests. *Forest Ecology and Management* 201:105-117.
- Hothorn, T., Müller, J., Held, L., Möst, L. & Myrsterud, A. (2015) Temporal Patterns of Deer-vehicle Collisions Consistent with Deer Activity Pattern and Density Increase but not General Accident Risk. *Accident Analysis & Prevention*, 81, 143–152.
- Hyvärinen, E., Kouki, J., Martikainen, P. (2006) Fire and Green-Tree Retention in Conservation of Red-Listed and Rare Deadwood-Dependent Beetles in Finnish Boreal Forests. *Conserv Biol* 20(6):1710-1719
- MacArthur, R.H. & MacArthur, J. (1961) On bird species diversity. *Ecology*, 42, 594-598.
- Miklín, J., Sebek, P., Hauck, D., Konvicka, O. & Cizek, L. (2018) Past levels of canopy closure affect the occurrence of veteran trees and flagship saproxylic beetles. *Diversity and Distributions*.
- Moning, C., Bussler, H. & Müller, J. (2009) Ökologische Schlüsselwerte in Bergmischwäldern als Grundlage für eine nachhaltige Forstwirtschaft. *Wissenschaftliche Reihe des Nationalpark Bayerischer Wald*, 19, 1-102.
- Müller, J. & Bußler, H. (2006) Wenn naturgemäßer Waldbau zur ökologischen Falle wird. *Dauerwald*, 1.
- Müller, J., Bußler, H., Bense, U., Brustel, H., Flechtner, G., Fowles, A., Kahlen, M., Möller, G., Mühle, H., Schmidl, J. & Zabransky, P. (2005) Urwald relict species - Saproxylic beetles indicating structural qualities and habitat tradition. *Waldökologie Online*, 2, 106-113.
- Müller, J. & Bütler, R. (2010) A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations. *European Journal of Forest Research*, 129, 981-992.
- Müller, J. & Gossner, M. (2010) Three-dimensional partitioning of diversity reveals baseline information for state-wide strategies for the conservation of saproxylic beetles. *Biological Conservation*, 143, 625-633.
- Müller, J., Noss, R., Bussler, H. & Brandl, R. (2010) Learning from a "benign neglect strategy" in a national park: Response of saproxylic beetles to dead wood accumulation. *Biological Conservation*, 143, 2559-2569.
- Müller, J., M. Mehr, C. Bässler, M. B. Fenton, T. Hothorn, H. Pretzsch, H.-J. Klemmt, and R. Brandl. 2012. Aggregative response in bats: prey abundance versus habitat. *Oecologia* 169:673-684.
- Müller, J., B. Wende, C. Strobl, M. Eugster, I. Gallenberger, A. Floren, I. Steffan-Dewenter, K. E. Linsenmair, W. W. Weisser, and M. M. Gossner. 2015. Forest management and regional tree composition drive the host preference of saproxylic beetle communities. *Journal of Applied Ecology* 52:753-762.
- Neft, R. (2006) Biotopbaum- und Totholzkonzept des Unternehmens Bayerische Staatsforsten (BaySF). *LWF aktuell*, 55, 28-29.
- Radkau, J. (2007) *Holz - Wie ein Naturstoff Geschichte schreibt*. . Oekom Verlag, München.

