leben.natur.vielfalt

die Strategie

Methodenbeschreibung zur Waldrenaturierung von Kiefernreinbeständen im Projekt „Wildnis Naturerbe“

Stand: 12.01.2021

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Bundesamt für Naturschutz

Projektpartner

DBU Naturerbe GmbH
An der Bornau 2, 49090 Osnabrück
Telefon: 0541/9633-601
naturerbe@dbu.de
http://www.wildnis-naturerbe.de
Bearbeiter*innen: PD Dr. Heike Culmsee, Dr. Heike Schneider, Ronja Wörmann

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt
Abteilung Waldwachstum, Sachgebiet Waldnaturschutz/Naturwaldforschung
Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen
Telefon: 0551/69401-0
Zentrale@NW-FVA.de
http://www.NW-FVA.de
Bearbeiter*innen: Dr. Peter Meyer, Maria Aljes

Georg-August-Universität Göttingen
Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften, Abteilung Ökologie und Ökosystemforschung
Untere Karspüle 2, 37073 Göttingen
Telefon: 0551/395722
https://www.uni-goettingen.de/de/71395.html
Bearbeiter*innen: Prof. Dr. Christoph Leuschner, Agnes Förster, Marco Diers

Projektkoordination: PD Dr. Heike Culmsee, Dr. Heike Schneider (DBU Naturerbe GmbH)

Korrespondierende Autorin: Dr. Heike Schneider, h.schneider@dbu.de

Zitiervorschlag: Schneider, H.; Culmsee, H.; Aljes, M.; Diers, M.; Förster, A.; Meyer, P.; Leuschner, C. (2021): Methodenbeschreibung zur Waldrenaturierung von Kiefernreinbeständen im Projekt „Wildnis Naturerbe“. Stand: 12.01.2021. 78 S.

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Dieser Methodenleitfaden gibt die Auffassung und Meinung des Zuwendungsempfängers wieder und muss nicht mit der Auffassung des Zuwendungsgebers übereinstimmen.

Inhalt

1. Einleitung ... 7
2. Waldrenaturierung in der Literatur ... 9
3. Methodik ... 11
3.1. Untersuchungsgebiet ... 11
3.2. Einrichtung der Probekreise ... 12
3.3. Experimenteller Ansatz ... 14
3.4. Datenerfassung ... 18
3.4.1. Waldstrukturaufnahme ... 20
a) Aufnahmemethode lebender Bestand ... 25
b) Aufnahmemethode liegendes/stehendes Totholz ... 34
c) Aufnahmemethode Gehölzverjüngung ... 41
3.4.2. Transektkartierung zur Erfassung von Habitatstrukturen und Totholz ... 44
3.4.3. Erfassung der Biodiversität ... 56
a) Krautschichtvegetation ... 56
b) Xylobionte Käfer ... 62
c) Pilze ... 67
3.4.4. Erfassung der Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte des Bodens ... 71
3.5. Erste Veränderungen nach Maßnahmenumsetzung ... 73
3.5.1. Totholzanreicherung ... 73
3.5.2. Biodiversität ... 75
4. Fazit ... 77

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Hauptbaumartenverteilung der DBU-Naturerbefläche Rüthnicker Heide. Die Experimentflächen im Westen und Osten der Fläche sind grün markiert und zeigen die Behandlungsvarianten. 11

Abbildung 2: Aufbau eines Plots mit neun Probekreisen. Das Experiment besteht aus 16 Plots (vier Behandlungsvarianten jeweils viermal wiederholt). 13

Abbildung 3: a) Oberirdische Dauermarkierung eines Probekreismittelpunktes auf DBU-Naturerbeflächen, b) elektronische Unterflurmarke und Suchsonde. 14

Abbildung 4: Experimenteller Ansatz zur Waldrenaturierung (Förderung von Merkmalen reifer Waldentwicklungsstadien) In den Varianten 1–3 wurde durch aktive Renaturierungsmaßnahmen eine zunehmende strukturelle Komplexität (Naturnähe) erzeugt; in Variante 4 wurde die Nutzung sofort aufgegeben (passive Renaturierung). 14

Abbildung 5: Darstellung der verschiedenen Lückengrößen (100, 250, 500 m²) in den Behandlungsvarianten. 15

Abbildung 6: Dokumentation der Maßnahmenumsetzung. A) Harvester bei der Arbeit (Foto: H. Schneider/DBU Naturerbe), B) Bestandeslücke in Variante 1, Holzernte (Foto: M. Kunze/Bundesforstbetrieb Westbrandenburg, C) Bestandesbild nach Umwerfen und Ringeln der Bäume in Variante 2 bzw. 3 (Foto: H. Schneider/DBU Naturerbe), D) Zauntrasse (Foto: H. Culmsee/DBU Naturerbe). 16

Abbildung 7: Verteilung der vier Behandlungsvarianten auf die Flächen im Westen und Osten der DBU-Naturerbefläche Rüthnicker Heide. Auch die Lage der Probekreise und der Zäune sind abgebildet. 17

Abbildung 8: Die Erfassung des stehenden und liegenden Bestandes (lebend, tot) findet auf dem gesamten Probekreis statt, für die Verjüngungsaufnahmen wurden Unterflächen je nach Höhe der Verjüngung ausgewiesen. 20

Abbildung 9: Die im Probekreis zu erfassenden bzw. nicht zu erfassenden Objekte bzw. Objektteile (aus Meyer et al. 2013[19]). 21

Abbildung 10: Übersichtskarte eines Probekreises vor Maßnahmenumsetzung mit allen erfassten stehenden und liegenden Objekten im Field-Map-Programm. 23

Abbildung 11: Darstellung der BHD-Messpunkte und der Nummerierung bei einem Baum mit Steilästen ≥ 7 cm Durchmesser (aus Meyer et al. 2013[19]). 28

Abbildung 12: Definition der Brusthöhe (aus: Kramer und Akça 1996 verändert). 30

Abbildung 13: Definition der Baumhöhe und Technik der Höhenmessung (aus: Kramer u. Akça 1996[20], verändert). 32

Abbildung 14: Aufnahmeschema von toten oder lebenden vollständigen liegenden Bäumen im Probekreis (aus Meyer et al. 2013[19]). 37

Abbildung 15: Aufnahmeschema von liegenden Bäumen mit Wurzel und Stamm ohne Krone innerhalb des Probekreises (aus Meyer et al. 2013[19]). 37

Abbildung 16: Aufnahmeschema von liegenden Objekten ohne Wurzel innerhalb des Probekreises (aus Meyer et al. 2013[19]). 38

Abbildung 17: Aufnahmeschema von gebrochenen Bäumen ohne Wurzel und von Stammstücken ≥ 20 cm (aus Meyer et al. 2013[19]). 38

Abbildung 18: Aufnahmeschema von lebendem liegenden Bestand (≥ 7 cm) (aus Meyer et al. 2013[19]). . 39

Abbildung 19: Design des Line Distance Sampling (linkes Bild) mit einer einzelnen, zufällig gesetzten Transektlinie der Länge L. Es wurden sechs Objekte (n = 6) entlang der Transektlinie in den Entfernungen x1; x2; … ; x6 gemessen. Design des Point Distance Sampling (rechte Seite) mit fünf zufällig im Untersuchungsgebiet verteilten Probekreisen (Quelle: Buckland et al. 1993[28]). 48

Abbildung 20: Histogramm der horizontalen Entfernungen und dazugehörigen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion f(x) für Habitatbäume aus 16 Naturwaldflächen. 48

Abbildung 21: Transekte zur Kartierung von Totholz und Sonderstrukturen im Experiment zur Waldrenaturierung. Pro Plot wurden zwei Transekte à 160 m (= 320 m) kartiert. 52

Abbildung 22: Darstellung der Unterfläche für die Vegetationsaufnahme auf den Probekreisen im Renaturierungsexperiment. 57

Abbildung 23: Für die Untersuchungen verwendete Flugfensterfallen (Foto links: A. Weigel/ROSALIA, Foto rechts: H. Schneider/DBU Naturerbe GmbH). 63

Abbildung 24: Für die Pilzinventuren im Renaturierungsexperiment wurden drei Probekreise pro Plot ausgewählt (rote Kreise). Außerdem wurde der gesamte Plot in dem die neun Probekreise liegen begangen. 68

Abbildung 25: Schema der Bodenprobenentnahme auf den Experimentflächen. Der Kreis stellt den Bereich der Baumfällungen dar (Bestandeslücke); innerhalb des Rechtecks fand die Probenentnahme statt. 72

Abbildung 26: Waldstrukturaufnahme im Renaturierungsexperiment (Variante 2 = Totholzanreicherung in Lücken) aus den Jahren 2015 (links) und 2017 (rechts). 73

Abbildung 27: Vergleich des Totholzvolumens in den Jahren 2015 und 2017 in den vier Behandlungsvarianten. Sternchen zeigen sign. Unterschiede zwischen den Aufnahmejahren (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$), Buchstaben zeigen sign. Unterschiede zwischen den Varianten in beiden Jahren. 74

Abbildung 28: Anzahl Arten der Verjüngung im Renaturierungsexperiment der Jahre 2015 und 2017 in den vier Behandlungsvarianten (2015 Nullaufnahme, 2017 Wiederholungsaufnahmen nach Maßnahmenumsetzung). Sternchen zeigen sign. Unterschiede zwischen den Aufnahmejahren (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$), Buchstaben zeigen sign. Unterschiede zwischen den Varianten in beiden Jahren. 75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bestandsbeschreibung der Waldbestände auf Basis der Forsteinrichtung (Mittelwerte, Stichtag 01.10.2010; die Bestände wurden seither nicht genutzt). 12

Tabelle 2: Kenngrößen der Kategorien Struktur (S), Biodiversität (B) und Funktion (F) sowie die Erfassungseinheit und der Zeitraum, in dem eine Wirkung erwartet wird (K: kurzfristig in 1-2 Jahren, M: mittelfristig in bis zu 10 Jahren oder L: langfristig in > 10 Jahren). 19

Tabelle 3: Zeitleiste der Maßnahmenumsetzung und der Datenerfassung 19

Tabelle 4: Aufnahmeparameter bei der Waldstrukturaufnahme für den stehenden und liegenden Bestand und für die Verjüngung: √ = Erfassung für alle Objekte, (√) = Erfassung für einen Teil der Objekte, - = nicht erfasst (aus Meyer et al. 2013[19]). 24

Tabelle 5: Zusammenfassung der Aufnahmeparameter für den lebenden Derbholzbestand. 26

Tabelle 6: Umrechnungstabelle Horizontalentfernung zu Geländeentfernung (aus Meyer et al. 2013[19]). 27

Tabelle 7: Schlüssel zur Klassifikation der oberirdischen Gehölzobjekte des Derbholzbestandes (aus Meyer et al. 2013[19]). 31

Tabelle 8: Aufnahmeparameter für das Totholz. 34

Tabelle 9: Aufnahmeparameter für die Verjüngung. 41

Tabelle 10: Klassifizierung der Höhenklassen (aus Meyer et al. 2013[19]). 42

Tabelle 11: Klassifizierung des Verbissprozents (aus Meyer et al. 2013[19]). 43

Tabelle 12: BHD-Klassen (nach Röhrig et al. 2006). 51

Tabelle 13: Beschreibung der im Aufnahmeverfahren erhobenen Habitatstrukturen. 51

Tabelle 14: Beispiel für ein Formblatt zur Datenaufnahme von stehenden Totholzobjekten und Habitatstrukturen, fettgedruckte Aufnahmeparameter sind obligatorisch. 54

Tabelle 15: Beispiel für ein Formblatt zur Datenaufnahme von liegenden Totholzobjekten, fettgedruckte Aufnahmeparameter sind obligatorisch. 55

Tabelle 16: Definition der Datenfelder. 58

Tabelle 17: Beispiel eines Formblattes für Vegetationsaufnahmen. 61

Tabelle 18: Übersicht über die wichtigsten Aufnahmegrößen für die Inventur xylobionter Käfer. 64

Tabelle 19: Wichtige Variablen bei der Erfassung xylobionter Käfer. Für xylobionte Arten werden nur die relevanten Biotop- und Habitatpräferenzen dargestellt, vollständige Liste siehe Köhler (2000)[50]. 65

Tabelle 20: Übersicht über die wichtigsten Aufnahmegrößen für die Pilzinventur. 69

Tabelle 21: Anzahl Bäume nach Maßnahmenumsetzung (stehender Bestand , April 2017). Unverändert = im Vergleich zu 2015 (d. h. ohne Maßnahme); gefällt (Stubben) = Baum gefällt und entfernt (Variante 1); geworfen = Baum umgeworfen, Stehholz zu Liegholz (Varianten 2 & 3); geringelt = Stamm geringelt (Varianten 2 & 3); gefallen = ohne menschliches Eingreifen. 74

1. Einleitung

Die DBU Naturerbe GmbH ist für die naturschutzgerechte Betreuung von 71 **Naturerbeflächen** verantwortlich. Von den 70.000 Hektar DBU-Naturerbefläche sind rund 55.000 Hektar mit Wald bedeckt. Übergeordnetes Ziel ist es, Waldbestände möglichst schnell einer **natürlichen Entwicklung** zuzuführen. Naturnahe Laubwälder und ältere Kiefernbestände werden sofort aus der Nutzung genommen[1]. Allerdings sind rund 60 % der Wälder im DBU-Naturerbe mit artenarmen Nadelholzwäldern (v. a. Kiefer) bestockt. In diesen naturfernen Wäldern werden durch geeignete Maßnahmen der Entwicklungssteuerung die Strukturvielfalt verbessert, eine möglichst standortheimische Baumartenzusammensetzung unter Ausnutzung der Naturverjüngung angestrebt und die Artenvielfalt erhöht. Ein geeignetes Waldmanagement ist demnach von großer Bedeutung. Im Laufe der nächsten Jahrzehnte werden gemäß der naturnahen Waldentwicklungssteuerung der DBU Naturerbe GmbH die Nadelhölzer sowie nicht standortheimische Baumarten nach und nach entnommen, damit Laubbäume nachwachsen können[1]. Die umstehenden Bäume tragen dabei mit ihrer Saat oder durch Stockausschlag zur Waldverjüngung bei.

Im Zuge des von BMBF und BMU/BfN geförderten Forschungs- und Umsetzungsvorhabens „Wildnis Naturerbe“ (WiNat) soll unter anderem die experimentelle Erprobung von Maßnahmen zur E**rhöhung der Naturnähe von Kiefernreinbeständen** auf Flächen des Nationalen Naturerbes durchgeführt werden. Durch das „Experiment zur Waldrenaturierung" soll eine beschleunigte Annäherung von monotonen Kiefernforsten an naturnahe Zustände und Prozesse in Wäldern mit natürlicher Entwicklung eingeleitet werden. Ziel ist die **Wiederherstellung von Merkmalen reifer Wälder** (reife Waldentwicklungsstadien, *old growth attributes*[2]). Reife Wälder, die sich über lange Zeit nutzungsfrei entwickeln konnten, bieten z. B. Lebensraum für zahlreiche auf Totholz spezialisierte Tier-, Pflanzen- und Pilzarten, die in Wirtschaftswäldern fehlen. Mit der Wiederherstellung von strukturellen Attributen reifer Wälder soll nun die Basis für die Wiederherstellung von weiteren Eigenschaften, insbesondere im Hinblick auf Biodiversität und Ökosystemfunktionen, geschaffen werden. Die Maßnahmen sollen als Initialzündung für eine beschleunigte Waldentwicklung dienen. In dem Experiment sollen in verschiedenen Behandlungsvarianten die ökologische Effektivität von aktiven und passiven Maßnahmen der Waldrenaturierung in monotonen Kiefernreinbeständen untersucht werden:

- Durch die Erzeugung von Kronendachlücken soll ein naturnahes Störungsregimes vergleichbar mit reifen Waldentwicklungsstadien simuliert werden um die strukturelle Komplexität der Kiefernbestände zu erhöhen.
- Bei der Erzeugung von Kronendachlücken wird aktiv Totholz angereichert und das Absterben von Einzelbäumen gefördert.
- Der Effekt von Störungsereignissen in Verbindung mit Naturverjüngung wird erprobt, indem zusätzlich Laubbaumarten innerhalb der Lücken gepflanzt werden.
- Die aktiven Maßnahmen werden mit Kiefernforsten, deren Nutzung ohne Initialmaßnahmen direkt aufgegeben wird (passive Renaturierung) verglichen.

[1] DBU Naturerbe GmbH (2014): Naturnahe Waldentwicklung auf DBU-Naturerbeflächen - Grundsätze zur Entwicklungssteuerung.
[2] Bauhus, J., Puettmann, K., Messier, C. (2009): Silviculture for old-growth attributes. Forest Ecology and Management 258(4): 525-537.

