WEIHENSTEPHAN · TRIESDORF
University of Applied Sciences

Applied Sciences for Life

Biotopstümpfe (Hochstümpfe) als Lebensraum für xylobionte Artengemeinschaften Teil 3

Studie einer unechten Zeitreihe

Leitung: Prof. Dr. Volker Zahner
Institut für Ökologie und Landschaft (IÖL)

Bearbeiter:
Dr. Tomáš Lackner
Cynthia Tobisch
Dr. Birgit Reger

Gefördert durch die **Bayerischen Staatsforsten** mit Mitteln der Gemeinwohlleistungen des **Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten**

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG 4
1. EINLEITUNG 5
2. FRAGESTELLUNG 7
2.1 Vernetzungseffekt der Hochstümpfe mit ihrer Umgebung 7
2.2 Bedeutung von Pionierbaumarten für die Artenvielfalt 7
3. MATERIAL UND METHODEN 8
3.1 Untersuchungsgebiete 8
3.2 Beprobung der Hochstümpfe 9
3.2.1 Grundaufnahme der Hochstümpfe 9
3.2.2 Detailaufnahme 10
3.3 Analyse der Vernetzungseffekte 10
3.3.1 Kartierung des Totholzes auf lokaler Ebene 10
3.3.2 GIS-Analysen 11
4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION 12
4.1 Vernetzungseffekt der Hochstümpfe mit ihrer Umgebung 12
4.1.1 Welche der bebrüteten Stümpfe beherbergen seltene oder besondere Arten? 14
4.1.2 Lässt sich bei den Stümpfen die Besiedelung nachverfolgen? 18
4.1.3 Welche Rolle spielt die Totholzverfügbarkeit auf lokaler und auf Landschaftsebene? 19
4.1.4 Wie könnte ein Vernetzungseffekt auf die Fläche gebracht werden? 22
4.1.5 Wie dünn dürfte das Netz maximal sein, um dennoch zu wirken? 26
4.1.6 Welche der gefundenen Arten eignen sich aufgrund ihrer geringen Mobilität besonders als Indikatoren? 27
4.2 Bedeutung von Pionierbaumarten für die Artenvielfalt 28
4.2.1 Welche Artengruppen entwickeln sich schwerpunktmäßig an Stümpfen von Pionierbaumarten? 28
4.2.2 Welche Bedeutung haben Pionierbaumarten im Gesamtvergleich für die Artenvielfalt bei Hochstümpfen? 29
4.3 Fazit 30
5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND MANAGEMENTEMPFEH-LUNGEN 32
LITERATUR 34

ZUSAMMENFASSUNG

Totholz gilt als eine Schlüsselstruktur für Waldökosysteme mit großer Bedeutung u.a. für die Biodiversität. Rund 25% der Käfer- und Pilzarten sind in Europa auf Totholz angewiesen. Die Totholzanreicherung ist daher ein wichtiger Aspekt der ökologisch nachhaltigen Forstwirtschaft. Mit dem Programm „Der Wald blüht auf“ wurden im bayerischen Staatswald mehrere tausend Hochstümpfe aktiv als stehendes Totholz angelegt.

Aufbauend auf den Untersuchungen der ersten Projektphase wurden in einem Folgeprojekt nun weitere Forschungsfragen (1) zum Vernetzungseffekt der Hochstümpfe mit ihrer Umgebung und (2) zur Bedeutung von Pionierbaumarten für die Artenvielfalt bei Hochstümpfen beleuchtet. Dazu wurden zusätzlich 60 weitere Hochstümpfe in den Forstbetrieben Nürnberg und Freising im Gelände aufgenommen und davon 13 Hochstümpfe gefällt und bebrütet.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden insgesamt 637 Hochstümpfe in sechs bayerischen Forstbetrieben beprobt. 63 Hochstümpfe dieses Kollektivs wurden gefällt, um Stammteile im „Labor“ näher auf ihre Besiedelung zu untersuchen. Hieraus konnten 172 Insekten- bzw. Spinnenarten nachgewiesen werden. 119 Arten davon wurden über Barcoding bestimmt. Von insgesamt 66 Käferarten entstammten 17% der Roten Liste (RLB/ RLD, darunter auch wenig ausbreitungsstarke Spezies wie der Kopfhornschröter (*Sinodendron cylindricum*) und eine in Bayern verschollene Art, der gefleckte Pappelprachtkäfer (*Agrilus ater*). Damit zeigte sich, dass auch nach relativ kurzer Zeit die Anreicherung von stehendem Totholz positiv auf die Artengemeinschaft wirkte und spezialisierte Xylobionte mit Sonderbiologien vorkamen. Nach Ergebnissen dieser Untersuchung erwiesen sich aktiv angelegte Hochstümpfe als eine geeignete Methode, um Lebensräume xylobionter Arten zu schaffen und miteinander zu vernetzen. Besonders im Weichlaubholz (Aspe) konnten sehr bald Rote Liste Arten nachgewiesen werden. Hochstümpfe können so ein Baustein des Biodiversitätsschutzes in der integrativen Forstwirtschaft sein.

1. EINLEITUNG

Die Waldbewirtschaftung hat in den letzten Jahrhunderten die meisten Wälder Europas beeinflusst. Eine intensive Waldbewirtschaftung reduzierte die Biodiversität hauptsächlich aufgrund eines Totholzmangels (Christensen et al. 2005; Müller & Bütler 2010; Horák 2012). So gibt es in jedem Stadium des Holzabbaus typische xylobionte Artengemeinschaften (Speight 1989; Alexander 2008; Jaworski et al. 2019). Totholzarme Wälder sind für Spezialisten unter den Xylobionten aber nahezu unbewohnbar. Vor allem Käfer mit Sonderbiologien wurden daher zu einem häufig verwendeten Bioindikator der Waldbiodiversität (Horák 2008; Eckelt et al. 2018). So gelten von europaweit etwa 4.000 geschätzten xylobionten Käferarten (Cálix et al. 2018) rund ein Fünftel (21%) als bedroht (Nieto & Alexander 2010, Cálix et al. 2018).

In den letzten zwei Dekaden ist das Wissen über die Bedeutung, die Qualität und Quantität (Schwellenwerte) von Totholz in Wäldern stark gestiegen (Drappeau et al. 2009, Flade & Schwarz 2004, Lachat et al. 2012, Winter et al. 2015b). Die Wirkung als Nährstoffdepot, Wasserspeicher, Keimbett, Verbissschutz, als Habitat für Antagonisten von forstlichen Schadorganismen, aber auch als Element für den Biodiversitätsschutz ist inzwischen weit verbreitet und fand Eingang in die Naturschutzkonzepte vieler Forstbetriebe in Europa und Nordamerika. Waldnaturschutz und damit der Schutz der Biodiversität sind inzwischen bedeutende Faktoren auch für bewirtschaftete Wälder. So sieht die nationale Biodiversitätsstrategie für Deutschland (NBS 2007) „die vorbildliche Berücksichtigung der Biodiversitätsbelange besonders für alle Wälder im Besitz der öffentlichen Hand“ vor. Die Totholzanreicherung ist daher ein wichtiger Aspekt der ökologisch nachhaltigen Forstwirtschaft.

Neben der passiven Anreicherung von Totholz, bei der man die Vorräte nach und nach durch Absterben und Belassen von Bäumen erhöht (Thorn 2020), kann Totholz auch gezielt angereichert werden (aktive Totholzanreicherung). Bewährte Strategien hierzu sind z.B. die Zopfdurchmesser zu erhöhen und die Kronen komplett im Bestand zu belassen. Um besonders den Mangel an stehendem Totholz in mittelalten Wäldern auszugleichen und Flächen mit unterschiedlicher Totholzausstattung zu vernetzen, haben die Bayerischen Staatsforsten (BaySF) im Rahmen des Programms „Der Wald blüht auf“ bisher 6.500 Hochstümpfe als Naturschutzmaßnahme geschaffen (Reichert 2021). Dabei wurden Bäume entlang von Waldstraßen oder Rückgassen auf einer Höhe von durchschnittlich 3,7 m geköpft (Zahner et al. 2020), wovon 2/3 auf Laubbaum- und 1/3 auf Nadelbaumarten entfielen. Die Folgeaufnahmen im aktuellen Projekt veränderten diesen Wert nicht signifikant.

In einem Folgeprojekt sollten nun weitere Forschungsfragen (1) zum Vernetzungseffekt der Hochstümpfe mit ihrer Umgebung und (2) zur Bedeutung von Pionierbaumarten für die Artenvielfalt bei Hochstümpfen beleuchtet werden. Hier wurden neben den bereits bestehenden Datensätzen weitere 60 Hochstümpfe aufgenommen und 13 Stümpfe davon im Gewächshaus ausgebrütet.

2. FRAGESTELLUNG

2.1 Vernetzungseffekt der Hochstümpfe mit ihrer Umgebung

Während sich die Untersuchungen des ersten Hochstumpf-Projektes (Zahner et al. 2020) bisher auf die Bedeutung von aktiv geschaffenen Hochstümpfen als Lebensraum für xylobionte Artengemeinschaften konzentriert haben, sollten in einem Folgeprojekt die Untersuchungen im Hinblick auf die Vernetzung der Hochstümpfe mit ihrer Umgebung ausgeweitet werden. Inwieweit ein Vernetzungseffekt vorliegt und welche Schlussfolgerungen daraus für die forstliche Praxis gezogen werden können, soll durch folgende Fragestellungen untersucht werden (siehe Fazit):

- Welche der bisher bebrüteten Stümpfe beherbergen seltene oder besondere Arten, welche der Stümpfe nicht? (Probenvergleich)
- Lässt sich bei den "wertvollen" Stümpfen die Besiedelung räumlich nachverfolgen (Totholzmenge, benötigte Struktur, Vorkommen der Art in der Umgebung)?
- Wie könnte ein solcher Vernetzungseffekt auf die Fläche gebracht werden?
- Wie dünn dürfte das Netz maximal sein, um dennoch zu wirken?
- Welche der gefundenen Arten eignen sich aufgrund ihrer geringen Mobilität besonders als Indikatoren?
- Kann man mit den Hochstümpfen Trittsteine für seltenere Arten in wenig artenreiche Bestände legen?

2.2 Bedeutung von Pionierbaumarten für die Artenvielfalt

Die bisherigen Untersuchungen des Hochstumpfmonitorings haben sich auf die Hauptbaumarten Fichte, Buche und Eiche konzentriert. Pionierbaumarten wie die Birke oder Aspe wurden bisher hinsichtlich ihres Beitrags für die Artenvielfalt nicht genauer untersucht, da sich deren Stichprobe als zu gering erwies. Im Folgeprojekt werden dazu nun nachfolgende Fragestellungen analysiert:

- Welche Artengruppen entwickeln sich schwerpunktmäßig an Stümpfen von Pionierbaumarten?
- Welche Bedeutung haben Pionierbaumarten im Gesamtvergleich für die Artenvielfalt bei Hochstümpfen?

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1 Untersuchungsgebiete

Für die Untersuchungen wurde zusätzlich zu den Forstbetrieben der ersten Projektphase der Forstbetrieb Nürnberg mit den Revieren Behringersdorf, Brunn und Lauf ausgewählt (Abb. 1), um ausreichend Hochstümpfe von Pionierbaumarten untersuchen zu können. In den Forstbetrieben Ebrach, Forchheim, Flossenbürg und Waldsassen wurden jeweils 10 Hochstümpfe gefällt, in Freising 16 und in Nürnberg 7. Dabei sollten die Stümpfe nach Baumarten und Dimensionen die typischen Hochstümpfe des jeweiligen Betriebs abbilden. Es sollten möglichst alle Zersetzungsgrade berücksichtigt werden (unechte Zeitreihe).

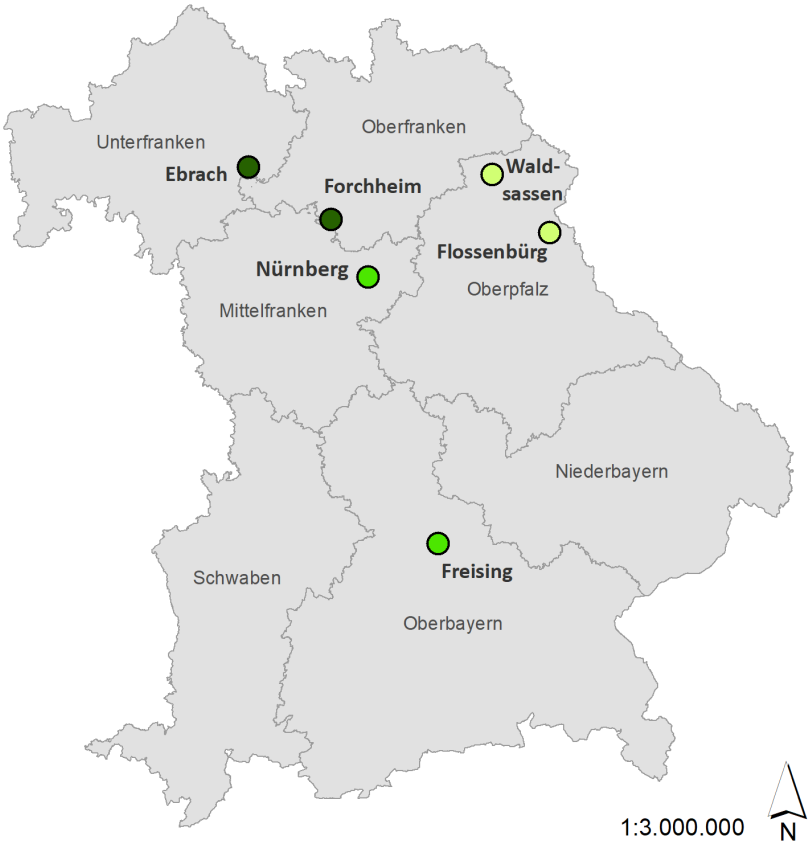

Abb. 1: Hochstümpfe wurden in den Forstbetrieben Ebrach, Flossenbürg, Forchheim, Freising, Nürnberg und Waldsassen untersucht. Dunkelgrün = Laubholz dominiert, Grün = Mischbestand, Hellgrün = Nadelholz dominiert.