- Ratcliffe, S., Wirth, C., Jucker, T., van der Plas, F., Scherer-Lorenzen, M., Verheyen, K., Allan, E., Benavides, R., Bruelheide, H., Ohse, B., Paquette, A., Ampoorter, E., Bastias, C.C., Bauhus, J., Bonal, D., Bouriaud, O., Bussotti, F., Carnol, M., Castagneyrol, B., Checko, E., Dawud, S.M., De Wandeler, H., Domisch, T., Finer, L., Fischer, M., Fotelli, M., Gessler, A., Granier, A., Grossiord, C., Guyot, V., Haase, J., Hattenschwiler, S., Jactel, H., Jaroszewicz, B., Joly, F.X., Kambach, S., Kolb, S., Koricheva, J., Liebersgesell, M., Milligan, H., Muller, S., Muys, B., Nguyen, D., Nock, C., Pollastrini, M., Purschke, O., Radoglou, K., Raulund-Rasmussen, K., Roger, F., Ruiz-Benito, P., Seidl, R., Selvi, F., Seiferling, I., Stenlid, J., Valladares, F., Vesterdal, L. & Baeten, L. (2017) Biodiversity and ecosystem functioning relations in European forests depend on environmental context. *Ecology Letters*, **20**, 1414-1426.
- Roth, N., Doerfler, I., Bussler, H., Blaschke, M., Bässler, C., Gossner, M.M., Heideroth, A., Thorn, S., W. Weisser, W., & Müller, J. (2019). Decadal effects of landscape-wide enrichment of dead wood on saproxylic organisms in beech forests of different historic management intensity *Diversity and Distributions*, **25**, 430-441
- Schall, P., Gossner, M., Heinrichs, S., Fischer, M., Boch, S., Prati, D., Jung, K., Baumgartner, V., Blaser, S., Böhm, S., Buscot, F., Daniel, R., Goldmann, K., Kaiser, K., Kahl, T., Lange, M., Müller, J., Overmann, J., Renner, S., Schulze, E., Sikorski, J., Tschapka, M., Türke, M., Weisser, W., Wemheuer, B., Wubet, T. & Ammer, C. (2017) The impact of even-aged and uneven-aged forest management on regional biodiversity of multiple taxa in European beech forests. *Journal of Applied Ecology*, **in press**.
- Schelhaas, M.J., Nabuurs, G.J. & Schuck, A. (2003) Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, **9**, 1620-1633.
- Sebek, P., J. Altman, M. Platek, and L. Cizek. 2013. Is active management the key to the conservation of saproxylic biodiversity? Pollarding promotes the formation of tree hollows. *PlosOne* **8**:e60456.
- Seibold, S., Bässler, C., Brandl, R., Büche, B., Szallies, A., Thorn, S., Ulyshen, M. & Müller, J. (2016) Microclimate and habitat heterogeneity as the major drivers of beetle diversity in dead wood *Journal of Applied Ecology*, **53**, 934–943.
- Seibold, S., Brandl, R., Buse, J., Hothorn, T., Schmidl, J., Thorn, S. & Müller, J. (2015) Association of the extinction risk of saproxylic beetles and the ecological degradation of forests in Europe *Conservation Biology*, **29**, 382-390.
- Seibold, S., C. Bässler, R. Brandl, B. Büche, A. Szallies, S. Thorn, M. Ulyshen, and J. Müller. 2016. Microclimate and habitat heterogeneity as the major drivers of beetle diversity in dead wood *Journal of Applied Ecology* **53**:934–943.
- Seibold, S., R. Brandl, J. Buse, T. Hothorn, J. Schmidl, S. Thorn, and J. Müller. 2015. Association of the extinction risk of saproxylic beetles and the ecological degradation of forests in Europe *Conservation Biology* **29**:382-390.
- Speight, M. C. D. 1989. Saproxylic invertebrates and their conservation. Council of Europe, Nature and environment series 42:1-79.
- Stein, A., Gerstner, K. & Kreft, H. (2014) Environmental heterogeneity as a universal driver of species richness across taxa, biomes and spatial scales. *Ecology Letters*, **17**, 866-880.
- Turner, M.G., Romme, W.H. & Tinker, D.B. (2003) Surprises and lessons from the 1988 Yellowstone fires. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **1**, 351-358.
- Winter, S. & Möller, G. (2008) Microhabitats in Lowland Beech Forests as monitoring tool for Nature Conservation. *Forest Ecology and Management*, **255**, 1251-1261.
- Winter, S., Schumacher, H., Flade, M. & Möller, G. (2004) F+E-Vorhaben Biologische Vielfalt und Forstwirtschaft - "Naturschutzstandards für die Bewirtschaftung von Buchenwäldern im nordostdeutschen Tiefland" Sachbericht., pp. 445. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Winter, S., H. Schumacher, G. Möller, and M. Flade. 2002. Vom Reichtum des Alterns - Buchenaltholzbestände und ihr Beitrag zum Erhalt der Lebensgemeinschaft von Tieflandbuchenwäldern im nordostdeutschen Tiefland. *Beitr. Forstwirtsch. u. Landsch.ökol.* **36**:69-76.
- Zerle, A. (1989) Forestry and nature conservation from the viewpoint of the state forest administration. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, **108**, 334-342.

# Anhang

## Liste der studentischen Abschlussarbeiten im Rahmen des Projekts

- Dahlem, M. (2020) Consequences of enhancement of structural beta complexity in a forest area on seed predation rate by local fauna. Bachelor thesis
- Kahraman, E. (2019) Einfluss der Waldstruktur auf die Aktivität von Microchiroptera-Arten in Abhängigkeit von deren funktionellen Merkmalen. Schriftliche Hausarbeit (Erste Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien)
- Kronbach, P. (2019) Einfluss der Waldstruktur auf die Diversität von Dungkäfern und Dungabbau. Master thesis
- Kupper, N. (2018) Einfluss von Waldstrukturen und Baumartenvielfalt auf die Diversität von Fledermäusen. Bachelorarbeit
- Mathes, F. (2019) Einfluss der Waldstruktur auf die Diversität von Dungkäfergemeinschaften. Bachelor thesis
- Müller, V. (2020) Funktionale Merkmale als Prädiktoren für die Reaktion mitteleuropäischer Nachtfalter auf Änderungen in der Waldstruktur. Schriftliche Hausarbeit (Erste Staatsprüfung für das Lehramt an Grundschulen)
- Pickert, R. (2020) Diversity response of moth to an experimental enhancement of forest heterogeneity. Master thesis
- Rathgeber, J. (2018) Reaktion von Fledermäusen auf variierende Insektendichten. Bachelorarbeit
- Schmidt, J. (2019) Pollinator diversity and pollination limitation of *Ranunculus auricomus* in the University Forest of Sailershausen. Bachelor thesis
- Schneider, E. (2019) Kurzfristige Reaktion des Unterwuchses von Buchenmischwäldern auf experimentelle Störung und Durchforstung. Bachelorarbeit
- Steigleder, H. (2019) Diversität und Aktivität der Fledermäuse in Bezug auf physische Strukturen des Waldes. Interdisziplinäre Projektarbeit
- Weber, P. (2018) Diversität und Abundanz von Brutvögeln in einem temperaten Laubmischwald. Bachelorarbeit
- Wiesner, D. (2020) Erfassung der Aktivität und Artenvielfalt von Fledermäusen in Abhängigkeit der Waldbeforstungsmethode und der Verteilung veränderter Flächen. Zulassungsarbeit LA GYM