Durch die künstlich angelegten Bestandeslücken werden kleinräumige Störungen – vergleichbar mit den Bedingungen in naturnahen Beständen – geschaffen[3]. Die vertikale und horizontale Bestandesstruktur als auch die Baumartenzusammensetzung werden dadurch abwechslungsreicher gestaltet; trotzdem bleiben auch die für old-growth-Bestände typischen geschlossenen Waldstrukturen mit dem typischen Waldinnenklima erhalten. Durch die geschaffenen Strukturen (liegendes und stehendes Totholz, Wurzelteller, Bodenverwundungen, veränderte Lichtbedingungen etc.) entstehen zahlreiche Habitate, die unter natürlichen Bedingungen Jahrzehnte für ihre Entstehung benötigt hätten.

Nach einer kurzen Literaturübersicht, wird in den folgenden Kapiteln das WiNat-Projekt vorgestellt und das Untersuchungsgebiet, der experimentelle Ansatz sowie die Methoden zur Datenerfassung im Experiment zur Waldrenaturierung beschrieben.

[3] Kuuluvainen, T., Aapala, K., Ahlroth, P., Kuusinen, M., Lindholm, T., Sallantaus, T., Siitonen, J., Tukia, H. (2002): Principles of ecological restoration of boreal forested ecosystems: Finland as an example. Silva Fennica 36(1): 409-422.

2. Waldrenaturierung in der Literatur

Durch die Renaturierung von stark anthropogen beeinflussten Wäldern soll die Naturnähe der Bestandesstruktur, der Artenzusammensetzung und des Störungsregimes verbessert werden. Laut Definition von Zerbe und Wiegleb (2009)[4] umfasst Renaturierung das „Erreichen eines naturnäheren Zustandes, d. h. eines Zustandes geringerer Nutzungs- bzw. Eingriffsintensität. Bei Aufhören der Nutzung ist dies verbunden mit dem Zulassen der natürlichen Sukzession […].“ Der konkrete Zielzustand eines naturnahen Waldes hängt stark von den gewählten **Referenzsystemen** ab. Als Referenz dienen in der Regel reife, ungestörte Wälder vergleichbarer Waldgesellschaften, die sich bei einem kleinräumigen Störungsregime entwickeln würden (*old growth attributes*[2]). Durch die Renaturierung sollen natürliche Prozesse initiiert werden, die zu stabilen, widerstandsfähigen Waldökosystemen gegenüber Störungen führen[5]. Die **strukturelle Komplexität** von Sekundär- und intensiv bewirtschafteten Wäldern kann durch die vertikale und horizontale Differenzierung des Kronendachs (Regenerationsmaßnahmen, Bestandeslücken), die Erhöhung des Totholzanteils sowie die Förderung des Wachstums größerer Bäume stark erhöht werden[6]. Diese Strategien werden als wesentlich effektiver (im Sinne von schneller im Zeitverlauf) eingeschätzt als wenn diese Wälder ohne Maßnahmen der natürlichen Entwicklung überlassen würden[2]. Bei traditionellen Formen der Forstwirtschaft, die lediglich auf die Regeneration der Bestände abzielen, werden Merkmale reifer Wälder durch den Verbleib von Einzelbäumen bei der Holzernte dagegen gar nicht gefördert.

Eine Übersicht der aktuellen **Waldrenaturierungsforschung**[7] zeigt, dass sowohl in den USA als auch in Skandinavien das natürliche Feuerregime in Nadelwaldbeständen nachgeahmt wird um die Wälder in einen naturnäheren Zustand zu überführen[8,9,10]. Die daraus resultierenden Sukzessionsprozesse werden gefördert und ggf. mit zusätzlichen Renaturierungsmaßnahmen wie z. B. Totholzanreicherung ergänzt. In einem Renaturierungsexperiment im Süden Finnlands soll beispielweise die natürliche Bestandesstruktur und Artenzusammensetzung von Fichtenbeständen (*Picea abies*) durch Baumfällungen, Totholzanreicherung und Waldbrand wiederhergestellt werden[11,12,8]. Durch die Waldbewirtschaftung der

---

[4] Zerbe, S. & Wiegleb, G. (2009): Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa. Berlin Heidelberg, Springer.

[5] Laarmann, D., Korjus, H., Sims, A., Kangur, A., Stanturf, J.A. (2013): Initial effects of restoring natural forest structures in Estonia. Forest Ecology and Management 304: 303-311.

[6] Keeton, W. S. (2006): Managing for late-successional/old-growth characteristics in northern hardwood-conifer forests. Forest Ecology and Management 235(1): 129-142.

[7] Wagner, S., Huth, F., Fischer, H. (2012): Konzeption eines DBU-Projektes zur Renaturierung von Kiefernreinbeständen - Abschlussbericht, TU Dresden. https://www.dbu.de/projekt_30108/_db_1036.html.

[8] Vanha-Majamaa, I., Lilja, S., Ryömä, R., Kotiaho, J. S., Laaka-Lindberg, S., Lindberg, H., Puttonen, P., Tamminen, P. Toivanen, T., Kuuluvainen,T. (2007): Rehabilitating boreal forest structure and species composition in Finland through logging, dead wood creation and fire: The EVO experiment. Forest Ecology and Management 250(1): 77-88.

[9] Laarmann, D., Korjus, H., Sims, A., Kangur, A., Stanturf, J.A. (2013): Initial effects of restoring natural forest structures in Estonia. Forest Ecology and Management 304: 303-311.

[10] Larson A.J., Churchill D. (2012): Tree spatial patterns in fire-frequent forests of western North America, including mechanisms of pattern formation and implications for designing fuel reduction and restoration treatments. Forest Ecology and Management 267: 74-92.

[11] Lilja, S., De Chantal, M., Kuuluvainen, T., Vanha-Majamaa, I., Puttonen, P. (2005): Restoring natural characteristics in managed Norway spruce [*Picea abies* (L.) Karst.] stands with partial cutting, dead wood creation and fire: immediate treatment effects. Scandinavian Journal of Forest Research 20(S6): 68-78.

[12] Eriksson, M., Lilja, S. Roininen, H. (2006): Dead wood creation and restoration burning: Implications for bark beetles and beetle induced tree deaths. Forest Ecology and Management 231(1): 205-213.

vergangenen Jahrzehnte haben sich gleichaltrige, artenarme Waldbestände mit einem geringen Totholzangebot entwickelt. Auf den für das Experiment ausgewählten Waldbeständen wurden die Behandlungsvarianten zufällig angeordnet und repliziert. Die Behandlungsvarianten unterscheiden sich hinsichtlich ihres Anteils an liegendem Totholz (0 m³ (Kontrolle), 5 m³, 30 m³, 60 m³ Totholz/ha). Zusätzlich wurden in jeder Behandlungsvariante der Einfluss von Waldbrandereignissen bzw. fehlendem Feuer untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass die natürliche Struktur und Diversität borealer Wälder durch die durchgeführten Maßnahmen wiederhergestellt werden kann. Obwohl Waldbrände zunächst einen negativen Einfluss auf vielen Artengruppen haben, wird angenommen, dass sich langfristig vor allem ein positiver Effekt zeigen wird.

Für Mitteleuropa gibt es kaum dokumentierte Waldrenaturierungsprojekte. Das hier beschriebene Experiment im Rahmen des WiNat-Projekts stellt wahrscheinlich das größte Renaturierungsexperiment in Deutschland dar. Ein auf 200 Jahre angelegtes Projekt in Schottland beschäftigt sich mit der Wiederherstellung verschiedenster Lebensräume auf über 60.000 ha im Cairngorms National Park (http://www.cairngormsconnect.org.uk/projects/restoration-projects). Auch hierbei spielt die Restrukturierung von Kiefernforsten durch Nachahmung von Stürmen und aktive Totholzanreicherung eine wichtige Rolle. Andere Versuchsansätze beschäftigen sich eher mit der Waldrekultivierung ehemaliger Agrarflächen oder Abbaugebieten[13,14]. Waldrenaturierung findet vor allem als Integration in den Wirtschaftswald durch naturnahen Wald(um)bau oder als Segregation in Schutzgebieten statt. Die großflächige Umsetzung ist im dicht besiedelten und zerschnittenen Mitteleuropa oft schwierig. Aktuelle Forschungsthemen in der europäischen Waldrenaturierung beschäftigen sich vor allem mit natürlichen Bestandesstrukturen (z. B. Totholz, Lückendynamik, Bestandesränder, Mischbaumarten etc.) und der von diesen Strukturen abhängigen Biodiversität[7]. Aus den Forschungsergebnissen werden Handlungsleitfäden abgeleitet wie beispielsweise die Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS)[15], umgesetzt im Bundesprogramm zur Biologischen Vielfalt, das auch das WiNat-Projekt fördert. Auch in der Fachliteratur werden Maßnahmenvorschläge zur Waldrenaturierung gemacht, die sich beispielsweise mit der Nachahmung des natürlichen Störungsregimes, der Waldstruktur oder Totholzangebot befassen[16]. Im Vergleich zu den USA oder Skandinavien spielen Waldbrände in den temperaten Laubwäldern Mitteleuropas kaum eine Rolle und werden auch nicht im Rahmen der Waldrenaturierung genutzt[17].

---

[13] Ammer, C., Burschel, P., Brunner, A. (1994): Erste Ergebnisse einer Untersuchung über die Eignung verschiedener Baumarten zur Rekultivierung von Tonabbauflächen. Forstwissenschaftliches Centralblatt vereinigt mit Tharandter forstliches Jahrbuch 113(1): 175-193.

[14] Fischer, A., Fischer, H. (2012): Restoration of Temperate Forests: An European Approach. Restoration Ecology: The New Frontier. J. van Andel and J. Aronson, Wiley-Blackwell: 145-160.

[15] Bundesministerium für Umwelt, Bau und Reaktorsicherheit (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/biologischevielfalt/Dokumente/broschuere_biolog_vielfalt_strategie_bf.pdf, 04.06.2019.

[16] Fischer, H., Huth, F., Hagemann, U., Wagner, S. (2015): Developing restoration strategies for temperate forests using natural regeneration processes. Restoration of boreal temperate forests, CRC Press, Boca Raton, USA: 103-164.

[17] Fischer, A., Marshall, P., Camp, A. (2013): Disturbances in deciduous temperate forest ecosystems of the northern hemisphere: their effects on both recent and future forest development. Biodiversity and Conservation 22(9): 1863-1893.

3. Methodik

3.1. Untersuchungsgebiet

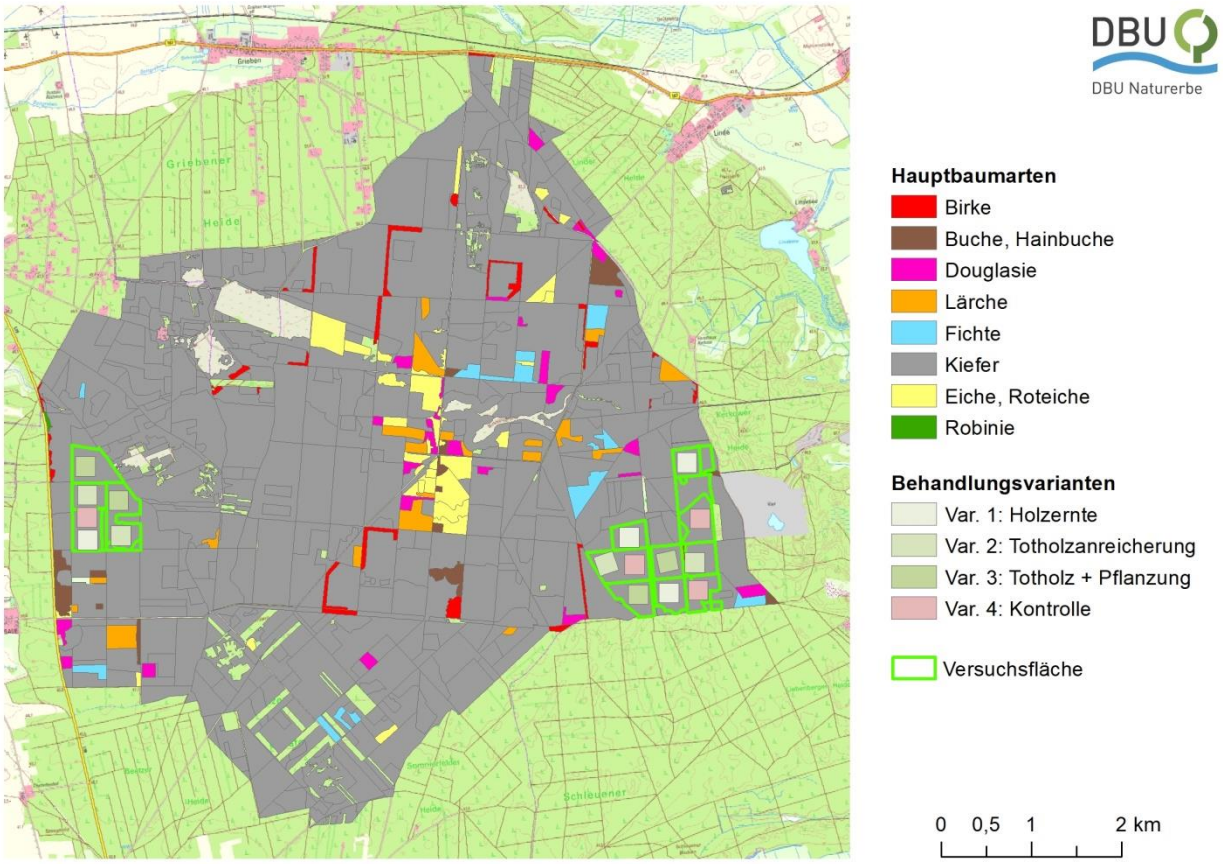

Abbildung 1: Hauptbaumartenverteilung der DBU-Naturerbefläche Rüthnicker Heide. Die Experimentflächen im Westen und Osten der Fläche sind grün markiert und zeigen die Behandlungsvarianten.

Die rund 3.900 ha große **DBU-Naturerbefläche Rüthnicker Heide** ist durch ein unzerschnittenes, großräumiges Waldgebiet charakterisiert. Abgesehen von einigen Laubwaldbeständen ist sie vor allem mit unter 80-jährigen Kiefernreinbeständen (*Pinus sylvestris*) bestockt (Abbildung 1). Im westlichen und östlichen Teil der Rüthnicker Heide wurden zwei vergleichbare Gebiete mit Kiefernreinbeständen mit einer Gesamtfläche von 185 ha ausgewählt. Dabei handelt es sich um Kiefernreinbestände mit i. d. R. 100 % Artenanteil und einem Bestandesalter < 80 Jahre (mittleres Bestandesalter 64 Jahre, Stand: Forsteinrichtung 2010). Es gibt im Untersuchungsgebiet zwei verschiedene geologische Substrate: a) Schmelzwassersedimente im Vorland von Eisrandlagen (Sander); b) Weichselzeitliches glazigenes Stauchungsgebiet. Entsprechend variieren die Bodenbedingungen leicht von mittelfrischen mäßig nährstoffhaltigen Sanden mit mäßig frischem Rohhumus bis zu mittelfrischen ziemlich armen Sanden mit mäßig frischem Rohhumus.

Tabelle 1: Bestandsbeschreibung der Waldbestände auf Basis der Forsteinrichtung (Mittelwerte, Stichtag 01.10.2010; die Bestände wurden seither nicht genutzt).

Variante	Anteil Kiefer [%]	Alter	Ertragsklasse	Bestockungsgrad	Vorrat/ha	Zuwachs/ha
1	97.5	64.5	1.3	0.9	231.3	6.2
2	100.0	63.5	1.1	0.9	234.8	6.4
3	100.0	62.8	1.1	0.9	231.8	6.4
4	96.0	64.2	1.2	0.9	247.6	6.3

3.2. Einrichtung der Probekreise

Um ein dauerhaftes und standardisiertes **Monitoring** im Experiment für Waldrenaturierung durchführen zu können, wurden in den ausgewählten Waldgebieten **permanente Stichprobenflächen** in Form von Probekreisen eingerichtet. Die Probekreise wurden in einem systematischen Raster angeordnet. Sowohl die Umsetzung der Behandlungsvarianten (siehe Kapitel 3.3) als auch die Datenerfassung war auf diese Weise einfach zu organisieren und reproduzierbar. Jede der vier Behandlungsvarianten sollte viermal repliziert werden. Daher wurde die Gesamtfläche von 185 ha in 16 Teilflächen (Plots) von jeweils mindestens 5 ha mit homogener Bestandesstruktur aufgeteilt. Mit Hilfe von GIS (ArcGIS, ESRI) wurde unter Verwendung der Flächenkarten als Shape-Datei (*.shp) ein systematischen Raster von neun Probekreisen (Anordnung 3 x 3) erstellt, welche später im Gelände eingemessen wurden. Auf der westlichen Experimentfläche befinden sich sechs, im östlichen Teil zehn Plots mit jeweils neun Probekreisen. Jeder Probekreis hat einen Radius von 17,84 m (= 0,1 ha, Horizontalprojektion, d. h. bei Hangneigung entspricht die Kreisfläche aus horizontaler Sicht im Gelände einer Ellipse). Der Abstand zwischen den Probekreismittelpunkten eines Plots beträgt 70 m. Damit entspricht der Abstand zwischen den Probekreisrändern ungefähr einer Baumlänge. Um Randeffekte auszuschließen, betrug der Abstand vom Probekreismittelpunkt zu befestigten Wegen und zum Bestandesrand 38 m. Pro Plot (mit entsprechenden Abständen zueinander und zu den Rändern) wurde eine Fläche von ca. 4,6 ha benötigt. Das Experiment besteht aus 16 Plots mit insgesamt 144 Probekreisen.