3.2 Beprobung der Hochstümpfe

Da nach Abschluss des Projekts 1 noch zu wenige Stümpfe von Weichlaubhölzern (Aspe, Birke, Erle, Vogelbeere, Weiden (nach Rothkegel et al. 2020)), v.a. Aspe beprobt waren, stellten diese im aktuellen Projekt einen Untersuchungsschwerpunkt dar. Die Hochstümpfe dieser Pionierbaumarten wurden in gleicher Weise gewonnen und untersucht wie die bebrüteten Hochstümpfe der ersten Projektphase. Da bei einigen Baumarten (Aspe, Kiefer) zu wenig Probenmaterial vorhanden war, wurden neue Hochstümpfe mit einbezogen.

3.2.1 Grundaufnahme der Hochstümpfe

Die 60 zusätzlich aufgenommenen Hochstümpfe aus den Forstbetrieben Freising und Nürnberg wurden in der Grundaufnahme in gleicher Weise wie die 577 zuvor aufgenommenen Hochstümpfe der ersten Projektphase hinsichtlich Baumart, Brusthöhendurchmesser, Stumpfhöhe, Stumpfalter und Zersetzungsgrad charakterisiert (Tab. 1). Zusätzlich wurden ebenfalls die Ausbohrlöcher, die Mikrohabitate und die Lage der Hochstümpfe im Raum ermittelt.

Tab. 1: Untersuchte Parameter, Methodik und Umfang der Grundaufnahme.

Thematik	Parameter	Methode	Umfang
Grundaufnahme Hochstümpfe	- Baumart	Unechte Zeitreihe	60 Hochstümpfe
	- Brusthöhendurchmesser		
	- Stumpfhöhe		
	- Stumpfalter		
	- Zersetzunggrad	angelehnt an Albrecht (1990) und Winter et al. (2015a)	
	- Ausbohrlöcher	Zählrahmen	
	- Mikrohabitate	Alter/ Anzahl	
	- Besonnungsgrad		
	- Verteilung im Raum	Koordinaten	

Eine detaillierte Beschreibung zur Grundaufnahme der Hochstümpfe ist dem Bericht der ersten Projektphase zu entnehmen (Zahner et al. 2020).

3.2.2 Detailaufnahme

Nach der Grundaufnahme wurden von den 60 Hochstümpfen aus den Forstbetrieben Freising und Nürnberg insgesamt 13 gefällt. Aus den Hochstümpfen wurde auf 1 m Höhe jeweils eine 50 cm lange Probe entnommen und im Gewächshaus bebrütet (Tab. 2). Das restliche Totholz verblieb liegend im Bestand.

Tab. 2: Untersuchte Parameter, Methode und Umfang der Detailaufnahme.

Thematik	Parameter	Methode	Umfang
Detailaufnahme Hochstümpfe	- Artengruppen (Insekten) - Insektenbiomasse	Bebrütung g/fm	13 Hochstümpfe
	- Taxa - RL-Arten - Sonderbiologien - Waldschutzrelevante Arten	Aufspalten der Stämme taxonomische Bestimmung Barcoding	

Das Ausbrüten und das Zerlegen der Holzproben sowie die Bestimmung der Insektengruppen und der Insektenbiomasse erfolgten in gleicher Weise wie in der ersten Projektphase und ist im ersten Projektbericht im Detail beschrieben (Zahner et al. 2020). Nicht identifizierte Arten wurden wie bei Projekt 1 mittels Barcoding Analyse bestimmt.

3.3 Analyse der Vernetzungseffekte

Als Grundlage für die Untersuchungen des Vernetzungseffektes der Hochstümpfe mit ihrer Umgebung wurden die 50 bebrüteten Hochstümpfe der ersten Projektphase und die 13 bebrüteten Hochstümpfe (siehe Detailuntersuchung) der zweiten Projektphase verwendet.

Die Untersuchungen erfolgten auf größerer Skalenebene mittels GIS-Analysen und auf lokaler Ebene mittels Kartierungen.

3.3.1 Kartierung des Totholzes auf lokaler Ebene

Zur Analyse der Totholzausstattung in unmittelbarer Umgebung der 63 Hochstümpfe wurde eine Totholzkartierung in einem Umkreis von 18 m (=1000 m²) durchgeführt (Abb. 2). Hier wurde stehendes Totholz (Höhe ≥1,3 m, Brusthöhendurchmesser ≥20 cm), liegendes Totholz (Länge ≥1,3 m, Durchmesser bei 1,3 m vom stärkeren Ende ≥20 cm) sowie Stöcke (Höhe <1,3 m, Durchmesser ≥20 cm) mit folgenden Parametern aufgenommen: Hochstumpf ID, Art des

Totholzes (liegend/stehend/Stock), Brusthöhendurchmesser bzw. Durchmesser (cm), Höhe bzw. Länge (m), Zersetzungsgrad (1-5) sowie die Baumart.

Abb. 2: Um die ausgebrüteten Hochstümpfe wurden in einem Radius von 18 m (0,1 ha) alle Totholzstrukturen ≥20 cm aufgenommen.

Die Berechnung des Totholzvolumens erfolgte anhand der Formel

$$V = L * \left(\frac{1}{2}D\right)^2 * \pi$$ (*V* = Volumen, *L* = Länge bzw. Höhe, *D* = Durchmesser).

Die für jedes einzelne Totholz berechneten Werte wurden anschließend für jeden Probekreis aufsummiert, um den Totholzvorrat in der lokalen Umgebung der Hochstümpfe in fm/0,1 ha zu ermitteln.

3.3.2 GIS-Analysen

Zur Ermittlung möglicher Quellbiotope auf größerer Skalenebene wurden GIS-Analysen durchgeführt. Als Datengrundlagen für die GIS-Analysen waren folgende Daten verfügbar:

- Hochstümpfe
- Naturwaldreservate
- Schutzgebiete (LfU)
- Waldzustandsinformation der BaySF

4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Totholzbewohner bilden mit ihren Artengemeinschaften im Ökosystem Wald einen wichtigen Teil der Nahrungs- und Recyclingkette. Ihr Vorkommen ist je nach Art abhängig von dem Vorhandensein der passenden Wirtsbäume, des Zersetzungsgrades, den lokalen biotischen und abiotischen Bedingungen, des Mikrohabitats, ebenso wie der Habitat-Konnektivität bzw. der Ausbreitungsstärke der jeweiligen Art.

4.1 Vernetzungseffekt der Hochstümpfe mit ihrer Umgebung

Die Ergebnisse zum Vernetzungseffekt der Hochstümpfe mit ihrer Umgebung basieren auf dem Vergleich der aufgenommenen und untersuchten Hochstümpfe der ersten und zweiten Projektphase. So wurden insgesamt 637 Hochstümpfe aus der Grundaufnahme (577 aus der ersten Projektphase und 60 aus der zweiten Projektphase) und 63 bebrütete Hochstümpfe aus der Detailaufnahme (50 aus der ersten Projektphase und 13 aus der zweiten Projektphase) untersucht (Tab. 3).

Tab. 3: Aufgenommene Hochstümpfe (N = 637) nach Baumarten in den Forstbetrieben Ebrach (EB), Flossenbürg (FL), Forchheim (FO), Freising (FS), Nürnberg (NU) und Waldsassen (WS).

Baumart	gesamt	EB	FL	FO	FS	NU	WS
Buche (*Fagus sylvatica*)	207	102	24	1	80	0	0
Fichte (*Picea abies*)	169	0	60	0	19	0	90
Eiche (*Quercus robur*)	78	8	0	45	25	0	0
Lärche (*Larix decidua*)	40	9	0	0	31	0	0
Waldkiefer (*Pinus sylvestris*)	44	0	2	0	35	1	6
Birke (*Betula pendula*)	26	1	5	1	10	6	3
Hainbuche (*Carpinus betulus*)	9	6	0	0	2	1	0
Aspe (*Populus tremula*)	30	0	5	0	1	24	0
Eberesche (*Sorbus aucuparia*)	5	0	0	0	4	0	1
Erle (*Alnus glutinosa*)	6	2	2	0	0	2	0
Pappel (*Populus alba*)	10	1	1	0	0	8	0
Salweide (*Salix caprea*)	2	1	1	0	0	0	0
Bergahorn (*A. pseudoplatanus)*	6	0	0	0	6	0	0
Spitzahorn (*Acer platanoides*)	2	0	0	0	2	0	0
Tanne (*Abies alba*)	2	0	0	0	2	0	0
Linde (*Tilia grandiflora*)	1	0	0	0	1	0	0

Die Verteilung der insgesamt 63 bebrüteten Hochstümpfe auf die Baumarten und Zersetzungsstufen ist in Tabelle 4 dargestellt. Während in der ersten Projektphase insbesondere die Eiche, Buche und die Fichte im Fokus der Untersuchungen standen, wurde in der zweiten Phase mit den Pappeln (insbesondere Aspe) ein Schwerpunkt auf die Weichlaubhölzer gelegt (von 13 Proben stammen 7 von Aspen).

Tab. 4: Verteilung der 63 bebrüteten Hochstümpfe über Baumarten und Zersetzungsstufen 1-5.

Zersetzungsstufe / Baumart	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Summe**
Bergahorn				1		**1**
Birke	1	1		1		**3**
Buche	2	4	4	1	1	**12**
Eiche	2	1	3	8	2	**16**
Erle				2		**2**
Fichte	5	3	4	3	2	**17**
Hainbuche		1				**1**
Kiefer		1		2		**3**
Lärche		1				**1**
Pappel	5	1		1		**7**
Summe	**15**	**13**	**11**	**19**	**5**	**63**

In der Summe des 1. und des 2. Projektes beprobten wir 68 Pionierbaumarten (Aspen/Pappeln, Birken, Weiden), wovon 10 der Hochstümpfe gefällt und im Gewächshaus ausgebrütet und näher untersucht wurden. So stellten Weichlaubholzproben rund ein Sechstel (16%) aller untersuchten Stämme dar und bildeten nach Fichte, Eiche und Buche die viert größte Stichprobe. Abbildung 3 zeigt die Verteilung der Hochstümpfe nach ihrer Höhe. Die durchschnittliche Höhe der Hochstümpfe in Grund- und Detailaufnahme betrug jeweils 3,8 m.

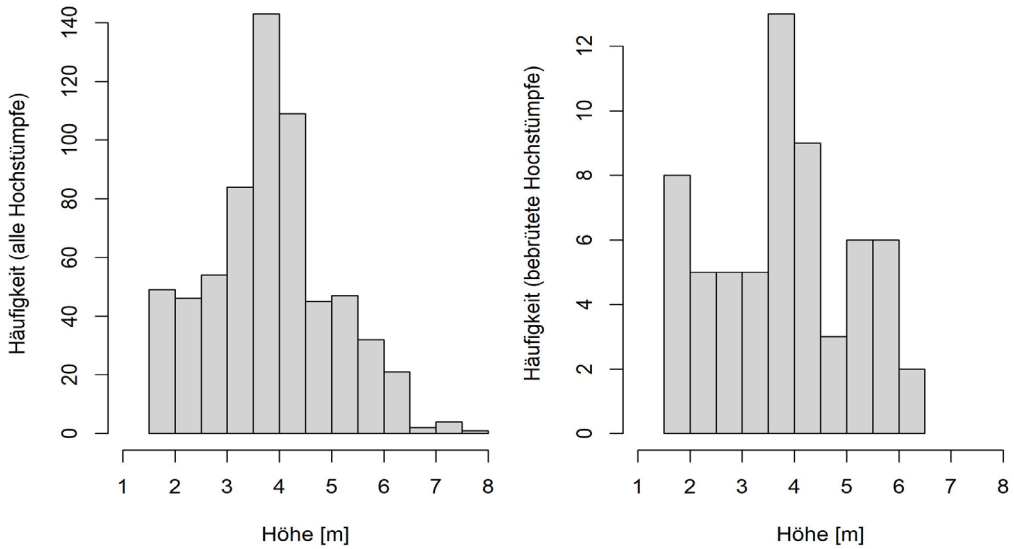

Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der Höhe aller 637 Hochstümpfe (links) und der 63 bebrüteten Hochstümpfe (rechts).

4.1.1 Welche der bebrüteten Stümpfe beherbergen seltene oder besondere Arten?

In den 63 bebrüteten Hochstümpfen wurden insgesamt 172 Insekten- bzw. Spinnenarten ermittelt, davon 66 Käferarten, wovon 11 auf der Roten Liste (RLB/ RLD) geführt sind (Tab. 5). Daneben konnten einige Zeigerarten nachgewiesen werden.

Die Barcodinganalyse der geschlüpften Arten der jüngsten Weichlaubholzproben ergab 20 neue Arten, wovon 5 auf Käfer, 5 auf Hautflügler, 6 auf Zweiflügler, 2 auf Kamelhalsfliegen und 2 auf Spinnen entfielen. Unter den Proben befand sich mit *Crossocerus congener* auch eine bisher nicht nachgewiesene Grabwespenart, die Gänge im Totholz besiedelt.

Tab. 5: In den Hochstümpfen gefundene Arten, die auf der Roten Liste Deutschland (RLD) und Bayern (RLB) stehen und/oder charakteristisch für totholzreiche Bestände (≥ 30 m²/ha) sind (Lachat et al. 2012, mit * gekennzeichnet).

Art	Deutscher Name	RLD	RLB	Familie	Ordnung
Acanthocinus griseus	Braunbindiger Zimmerbock	3	3	Bockkäfer (*Cerambycidae*)	Coleoptera
Agrilus ater	Gefleckter Pappelprachtkäfer	2	0	Prachtkäfer (*Buprestidae*)	Coleoptera
*Bolitophagus reticulatus**	Kerbhalsiger Zunderschwamm-Schwarzkäfer	3	3	Schwarzkäfer (*Tenebrionidae*)	Coleoptera
Colydium elongatum	Länglicher Fadensaftkäfer	3	2	Rindenkäfer (*Zopheridae*)	Coleoptera
Megatoma undata	Gewellter Speckkäfer	3	3	Speckkäfer (*Dermestidae*)	Coleoptera
Hylis olexai		3	3	Kammkäfer (*Eucnemidae*)	Coleoptera
Hypoganus inunctus	Gebänderter Rillenbrust-Schnellkäfer	3	V	Schnellkäfer (*Elateridae*)	Coleoptera
Lymexylon navale	Schiffswerftkäfer	3	3	Werftkäfer (*Lymexylidae*)	Coleoptera
Saperda perforata	Gefleckter Pappelbock	2	2	Bockkäfer (*Cerambycidae*)	Coleoptera
*Sinodendron cylindricum**	Kopfhornschröter	3	3	Schröter (*Lucanidae*)	Coleoptera
Tillus elongatus	Holzbuntkäfer	3		Buntkäfer (*Cleridae*)	Coleoptera
Schiffermuelleria schaefferella	Motte		V	Faulholzmotten (*Oecophoridae*)	Lepidoptera
Platyplax salviae	Salbei-Wanze		V	Bodenwanzen (*Lygaeidae*)	Hemiptera
Megalonotus chiragra			V	Wanzen (*Rhyparochromidae*)	Hemiptera

In gut einem Drittel (36%) der bebrüteten Hochstümpfe kamen Rote Liste Arten vor (23 von 63 Hochstümpfen). Von den insgesamt 42 Laubbaum-Hochstümpfen beherbergten knapp die Hälfte der Hochstümpfe (N = 19) Rote Liste Arten, während von den 21 Nadelbaum-Hochstümpfen nur knapp 20% (N = 4) Rote Liste Arten aufweisen (Abb. 4).

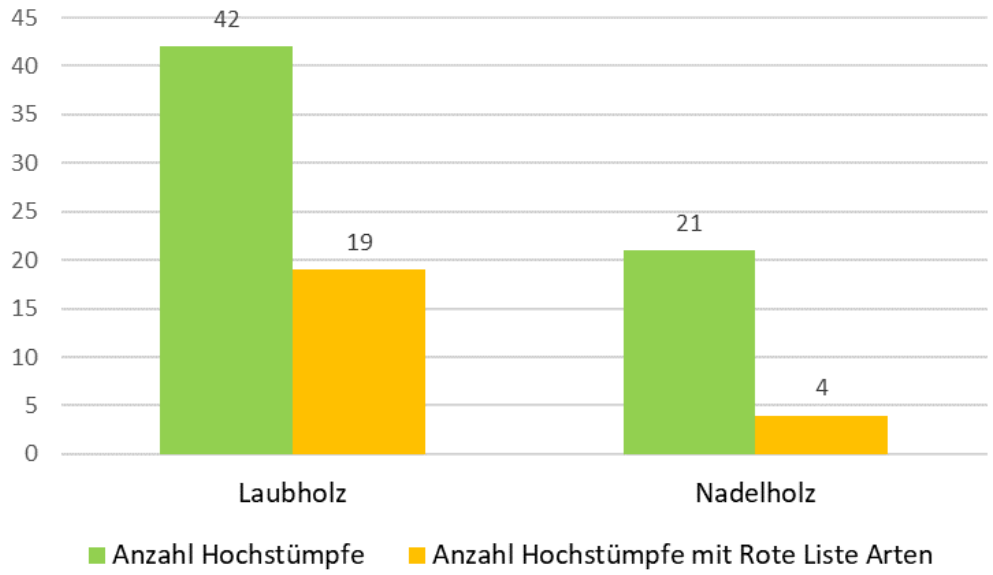

Abb. 4: Aufteilung der Hochstümpfe insgesamt (N = 63) und mit Rote Liste Arten (N = 23) nach Holzart.

Tab. 6: Habitatansprüche seltener bzw. gefährdeter Käferarten, die in der Studie nachgewiesen wurden.

Art	Totholz frisch	Totholz stärker zersetzt	Baumart	Dimension	Ökologie
Braunbindiger Zimmerbock		x	Nadelholz (Kie, Fi)	stark	Holzbewohner
Gefleckter Pappelprachtkäfer	x		v.a. Aspe	schwach - stark	geschwächte Bäume
Kerbhalsiger Zunderschwamm-Schwarzkäfer		x	Laubholz		an Zunderschwamm
Länglicher Fadensaftkäfer		x	Laub- u. Ndh	stark	räuberisch
Gebänderter Rillenbrust-Schnellkäfer		x	Laub- u. Ndh	stark	räuberisch
Schiffswerftkäfer	x		Eiche	stark	xylobiont
Gewellter Speckkäfer		x	Laub- u. Ndh		Detritusfresser v. Tieren
Großer Rehschröter		x	v.a. Laubholz	schwach - stark	mit Pilzen assoziiert
Gefleckter Pappelbock	x		v.a. Aspe	schwach - stark	geschwächte Bäume
Kopfhornschröter		x	Laubholz	schwach - stark	Braunfäule
Holzbuntkäfer		x	Laubholz	stark	räuberisch Stehendes Totholz

Tabelle 6 zeigt, wie vielfältig die Habitatansprüche allein der nachgewiesenen Käferarten und damit die Bandbreite der gefundenen Hochstümpfe waren. Diese reicht von Frischholzbesiedlern an geschwächten Bäumen (Gefleckter Pappelprachtkäfer), über xylobionte (Braunbindiger Zimmerbock) und pilzbewohnende Arten bis hin zu räuberischen und Detritus verzehrenden Lebensweisen (Länglicher Fadensaftkäfer und gewellter Speckkäfer). Das verdeutlicht, welche Lebensraum- und Nischenvielfalt durch die Hochstümpfe entstanden sind. Dabei handelte es sich nicht ausschließlich, wie ursprünglich angenommen, um frühe Primärbesiedler. Dies ist umso erstaunlicher, da die ältesten Stümpfe gerade einmal 15 Jahre alt waren. Eine Art erwies sich in unserer Studie jedoch als besonders guter Strukturindikator für stark zersetzte Hochstümpfe (ZG 5), nämlich der gewellte Speckkäfer (*Megatoma undata*). Diese Art lebt vom Detritus anderer Insekten in dem stark zersetzten Substrat der Hochstümpfe.

Von Interesse war auch, welche Baumarten eine besonders artenreiche xylobionte Fauna beherbergen und welche häufig von gefährdeten Arten besiedelt werden (Abb. 5). War bei der Gesamtartenzahl die Eiche überproportional vertreten, waren Rote Liste Arten leicht unterrepräsentiert. Noch stärker war dies bei der Fichte ausgeprägt.

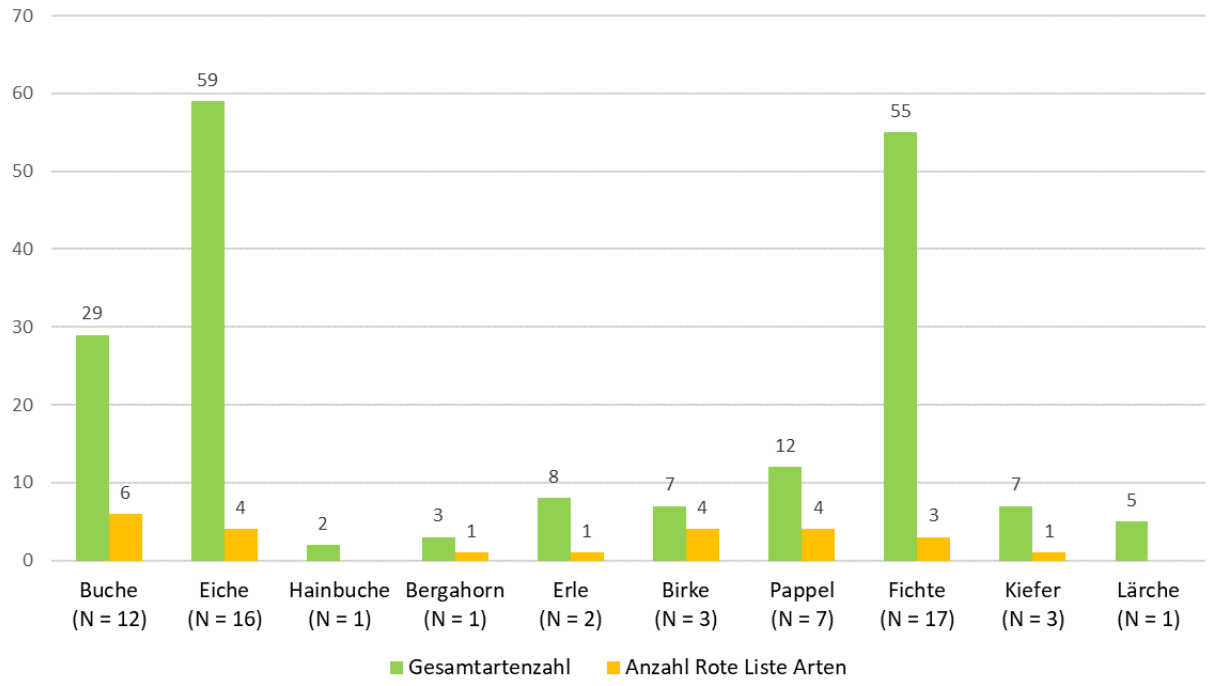

Abb. 5: Gesamtartenzahl der Insekten und Anzahl der Rote Liste Insektenarten nach Baumart (N = 63).

Pappeln (überwiegend Aspen) wurden dagegen mit 0,35 weit überproportional zu ihrem Vorkommen von Rote Liste Arten gewählt (Abb. 6). Eine Besonderheit war hier der **Gefleckte Pappelprachtkäfer** (*Agrilus ater*), der in Bayern als ausgestorben galt. Der Käfer, der auf Pappelarten und Salweide spezialisiert ist, benötigt stark geschwächte, im Absterben

begriffene Bäume zur Eiablage. Durch Harvester geköpfte Aspen-Stämme sind so stark geschwächt, dass eine Besiedelung durch diesen Prachtkäfer erst möglich wird. Dadurch lässt sich erklären, warum gerade im Zersetzungsgrad 1 die als in Bayern verschollen geltende Art auftrat.

Abb. 6: Über den Selektionsindex nach Ivlev zeigt sich, in welchem Umfang Baumarten von xylobionten Rote Liste Käferarten genutzt wurden. Der Wert kann maximal 1,0 und minimal -1,0 erreichen.

Auch die Buche wurde mit einem Selektionsindex von 0,13 leicht überproportional zu ihrer Häufigkeit von xylobionten Rote Liste Käferarten genutzt (Abb. 6). Rote Liste Arten ließen sich dabei über alle Zersetzungsgrade nachweisen, vor allem aber in besonderes frisch abgestorbenen und in besonders stark zersetzen Stümpfen (Grad 1 und 5, Abb. 7). Es handelt sich also um eine zweigipflige Verteilung. Dies zeigt, dass es sinnvoll ist, im Sinne einer Habitatnachhaltigkeit immer wieder Nachschub mit frischen Hochstümpfen zu liefern.