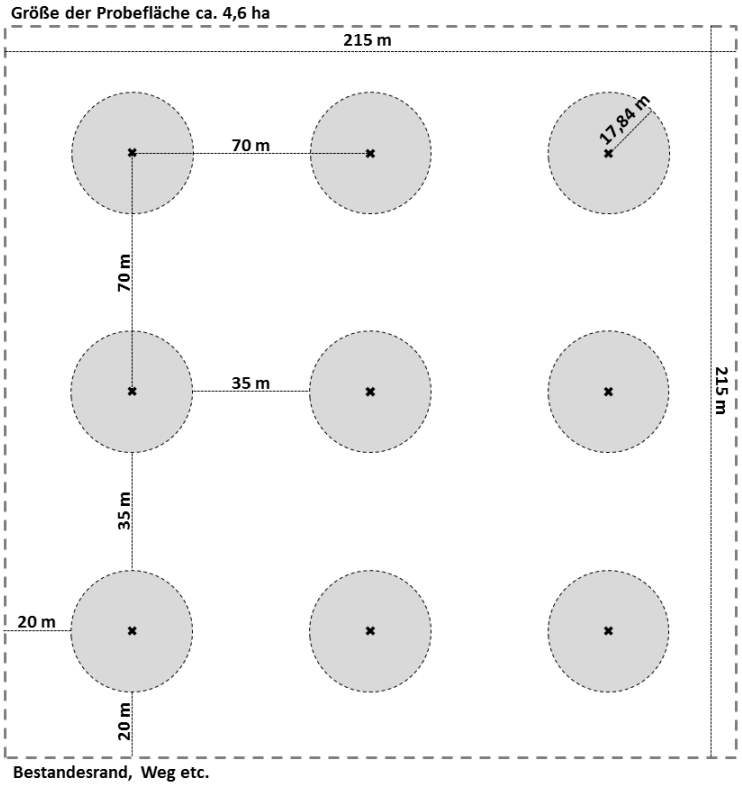

Abbildung 2: Aufbau eines Plots mit neun Probekreisen. Das Experiment besteht aus 16 Plots (vier Behandlungsvarianten jeweils viermal wiederholt).

Alle Probekreismittelpunkte wurden dauerhaft markiert um das Wiederauffinden zu gewährleisten. Da das Experiment zur Waldrenaturierung langfristig beobachtet werden soll, erfolgte die Markierung hier auf zweierlei Arten[18]:

- Ein Aluminium-Kreuzprofil (60–80 cm) wurde ca. 50 cm tief in den Boden eingeschlagen und mit einer gelben Kappe versehen, die das optische Wiederauffinden erleichtert (Abbildung 3a).
- Der Probekreismittelpunkt wurde zusätzlich mit einer elektronischen Unterflurmarke markiert, die ebenfalls ca. 50 cm in den Boden eingebracht wurde (Abbildung 3b). Mit Hilfe einer Suchsonde können die Punkte somit auch dann noch gefunden werden, wenn der sichtbare Aluminiumpflock nicht mehr vorhanden sein sollte. Hier wurde ein System verwendet, bei dem die Sonde spezifisch auf die Unterflurmarke reagiert und nicht auf im Boden befindliche Metallteile.

[18] Alle Materialien zur Markierung der Probekreismittelpunkte können über Fachhändler für Vermessungsbedarf bezogen werden.

a) b)

Foto: DBUNE Fotos: http://www.intermak.de/

Abbildung 3: a) Oberirdische Dauermarkierung eines Probekreismittelpunktes auf DBU-Naturerbeflächen, b) elektronische Unterflurmarke und Suchsonde.

3.3. Experimenteller Ansatz

Ziel des Experiments zur Waldrenaturierung ist die **Erprobung von Maßnahmen** zur Erhöhung der Naturnähe in Kiefernreinbeständen. Die Maßnahmen dienen als **Initialzündung** für eine beschleunigte natürliche Waldentwicklung hin zu reifen Waldentwicklungsstadien. Zu diesem Zweck erprobte das Experiment zur Waldrenaturierung vier verschiedene **Behandlungsvarianten** (Abbildung 4), die jeweils vierfach repliziert wurden. In drei Varianten wurden aktiv Maßnahmen umgesetzt; eine vierte Variante dientw als Kontrolle (passive Renaturierung).

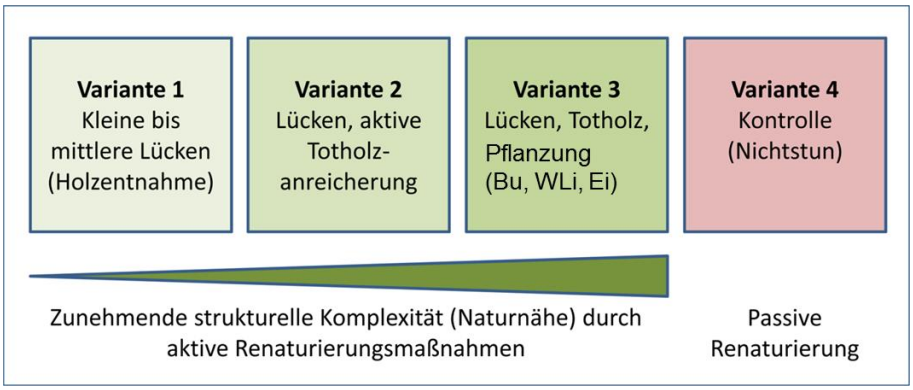

Abbildung 4: Experimenteller Ansatz zur Waldrenaturierung (Förderung von Merkmalen reifer Waldentwicklungsstadien) In den Varianten 1–3 wurde durch aktive Renaturierungsmaßnahmen eine zunehmende strukturelle Komplexität (Naturnähe) erzeugt; in Variante 4 wurde die Nutzung sofort aufgegeben (passive Renaturierung).

Auf jeder Untersuchungsfläche der Varianten 1–3 sollten 30 Lücken (jeweils zehn à 100, 250, 500 m²) entstehen (Abbildung 5). Die Lückenmittelpunkte wurden mithilfe des GIS zufällig auf den

Untersuchungsflächen verteilt (Generierung von Zufallspunkten (= Lückenmittelpunkte), Mindestabstand von 30 m zwischen den Lückenmittelpunkten). Die **verschiedenen Lückengrößen** wurden diesen Zufallspunkten zugeordnet. Ausgehend von den Lückenmittelpunkten wurden alle Bäume innerhalb eines der Lückengröße entsprechenden Radius je nach Behandlungsvariante unterschiedlich markiert. Ziel war es, etwa 20 % des Bestandes durch das Anlegen der Lücken aufzulichten. Dieser Wert entspricht dem Auflichtungsgrad einer üblichen Durchforstung auf DBU-Naturerbeflächen.

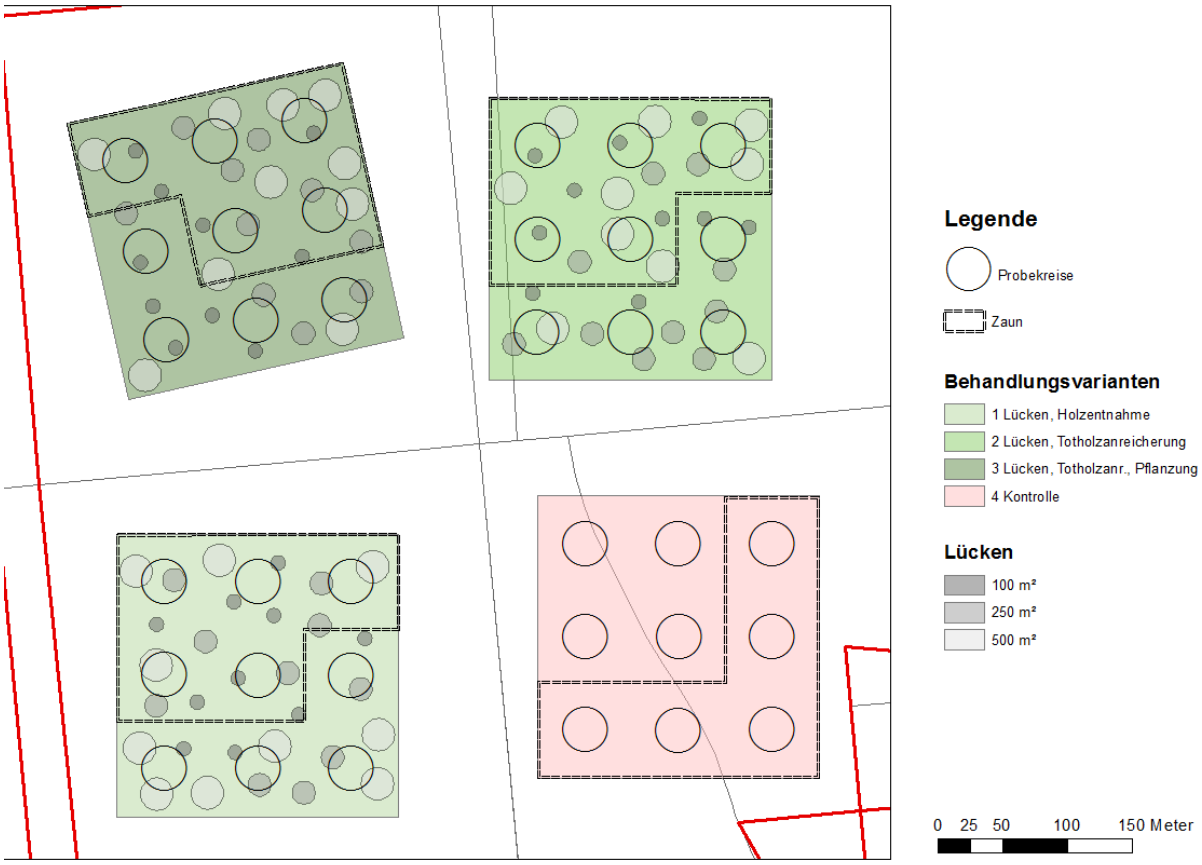

Abbildung 5: Darstellung der verschiedenen Lückengrößen (100, 250, 500 m²) in den Behandlungsvarianten.

Abbildung 6: Dokumentation der Maßnahmenumsetzung. A) Harvester bei der Arbeit (Foto: H. Schneider/DBU Naturerbe), B) Bestandeslücke in Variante 1, Holzernte (Foto: M. Kunze/Bundesforstbetrieb Westbrandenburg, C) Bestandesbild nach Umwerfen und Ringeln der Bäume in Variante 2 bzw. 3 (Foto: H. Schneider/DBU Naturerbe), D) Zauntrasse (Foto: H. Culmsee/DBU Naturerbe).

In den Plots der **Variante 1** wurden Bestandeslücken mit Größen von 100, 250 und 500 m² erzeugt (jeweils zehn Lücken pro Größe). Die Umsetzung erfolgte vollautomatisch mit dem Harvester (Abbildung 6). Das dabei anfallende Holz wurde gemäß einer üblichen **Holzernte** abtransportiert.

In **Variante 2** wurden ebenfalls Lücken nach o.g. Vorgaben erzeugt, allerdings ohne Holzentnahme. Stattdessen wurde mithilfe des Harvesters aktiv Totholz angereichert: 2/3 der zu entnehmenden Bäume wurden mechanisch umgeschoben (d. h. Erzeugung von liegendem Totholz mit offen liegenden Wurzeltellern), das verbleibende Drittel wurde geringelt um stehendes Totholz zu erzeugen.

In **Variante 3** wurde im Anschluss an die oben beschriebene **Totholzanreicherung** Pflanzungen von Buchen (*Fagus sylvatica*), Winterlinden (*Tilia cordata*), Eichen (*Quercus sp.*) (Verhältnis 50:30:20, Alter 2+0, Größe 30-50 cm) in Behandlungsvariante 3 durchgeführt um Naturverjüngung zu simulieren. Die Pflanzung erfolgte trupp- und gruppenweise im Herbst innerhalb der Lücken und am Lückenrand. Insgesamt wurden 10.000 Pflanzen (2.500 Pflanzen pro ha) aus autochthonen Herkünften gepflanzt.

Variante 4 dient der Kontrolle, es fanden keine Maßnahmen statt.

Aufgrund von geringen Unterschieden hinsichtlich des Standortes bzw. der Bestandesstruktur wurden die 16 Plots nach bestimmten Kriterien möglichst gleichmäßig auf die vier verschiedenen Varianten aufgeteilt (Tabelle 1). Gleiche Behandlungen wurden nicht unmittelbar nebeneinander angeordnet. Die

verschiedenen Varianten wurden außerdem möglichst gleichmäßig über beide Gebiete Ost und West verteilt (Abbildung 7).

Um den **Effekt des Wildverbisses** herauszufiltern, wurde jeder Plot zur Hälfte gezäunt (Abbildung 7). Dabei mussten die Probekreise jeweils immer komplett innerhalb oder außerhalb des Zauns liegen. Entsprechend wurden entweder vier oder fünf Probekreise gezäunt. Um die statistische Auswertbarkeit auf Grundlage gleicher Probekreiszahlen zu gewährleisten, war eine gleiche Anzahl von gezäunten und ungezäunten Probekreisen pro Variante und Altersklasse und Ost-West-Gebietsverteilung vorhanden.

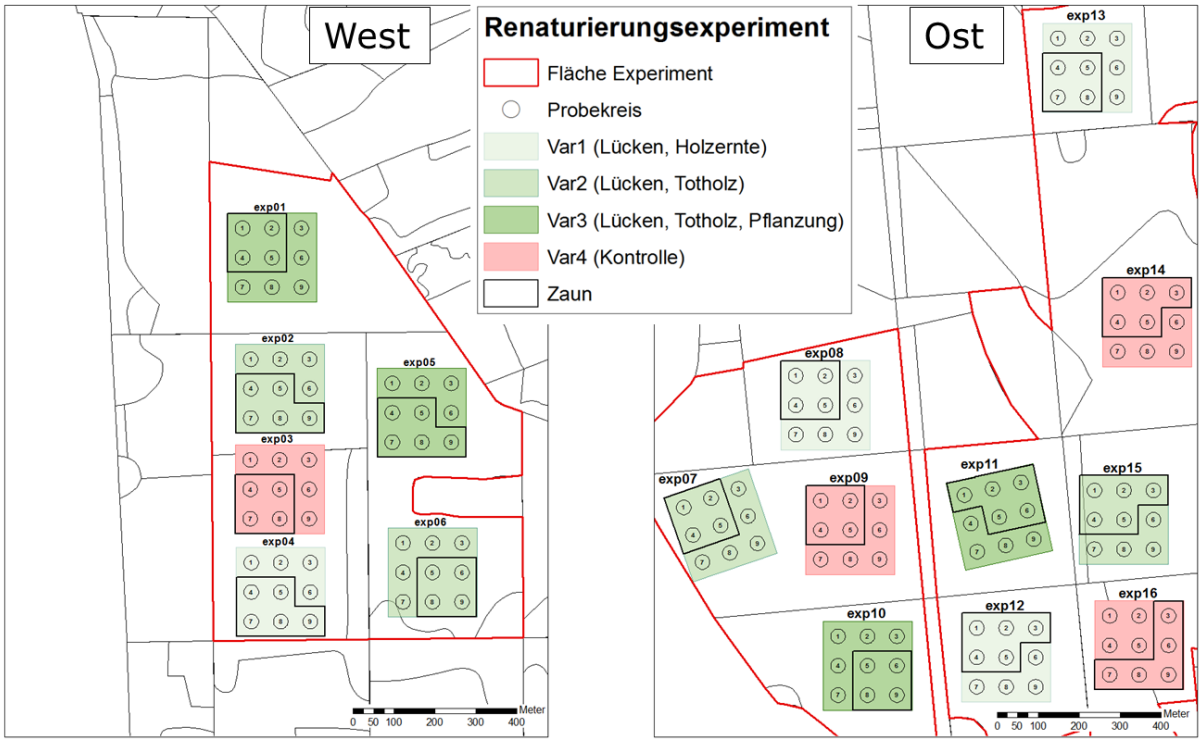

Abbildung 7: Verteilung der vier Behandlungsvarianten auf die Flächen im Westen und Osten der DBU-Naturerbefläche Rüthnicker Heide. Auch die Lage der Probekreise und der Zäune sind abgebildet.