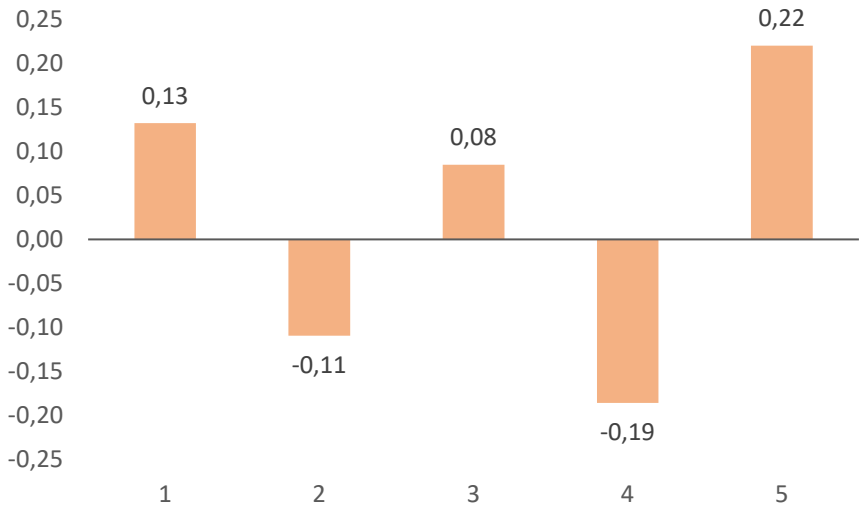

Abb. 7: Darstellung der Nutzung verschiedener Zersetzungsstadien durch Rote Liste Arten anhand des Ivlev-Index.

4.1.2 Lässt sich bei den Stümpfen die Besiedelung nachverfolgen?

Bei den von Rote Liste Arten besiedelten Stümpfen konnte kein Zusammenhang mit der Nähe zu Naturwaldreservaten (Landschaftsebene), dem Vorhandensein von Pilzkonsolen oder Spechthöhlen nachgewiesen (lokale Ebene) werden.

Bei Specht- bzw. Baumhöhlen war dies wenig verwunderlich, da keine typischen Arten dieses Lebensraums, besonders der Mulmhöhlen, erfasst werden konnten. Die meisten Stümpfe waren zu gering dimensioniert und zu jung, um diese Lebensgemeinschaft zu beherbergen.

Es konnten dagegen einige Pilzkonsolenbesiedler nachgewiesen werden, so z. B. der Zunderschwamm-Schwarzkäfer (*Bolitophagus reticulatus)*, der in Bayern und Deutschland gefährdet ist (RL 3).

Dass hingegen die Nähe zu Naturwaldreservaten sich **nicht** in den Rote Liste Arten widerspiegelt, überraschte. Hochstümpfe mit Rote Liste Arten tendierten eher dazu, weiter weg von Naturwäldern oder Naturwaldreservaten zu sein als Hochstümpfe ohne Rote Liste Arten (Abb. 8). Der Unterschied erwies sich im T-Test jedoch als nicht signifikant (t = 1,58, p = 0,12).

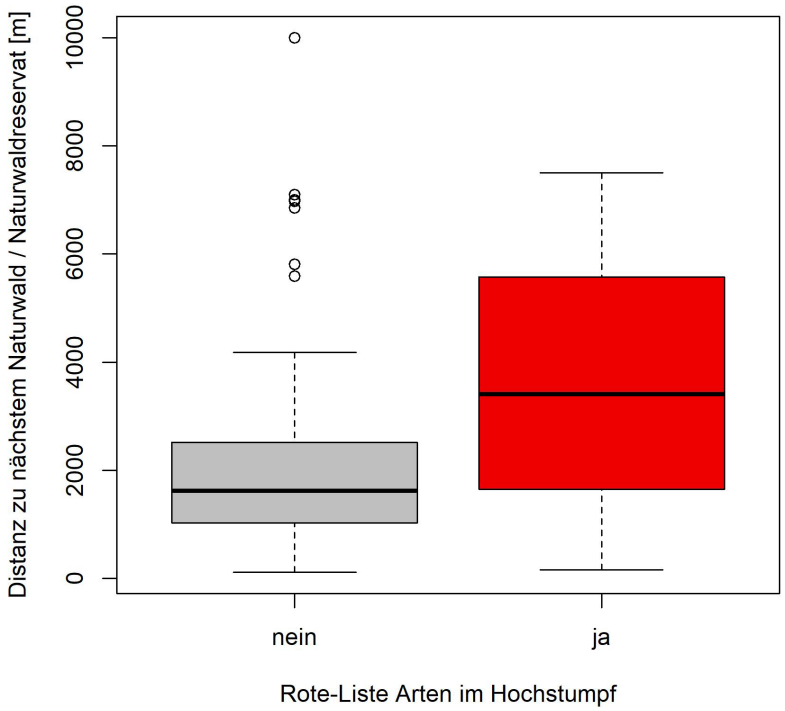

Abb. 8: Mittlere Distanz zu Naturwäldern oder Naturwaldreservaten bei Hochstümpfen mit und ohne Rote-Liste Arten.

4.1.3 Welche Rolle spielt die Totholzverfügbarkeit auf lokaler und auf Landschaftsebene?

Um diese komplexe Frage beantworten zu können, ermittelten wir Totholzmengen auf unterschiedlichen Skalenebenen. Neben der Menge erhoben wir Strukturen (stehend, liegend, Stock) und Zersetzungsgrade in einem 1000 m² Plot im Umkreis des jeweiligen Stumpfs (Abb. 9). Um das Totholzvorkommen auf größerer Flächeneinheit (Forstbetrieb) zu repräsentieren, verwendeten wir gemittelte Totholzmengen auf Forstbetriebsebene aus den Inventurdaten der Bayerischen Staatsforsten (BaySF).

Zwei Drittel der ermittelten Totholzmenge ging auf der lokalen Ebene auf Stöcke zurück. Dies ist über 2,5 mal so viel wie bei der BWI 3 ermittelt (27%). Es handelte sich also in der Regel sogar eher um stärker genutzte Bestände, in denen die Hochstümpfe standen. Lässt man die Stöcke außeracht, so entfielen 60% auf liegendes und rund 40% auf stehendes Totholz.

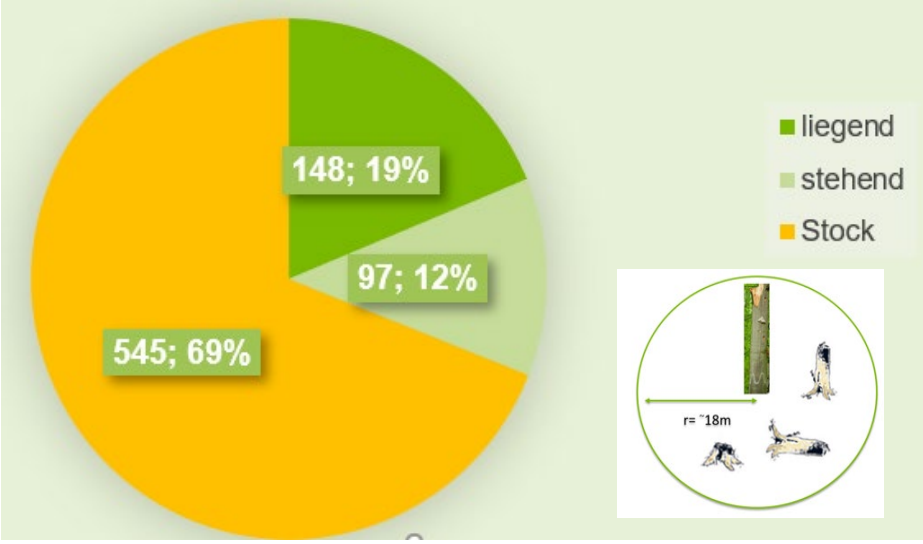

Abb. 9: Um die ausgebrüteten Hochstümpfe wurden in einem Radius von 18 m (0,1 ha) alle Totholzstrukturen und deren Volumen >20 cm ermittelt (Anzahl und Prozent). Stöcke erwiesen sich dabei als das wichtigste Totholz.

Generell wurden in totholzreicheren Forstbetrieben auch im Umkreis der Hochstümpfe im Durchschnitt höhere Totholzmengen gemessen. Jedoch kann die Totholzmenge auf lokaler Ebene stark variieren, wie Abbildung 10 zeigt.

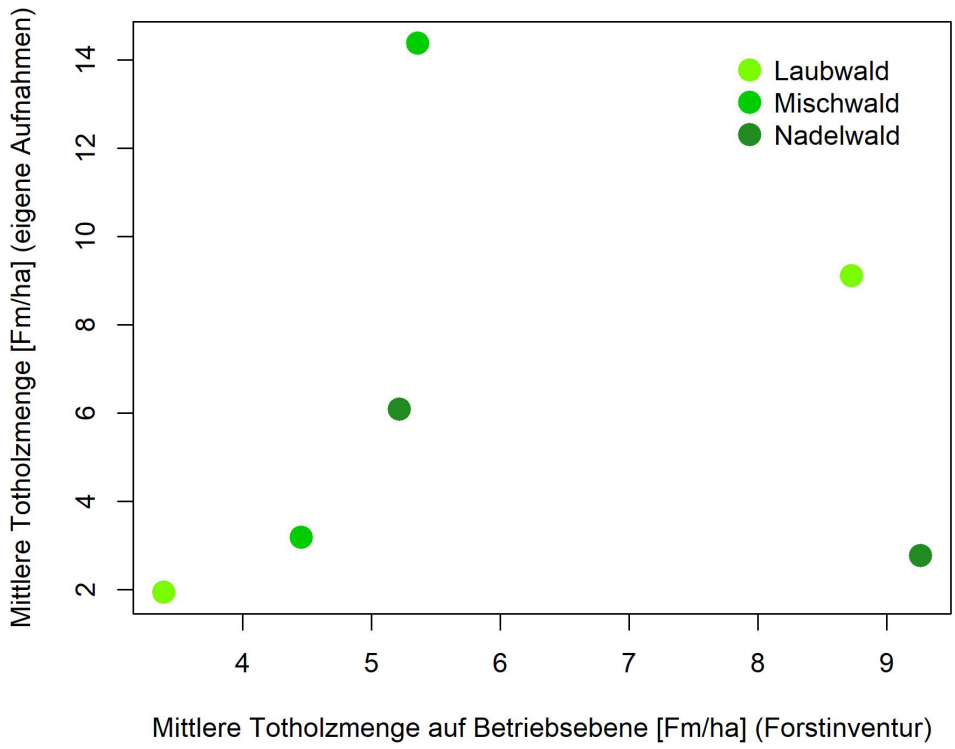

Abb. 10: Vergleich der mittleren gemessenen Totholzmengen im Umkreis der Hochstümpfe pro Forstbetrieb mit den Inventurdaten der BaySF auf Betriebsebene (Stöcke sind hier nicht berücksichtigt).

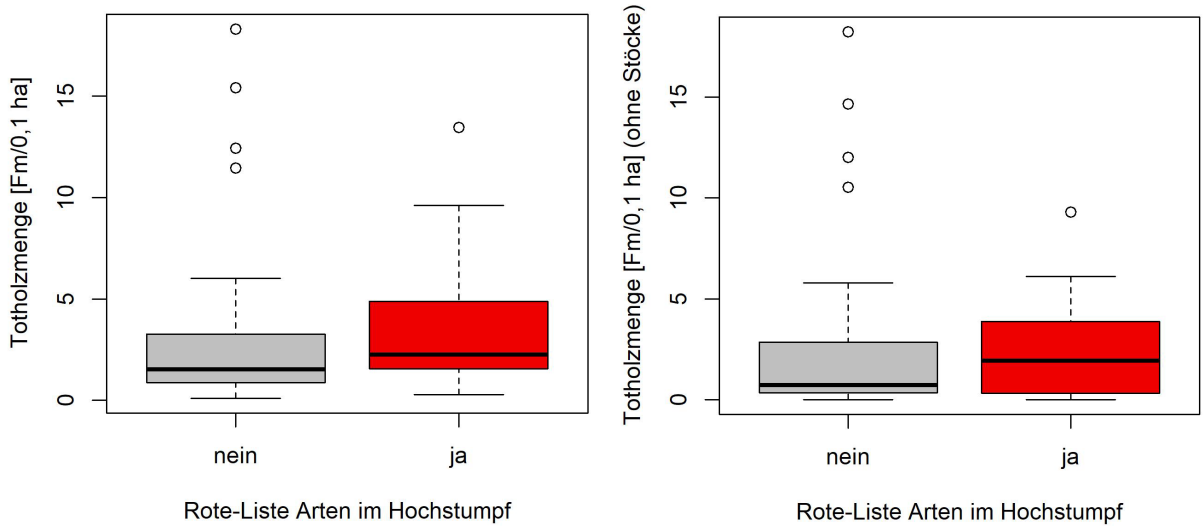

Abb. 11: Vergleich der aufgenommenen Totholzmengen um die Hochstümpfe mit und ohne Rote-Liste Arten mit Berücksichtigung von Stöcken (links) und ohne Berücksichtigung von Stöcken (rechts).