3.4. Datenerfassung

Die im Folgenden vorgestellten Datenerfassungen wurden zum Großteil auf Ebene der Probekreise durchgeführt, jedoch kommen auch andere **Skalenebenen** vor:

- Die **Waldstruktur** (lebender Derbholzbestand, Totholz, Verjüngung auf Unterflächen) wurde auf allen Probekreisen erhoben. Diese dienten so auch als Grundlage für alle anderen Datenaufnahmen.
- Die Transekte für eine gesonderte Inventur von stehendem und liegendem Totholz und **Habitatstrukturen** wurden nach einem in Kapitel 3.4.2 vorgestellten Verfahren in der Fläche verteilt.
- Die Kartierung der **Krautschichtvegetation** fand auf Unterflächen auf allen Probekreisen statt.
- Die Inventur **xylobionter Käfer** bezog sich auf den gesamten Plot und wurde durch das Aufstellen von einer Falle pro Plot realisiert.
- Die Erfassung der **Pilzdiversität** fand auf einer Auswahl an drei Probekreisen statt und wurde durch eine standardisierte Begehung („random walk“) im gesamten Plot ergänzt.
- Veränderungen der **Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte des Bodens** wurden ausschließlich in Behandlungsvariante 1 (Holzentnahme) erfasst. Aus jeder der drei verschiedenen Lückengrößen (100, 250, 500 m²) wurden drei Lücken zufällig ausgewählt und jeweils vier Proben inner- und außerhalb der Lücken genommen (siehe Kapitel 3.4.4).

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die im Experiment zur Waldrenaturierung erhobenen Kenngrößen, deren Flächenumfang und Erfassungseinheiten. Außerdem werden die unterschiedlichen Wirkungszeiträume der Kenngrößen aus den Bereichen Struktur, Biodiversität und Waldfunktionen beschrieben. Die **Wirkungszeiträume** beschreiben die angenommene Reaktionszeit der erhobenen Kenngrößen auf sich verändernde Umweltbedingungen (insbesondere der Waldstruktur) im Zuge der Sukzession. Die Wirkungen sind kurzfristig (in 1-2 Jahren), mittelfristig (in bis zu 10 Jahren, d. h. entsprechend eines Forsteinrichtungs-Planungszeitraums) oder langfristig (in >10 Jahren, d. h. in Jahrzehnten bis Jahrhunderten) nachweisbar. Für die Biodiversitätskenngrößen wird erwartet, dass die Krautschichtvegetation und die xylobionten Käfer bereits kurzfristig auf Veränderungen reagieren. Pilze benötigen möglicherweise etwas länger um sich auf neue Bedingungen einzustellen, da viele relevante Arten auf das Vorhandensein von Totholz bzw. Habitatbäume in späteren Waldentwicklungsphasen angewiesen sind.

Anfang 2016 waren alle Behandlungsvarianten abgeschlossen (Ausnahme: Pflanzung im Herbst 2016). Für alle Kenngrößen wurden im Jahr 2015 **Nullaufnahmen** vor der Maßnahmenumsetzung durchgeführt um den Ausgangszustand festzustellen (Tabelle 3). Um erste Auswirkungen der unterschiedlichen Behandlungsvarianten quantifizieren zu können, wurden in den darauffolgenden zwei Jahren (2016 und 2017) **Wiederholungsaufnahmen** durchgeführt.

Tabelle 2: Kenngrößen der Kategorien Struktur (S), Biodiversität (B) und Funktion (F) sowie die Erfassungseinheit und der Zeitraum, in dem eine Wirkung erwartet wird (K: kurzfristig in 1-2 Jahren, M: mittelfristig in bis zu 10 Jahren oder L: langfristig in > 10 Jahren).

Kenngröße	Kategorie	Erfassungseinheit	Wirkungszeitraum
Waldstruktur	S	Probekreise	(K)-M-L
Totholz	S	Probekreise; Linientransekte	M-L
Habitatstrukturen	S	Probekreise; Linientransekte	M-L
Baumverjüngung	F	Je Probekreis: NO-Quadrant > 1,5 m; Unterfläche á 25 m² ≤ 1,5 m	K-M-L
Krautschicht-vegetation	B	Unterfläche á 100 m² je Probekreis	K-M-L
Xylobionte Käfer	B	1 Falle je Plot	K-M-L
Pilze	B	Auswahl Probekreise (n = 4); gesamter Plot	(K)-M-L
Bodenkohlenstoff-, -stickstoffvorrat	F	Behandlungsvariante 1, je 3 Lücken pro Größe, je 4 Proben inner- und außerhalb der Lücken	M-L

Tabelle 3: Zeitleiste der Maßnahmenumsetzung und der Datenerfassung

Jahr	Aktivität	
2015	Mai/Juli	Erfassung Waldstruktur (Nullaufnahme)
	Mai–Sept	Inventur xylobionte Käfer (Nullaufnahme)
	Mai–Okt	Inventur Pilze (Nullaufnahme)
	Juni/Juli	Erfassung Bodenvegetation (Nullaufnahme)
	Nov	Entnahme Bodenproben (Nullaufnahme)
	Nov/Dez	Transektkartierung Totholz/Sonderstrukturen (Nullaufnahme)
2016	*Jan/Feb*	*→ Umsetzung der Behandlungsvarianten (Varianten 1–3)*
	Mai–Sept	Inventur xylobionte Käfer (1. Wiederholung)
	Mai–Okt	Inventur Pilze (1. Wiederholung)
	Juli/Aug	Erfassung Bodenvegetation (1. Wiederholung)
	Nov	*→ Pflanzung (Variante 3)*
2017	Jan–März	Erfassung Waldstruktur (1. Wiederholung)
	März/April	Transektkartierung Totholz/Sonderstrukturen (1. Wiederholung)
	Mai–Sept	Inventur xylobionte Käfer (2. Wiederholung)
	Mai–Okt	Inventur Pilze (2. Wiederholung)
	Juli	Erfassung Bodenvegetation (2. Wiederholung)
2018	Juli	Erfassung Bodenvegetation (3. Wiederholung)
	Nov	Entnahme Bodenproben (1. Wiederholung)

3.4.1. Waldstrukturaufnahme

Ziel

Bei der Waldstrukturdatenerhebung werden der **lebende Derbholzbestand**, die **Totholzausstattung** sowie die **Baumartenverjüngung** erfasst. Auch **Habitatstrukturen** werden dabei mit aufgenommen. Die Inventur der Waldstruktur dient als Grundlage für weiterführende Untersuchungen, da der Altbestand, die Verjüngung sowie das Totholz die Lebensbedingungen anderer Waldorganismen stark beeinflussen[19]. Im Falle des Experiments zur Waldrenaturierung lassen sich die Effekte der verschiedenen Behandlungsvarianten insbesondere der Totholzanreicherung genau nachvollziehen.

Probeflächendesign

Die Aufnahme der Waldstruktur findet auf den zuvor ausgewiesenen Probekreisen statt (Abbildung 8). Die Gehölzverjüngung (lebende Gehölze außer Keimlinge < 7 cm BHD) wird nur im Nord-Ost-Quadranten des Probekreises erfasst.

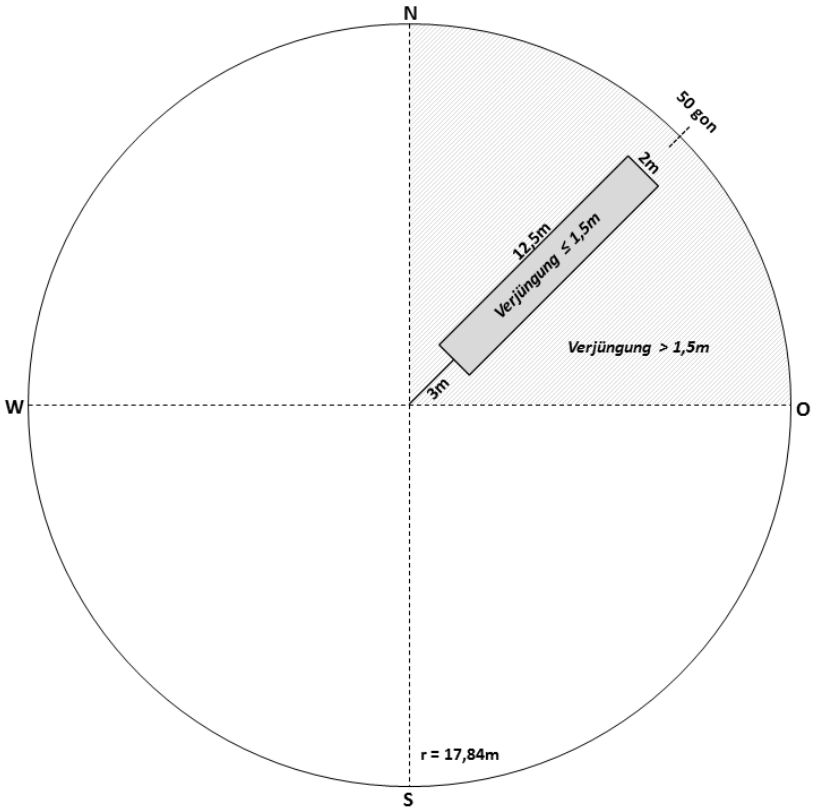

Abbildung 8: Die Erfassung des stehenden und liegenden Bestandes (lebend, tot) findet auf dem gesamten Probekreis statt, für die Verjüngungsaufnahmen wurden Unterflächen je nach Höhe der Verjüngung ausgewiesen.

[19] Meyer, P., Brößling, S., Bedarff, U., Schmidt, M. (2013): Monitoring von Waldstruktur und Vegetation in hessischen Naturwaldreservaten. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.

Der **lebende und tote Bestand** wird auf der gesamten Fläche der zuvor eingemessenen Probekreise aufgenommen. Dabei ist folgendes zu beachten:

- Erfasst werden alle stehenden Objekte ≥ 7 cm BHD, deren Mittelpunkt (Horizontalprojektion der Stammmitte) in Brusthöhe eine horizontale Entfernung von ≤ 17,84 m vom Mittelpunkt des Probekreises aufweist.
- Bei Stubben und Stümpfen ≤ 1,3 m Höhe ist die Entfernung in Objekthöhe maßgeblich.
- Der liegende Bestand umfasst alle linienhaften Gehölzobjekte, deren Längsachse ≤ 10 gon zur Horizontalebene geneigt ist. Es gibt keine untere Längengrenze für die Erfassung.
- Lebende Objekte werden ab einem BHD ≥ 7 cm und tote Objekte ab einem Durchmesser am stärkeren Ende ≥ 20 cm (mit Rinde, falls vorhanden) erfasst.

In den Probekreis hineinragende lebende, liegende Objekte werden nur mit dem Teil berücksichtigt, der sich auch wirklich innerhalb des Probekreises befindet. Den Probekreis kann man sich dementsprechend als **„ausgestanzte“ Aufnahmefläche** vorstellen (Abbildung 9).

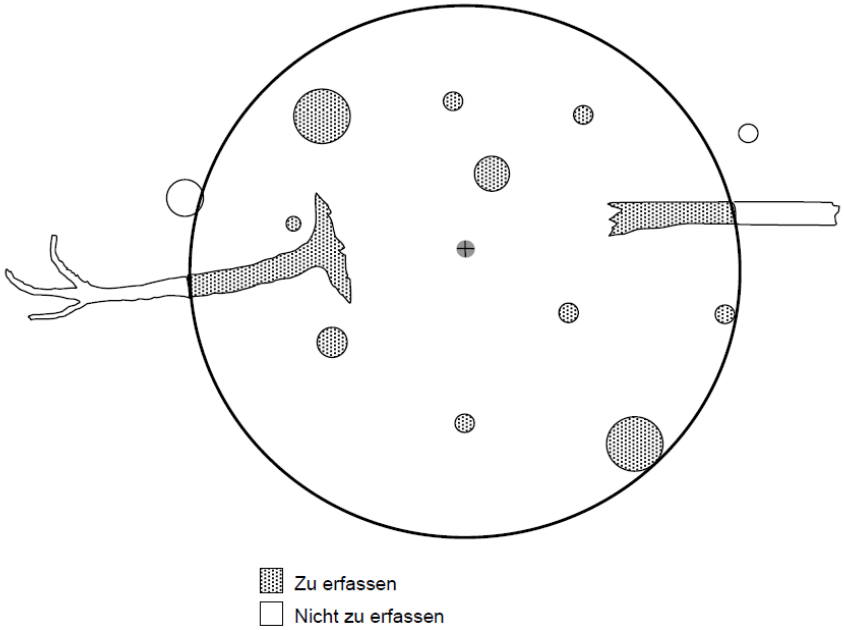

Abbildung 9: Die im Probekreis zu erfassenden bzw. nicht zu erfassenden Objekte bzw. Objektteile (aus Meyer et al. 2013[19]).

Um den Aufwand für die Erfassung der **Gehölzverjüngung** zu reduzieren, wurden je nach Höhe der Verjüngung Unterflächen auf dem gesamten Nord-Ost-Quadranten (Gehölze > 1,5 m) bzw. auf einem Transekt mit den Maßen 12,5 x 2 m (Abstand von 3 m zum Probekreismittelpunkt in nordöstlicher Richtung = 50 gon) (Gehölze < 1,5 m) in gleichen Viertelkreis angelegt (Abbildung 8). Der Nord-Ost-Quadrant bzw. das Transekt werden gut sichtbar im Gelände markiert. Zur Markierung des Transekts wird vom Probekreismittelpunkt in nord-östlicher Richtung (50 gon) entlang der Längsachse des Transekts ein Maßband bis in 15,5 m Entfernung ausgerollt. Der Anfang (3 m) und das Ende (15,5 m) des

Transekts werden entlang des Maßbandes mit Fluchtstangen vermarkt. Bestimmt, gezählt und gemessen werden alle Gehölze, deren Wurzelansatz sich innerhalb des jeweiligen Aufnahmekompartimentes befindet und deren BHD < 7 cm ist. Keimlinge werden nicht erfasst. Der Quadrant und das Transekt stellen wie beim Probekreis eine Horizontalprojektion dar.

Aufnahmemethode

Die Methode zur Erhebung der Waldstrukturdaten folgte im Wesentlichen der Aufnahmeanweisung für hessische Naturwaldreservate[19], enthält allerdings einige auf das Renaturierungsexperiment im Projekt „Wildnis Naturerbe“ (WiNat) zugeschnittene Abweichungen, insbesondere in Bezug auf das Probeflächendesign und die Verjüngungsaufnahmen.

Die Aufnahmen der Waldstruktur im Gelände wurden mit einem mobilen Aufnahmecomputer (Tablet-PC; hier: Getac F110) unter Verwendung der **Software „Field-Map“** (FM) der Firma IFER erfasst. Das FM-System stellt eine GIS-gestützte, relationale Datenbank dar, in die die Aufnahmewerte vor Ort eingegeben werden.

Das FM-System ist eine etablierte Methode mit folgenden Vorteilen:

- Eine nachträgliche Dateneingabe ist nicht mehr erforderlich.
- Die Voreinstellungen des Datenmodells sichern einheitliche Formate und korrekte Variablenzustände bei einfacher Eingabe bzw. Auswahl (z. B. Baumarten werden als Nummerncode verarbeitet, aber als Klartext aus einer Standardliste ausgewählt).
- Datenprüfung auf Plausibilität und Vollständigkeit erfolgt vor Ort, muss aber auch nach der Übertragung der Daten in Access bzw. Excel durchgeführt werden.

Die Visualisierung der Objektverteilung auf dem Probekreis erleichtert die Überprüfung der Aufnahme und das Wiederauffinden von Objekten bei der Wiederholungsaufnahme (Abbildung 10).

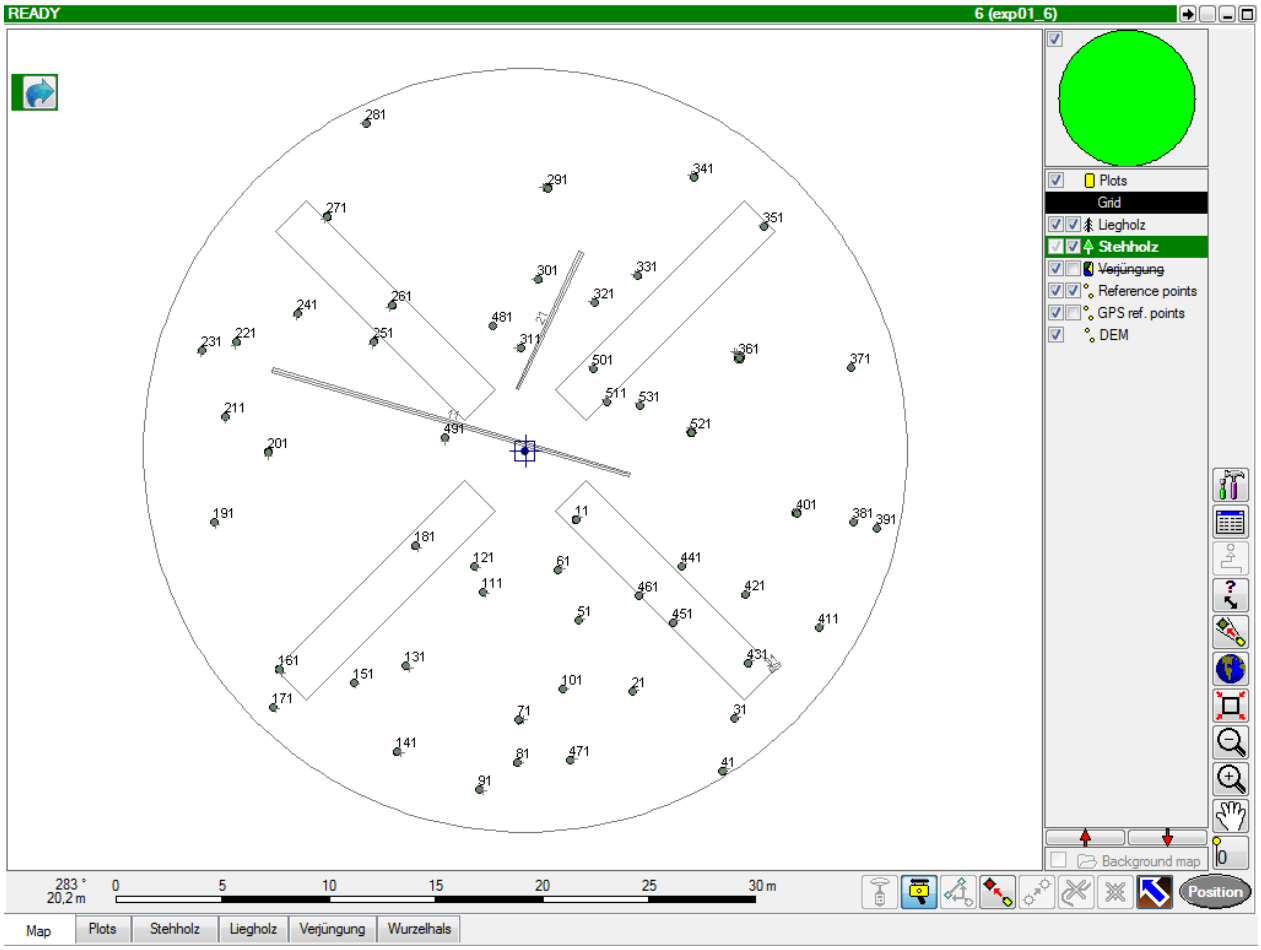

Abbildung 10: Übersichtskarte eines Probekreises vor Maßnahmenumsetzung mit allen erfassten stehenden und liegenden Objekten im Field-Map-Programm.

Im FM-Programm können spezifische Projekte für jede Waldstrukturaufnahme erstellt werden. Zur Darstellung des gesamten Untersuchungsgebietes können Karten der Waldflächen sowie die Koordinaten der Probekreismittelpunkte als Shape-Datei (*.shp) gespeichert werden. Auch vorhandene Daten von vorherigen Aufnahme (Probekreisinformationen, die Daten des stehenden und liegenden Bestandes) können dann in das Projekt eingelesen werden. Die Projekte gliedern sich in folgende Ebenen:

- Untersuchungsgebiet (Übersichtskarte)
- Probekreise (Eingabe von Informationen zu Neigung, Exposition, besonderen Strukturen etc.)
- Einzelobjekte (getrennt nach stehendem und liegendem Bestand, Verjüngung)

Für die Einzelobjekte können vorgegebene Variablen eingetragen werden (entweder manuell oder anhand von Look-up-Listen z. B. für Baumarten, Zersetzungsgrade etc.).

Die Aufnahmearbeiten erfolgen durch ein **Zwei-Personen-Team**. Die Aufnahme des stehenden und liegenden Bestandes sollte wegen der besseren Sichtverhältnisse möglichst in der laublosen Zeit stattfinden. Die Verjüngungsaufnahme wird, soweit es die Jahreszeit erlaubt, nach Möglichkeit zusammen mit der Aufnahme des liegenden und stehenden Bestandes durchgeführt.

Den einzelnen Kompartimenten werden jeweils bestimmte Aufnahmeparameter zugeordnet, die für jedes Einzelobjekt – mit Ausnahme des Verbissprozents, das eine Schätzung für die gesamte Verjüngung darstellt – erhoben werden (Tabelle 4).

Tabelle 4: Aufnahmeparameter bei der Waldstrukturaufnahme für den stehenden und liegenden Bestand und für die Verjüngung: √ = Erfassung für alle Objekte, (√) = Erfassung für einen Teil der Objekte, - = nicht erfasst (aus Meyer et al. 2013[19]).

Aufnahmeparameter (zusammengefasst)	**Stehender Bestand**		**Liegender Bestand**		**Verjüngung**
	Lebend	**Tot**	**Lebend**	**Tot**	**Lebend**
Anzahl	-	-	-	-	√
Azimut	√	√	√	√	-
Besonnung	-	√	-	√	-
wissenschaftlicher Artname	√	√	√	√	√
Durchmesser	√	√	√	√	-
Entfernung	√	√	√	√	-
Entstehung	-	-	-	-	√
Höhe	(√)	√	-	-	-
Höhenklasse	-	-	-	-	√
Kleinstrukturen	√	√	√	√	-
Kronenansatz	(√)	-	-	-	-
Lage	-	-	√	√	-
Messpunkt BHD	(√)	(√)	-	-	-
Messpunkt MPKT_D1	-	-	√	√	-
Messpunkt MPKT_ABST	-	-	√	√	-
Mortalitätsursache	-	√	-	(√)	-
Neigung	√	√	√	√	-
Nummer	√	√	√	√	-
Schicht	√	-	-	-	-
Verbissprozent	-	-	-	-	√
Zersetzungsgrad	-	√	-	√	-
Zustandstyp	√	√	√	√	-

a) Aufnahmemethode lebender Bestand

Für die Aufnahme des lebenden Bestandes stellt sich Person 1 des Aufnahmeteams mit den lotrecht ausgerichteten Messinstrumenten (Field-Map-System, Einbeinstativ mit Suunto-Bussole, Entfernungsmessgerät) in den Mittelpunkt des Probekreises. Die genaue Ausrichtung der Messgeräte von der Probekreismarkierung muss vorher genau festgelegt werden (z. B. immer nördlich der Markierung). Es ist zu beachten, dass die Messgeräte (Höhen- und Entfernungsmesser z. B. Vertex©, TruPulse© etc.) zu Beginn der Aufnahmen ggf. kalibriert und eingerichtet werden müssen (siehe dazu die Gebrauchsanweisungen der entsprechenden Messgeräte).

Person 1 gibt nachfolgend die Daten in den Tablet-PC ein (bzw. trägt die Daten in eine Papierliste ein) und führt die Azimut- und Entfernungsmessung durch. Person 2 des Aufnahmeteams sucht die zu messenden Objekte auf, führt die Neigungs- und BHD-Messung sowie einen Markierungsschnitt an der BHD-Messstelle (Sägeschnitt, rechtwinklig zur Stammachse, vom Mittelpunkt gesehen auf der linken Seite des Baums, zum späteren Wiederauffinden der Messstelle bei Wiederholungsinventuren) am Baum aus und meldet die ermittelten Daten an die eingebende Person 1.

Die aufzunehmenden Variablen sind in (Tabelle 5) zusammengefasst und werden im weiteren Verlauf näher beschrieben.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Aufnahmeparameter für den lebenden Derbholzbestand.

Aufnahmeparameter	Definition
Azimut	Winkel im Uhrzeigersinn, der die Abweichung von Norden angibt, gemessen in Neugrad (gon) (400 gon Bussole)
Geländeentfernung	Abstand in m vom Probekreismittelpunkt bis zum Baum in Höhe des BHD; maximal bis zur Probekreisgrenze oder zum Koordinatenmesspunkt
Neigung	Neigung vom Mittelpunkt zum Objekt, in % ermittelt; Haltepunkt ist z. B. Augenhöhe des Gegenübers (Körpergröße beachten)
Objektnummer	Permanente zweigliedrige Nummerierung bestehend aus Obernummer (= IDNR1) und Unternummer (= IDNR2), getrennt durch Punkt
Wissenschaftlicher Artname	Artname der erfassten Gehölzindividuen
Durchmesser	Stammdurchmesser in Brusthöhe (= 1,3 m), gemessen in mm Erster Durchmesser (liegender Bestand D1), gemessen in mm Zweiter Durchmesser (liegender Bestand D2), gemessen in mm Oberer Durchmesser (Stubben < 1,3 m), gemessen in mm
Messpunkt BHD	Höhe der Durchmessermessung an stehenden Bäumen
Messpunkt MPKT_D1	Position auf dem Liegholz, an dem der Durchmesser D1 gemessen wurde
Messpunkt MSPK_ABST	Abstand zwischen D1 und D2 in dm
Zustandstyp	Klassifikation der aufgenommenen Objekte nach den Kriterien Vitalität, Position und den vorhandenen Baumkomponenten
Höhe	Für einen Teil des Bestandes: Lotrechte Messung in m; erfolgt nach trigonometrischem Prinzip; alle Bäume ohne oder mit nicht vollständiger Krone messen; keine hängenden Bäume messen
Kronenansatz	Für einen Teil des Bestandes: Höhe des Kronenansatzes auf ganze Meter gemessen. Nur bei lebenden Gehölzobjekten
Kleinstrukturen/Habitate	Biodiversitätsrelevante Kleinstrukturen an (stehenden und liegenden) Gehölzobjekten im Derbholz
Schicht	Höhenschicht orientiert an der Oberhöhe (= h_o) des stehenden Bestandes
Lage	Freiliegen oder Aufliegen von liegenden Objekten
Bemerkung	Freier Eintrag von Hinweisen und Kommentaren

Azimut zwischen Probekreismittelpunkt und jeweiligem Objekt [in gon]. Zielpunkt für Azimut- und Entfernungsmessung ist die Baummitte in Brusthöhe. Die Brusthöhe wird in geneigtem Gelände von der Bergseite bestimmt. Person 2 stellt den Transponder beim Vertex© bzw. den Reflektor für den Laser als Peilungshilfe unmittelbar vor die Baummitte.

Lebende Objekte, deren Längsachse ≤ 10 gon zur Horizontalebene geneigt ist (= liegend), werden analog zum liegenden Totholz eingemessen (s. Kapitel b)). In den Abbildung 14 bis Abbildung 18 sind die Koordinaten-Messstellen für die unterschiedlichen liegenden Objekte grafisch dargestellt.

- Sonderfall: Bei schräg stehenden oder angeschobenen Bäumen ist der Transponder/Reflektor auf Höhe der BHD-Messstelle senkrecht aufzustellen, Zielpunkt zum Ablesen der Gon-Zahl ist hier das obere Ende des Transponder-/Reflektorstabes.

Geländeentfernung zwischen Probekreismittelpunkt und Objekt [in m]. Der Zielpunkt ist der Transponder/Reflektor an der Vorderseite der Baummitte in Brusthöhe. Steht der Baum im geneigten Gelände oberhalb des Probekreismittelpunktes, so muss der Transponder/Reflektor in Richtung des Mittelpunktes vor den Baum gehalten werden, dabei sollte sich der Transponder/Reflektor in der bergseitig gemessenen Höhe von 1,3 m Brusthöhe befinden. Im geneigten Gelände wird für jeden Einzelbaum die Hangneigung in Prozent ermittelt. Die gemessene Geländedistanz wird nach der Dateneingabe automatisch vom FM-Programm in Horizontaldistanz umgerechnet (Umrechnung s. Tabelle 6). Lebende Objekte, deren Längsachse ≤ 10 gon zur Horizontalebene geneigt ist (= liegend), werden analog zum liegenden Totholz eingemessen (s. Kapitel 3.4.1 b)).

Tabelle 6: Umrechnungstabelle Horizontalentfernung zu Geländeentfernung (aus Meyer et al. 2013[19]).

Probekreisrand								
gon	**12,62**	**17,84**	**gon**	**12,62**	**17,84**	**gon**	**12,62**	**17,84**
1	12,62	17,84	21	13,34	18,86	41	15,78	22,31
2	12,63	17,85	22	13,41	18,96	42	15,97	22,58
3	12,63	17,86	23	13,49	19,07	43	16,17	22,86
4	12,64	17,88	24	13,57	19,19	44	16,38	23,15
5	12,66	17,90	**25**	13,66	19,31	**45**	16,60	23,46
6	12,68	17,92	26	13,75	19,44	46	16,82	23,78
7	12,70	17,95	27	13,85	19,57	47	17,06	24,12
8	12,72	17,98	28	13,95	19,72	48	17,31	24,47
9	12,75	18,02	29	14,05	19,87	49	17,57	24,84
10	12,78	18,06	**30**	14,16	20,02	**50**	17,85	25,23
11	12,81	18,11	31	14,28	20,19	51	18,13	25,64
12	12,85	18,16	32	14,40	20,36	52	18,44	26,06
13	12,89	18,22	33	14,53	20,54	53	18,75	26,51
14	12,93	18,28	34	14,66	20,73	54	19,08	26,98
15	12,98	18,35	**35**	14,80	20,92	**55**	19,43	27,47
16	13,03	18,42	36	14,95	21,13	56	19,80	27,99
17	13,08	18,50	37	15,10	21,34	57	20,18	28,53
18	13,14	18,58	38	15,26	21,57	58	20,59	29,11
19	13,20	18,67	39	15,43	21,81	59	21,02	29,71
20	13,27	18,76	**40**	15,60	22,05	**60**	21,47	30,35

Neigung zwischen Probekreismittelpunkt und Objekt [in %]. Person 2, die sich am Objekt befindet, misst die Neigung (z. B. mit dem Suunto-Neigungsmesser oder Laser-Entfernungs- und Höhenmesser). Sind die Personen nicht gleich groß, ist ein Messpunkt am Körper von Person 1 zu vereinbaren, der der Augenhöhe von Person 2 entspricht. In geneigtem Gelände muss Person 2 auf der Bergseite des

jeweiligen Baumes stehen. Je nach Messgerät muss das Vorzeichen des Neigungswertes ggf. umgekehrt werden, um den entsprechenden Messwert vom Mittelpunkt aus gesehen zu erhalten. Sollte ein Baum außerhalb des Probekreises stehen, gibt das FM-System nach der Eingabe der Neigung eine entsprechende Meldung. Wird der Baumquerschnitt vom Probekreis geschnitten, so meldet das FM-System den BHD-Wert, den der Baum überschreiten muss, um sich mit seinem Mittelpunkt außerhalb des Probekreises zu befinden. Lebende Objekte, deren Längsachse ≤ 10 gon zur Horizontalebene geneigt ist (= liegend), werden analog zum liegenden Totholz eingemessen (s. Kapitel b)).

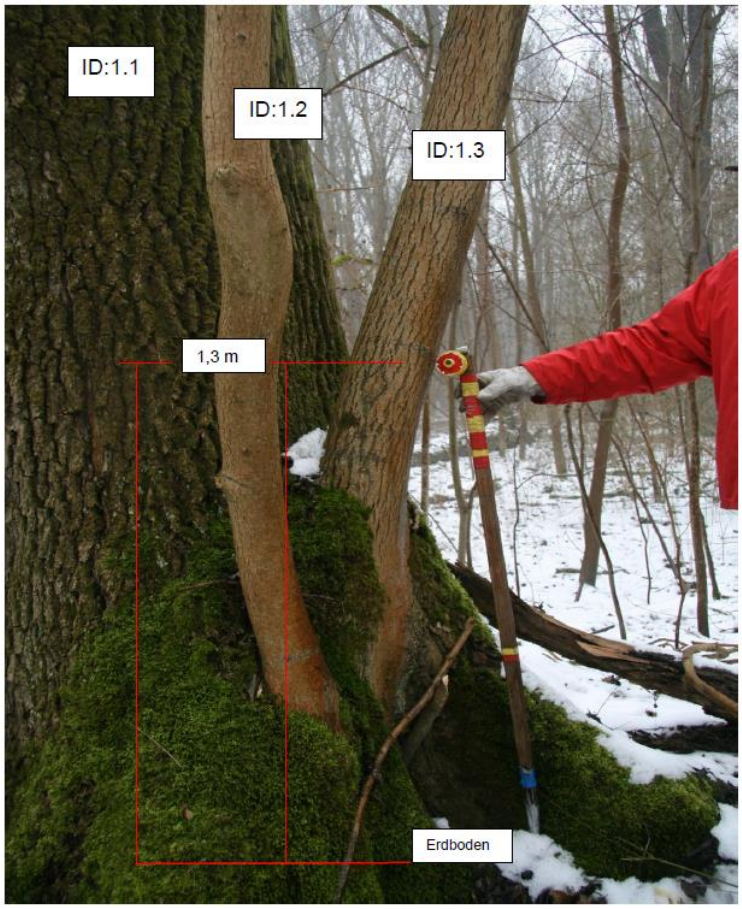

Abbildung 11: Darstellung der BHD-Messpunkte und der Nummerierung bei einem Baum mit Steilästen ≥ 7 cm Durchmesser (aus Meyer et al. 2013[19]).