Aus den gemessenen Totholzmengen im Umkreis der beprobten Hochstümpfe ergab sich ein Mittelwert von 33,5 fm/ha (Median: 17,5 fm/ha). Diese Werte lagen um mehr als 50% höher als die der durchschnittlichen Totholzmengen der BWI3 (20,6 fm/ha mit Stöcken). Ohne Berücksichtigung von Stöcken lagen die Werte bei 29,6 fm/ha (Mittelwert) bzw. 13,4 fm/ha

(Median). Bei Hochstümpfen mit Rote Liste Arten war die Totholzmenge im Umkreis durchschnittlich höher (Median = 2,27 fm/0,1 ha) als bei Hochstümpfen ohne Nachweis von Rote Liste Arten (Median = 1,54 fm/0,1 ha) (Abb. 11 links). Im T-Test erwies sich der Unterschied jedoch als nicht signifikant (t = 0,42, p = 0,68). Ohne Berücksichtigung der Stöcke fiel der Unterschied in den Totholzmengen zwischen Hochstümpfen mit und ohne Rote Liste Arten noch geringer aus (Abb. 11 rechts).

Eine Studie aus dem Forstbetrieb Heigenbrücken belegt, dass neben stehendem und liegendem Totholz auch Stöcke einen wichtigen Beitrag zum Vorkommen seltener Arten leisten können (Fraunhoffer 2021). Unsere Ergebnisse konnten dies nicht eindeutig bestätigen, da zwar unter Hinzunahme der Stöcke der Unterschied im Totholzvorrat zwischen Hochstümpfen mit und ohne Rote Liste Arten etwas zunahm, jedoch nicht signifikant war. Auch ein Zusammenhang zwischen Gesamtartenzahl und Totholzmenge im Umkreis der beprobten Hochstümpfe konnte nicht belegt werden. Plausibel ist, dass der Einfluss der lokal verfügbaren Totholzmenge überlagert wird durch die Mobilität der Insektenarten, die in der Lage sind geeignete Habitatstrukturen in größerem Umkreis zu besiedeln. Auch mit den Daten aus dem Hochstumpf-Projekt ließen sich auf Landschaftsebene (hohe Skalenebene) anhand der Forstinventurdaten der BaySF keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Artenzahlen oder dem Vorkommen von Rote Liste Arten in den Hochstümpfen und Totholzmenge auf Forstbetriebsebene feststellen (Abb. 12).

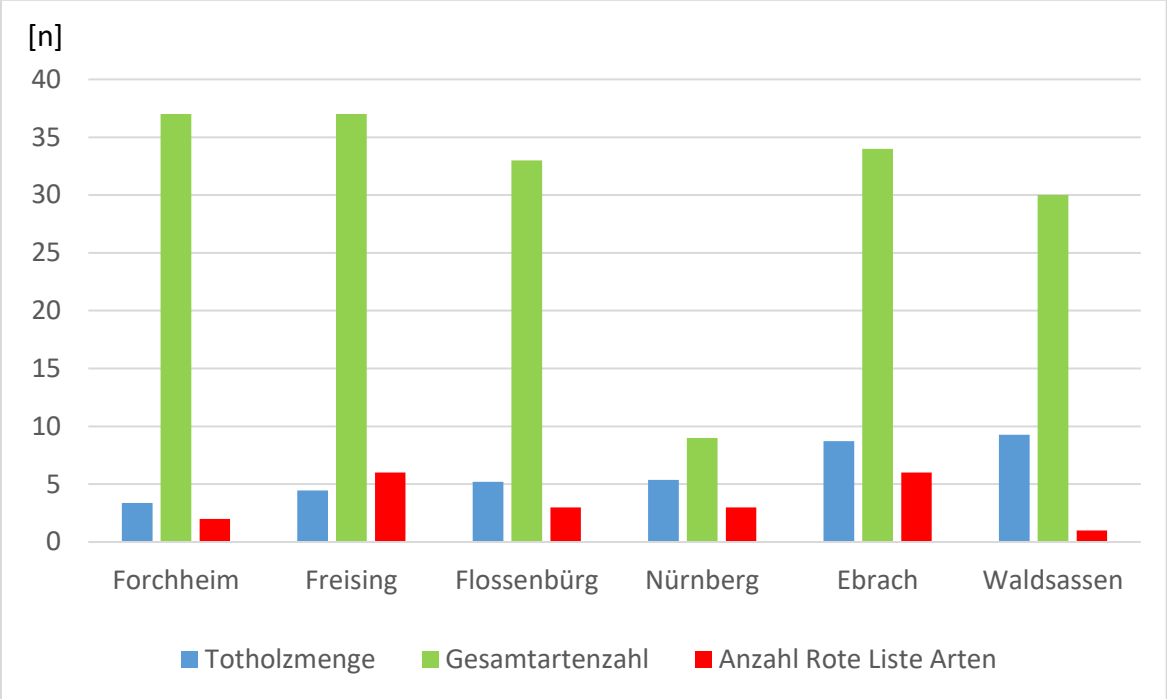

Abb. 12: Gesamtartenzahl und Anzahl der Rote Liste Arten summiert nach Forstbetrieb (geordnet nach durchschnittlicher Totholzmenge (fm/ha) des ausgewählten Reviers im Forstbetrieb von links nach rechts).

4.1.4 Wie könnte ein Vernetzungseffekt auf die Fläche gebracht werden?

Aus Artenschutzaspekten ist es wichtig, dass Populationen xylobionter Arten nicht verinseln, also in der Lage sind neu entstehende Habitate wieder zu besiedeln. Manche Autoren analysieren die Verbreitung von gefährdeten xylobionten Arten mit Hilfe der historischen Waldverteilung und der Rodungsgeschichte. Eine Arbeit hatte die Ausdehnung von Wäldern (rodungsfrei) im Fokus und verwendete kleine, flugunfähige Rüsselkäfer als Indikatoren für alte Waldstandorte (Buse 2012). Eine andere Studie betrachtete aktuelle Vorkommen des Eremiten (*Osmoderma eremita*) und stellte fest, dass diese mindestens 50 Jahre alte Totholzstrukturen aufwiesen (Dubois et al. 2009). Insgesamt ließ sich aus der Metastudie von Sverdrup-Thygeson et al. (2014) ableiten, dass Rote Liste Arten vor allem dort häufiger vorkommen, wo es eine lange Habitattradition gibt. Dies spricht dafür, dass gerade die gefährdeten Arten nicht so ausbreitungsstark sind. So spielt die Nutzungs- bzw. Rodungsgeschichte mit in das heutige Vorkommen, unabhängig von der aktuellen Totholzmenge oder Qualität.

Da die meisten nachgewiesenen Arten (87%) nur jeweils an einem oder zwei der 63 beprobten Hochstümpfe vorkamen, lassen sich keine Rückschlüsse auf regionalspezifische Vorkommen bestimmter Arten treffen. Dies schließt eine räumliche Strukturierung der Artengemeinschaften jedoch nicht aus. Abbildung 13 zeigt die Unterschiedlichkeit der Hochstümpfe in ihrer Artenzusammensetzung im zweidimensionalen Raum. Je näher die Kürzel beieinanderliegen, desto ähnlicher ist ihre Artenzusammensetzung. Größere Unterschiede zeigen sich beispielsweise zwischen den Forstbetrieben Forchheim und Flossenbürg, was vermutlich auch auf deren Baumartenausstattung (Laubholz in Forchheim und Nadelholz in Flossenbürg) zurückzuführen ist. Ebenso beeinflussen BHD und Zersetzungsgrad die Artenzusammensetzung: Sowohl Hochstümpfe mit geringerem Durchmesser als auch wenig zersetzte Hochstümpfe (hellgrün) weisen ähnliche Artengemeinschaften auf.

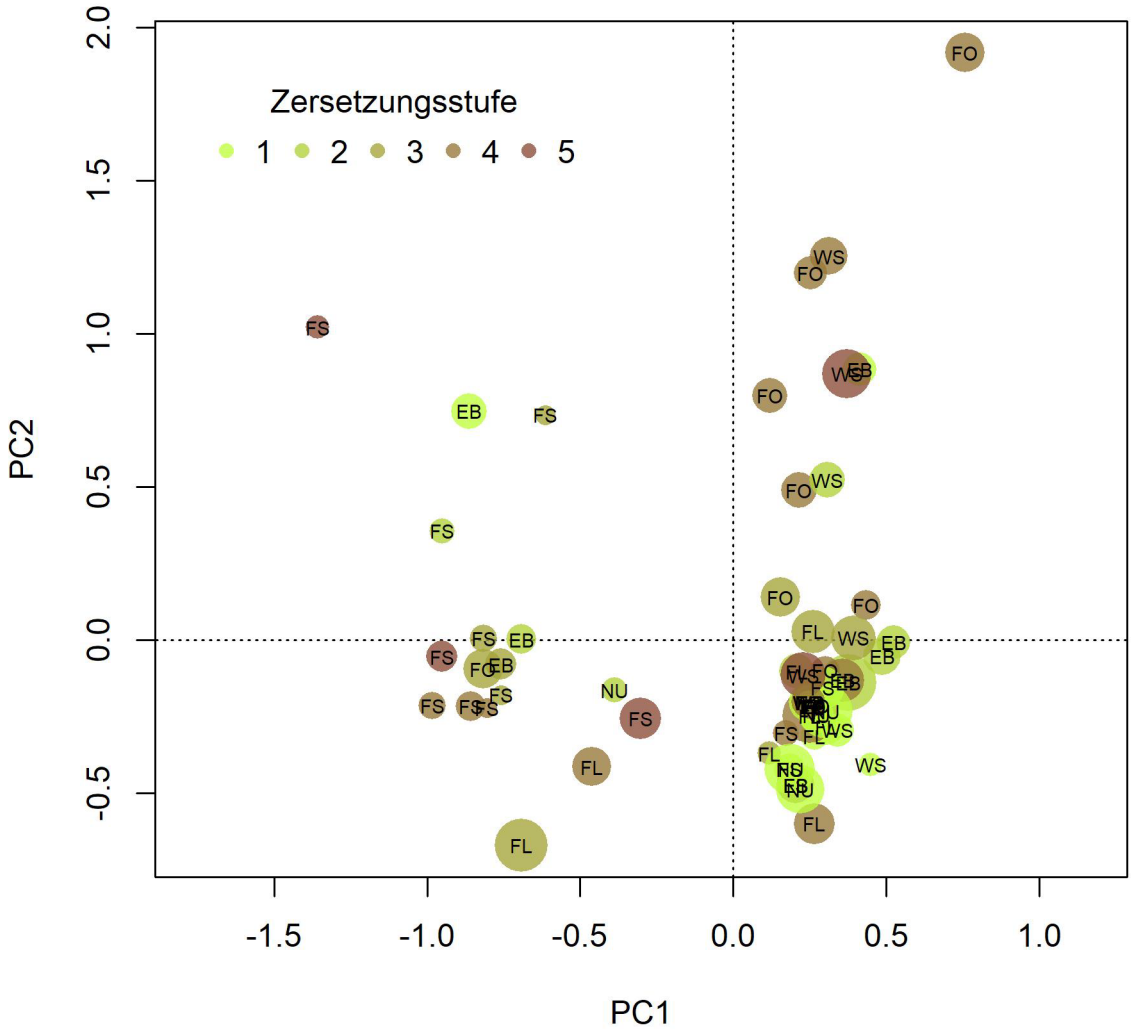

Abb. 13: Hauptkomponentenanalyse (PCA) der Artengemeinschaften in den Hochstümpfen. Jeder Kreis repräsentiert einen Hochstumpf. Die Größe der Kreise ist proportional zum BHD. Die Farben kennzeichnen die Zersetzungsstufe. Die Abkürzungen stehen für verschiedene Forstbetriebe (EB = Ebrach, FL= Flossenbürg, FO = Forchheim, FS= Freising, WS= Waldsassen).

Abbildung 13 zeigt, dass es nur wenige regionalspezifische Arten gab bzw. dass ein großer Anteil der Arten sich über alle Betriebe hinweg ähnelte. Dies spricht dafür, dass trotz unterschiedlich hoher Totholzmengen für die Käfergemeinschaften in den untersuchten Betrieben entsprechende Habitatbedingungen bzw. Nischen vorkommen.