Objektnummer (ID-Nummer), beginnend mit der **Obernummer** 1 im stehenden Bestand werden die Objekte in der Reihenfolge ihrer Erfassung fortlaufend nummeriert. Handelt es sich um einschäftige Objekte wie Kernwüchse oder ganze liegende Bäume, so erhält die **Unternummer** den Wert 1. Der erste aufgenommene, ungeteilte Baum erhält also die Objektnummer 1.1. Ist ein Baum unterhalb der Brusthöhe gegabelt, so wird jeder einzelne Stamm/Ast ≥ 7 cm BHD mit verschiedenen Unternummern verschlüsselt und erhält eigene Koordinaten. Das Ursprungsobjekt erhält immer die Unternummer 1 (Abbildung 11). Bei Stockausschlägen, Tiefzwieseln oder Bruchstücken von lebenden und toten Bäumen

werden die „Abkömmlinge“ des ursprünglichen Objektes beginnend mit der Unternummer 2 fortlaufend nummeriert. Das FM-System wählt eigenständig eine neue fortlaufende nummerische Zahlenfolge für jeden neu aufgenommen Baum aus. Nur in dem oben beschriebenen Fall, dass ein Baum in mehrere Einzelobjekte zu unterteilen ist, müssen die Nummern manuell angepasst werden.

Der **wissenschaftliche Artname** wird aus einer Standardliste ausgewählt. Wenn keine eindeutige Bestimmung der Art möglich ist, kann auch die Gattung verschlüsselt werden. Um Eindeutigkeit zu gewährleisten ist kann im FM-System ein dreistelliger Nummernschlüssel hinterlegt werden, mit dem die weiteren Auswertungen durchgeführt werden.

Durchmesser:

- **Brusthöhendurchmesser (BHD)** [in mm] wird an stehenden, lebenden Bäumen in der Regel in einer Höhe von 1,3 m gemessen. Der BHD wird mit einer Kluppe gemessen. Die Messschiene mit der Ableseskala muss auf den Mittelpunkt des Probekreises zeigen und die Kluppschenkel sind rechtwinklig zur Stammachse zu halten. Ist ein Baum unterhalb der Brusthöhe gegabelt, so wird der BHD von jedem einzelnen Stamm/Ast ≥ 7 cm ermittelt. Die Person 2 markiert die Messstelle mit der Zugsäge, ohne dabei den Bast zu verletzen. Die Messhöhe von 1,3 m ist nicht als statisch anzusehen: bei Beulen, dichter Beastung, Schäden, Tiefzwieseln etc. soll die Messstelle sinnvoll verschoben werden (i. d. R. nach oben), um eine realistische Messung zu erzielen (s. MPKT_BHD). In Fällen von Dichtstand, Tiefzwieseln etc. ist auch die Baum-Mess-Seite zu variieren (BHD von rechts). In diesen Fällen erfolgt eine Notiz in der Bemerkungsspalte.
    - Sonderfall: Befindet sich an einem Baum im Bereich der Stammbasis bis 1,3 m Höhe ein Steilast, Zwiesel o. ä., so ist dieser mit aufzunehmen, wenn er einen Durchmesser von ≥ 7 cm aufweist. Der Ansatzpunkt der Messstelle für den Durchmesser (BHD) dieses Objektes befindet sich in 1,3 m Höhe (Abbildung 11).
    - Sonderfall: Bei schräg stehenden Bäumen wird der BHD in 1,3 m Länge des Baumes vom Mittelpunkt der Wurzel gemessen. Der Mittelpunkt der Wurzel muss sich dabei aber nicht im Probekreis befinden, jedoch der BHD. Befindet sich die Wurzel im Probekreis, ragt aber die Messstelle über die Probekreisgrenze hinaus, dann wird der Baum nicht aufgenommen.
- **Erster Durchmesser** [in mm] wird bei liegenden, lebenden Objekte am Anfangspunkt bzw. bei Bäumen mit vorhandener Wurzel und einer Länge ≥ 1,3 m an der Stelle des BHD gemessen.
- **Zweiter Durchmesser** [in mm] wird bei liegenden, lebenden Objekte in 30 Dezimeter Entfernung vom ersten Durchmesser (Standardentfernung: 30 dm = 3 m) gemessen.

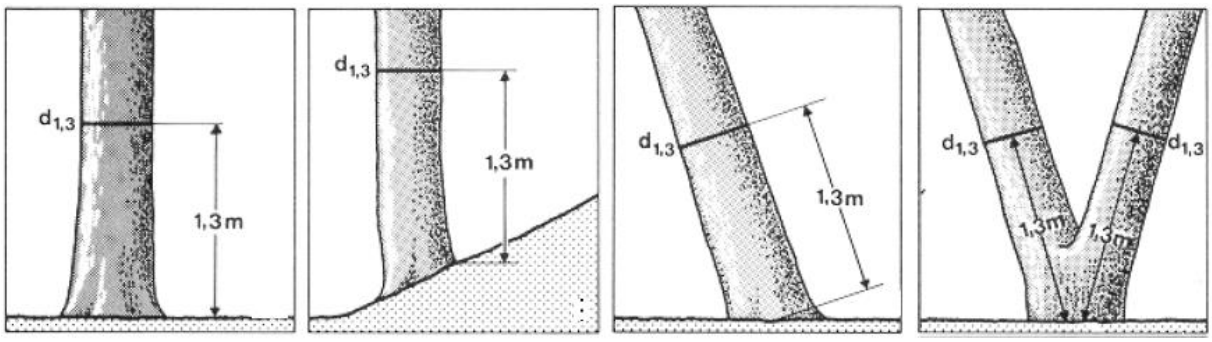

Abbildung 12: Definition der Brusthöhe (aus: Kramer und Akça 1996[20] verändert).

Messpunkt des BHD (MPKT-BHD) [in dm]: Wenn die Durchmessermessung in 1,3 m Höhe bedingt durch hohe Wurzelanläufe, Schäle oder andere Störungen nicht sinnvoll ist, wird die Messstelle auf eine Höhe von 0,5 m bis 2,3 m verschoben. Ein Eintrag in dieses Datenfeld ist nur im Fall einer Verschiebung der Messstelle erforderlich.

Messpunkte MPKT_D1 und MSPK_ABST: MPKT_D1 beschreibt die Messstelle des ersten Durchmessers. MPKT_ABST ist der Abstand von D2 zu D1 in Dezimetern. Bei lebenden Objekten mit einer Länge ≥ 1,3 m wird der erste Durchmesser an der Stelle des BHD gemessen. D2 ist anzugeben wie oben beschrieben. Bei lebenden Objekten mit einer Länge ≤ 1,3 m wird nur der obere Durchmesser gemessen und sowohl als D1 als auch als D2 eingegeben. Alle Messpunkte, auch wenn sie an den standardüblichen Stellen liegen, sind in die Felder MPKT_D1 und MPKT_ABST einzutragen.

In den Abbildung 14 bis Abbildung 18 sind die Durchmesser-Messstellen für die unterschiedlichen liegenden Objekte grafisch dargestellt. In dem dazugehörigen Kasten sind die möglichen Objekttypen mit Aufnahmeparametern und Klasseneinteilung erläutert.

Zustandstyp (Klasse) des jeweiligen Objektes; dabei setzt sich die Klasse aus drei Klassifikationen zusammen:

(1) Lebensklasse (LKL) z. B. lebend = L

(2) Positionsklasse (PKL) z. B. stehend = S

(3) Kompartimentsklasse (KKL) z. B. vollständig = v

Die Bestimmung erfolgt nach Tabelle 7.

[20] Kramer, H. & Akça, A (1995): Leitfaden zur Waldmesslehre. Frankfurt.

Tabelle 7: Schlüssel zur Klassifikation der oberirdischen Gehölzobjekte des Derbholzbestandes (aus Meyer et al. 2013[19]).

Nr.	Kriterien	Klassenzuordnung			Weiter zu Nr.
		LKL	PKL	KKL	
1	Objekt eindeutig lebend	L			3
	Nicht so				2
2	Objekt eindeutig tot	T			5
	Keine eindeutige Zuordnung	A			3
3	Senkrecht stehend (> 10 gon zur Horizontalebene)	L/A	S		4
	Liegend (≤ 10 gon zur Horizontalebene)	L/A	L		4
4	Keine relevanten Kronen- und/oder Starkastverluste (< 25 % der Krone)	L/A	S/L	v	-
	Relevante Kronen- und/oder Starkastverluste (≥ 25 % der Krone) WICHTIG: darunter ist nicht das Zurücktrocknen unterständiger Bäume zu verstehen, diese werden als LSv verschlüsselt	L/A	S/L	(v)	-
	Senkrecht stehender Stammbruch ≥ 1,3 m mit lebendem Reststumpf (vitale Borke, lebende Knospen an Ästen)	L/A	S	s	-
	Stubben < 1,3 m mit und ohne Stockausschlag mit eindeutig vitaler Borke	L/A	S	(s)	-
5	Senkrecht stehend (s. o. 3)	T	S		8
	Liegend (s. o. 4)	T	L		7
7	Baumkomponenten (Wurzel, Stamm(stück), Krone) unterscheidbar	T	L		8
	Baumkomponenten nicht unterscheidbar	T	L	s	-
8	Alle Baumkomponenten zumindest in Teilen vorhanden (Wurzel, Stamm, Krone (mit Grobästen und Feinreisig)	T	S/L	v	-
	Alle Baumkomponenten zumindest in Teilen vorhanden, aber Feinreisig fehlend	T	S/L	(v)	
	Mindestens eine Komponente fehlend				9
9	Stamm(stück) und Kronen(stück), Wurzel abgetrennt	T	L	sk	-
	Nicht so	T	S/L		10
10	Wurzelteller und Stammstück (Höhe Stammstück ≥ 0,3 m), Wurzelteller z. T. oder ganz aus dem Boden gehoben	T	L	ws	-
	Einzelkomponente	T	S/L	-	11
11	Wurzelteller (Höhe Stammstück, falls vorhanden < 0,3 m)	T	S/L	w	
	Kein Wurzelteller	T	S/L		12
12	Stammstück oder Starkast (auch die aus dem Kronenbereich des stehenden Bestandes stammenden Objekte)	T	S/L		13
	Krone oder Kronenteil (außer einzelnen Starkästen aus dem Kronenbereich des stehenden Bestandes)	T	S/L	k	-
13	Stubben (= Stümpfe < 1,3 m Höhe)	T	S	(s)	-
	Starkast, Stammteil oder Stumpf (im Boden steckende Splitterstücke werden als liegend angesprochen)	T	S/L	s	-

Baumhöhe [in m]: Für jede häufig vertretene Baumart sollen mindestens 3 Höhenmessungen je Probekreis durchgeführt werden. Messungen mit ausreichender Genauigkeit sind bei Laubbäumen i.d.R. nur im laublosen Zustand möglich. Bei der Höhenmessung ist es wichtig, nicht unmittelbar den Kronenrand anzupeilen (Abbildung 13). Die gemessenen Bäume sollen die gegebene BHD-Spanne und Bestandesschichten möglichst gleichmäßig abdecken. Bei seltenen Baumarten (weniger als 30 Bäume je Art im gesamten Untersuchungsgebiet) und bei in der Folgeaufnahme ins Derbholz eingewachsenen und deshalb neu eingemessenen Bäumen, sind alle vorhandenen Individuen zu messen.

Vollständige Höhenmessungen, d. h. für jedes Objekt, sind ebenfalls für lebende Stümpfe (Klassen = LS(s), LSs) und alle lebenden Bäume mit starkem Kronenverlust (Klassen = LS(v), AS(v)) durchzuführen. Bei Wiederholungsaufnahmen sind die Bäume, die bereits Höhenwerte aus der Altaufnahme besitzen, den Bäumen ohne Höhenwerte vorzuziehen.

Bei lebenden Bäumen mit abgestorbener Spitze, erfolgt die Höhenmessung nur für den lebenden Bereich. Darüber herausragende tote Baumteile werden nicht berücksichtigt!

Die Höhenmessungen sollten möglichst gleichmäßig auf die Baumarten und Durchmesser des Bestandes verteilt werden. Das FM-System bietet eine entsprechende Unterstützung an. Es zeigt Durchmesserverteilungen und Höhenkurven von der derzeit vorliegenden Aufnahme an und kann auch nach Baumarten getrennt dargestellt werden.

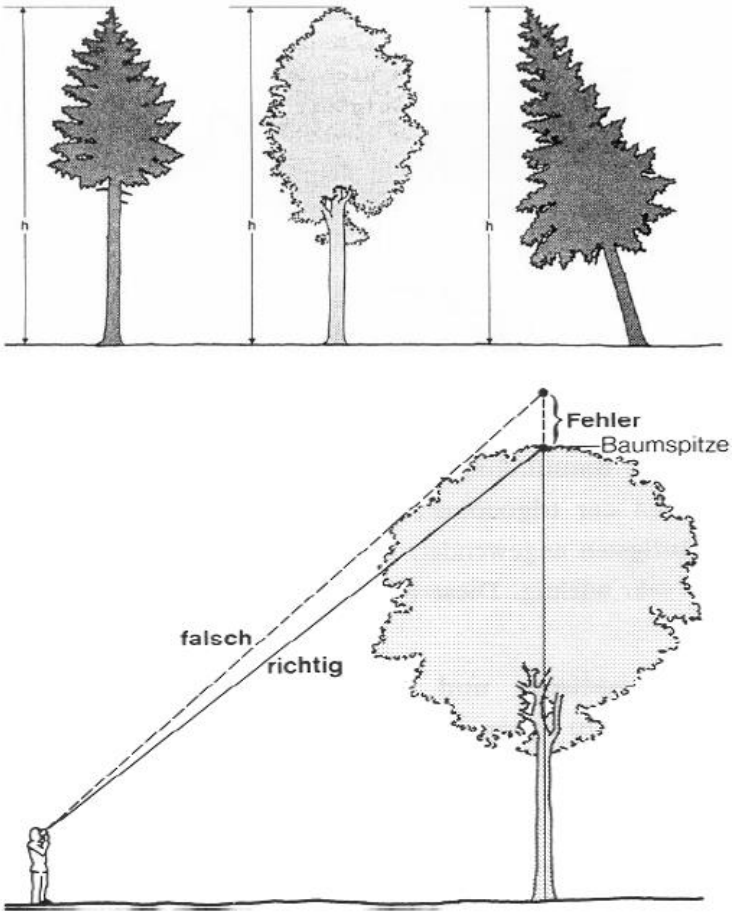

Abbildung 13: Definition der Baumhöhe und Technik der Höhenmessung (aus: Kramer u. Akça 1996[20], verändert).

Kronenansatz: Die Höhe des Kronenansatzes wird bei allen lebenden Höhenmessbäumen bestimmt und bezieht sich ausschließlich auf die Primärkrone. Wasserreiser und Klebäste bleiben unberücksichtigt. Bei Nadelholz wird der Ansatz des untersten Quirls mit mindestens 3 grünen Ästen (Ausnahme: alte Kiefern) gemessen. Bei Laubholz und alten Kiefern wird der Ansatz des ersten grünen Primärastes (Primärkrone) gemessen.

Kleinstrukturen/Habitate:

- Rindenverletzung: Nicht überwallte, rindenlose Störstellen an der Stammoberfläche (≥ 10 cm Länge oder Breite), wie z. B. Schlag- oder Fällschäden, Schälstellen, offene Risse, Rindentaschen oder Blitzrisse etc.
- Stammhöhle oberhalb 50 cm Höhe und unterhalb der Krone: Stammverletzung mit erkennbarer Hohlraumbildung, z. B. Asthöhle (durch Astabbruch und Morschung entstanden), Spechtlöcher und -höhlen, Höhle mit oder ohne Mulmsubstrat, ausgehöhlter Stamm etc.
- Stammfußhöhle unterhalb 50 cm Höhe: Verletzungen des Baumes im unmittelbaren Stammfußbereich, z. B. Rückeschäden, Aushöhlungen durch Pilzbefall etc.
- Konsolenpilze: Pilzkonsolen (mehrjährige, lebende, tote oder stark zersetzte Fruchtkörper) von z. B. Zunderschwamm, Rotrandiger Baumschwamm, Schwefelporling, Trameten etc. erkennbar (Artangaben, Alter und Zustand werden nicht berücksichtigt)
- Schleimfluss/Nekrosen: lokales Absterben und Aufplatzen der Rinde, teilweise mit Saftausfluss, auch nekrotische Veränderung und Aufbauchungen bei Buche (mehrere Austrittstellen müssen deutlich sichtbar sein)
- Moose/Flechten: Decken aus Moosen u./o. Blatt-/Strauchflechten. Bei stehenden Bäumen werden die unteren 3 m, bei liegenden Objekten die Oberseiten auf ganzer Länge angesprochen. Das Merkmal wird erst ab 33 % Bedeckung der Stammoberfläche mit Moosen oder Flechten vergeben.

Schicht: Einordnung der lebenden und absterbenden Einzelbäume in die Ober-, Mittel- und Unterschicht bezogen auf alle Baumarten innerhalb eines Probekreises:

OBER = Oberschicht: Höhe $\geq 2/3\ h_o$

MITTE = Mittelschicht: Höhe $\geq 1/2$ und $< 2/3\ h_o$

UNTER = Unterschicht: Höhe $< 1/2\ h_o$

UEBER = Überhälter

<u>Sonderfall</u>: Setzt sich der Derbholzbestand auf einem Probekreis aus zwei oder mehreren Bestandestypen zusammen, z. B. Altbestand und Stangenholz, ist die Schicht-Ansprache für jeden einzelnen Bestandestyp vorzunehmen.

Lage: Bei lebenden, liegenden Objekten anzusprechen; Klassifizierung nach:

VOLL = voll aufliegend

WVIE = < ¼ der Länge aufliegend

FREI = > ¼ der Länge aufliegend oder freischwebend

b) Aufnahmemethode liegendes/stehendes Totholz

Die Aufnahme des Totholzes schließt sich unmittelbar an die Erfassung des lebenden Bestandes an. Die Erfassung erfolgt wieder im 2-Personen-Team mit der gleichen Aufstellung wie bei der Erfassung des lebenden Derbholzbestandes (s. Kapitel a) Aufnahmemethode lebender Bestand).

Die aufzunehmenden Variablen sind in Tabelle 8 zusammengefasst und werden im weiteren Verlauf näher beschrieben.

Tabelle 8: Aufnahmeparameter für das Totholz.

Aufnahmeparameter	**Definition**
Azimut	Winkel im Uhrzeigersinn, der die Abweichung von Norden angibt, gemessen in Neugrad (gon) (400 gon Bussole)
Geländeentfernung	Abstand in m vom Probekreismittelpunkt bis zum Baum in Höhe des BHD; ; maximal bis zur Probekreisgrenze oder zum Koordinatenmesspunkt
Neigung	Neigung vom Mittelpunkt zum Objekt, in % ermittelt; Haltepunkt ist z. B. Augenhöhe des Gegenübers (Körpergröße beachten)
Objektnummer	Permanente zweigliedrige Nummerierung bestehend aus Obernummer (=IDNR1) und Unternummer (=IDNR2), getrennt durch Punkt
Wissenschaftlicher Artname	Art der erfassten Gehölzindividuen
Durchmesser	– Stammdurchmesser in Brusthöhe (= 1,3 m), gemessen in mm – Erster Durchmesser (liegender Bestand D1), gemessen in mm – Zweiter Durchmesser (liegender Bestand D2), gemessen in mm – Oberer Durchmesser (Stubben < 1,3 m), gemessen in mm
Messpunkt BHD	Höhe der Durchmessermessung an stehenden Bäumen
Messpunkt MPKT_D1	Position auf dem Liegholz, wo der Durchmesser D1 gemessen wurde
Messpunkt MSPK_ABST	Abstand zwischen D1 und D2 in dm
Zustandstyp	Klassifikation der aufgenommenen Objekte nach den Kriterien Vitalität, Position und den vorhandenen Baumkomponenten
Höhe	Lotrechte Messung in m; erfolgt nach trigonometrischem Prinzip; alle Bäume ohne oder mit nicht vollständiger Krone messen; keine hängenden Bäume messen
Kleinstrukturen/Habitate	Biodiversitätsrelevante Kleinstrukturen an (stehenden und liegenden) Gehölzobjekten im Derbholz
Lage	Freiliegen oder Aufliegen von liegenden Objekten
Mortalitätsursache	Grobe Klassifikation der Sterbeursache
Besonnung	Einschätzung der Besonnung von Totholz in drei Stufen
Zersetzungsgrad	Zersetzungsfortschritt stehenden und liegenden Totholzes
Bemerkung	Freier Eintrag von Hinweisen und Kommentaren

Azimutwerte des Fuß- und Wipfelpunktes [in gon] für das liegende Totholz. Der End- oder Wipfelpunkt ist bei über die Probekreisgrenze hinausragenden Objekten immer der Schnittpunkt mit der Probekreisgrenze. Der Anfangspunkt bei über die Probekreisgrenze hineinfallenden Objekten ist immer der Schnittpunkt mit der Probekreisgrenze.

Der Azimut des stehenden Totholzes wird analog zum stehenden, lebenden Derbholz gemessen. In den Abbildung 14 bis Abbildung 18 sind die Koordinaten-Messstellen für die unterschiedlichen liegenden Objekte grafisch dargestellt.

- Sonderfall: Häufig sind durch Holznutzung entstandene Stubben von liegenden oder angeschobenen Bäumen teilweise oder komplett aus der Erde gerissen worden. Diese schräg stehenden oder liegenden Stubben werden theoretisch wieder aufgerichtet und auf ihrem alten Standpunkt eingemessen. Bei Stubben, deren oberer Durchmesser aus anderen Gründen von der Vertikalen (oder: von der vertikalen Stammachse) abweicht, (schräger Wuchs durch Konkurrenzdruck, ehemals angeschobene Bäume, die sich wieder fest verwurzelt haben etc.), ist der Mittelpunkt des oberen Durchmessers als Standpunkt aufzunehmen. Dieser Positionspunkt ist maßgebend für die Zugehörigkeit zum Baumkollektiv des Probekreises.

Geländeentfernung zwischen Probekreismittelpunkt und Fuß- und Wipfelpunkt des liegenden Totholzes. Die Entfernung des stehenden Totholzes vom Probekreismittelpunkt wird analog zum stehenden, lebenden Derbholz gemessen.

Neigung zwischen Probekreismittelpunkt und Fuß- bzw. Wipfelpunkt [in %]. Person 2, die sich am Objekt befindet, misst die Neigung, indem sie mit dem z. B. mit dem Suunto-Neigungsmesser oder Laser-Entfernungs- und Höhenmesser die Augen von Person 1 anvisiert. Sind die Personen nicht gleich groß, ist ein anderer Messpunkt an Person 1 zu vereinbaren. Das Vorzeichen des Neigungswertes wird umgekehrt, um den entsprechenden Messwert vom Mittelpunkt aus gesehen zu erhalten. Die Geländeneigung für das stehende Totholz wird analog zum stehenden, lebenden Derbholz gemessen.

Objektnummer (ID-Nummer): Befindet sich ein liegendes Objekt auf dem Probekreis, welches keinem anderen vorhandenen Objekt auf dem Probekreis (liegender oder stehender Bestand) zugeordnet werden kann, so beginnt die Vergabe der ID mit der Nummer 501.1 (**Obernummer** 501 + **Unternummer** 1). Jedes weitere Objekt, das diesem zugeordnet werden kann, erhält als letzte Ziffer (Unternummer) eine fortlaufende Nummer. Im FM-System können maximal neun Unternummern einer Obernummer zugeordnet werden. Falls die Unternummern eins bis neun nicht ausreichen, muss die von FM vorgegebene nächste Obernummer verwendet werden. Dieses ist in den Bemerkungen zu notieren. Objektnummern für stehendes Totholz werden analog zum stehenden, lebenden Derbholz vergeben. Das erste aufgenommene, ungeteilte stehende Totholz erhält also die Objektnummer 1.1.

Die Zuordnung der **wissenschaftlichen Artnamen** erfolgt analog zum lebenden Derbholz.

Durchmesser:

Die Durchmessermessung bei liegendem und stehendem Totholz erfolgt analog zu lebenden Derbholz (s. Kapitel 3.4.1 a)). Zusätzlich wird bei Stubben der obere Durchmesser gemessen.

- **Brusthöhendurchmesser** (BHD): Bei stehendem Totholz mit einer Höhe ≥ 1,3 m wird der BHD analog zum stehenden, lebenden Bestand gemessen.
- **Erster Durchmesser** [in mm] am Anfangspunkt, bzw. bei Bäumen mit vorhandener Wurzel bei 1,3 m zu messen.
- **Zweiter Durchmesser** [in mm] in 30 Dezimeter Entfernung vom ersten Durchmesser (Standardentfernung: 30 dm = 3 m) zu messen.
- **Oberer Durchmesser** (Stubben < 1,3 m), gemessen in mm

Messpunkt des BHD (MPKT-BHD) [in dm]: Wenn die Durchmessermessung in 1,3 m Höhe bedingt durch hohe Wurzelanläufe, Schäle oder andere Störungen nicht sinnvoll ist, wird die Messstelle auf eine Höhe von 0,5 m bis 2,3 m verschoben. Ein Eintrag in dieses Datenfeld ist nur im Fall einer Verschiebung der Messstelle erforderlich.

Messpunkte MPKT_D1 und MSPK_ABST: MPKT_D1 beschreibt die Messstelle des ersten Durchmessers. MPKT_ABST ist der Abstand von D2 zu D1 in Dezimetern. Bei lebenden Objekten mit einer Länge ≥ 1,3 m wird der erste Durchmesser an der Stelle des BHD gemessen. D2 ist anzugeben wie oben beschrieben. Bei lebenden Objekten mit einer Länge ≤ 1,3 m wird nur der obere Durchmesser gemessen und sowohl als D1 als auch als D2 eingegeben. Alle Messpunkte, auch wenn sie an den standardüblichen Stellen liegen, sind in die Felder MPKT_D1 und MPKT_ABST einzutragen.

In den Abbildung 14 bis Abbildung 18 sind die Durchmesser-Messstellen für die unterschiedlichen liegenden Objekte grafisch dargestellt. In dem dazugehörigen Kasten sind die möglichen Objekttypen mit Aufnahmeparametern und Klasseneinteilung erläutert.

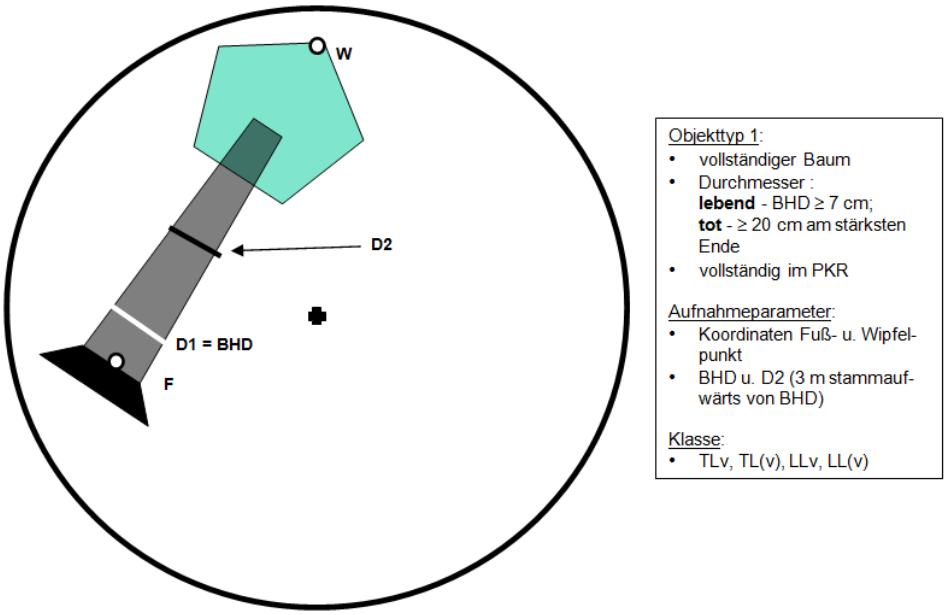

Abbildung 14: Aufnahmeschema von toten oder lebenden vollständigen liegenden Bäumen im Probekreis (aus Meyer et al. 2013[19]).

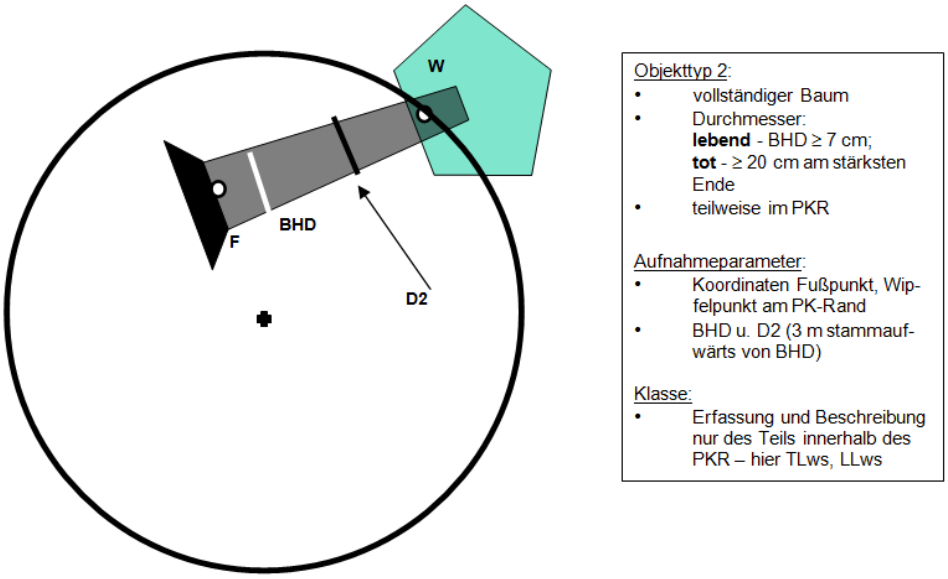

Abbildung 15: Aufnahmeschema von liegenden Bäumen mit Wurzel und Stamm ohne Krone innerhalb des Probekreises (aus Meyer et al. 2013[19]).

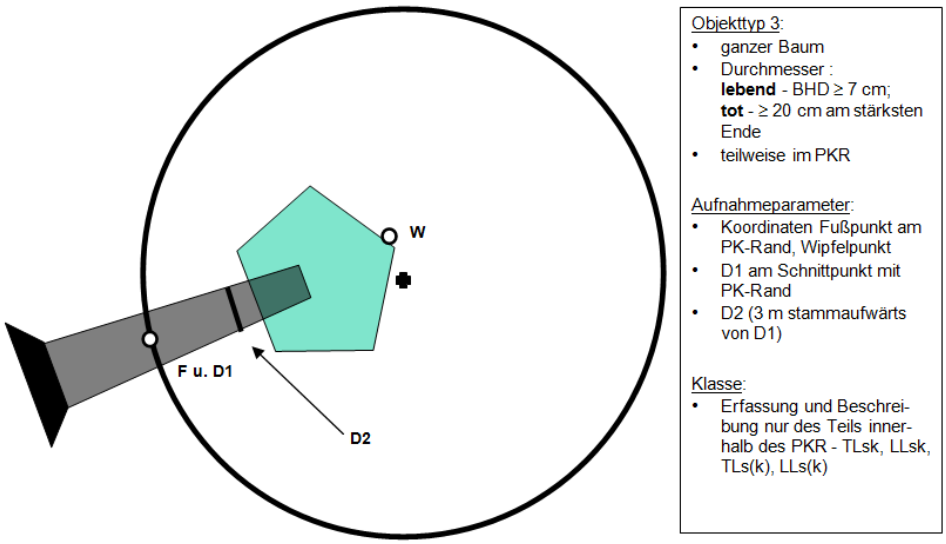

Abbildung 16: Aufnahmeschema von liegenden Objekten ohne Wurzel innerhalb des Probekreises (aus Meyer et al. 2013[19]).