Eine auf überwiegend europäische Arbeiten fokussierte Metastudie mit über 30 Artikeln (Sverdrup-Thygeson et al. 2014) kommt zu dem Schluss, dass es vor allem die Landschaftsebene ist, die sich als entscheidend für die Artenvielfalt und die Zusammensetzung der Artengemeinschaften erweist. Dies unterstreicht auch eine ältere Schweizer Studie in Buchen- und Tannenwäldern. Sie zeigte, dass die Artenvielfalt höher war in Bereichen mit einer guten Konnektivität, also einer guten Habitatvernetzung (Schiegg 2000) auf einer höheren Skalenebene. Die Strukturvielfalt (räumliches Arrangement) erwies sich in dieser Untersuchung wichtiger als die reine Totholzmenge. Gerade hierzu können

Hochstümpfe entlang von Forststraßen als Habitatelemente beitragen. Aus Verkehrssicherungsgründen sollte aber der Abstand zu Wegen beachtet werden. Bei einer durchschnittlichen Höhe von 3,7 m und ohne Krone sollte dies aber leicht möglich sein.

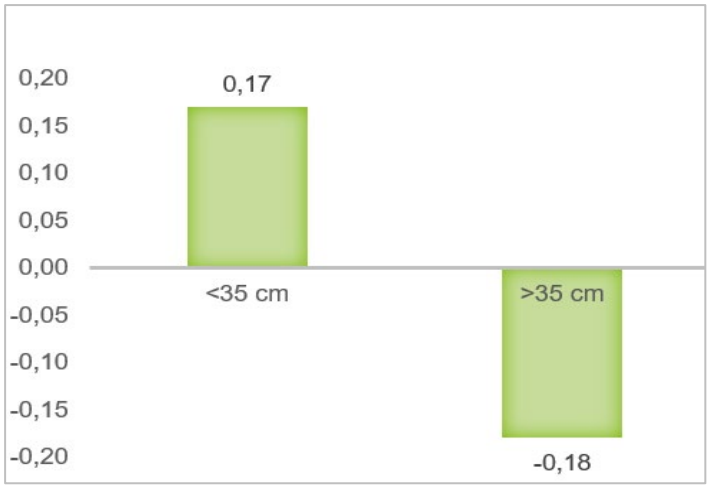

Abb. 14: Selektion von Hochstümpfen mit geringem und hohen Durchmessern durch Rote Liste Arten (Ivlev Index).

Sowohl bei der Baumartenwahl als auch bei der Dimension stellt sich die Frage, ob eine Art oder ein Parameter (z.B. die Dimension) über-, unter- oder proportional zu seiner Häufigkeit genutzt wird. Ein in der Tierökologie oft verwendetes Maß hierfür ist der Ivlev Index (Lechowicz 1982). Dieser kann Werte zwischen 1 und - 1 annehmen, wobei 1 die maximale und -1 gar keine Nutzung bedeuten. Abbildung 14 zeigt, dass schwächere Stämme leicht überproportional von Rote Liste Arten dieser Studie genutzt wurden. Entsprechend spielte stärkeres Totholz bei der Selektion durch Rote Liste Arten keine besondere Rolle, was an der Ökologie der nachgewiesenen Arten liegt (Prachtkäfer, Schnellkäfer). Viel entscheidender bei dieser Untersuchung waren die Baumart und der Zersetzungsgrad. Hier erwiesen sich, wie bereits oben erwähnt, die Aspen als besonders biodiversitätsreiche Baumart auch im Hinblick auf wertgebende Arten. Dabei konnten die Aspen entlang von potenziellen Störstellen (Quellhorizonte, Bachläufe) ebenso vorkommen wie am Waldrand oder an Wegekreuzungen.

Rote Liste Arten sind in aller Regel wenig ausbreitungsstark und/oder auf besondere Habitatstrukturen spezialisiert. Auch wenn der direkte Nachweis schwierig ist, von wo aus die Besiedelung konkret stattgefunden hat, lässt sich aus der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass die aktiv geschaffenen Strukturen rasch angenommen werden. So bieten sie offenbar geeignete Mikrohabitate für zahlreiche, auch gefährdete Arten und bilden damit Trittsteine und Vernetzungsstrukturen auf der Landschaftsebene. Voraussetzung hierfür ist aber, dass sie nicht nur lokal gehäuft, sondern als Netzwerk in der Fläche vorkommen. Sinnvoll ist es dabei aus Artenschutzgründen ebenso wie aus Gründen der Verkehrssicherheit, die Hochstümpfe gehäuft, also in kleinen Clustern anzulegen.

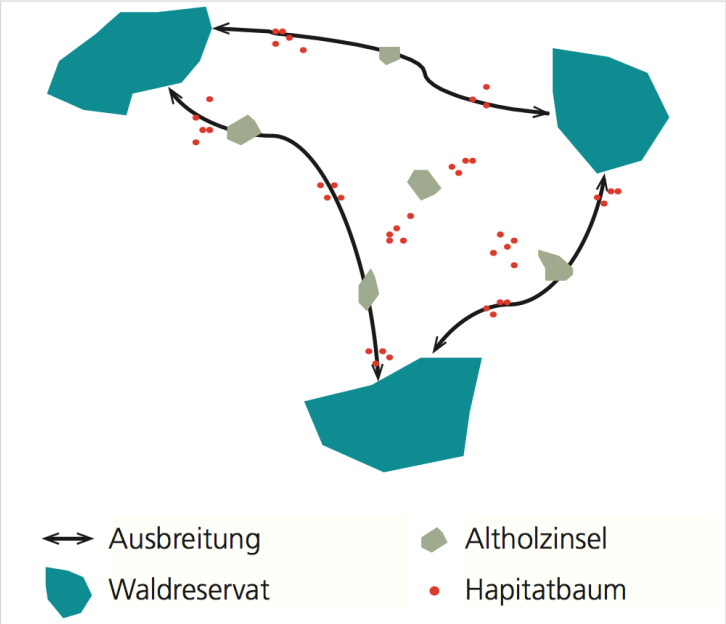

Abb. 15: Die Konnektivität auf Landschaftsebene ist aller Erkenntnis nach eine wichtige Größe. Hochstümpfe ebenso wie Habitatbäume können als Trittsteine zwischen Altbeständen, Altholzinseln und Naturwaldreservaten wirken (verändert nach Lachat et al. 2019).

Aktiv erzeugte Hochstümpfe sind analog zu natürlich entstandenem Totholz verbindende Habitatstrukturen (Konnektivität, Abb. 15). Hier könnten die Hochstümpfe gezielt eine Brückenfunktion einnehmen. Diese Brückenfunktion wirkt nicht nur räumlich, sondern auch zeitlich. Gerade mit Weichlaubhölzern kann der Effekt sehr rasch, mit Eiche dagegen über lange Zeiträume erreicht werden. Die Anlage von Hochstümpfen lässt sich gut im Rahmen der Holzernte integrieren. Gerade entlang von Forstwegen, kann so ein Netz von Totholz entstehen. Durch die Köpfung geht von dieser Struktur kaum eine Gefahr für die Verkehrssicherheit aus, aber funktionell sind diese wirksam, wie die vorliegende Untersuchung zeigt.

Wenn diese als ein Baustein fest in die Holzernte integriert würden, könnte ein Kontinuum geschaffen werden, bei dem möglichst viele verschiedene Zersetzungsgrade auf der Fläche existieren. Neben der einfacheren Umsetzbarkeit sind Hochstümpfe in Clustern oder entlang von Forstwegen auch stärker besonnt und damit wärmer und insektenfreundlicher.

4.1.5 Wie dünn dürfte das Netz maximal sein, um dennoch zu wirken?

Der Nachweis, wie weit xylobionte Insekten von ihrer Quellpopulation aus in der Lage sind, andere Standorte wieder zu besiedeln, ist schwierig und aufwendig. Selbst wenn eine Besiedelung nachgewiesen werden kann, bleibt die Herkunft des besiedelnden Insekts ohne genetische Analyse unklar. Daher bedienen sich die meisten Untersuchungen indirekter Methoden. Die geringe Stichprobenanzahl lässt hierbei keine genauen Aussagen zu, weshalb wir vor allem die Literatur betrachten, um uns der Frage zu nähern.

„Flugmühlen"-Experimente im Labor, wo z.B. ein Käfer an einem Hebelarm befestigt ist, geben Hinweise über die möglichen Flugleistungen und Reichweiten, übersteigen aber oft die im Feld gefundenen Flugstrecken bei weitem (Martí-Campoy et al. 2016).

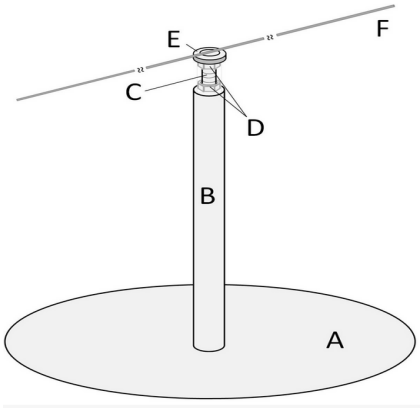

Abb. 16: Flugmühlen Experimente zur Ermittlung der möglichen Reichweite von Insektenflügen. (aus: Martí-Campoy et al. 2016).

Die wenigen direkten Markierungs- und Wiederfang-Experimente von Insekten zeigen maximale Ausbreitungsdistanzen von bis zu 7000 m. Untersuchungen zur Ausbreitungsfähigkeit des Eremiten (N = 10) als prioritäre FFH Art, Schutzgut und Schirmart für große Mulmhöhlen kommen zu einem Wert von maximal 500 bis 1000 m. Insgesamt zeigen alle diese direkten Methoden, dass die Dispersionsfähigkeit der Insekten auf wenige Kilometer um den Fundort begrenzt ist (Komonen & Müller 2018). Überwindbare Distanzen filterten Metastudien heraus, die zwischen 50 m (lokal) und maximal 10 km (Landschaftsebene) lagen (Sverdrup-Thygeson et al. 2014, Komonen & Müller 2018).

Andererseits ergeben sich auf Landschaftsebene selbst bei flugunfähigen Arten keine markanten genetischen Differenzierungen innerhalb von 10 km (bis zu 100 km) (Komonen & Müller 2018). Dies erscheint erstaunlich. Doch die Ausbreitungsmechanismen sind vielfältiger als wir uns dessen oft bewusst sind, sei es über Wind, Thermik oder Transportparasitismus. So können z.B. Buckeltanzfliegen (*Hybotidae*), die Mikrohabitate wie Baumhöhlen besiedeln,

flugunfähige Pseudoskorpione von einer Höhle zur anderen transportieren und damit zu ihrer Ausbreitung beitragen.

Dies bedeutet, dass ein Netz aus Trittsteinen für xylobionte Arten mit 500 (-1000) m Höchstabstand zwischen den Strukturen mit hoher Wahrscheinlichkeit beiträgt, die Verinselung von Populationen zu verhindern, solange die Qualität der Totholzhabitate auf der Fläche vorhanden ist. Zu beidem kann das Hochstumpfmanagement der BaySF beitragen.

4.1.6 Welche der gefundenen Arten eignen sich aufgrund ihrer geringen Mobilität besonders als Indikatoren?

Eine Gruppe von xylobionten Käfern werden als "Altwaldrelikte" bezeichnet. Das sind Arten, die als Zeiger für ununterbrochene Waldkontinuität mit großen Mengen an qualitativ hochwertigen Totholz stehen (Müller et al. 2005; Eckelt et al. 2018). Gefährdete xylobionte Käfer haben in der Regel ein geringes Ausbreitungspotenzial (Brunet & Isacsson 2009), die Mobilität alter Waldreliktarten ist noch geringer ausgeprägt. Dies ist einer der Gründe, warum diese Arten so selten sind. Die Hauptbedrohung für xylobionte Käfer ist die frühe Holzernte (Optimalphase) mit Entnahme des Totholzes (Roubal 1915; Zumr & Karas 1981; Čížek 2008; Horák 2012; Marhoul 2008; Nieto & Alexander 2010; Cálix et al. 2018). Mit zunehmendem Alter steigt die Zahl der Mikrohabitate exponentiell an, was eigene Untersuchungen aus der Urwaldforschung im Semenic in Rumänien belegen.

Gerade Pionierarten wie Borkenkäfer haben eine deutlich höhere Ausbreitungsfähigkeit, auch aufgrund des hohen Populationsdrucks, während Arten der hohen Zersetzungsgrade oder Mulmhöhlenbewohner wenig ausbreitungsstark sind (Ranius & Duwes 2002). Manche Käferfamilien mit oft ähnlichen Strategien und Biologien weisen daher einen hohen Anteil an Rote Liste Arten auf. Dies liegt zum einen an der Seltenheit der besetzten Habitatnische, zum anderen auch an der geringen Ausbreitungsstärke. Die Ausbreitungsstärke setzt sich wiederum zusammen aus der funktionellen Mobilität des Individuums (Morphologie) und der Populationsdynamik der Art (k- bzw. r- Strategie).

Die Reihung zeigt stark vereinfacht die Ausbreitungspotenz der verschiedenen Käferfamilien, die unterschiedlich hohe Anteile an Rote Liste Arten aufweisen:

Hirschkäfer/Schröter > Prachtkäfer > Bockkäfer > Schnellkäfer

Ausbreitungsschwache Arten sind besonders gute Indikatoren für alte Waldstandorte mit Habitattradition, die als Spenderflächen für eine Wiederbesiedelung dienen können. Ein in Flossenbürg gewonnener Stamm einer Schwarzerle enthielt z.B. mehrere Larven des Kopfhornschröters (*Sinodendron cylindricum*), eines kleinen Hirschkäfers. Bei näherer

Betrachtung des Fundorts handelte es sich um einen kleinen Quellhorizont von ca. 0,3 ha mit Erlen und Eschen und einem hohen Totholzanteil, der in einen größeren Fichtenkomplex eingebunden ist. Der besondere Kleinstandort mit seiner typischen Baumarten-zusammensetzung spricht dafür, dass hier nie ein bedeutender Bestockungswandel stattgefunden hat. Auch die grenznahe Lage in Mitten eines großen Waldkomplexes (Oberpfälzer Wald) sprechen dafür, dass es sich um einen alten Waldstandort mit langer Biotoptradition handelt. So steht der Kopfhornschröter für kleine Arten mit geringer Flügelprojektion und begrenzter Flugfähigkeit. Insgesamt sind also Schröter gute Indikatoren.

Der Gefleckte Pappelprachtkäfer, der im Projekt nachgewiesen wurde, steht dagegen für die Seltenheit seiner Habitatnische, also der Mikrostruktur. Aspen sind auf der Fläche nicht selten verbreitet und kommen in den meisten Revieren vor, so nehmen Weichlaubhölzer nach der BWI 3 mehr als 7% ein, mehr als die Eiche. Der Grund für die Seltenheit der Art liegt eher darin begründet, dass sie auf im Absterben begriffene, sonnenexponierte Aspen spezialisiert ist, was offenbar nicht sehr häufig vorkommt. Ein weiterer Grund kann auch darin gesehen werden, dass es bislang kaum systematische Untersuchungen an der Aspe gab. Die Art selbst muss also in der Lage sein, entsprechend weitentfernte Habitate zu besiedeln.

4.2 Bedeutung von Pionierbaumarten für die Artenvielfalt

Pionierbaumarten (Weichlaubhölzer) wie Aspen und Birken stehen im Folgenden besonders im Fokus.

4.2.1 Welche Artengruppen entwickeln sich schwerpunktmäßig an Stümpfen von Pionierbaumarten?

Ähnlich wie bei anderen Baumarten findet auch am Weichlaubholz eine Sukzession von Insektengemeinschaften statt. Bei den Weichlaubhölzern läuft aber die Besiedelung, der Abbau und der Zerfall im Zeitraffer bzw. im Schnelldurchlauf ab. Das führt rasch zu wertvollen, weil seltenen Strukturen. Zunächst treten die Frischholzbesiedler auf, hier repräsentiert durch die Prachtkäfer (gefleckter Pappelprachtkäfer) gefolgt von den Böcken (gefleckter Pappelbock). Mit der ersten Besiedelung durch Insekten gelangen Pilze in den Holzkörper, die die Festigkeit abbauen. Die Gangsysteme werden dann von Pilzzüchtern, später auch von räuberischen Arten und Detritusfressern besiedelt. Sehr früh entstehen erste Fruchtkörper, die den verschiedenen Pilzbewohnern eine Nische bieten.

Unter den Wirbeltieren ist es die Gruppe der Buntspechte (Klein-, Mittel-, Buntspecht), die diese Struktur besonders schnell und häufig besiedelt, um dort ihre Höhlen in das weiche Holz zu zimmern (Zahner et al. 2020). Durch die Anlage von Hochstümpfen in Weichlaubholz

profitierte diese Lebensgemeinschaft daher besonders schnell, was die überproportional hohe Zahl an Rote Liste Arten bei den Käfern unterstreicht (Tab. 8). Die Abundanzen der gefundenen Rote Liste Arten pro ausgebrüteten Stammabschnitt waren aber gering und erreichen maximale Werte von bis zu 5 Individuen.

Tab. 8: Auf Weichlaubholz nachgewiesene, gefährdete Käferarten und deren Habitatpräferenzen.

Käferarten	***Baumarten (Fundort)***	***RL-Status D***	***Habitatpräferenz***
Lignicole Arten			
Gefleckter Pappelprachtkäfer *Agrilus ater*	Aspe (NU)	2 (By 0)	absterbende Pappeln
Gefleckter Pappelbock *Saperda perforata*	Aspe (NU)	2	frisch-totes Pappelholz
Schiffswerftkäfer *Lymexylon navale*	Bi (FS)	3	Braunfäule
Holzbuntkäfer *Tillus elongatus*	Aspe (NU, FS) Bi (FS),	3	Räuberisch; besiedelt gerne Spalten und kleine Höhlen in altem Laubholz; lebt auch unter abstehender Borke ohne Bastreste

4.2.2 Welche Bedeutung haben Pionierbaumarten im Gesamtvergleich für die Artenvielfalt bei Hochstümpfen?

Aspen und Weiden, teilweise auch Birken, haben eine große Bedeutung für die Biodiversität in Wäldern. Durch die leichten, durch den Wind verfrachteten Samen dieser Pionierarten verjüngen sie sich fast überall, wo sich eine passende Lücke bzw. Störungsstelle bietet. Einmal etabliert, können sich Aspen gerade in Waldrandsituationen über Wurzelbrut über mehrere Generationen halten. Größere Komplexe von mehr als 5 Bäumen dieser Arten sind dagegen in geschlossenen Beständen eher selten. Als Pionierbaumarten setzen sie auf rasches Wachstum mit einer frühen Kulmination des Gesamtzuwachses. Da sie alles ins Höhenwachstum und nicht in den Schutz „investieren“, ist ihr Holz leicht (breite Jahrringe), weich und ohne besondere chemische Abwehrstoffe. Zudem werden sie im Laufe der Bestandesentwicklung von den Hauptbaumarten eingeholt und überwachsen. So kommen sie früh in eine Seneszenz und ihr Holz wird bald von Pilzen und Insekten besiedelt. Damit können auch Spechte diese Bäume früh als Höhlenbäume nutzen. Zudem bieten sie als Pionierbaumarten mit ihren schütteren Kronen und ihrer Vorliebe für viel Licht günstige mikroklimatische Bedingungen (Wärme) für Insekten. Durch die Kappung der Krone im Rahmen des Programms „Der Wald blüht auf“ wird diese Phase sogar noch deutlich nach vorne verlagert. Zusätzlich werden seltene Habitatstrukturen wie geschwächte, kränkelnde Bäume produziert, die ihre eigenen Lebensgemeinschaften beherbergen.

4.3 Fazit aus den Fragestellungen

Zusammenfassend lassen sich die eingangs gestellten Fragen (2.1 und 2.2) der Untersuchung in Kurzform wie folgt beantworten:

- *Welche der bisher bebrüteten Stümpfe beherbergen seltene oder besondere Arten?*

  Es waren vor allem Laubholzstümpfe mittlerer Dimension und besonders Aspen, die überproportional viele Rote Liste Arten beherbergten.

- *Lässt sich bei den "wertvollen" Stümpfen die Besiedelung räumlich nachverfolgen? Wie weit entfernt liegt ein potentieller Quellbestand?*

  Ohne aufwendigen genetischen Abgleich lässt dies nicht sicher nachverfolgen. Bei einzelnen Arten (z.B. Kopfhornschröter) spricht die unmittelbare Umgebung des Fundorts aber dafür, dass die Art an dieser Stelle überdauert hat.

- *Wie könnte ein solcher Vernetzungseffekt auf die Fläche gebracht werden?*

  Entlang von Forstwegen bzw. Rückegassen lässt sich eine solche Vernetzung auf die Fläche bringen. Dabei sollten Abstände zu Wegen aus Gründen der Verkehrssicherung beachtet werden. Insgesamt gehen von den kronenlosen, kurzen Hochstümpfen aber wenig Gefahren aus.

- *Wie dünn dürfte das Netz maximal sein, um dennoch zu wirken?*

  Hier gibt es wenige Studien. Untersuchungen zur Ausbreitungsfähigkeit des Eremiten als Schutzgut und Schirmart kommen zu einem Wert von maximal 500 bis 1000 m. Treten Strukturen geklumpt auf (mehrere Hochstümpfe), werden diese leichter gefunden und besiedelt.

- *Welche der gefundenen Arten eignen sich aufgrund ihrer geringen Mobilität besonders als Indikatoren?*

  Vor allem wenig mobile Arten wie Schröter (Hirschkäferverwandte) oder der Eremit eignen sich besonders gut als Indikatorarten.

- *Kann man mit den Hochstümpfen Trittsteine für seltenere Arten in wenig artenreiche Bestände legen?*

  Da auch verschollene Arten nachgewiesen wurden, scheinen manche mobilere Insektengruppen (Prachtkäfer, Bockkäfer) relevante Habitatnischen auch über weitere Strecken besiedeln zu können. Damit spricht vieles dafür, dass auch wenig artenreiche Bestände durch Hochstümpfe artenreicher werden.

- *Welche Artengruppen entwickeln sich schwerpunktmäßig an Stümpfen von Pionierbaumarten?*

  Es waren vor allem Käferarten, wie Pracht- und Bockkäfer die auf geschwächte, absterbende Weichlaubhölzer (Pionierbaumarten) angewiesen sind, aber auch Buntkäfer die hier nachgewiesen wurden. Auch Spechte legten an diesen Baumarten, anders als an Buche oder Eiche, besonders früh ihre Brut- und Schlafhöhlen an.

- *Welche Bedeutung haben Pionierbaumarten im Gesamtvergleich für die Artenvielfalt bei Hochstümpfen?*

  Aspen und Weiden, abgestuft aber auch Birken, haben eine große Bedeutung für die Biodiversität in Wäldern. Durch ihr frühkulminierendes Höhenwachstum kommen sie früh in eine Seneszenz und ihr weiches, chemisch kaum geschütztes Holz wird bald von Pilzen und Insekten besiedelt. Die seltensten Arten dieser Studie wurden an Aspen nachgewiesen.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND MANAGEMENTEMPFEHLUNGEN

Das Köpfen von lebenden Bäumen ist nicht unumstritten. Es führt aber örtlich und zeitlich geplant zu einer aktiven Anreicherung von stehendem Totholz in Form von Hochstümpfen. Damit ist es ein strategisches Element des proaktiven Waldnaturschutzes. Dennoch ist das Verfahren nicht immer und überall geeignet. Dort, wo Totholz auf Grund von erheblichen Trockenschäden oder anderen Schadereignissen (z.B. Nordbayern) in größerer Menge natürlich auftritt, ist es weder notwendig noch akzeptiert, auf diese Technik zurückzugreifen.

Wird aber Totholz in Form von Hochstümpfen angelegt, so wird es sehr schnell von einer xylobionten Artengemeinschaft besiedelt. Gerade bei Weichlaubholz finden sich besonders rasch wertvolle Mikrohabitate. Darunter sind nicht nur häufige Pionierarten unter den Insekten, sondern nach einer untersuchten Zeitspanne von maximal 15 Jahren bereits auch Schröter und andere als ausbreitungsschwach geltende Arten. Davon profitieren aber auch Wirbeltiere. Spechte nutzen die Hochstümpfe als Nahrungshabitat und Höhlenbaum, darunter sogar der Schwarzspecht mit seinen Großhöhlen. Diese Mikrostrukturen bilden wiederum einen eigenen Habitatkosmos, der u.a. auch von Fledermäusen (z.B. Bechstein, großer Abendsegler) genutzt werden.

Neben der reinen Artenzahl und der Insektenbiomasse konnten insgesamt in einem Drittel der Hochstümpfe Rote Liste Arten (11 Arten) nachgewiesen werden. Damit zeigt sich, dass die Stümpfe auch aus Sicht des Artenschutzes eine Bedeutung haben können.

Besonders Rote Liste Arten konnten überproportional häufig an Aspen nachgewiesen werden. Im weiteren Vorgehen würden wir empfehlen, einen besonderen Schwerpunkt auf Weichlaubholz, besonders Aspen zu legen. Diese könnten, wenn möglich, geklumpt geschnitten werden und so einen größeren Trittstein bilden. Diese größeren Trittsteine werden wiederum leichter olfaktorisch und optisch von seltenen Arten gefunden.

Die Konnektivität auf der Fläche erscheint dabei wichtig. Je nach Studie sogar wichtiger als die Totholzmenge im einzelnen Bestand bzw. auf dem einzelnen Probekreis. Studien zeigen, dass selbst wenig mobile Arten 500 m (bis 1000 m) überwinden können. Entsprechend leicht lässt sich ein Trittsteinkonzept mit geclusterten Hochstümpfen entlang von Forstwegen konzipieren, das dem Rechnung trägt.

Da Hochstümpfe einen positiven Einfluss auf Mikrostrukturen und Waldbiodiversität haben, wäre daher die Empfehlung, auch künftig bei Harvestereinsätzen in jüngeren oder totholzärmeren Beständen Hochstümpfe als integralen Baustein kostengünstig mit zu

erzeugen. So kann dies eine zusätzliche Brückenstrategie bilden, bis die angestrebten Totholzziele in Menge und Qualität erreicht sind. Ob in Nordbayern, wo Trockenschäden im Laubholz (vor allem Buche) zu einem starken Totholzanstieg geführt haben, noch Akzeptanz finden und fachlich sinnvoll sind, muss sicher vor Ort entschieden werden.

Auch wo eine besondere Verkehrssicherungspflicht gegeben ist, können Hochstümpfe eine geeignete Maßnahme darstellen, um zum einen die Gefährdung zu entschärfen und gleichzeitig die Biodiversität zu erhalten bzw. zu fördern.

Auch wenn Hochstümpfe nur einen Teil der Habitatstrukturen am Baum abdecken, sind sie ein planbares Instrument des proaktiven Waldnaturschutzes. Sie tragen so zur Erhöhung der Nischen- und damit der biologischen Vielfalt bei. Damit sind sie eine sinnvolle Investition in die Zukunft unserer Wälder.

Die EU- Kommission forciert aktuell den Klima- und Umweltschutz stark. Dazu gehören besonders die strategischen Überlegungen zum Schutz der Wälder und deren Biodiversität (Dieter & Bolte 2021). Die Hochstümpfe können dabei einen wichtigen Beitrag zum Waldnaturschutz im Rahmen der integrativen Waldbewirtschaftung gerade in jüngeren und totholzärmeren Beständen liefern.

LITERATUR

ALBRECHT, L. (1990): Grundlagen, Ziele und Methodik der waldökologischen Forschung, in Naturwaldreservaten. Diss. LMU München. Schriftenreihe Naturwaldreservate in Bayern, Bd. 1.

ALEXANDER K.N.A. (2008): Tree biology and saproxylic coleoptera: issues of definitions and conservation language. Revue d´Écologie – la terre et la vie, 63 (Suppl.) 10, S. 9-13.

BRUNET, J.; ISACSSON, G. (2009): Restoration of beech forest for saproxylic beetles – effects of habitat fragmentation and substrate density on species diversity and distribution. Biodiversity and Conservation 18, S. 2387-2404. DOI: 10.1007/s10531-009-9595-5

BUSE, J. (2012): “Ghosts of the past”: flightless saproxylic weevils (Coleoptera: Curculionidae) are relict species in ancient woodlands. Journal of Insect Conservation 16(1), S. 93-102.

CÁLIX, M.; ALEXANDR, K.N.A.; NIETO, A.; DODELIN, B.; SOLDATI, F.; TELNOV, D.; et al. (2018): European red list of saproxylic beetles. Brussels, Belgium: IUCN. 19 s. Available at: http://www.iucnredlist.org/initiatives/europe/publications

CHRISTENSEN, M.; HAHN, K.; MOUNTFORD, E. P.; ÓDOR, P.; STANDOVÁR, T.; ROZENBERGAR, D.; DIACI, J.; WIJDEVEN, S.; MEYER, P.; WINTER, S.; VRŠKA, T. (2005): Dead wood in European beech (*Fagus sylvatica*) forest reserves. Forest Ecology and Management 210, S. 267-282.

ČÍŽEK, L. (2008): Les nebo plantáž? Lesní hospodaření a jeho vliv na biodiverzitu 2008. In: HORÁK, J. (ed.): Brouci vázaní na dřeviny = Beetles Associated with Trees. Sborník referátů. 26. února 2008, Pardubice. Praha, Česká lesnická společnost, S. 12-14.

DIETER, M.; BOLTE, A. (2021): Naturschutz im Wald neu und global denken. Wissenschaft erleben 1, S. 1.

DRAPEAU, P.; NAPPI, A.; IMBEAU, L.; SAINT-GERMAIN, M. (2009): Standing deadwood for keystone bird species in the eastern boreal forest: Managing for snag dynamics. Forestry Chronicle 85, S. 227-234.

ECKELT, A.; MÜLLER, J.; BENSE, U.; BRUSTEL, H.; BUSSLER, H.; CHITTARO, Y.; ČÍŽEK, L.; FREI, A.; HOLZER, E.; KADEJ, M.; KAHLEN, M.; KÖHLER, F.; MÖLLER, G.; MÜHLE, H.; SANCHEZ, A. et al. (2018): “Primeval forest relict beetles” of Central Europe: a set of 168 umbrella species for the protection of primeval forest remnants. Journal of Insect Conservation 22, S. 15-28. DOI: 10.1007/s10841-017-0028-6

FAHRIG, L. (2020): Why do several small patches hold more species than few large patches? Global Ecology and Biogeography 29, 615-628.

FLADE, M.; SCHWARZ, J. (2004): Ergebnisse des DDA-Monitoringprogramms, Teil II: Bestandsentwicklung von Waldvögeln in Deutschland 1989-2003. Vogelwelt 125, S. 177-213.

FRAUNHOFFER-HARTMANN, S. (2021): Stocktotholz als Habitat für xylobionte Arten. Vergleichende Analyse von *Fagus sylvatica* und *Picea abies* - Feldstudie im Hochspessart. Masterarbeit Uni Hildesheim.119 S.

GOTTWALD, S. (2017): Rote Liste und Gesamtartenliste der Prachtkäfer (Coleoptera: Buprestidae) von Berlin. In:DER LANDESBEAUFTRAGTE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE / SENATSVERWALTUNG FÜR UMWELT,VERKEHRUND KLIMASCHUTZ (Hrsg.): Rote Listen der gefährdeten Pflanzen, Pilze und Tiere von Berlin, 20 S. doi: 10.14279/depositonce-5854

HORÁK, J. (2012): Stanovištní činitele ovlivňující rozšíření brouků vázaných na mrtvé dřevo. Živa 2012 (6), S. 294-299.

HORÁK, J. (2008): Ochrana saproxylického hmyzu: chceme řešit příčiny nebo pouze následky? In: HORÁK, J. (ed.): Brouci vázaní na dřeviny – Beetles Associated with Trees. Sborník referátů. 26. února 2008, Pardubice. Praha, Česká lesnická společnost, S. 14-17.

HUML, D.; SCHULTE, F. (2020): Biotoptrittsteine (Hochstümpfe) als Lebensraum für xylobionte Artengemeinschaften und deren Folgenutzer. Studie einer unechten Zeitreihe. Bachelorarbeit, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Wald und Forstwirtschaft, Freising, 103 S.

JAWORSKI, T.; PLEWA, R.; TARWACKI, G.; SUĆKO, K.; HILSZCZAŃSKI, J.; HORÁK, J. (2019): Ecologically similar saproxylic beetles depend on diverse deadwood resources: From habitat requirements to management implications. Forest Ecology and Management 449, 117462. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.117462

KOMONEN, A.; MÜLLER, J. (2018): Dispersal ecology of deadwood organisms and connectivity conservation. Conservation Biology, 32(3), S. 535-545.

LACHAT, T.; WERMELINGER, B.; GOSSNER, M. M.; BUSSLER, H.; ISACSSON, G.; MÜLLER, J. (2012): Saproxylic beetles as indicator species for dead-wood amount and temperature in European beech forests. Ecological Indicators 23, S. 323-331.

LACHAT, T.; BRANG, P.; BOLLIGER, M.; BOLLMANN, K.; BRÄNDLI, U.-B.; BÜTLER, R.; HERRMANN, S.; SCHNEIDER, O.; WERMELINGER, B. (2019): Totholz im Wald - Entstehung, Bedeutung und Förderung. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Merkblatt für die Praxis 52, S. 1-12.

LECHOWICZ, M. J. (1982). The sampling characteristics of electivity indices. *Oecologia*, *52*(1), 22-30.

MALCHAU, W. (2004): Rote Liste Schröter Sachsen Anhalt. Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-AnhaltHalle, Heft 1/2020: 721–72

MARHOUL, P. (2008): Význam červených seznamů a červených knih pro ochranu ohrožených druhů. In: HORÁK J. (ed.): Brouci vázaní na dřeviny = Beetles Associated with Trees. Sborník referátů. 26. února 2008, Pardubice. Praha, Česká lesnická společnost, S. 58-62.

MARTÍ-CAMPOY, A.; ÁVALOS, J.; SOTO, A.; RODRÍGUEZ-BALLESTER, F.; MARTÍNEZ-BLAY, V.; MALUMBRES, M. (2016): Design of a Computerised Flight Mill Device to Measure the Flight Potential of Different Insects. Sensors 16(4), 485. doi:10.3390/s16040485

MÜLLER J.; BUSSLER H.; BENSE U.; BRUSTEL H.; FLECHTNER G.; FOWLES A.; KAHLEN M.; MÖLLER G.; MÜHLE H.; SCHMIDT J. & ZÁBRANSKÝ P. (2005): Urwald relict species – Saproxylic beetles indicating structural qualities and habitat tradition. Waldoekologie online, He 2: 106–113. https://www.afsv.de/download/literatur/ waldoekologie-online/waldoekologie-online_he -2-9.pdf

MÜLLER, J.; BÜTLER, R. (2010): A review of habitat thresholds for dead wood: a baseline for management recommendations in European forests. European Journal of Forest Research 129, S. 981-992. DOI: 10.1007/s10342-010-0400-5

MÜLLER, J.; ULYSHEN, M.; SEIBOLD, S.; CADOTTE, M.; CHAO, A.; BÄSSLER, C.; THORN, S. (2020): Primary determinants of communities in deadwood vary among taxa but are regionally consistent. Oikos 129(10), S. 1579-1588.

NEUMANN; RÖSSLER (2019): Rote Liste der Schnellkäfer Sachsen-Anhalts.

NEUMANN et al. (2004): Rote Liste der Schnellkäfer Sachsen-Anhalts.

NIETO, A.; ALEXANDER, K. N. A. (2010): European Red List of saproxylic beetles. Publications Office of the European Union, Luxembourg, 45 S.

PAILLET, Y.; BERGES, L.; HJÄLTEN, J.; ODOR, P.; AVON, C.; BERNHARDT- RÖMERMANN, M.; BIJLSMA, R-J.; DE BRUYN, L.; FUHR, M.; GRANDIN, U.; KANKA, R; LUNDIN, L.; LUQUE, S. et al. (2010): Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. Conservation Biology 24, S. 101-111. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2009.01399.x.

RANIUS, T., & DOUWES, P. (2002). Genetic structure of two pseudoscorpion species living in tree hollows in Sweden. Animal biodiversity and conservation, 25(2), 67-74.

REICHERT, A. (2021): Hochstümpfe für den Naturschutz. Sinn oder Unsinn. BaySF intern, S. 10-11.

ROUBAL, J. (1915): Osud xylophágů (A spolu příspěvek k historii našich lesů). Časopis České společnosti entomologické, XII (1–2), S. 23-27.

ROTHKEGEL, W.; RUPPERT, O.; KLEMMT, H-J.; TRETTER, S. (2020): Unterschätzte Pioniere. BLW 53, S. 23 - 25

SCHMIDL, J.; BUßLER, H.; LORENZ, W. (2003): Die Rote Liste gefährdeter Käfer Bayerns im Überblick. In Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Umweltschutz: 166. BLFU (Ed.). Augsburg.
SPEIGHT, M. (1989): Saproxylic invertebrates and their conservation. Council of Europe. Nature and Environment Series 42, S. 1-79.

SVERDRUP-THYGESON, A.; GUSTAFSSON, L.; KOUKI, J. (2014): Spatial and temporal scales relevant for conservation of dead-wood associated species: current status and perspectives. Biodiversity and Conservation 23(3), S. 513-535.

THORN, S. (2020): Potenzial von aktiver und passive Totholzanreicherung für die Biodiversität im genutzten Wald. Forum für Wissen. WSL Berichte. Heft 100, S. 31-34.

WINTER, S.; BEGEHOLD, H.; HERRMANN, M.; LÜDERITZ, M.; MÖLLER, G.; RZANNY, M.; FLADE, M. (2015a): Praxishandbuch - Naturschutz im Buchenwald. Naturschutzziele und Bewirtschaftungsempfehlungen für reife Buchenwälder Nordostdeutschlands. Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Potsdam, 186 S.

WINTER, S.; HÖFLER, J.; MICHEL, A. K.; BÖCK, A.; ANKERST, D. P. (2015b): Association of tree and plot characteristics with microhabitat formation in European beech and Douglas-fir forests. European Journal of Forest Research 134, S. 335-347. DOI: 10.1007/s10342- 014-0855-x

ZAHNER, V.; LACKNER, T.; REGER, B.; SCHÖLCH, M.; WITTKOPF, S. (2020): Biotopstümpfe (Hochstümpfe) als Lebensraum für xylobionte Artengemeinschaften - Studie einer unechten Zeitreihe. Abschlussbericht der ersten Projektphase.

ZUMR V. & KARAS V. (1981): V. Faunistický příspěvek k poznání brouků (Coleoptera) v lesích u Hluboké nad Vltavou v jižních Čechách. Sborník Jihočeského muzea v Českých Budějovicích, Přírodní vědy 21, S. 13-20.