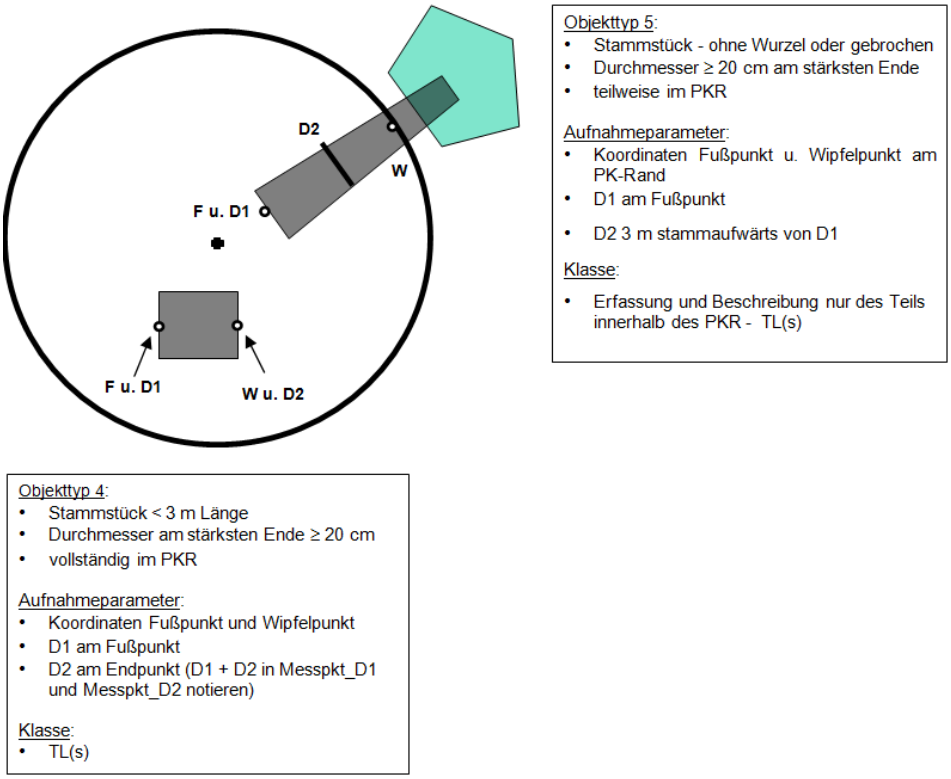

Abbildung 17: Aufnahmeschema von gebrochenen Bäumen ohne Wurzel und von Stammstücken ≥ 20 cm (aus Meyer et al. 2013[19]).

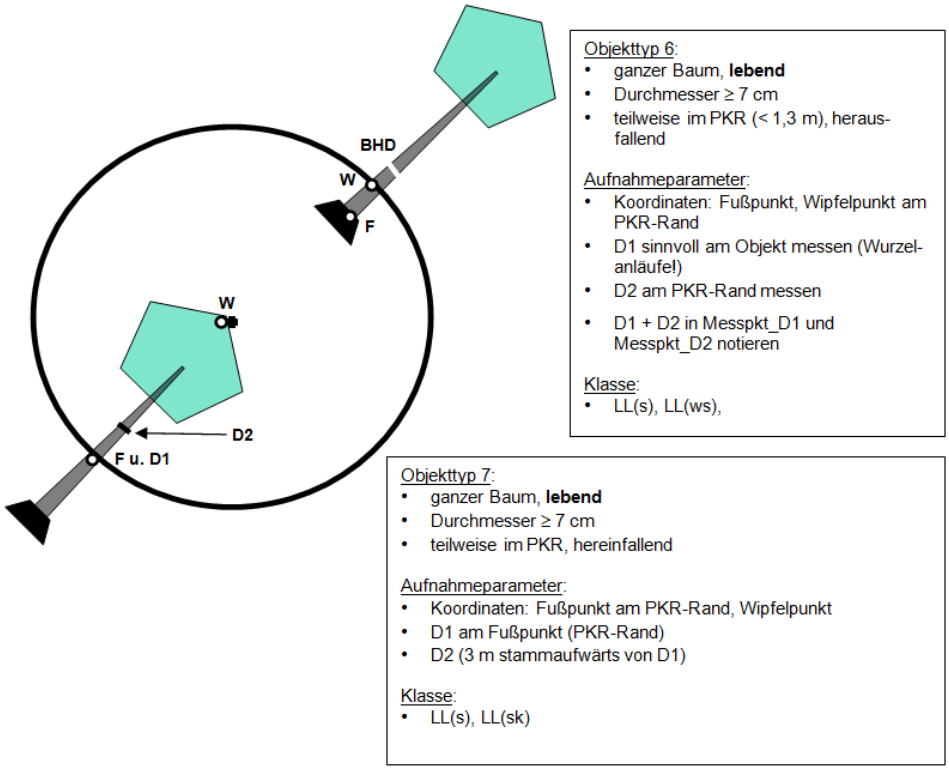

Abbildung 18: Aufnahmeschema von lebendem liegenden Bestand (≥ 7 cm) (aus Meyer et al. 2013[19]).

Zustandstyp (Klasse) des jeweiligen Objektes; dabei setzt sich die Klasse aus drei Klassifikationen zusammen:

(1) Lebensklasse (LKL) z. B. lebend = L

(2) Positionsklasse (PKL) z. B. stehend = S

(3) Kompartimentsklasse (KKL) z. B. vollständig = v

Die Bestimmung erfolgt nach Tabelle 7.

Baumhöhe [in m]: Für Totholz der Klassen TS(s), TSs, TS(v) sind vollständige Höhenmessungen, d. h. für jedes Objekt, durchzuführen.

Kleinstrukturen/Habitate: Es können mehrere (z. B. bis zu drei) Kleinstrukturen/Habitate pro Totholzobjekt angegeben werden; die Relevanz richtet sich nach dem Zustandstyp.

– Rindenverletzung: Nicht überwallte, rindenlose Störstellen an der Stammoberfläche (≥ 10 cm Länge oder Breite), wie z. B. Schlag- oder Fällschäden, Schälstellen, offene Risse, Rindentaschen oder Blitzrisse etc.

- Stammhöhle oberhalb 50 cm Höhe und unterhalb der Krone: Stammverletzung mit erkennbarer Hohlraumbildung, z. B. Asthöhle (durch Astabbruch und Morschung entstanden), Spechtlöcher und -höhlen, Höhle mit oder ohne Mulmsubstrat, ausgehöhlter Stamm etc.
- Stammfußhöhle unterhalb 50 cm Höhe: Verletzungen des Baumes im unmittelbaren Stammfußbereich, z. B. Rückeschäden, Aushöhlungen durch Pilzbefall etc.
- Konsolenpilze: Pilzkonsolen (mehrjährige, lebende, tote oder stark zersetzte Fruchtkörper) von z. B. Zunderschwamm, Rotrandiger Baumschwamm, Schwefelporling, Trameten etc. erkennbar (Artangaben, Alter und Zustand werden nicht berücksichtigt)
- Schleimfluss/Nekrosen: lokales Absterben und Aufplatzen der Rinde, teilweise mit Saftausfluss, auch nekrotische Veränderung und Aufbauchungen bei Buche (mehrere Austrittstellen müssen deutlich sichtbar sein)
- Moose/Flechten: Decken aus Moosen u./o. Blatt-/Strauchflechten. Bei stehenden Bäumen werden die unteren 3 m, bei liegenden Objekten die Oberseiten auf ganzer Länge angesprochen. Das Merkmal wird erst ab 33 % Bedeckung der Stammoberfläche mit Moosen oder Flechten vergeben.

Lage: Bei liegendem Totholz anzusprechen; Klassifizierung nach:

VOLL = voll aufliegend

WVIE = < ¼ der Länge aufliegend

FREI = > ¼ der Länge aufliegend oder freischwebend

Mortalitätsursache (nicht relevant bei Bruchstücken):

D = konkurrenzbedingt bzw. dichteabhängig

E = exogene Ursachen abiotischer oder biotischer Natur

A = altersbedingt

M = durch menschlichen Einfluss

? = unbekannt

Besonnung des Totholzes:

SCHA = überwiegend beschattet

MITTL = mittlere Verhältnisse

SONN = überwiegend besonnt

Zersetzungsgrad des gesamten aufzunehmenden stehenden und liegenden Totholzes:

1	=	frisch tot
2	=	beginnende Zersetzung
3a	=	fortgeschritten zersetzt; Holz mit „weichfaulen“ Anteilen < 50 % des Volumens. Eiche und andere Kernhölzer mit zersetztem Splint, aber beilfestem Kernholz
3b	=	fortgeschritten zersetzt; Holz mit „weichfaulen“, nicht mehr beilfesten Anteilen > 50 % des Volumens, Umrisse aber noch klar erkennbar
4	=	stark zersetzt, vermodert; Umriss nicht mehr klar erkennbar, liegendes Holz bereits zu einem erheblichen Teil in den Boden eingesunken

c) Aufnahmemethode Gehölzverjüngung

Die Aufnahme der Gehölzverjüngung schließt sich unmittelbar an die Erfassung des Totholzes an. Die Erfassung erfolgt wieder im 2-Personen-Team mit der gleichen Aufstellung wie bei der Erfassung des lebenden Derbholzbestandes und des Totholzes (s. Kapitel a) Aufnahmemethode lebender Bestand und b) Aufnahmemethode liegendes/stehendes Totholz).

Die Gehölzverjüngung (lebende Gehölze < 7 cm BHD außer Keimlinge) wird nur im Nord-Ost-Quadranten des Probekreises erfasst (Abbildung 8). Dabei wird folgendermaßen vorgegangen:

- Auf dem gesamten NO-Quadranten: Auszählung aller Individuen nach Höhenklassen (s. Tabelle 10) und Baumart ab einer Pflanzenhöhe > 1,5 m.
- Auf einem Transekt im NO-Quadranten: Auszählung aller Individuen nach Höhenklassen und Baumart bis zu einer Pflanzenhöhe von 1,5 m, ohne Keimlinge.
- Auf dem gesamten NO-Quadranten werden pro Höhenklasse und Baumart je vier Individuen vermessen: (a) Höhenklasse, (b) Pflanzenhöhe; (c) Wurzelhalsdurchmesser.

Die aufzunehmenden Variablen sind in Tabelle 9 zusammengefasst und werden im weiteren Verlauf näher beschrieben.

Tabelle 9: Aufnahmeparameter für die Verjüngung.

Aufnahmeparameter	Definition
Wissenschaftlicher Artname	Art der erfassten Gehölzindividuen
Anzahl	Zählbare Individuen bei der Verjüngungsaufnahme
Höhenklassen	Höhenschicht, in der sich der Terminaltrieb der Verjüngungspflanze befindet
Pflanzenhöhe	Höhe des gesamten oberirdischen Sprosses in cm, für je vier Individuen pro Höhenklassen und Baumart
Wurzelhalsdurchmesser	Durchmesser des Wurzelhalses in mm, für je vier Individuen pro Höhenklassen und Baumart
Verbissprozent	Anteil von Jungpflanzen mit Leittriebverbiss je Art und Höhenklasse
Entstehung	Entstehungsursache der Verjüngung
Bemerkung	Freier Eintrag von Hinweisen und Kommentaren

Die Zuordnung der **wissenschaftlichen Artnamen** erfolgt analog zum lebenden Derbholz bzw. Totholz.

Anzahl der Individuen pro Art und Höhenklasse. Die Zugehörigkeit der Verjüngungspflanze zur Probefläche wird über den Wurzelpunkt definiert. Jeder Kernwuchs wird als eine Pflanze gezählt. Bei Stockausschläge o. ä. Verjüngungsformen die einem Zentrum entspringen, gilt ebenfalls N=1 pro Zentrum. Entfernt vom zugehörigen Zentrum aufwachsende Triebe (z. B. aus Wurzelbrut), die sich zu eigenen Individuen entwickeln können, werden gesondert gezählt.

Die **Höhenklasse** wird am höchsten Trieb mit einem Teleskopstab ermittelt. Die Klassifizierung der Wuchshöhen erfolgt bis zu einer Höhe von 2 m in 50 cm-Schritten, danach in 1 m- Schritten:

Tabelle 10: Klassifizierung der Höhenklassen (aus Meyer et al. 2013[19]).

Höhenklassen
< 0,5 m
0,5 – 1,0 m
1,0 – 1,5 m
1,5 – 2,0 m
2,0 – 3,0 m
3,0 – 4,0 m
Weiter in 1 m-Schritten

Pflanzenhöhe [in cm] wird für je vier Individuen pro Höhenklassen und Baumart gemessen. Anders als bei der Höhenklassen wird hier die exakte Höhe des gesamten oberirdischen Sprosses mithilfe eines Zollstocks gemessen.

Wurzelhalsdurchmesser [in mm] wird für je vier Individuen pro Höhenklassen und Baumart gemessen. Der Wurzelhalsdurchmesser wird nicht an der Wurzelhalsverdickung gemessen, sondern oberhalb des Wurzelanlaufs, i.d.R. oberhalb der Streuschicht. Der Wurzelhalsdurchmesser wird mit einer Schiebmesslehre gemessen. Die Messschiene mit der Ableseskala muss auf den Mittelpunkt des Probekreises zeigen und die Kluppschenkel sind rechtwinkelig zur Stammachse zu halten.

Verbissprozent: Je Gehölzart und Höhenklasse wird das Verbissprozent eingeschätzt. Hierzu wird nur der Verbiss des Terminaltriebs des letzten Jahres berücksichtigt. Das Verbissprozent wird folgendermaßen klassifiziert:

Tabelle 11: Klassifizierung des Verbissprozents (aus Meyer et al. 2013[19]).

Verbissprozent
Kein Verbiss
Verbiss gering ≤ 10 %
Verbiss mäßig 10–30 %
Verbiss stark 30–90 %
Verbiss sehr stark > 90 %

Entstehung: Für jede Gehölzart je Höhenklasse wird angegeben, ob es sich überwiegend um Kunstverjüngung (Pflanzung, Saat) oder um Naturverjüngung (generative und vegetative Formen) handelt.

Materialien und erforderliche Kenntnisse

Folgende Messinstrumente und Materialien sind bei der Waldstrukturaufnahme mitzuführen:

- Datenerfassungssystem (z. B. Field-Map oder auch Papier + Stift) mit entsprechenden Messgeräten für Azimut, Entfernung, Neigung und Höhe.
    - Messung von Azimut: z. B. Suunto-Bussole mit gon-Einteilung
    - Messung von Hangneigung: z. B. Suunto-Neigungsmesser mit Prozenteinteilung
    - Messung von Höhen und Entfernungen: z. B. Vertex IV inklusive Transponder T3 und Stange als Halterung für den Transponder (Ultraschall-Höhen- und Entfernungsmesser)
    - Messung von Azimut, Neigung, Höhe, Entfernung: z. B. TruPulse Laser Rangefinder 360 inkl. Reflektor und Stange als Halterung für den Reflektor (Laser-Entfernungs- und Höhenmesser mit integriertem Elektronikkompass)
- Einbeinstativ zur lotrechten Befestigung der Messinstrumente im Probekreismittelpunkt
- Aufnahmeanweisung
- GPS-Gerät, Liste mit Koordinaten der Probekreise
- Arbeitskarte des Untersuchungsgebietes mit Probekreisen
- Kluppe mit mm-Einteilung (100 cm für Altbestände, 60–80 cm für junge bis mittelalte Bestände)
- Zugsäge zur Markierung der Durchmesser-Messstelle
- 4 Fluchtstangen und Stäbe zum Einmessen und Abstecken der Probefläche
- Teleskopmessstange (5 m) zur Feststellung der Höhenklassen
- Rollmaßbänder (20 m) zum Abmessen der Fläche und zum Kalibrieren des Vertex
- Zollstock zur Messung der Pflanzenlänge

– Ggf. Bestimmungsliteratur

Weiterhin sind umfangreiche Kenntnisse der im Gebiet vorkommenden Baumarten und Erfahrungen in der Waldstrukturaufnahme vonnöten.

Literaturhinweise:

– Meyer et al. (2001): Untersuchung der Waldstruktur und ihrer Dynamik in Naturwaldreservaten.[21]

3.4.2. Transektkartierung zur Erfassung von Habitatstrukturen und Totholz

Ziel

Um den Schutzstatus oder die Schutzwürdigkeit von großräumigen Waldarealen zu bewerten, bedarf es einer Auswahl an Indikatoren, die möglichst mit geringem Aufwand zu erheben und mit hoher Sicherheit zu identifizieren sind. Das Vorkommen von **stark dimensioniertem Totholz** in einer **breiten Spanne von Zersetzungsgraden**, sowie das Vorhandensein von für die Biodiversität besonders wertvollen **Habitatstrukturen**, zum Beispiel Stammhöhlen, Pilzkonsolen oder Kronenabbrüchen, sowie stehendem und liegendem Totholz, fallen in diese Kategorie. Für die Erfassung grundsätzlicher Bestandesparameter, wie Stammzahl pro Hektar, Bestandesvolumen, Artenzusammensetzung etc. wird im Zuge großräumiger Monitoringverfahren überwiegend mit festen Probekreisen gearbeitet, wobei die oben genannten Indikatoren quasi nebenbei mit erhoben werden (siehe Kapitel 1.1.1). Studien belegen jedoch, dass gerade diese eher seltenen Elemente im Wald häufig unregelmäßig, selten oder geklumpt auftreten und daher eine Erfassung über feste Bezugsgrößen bei nicht ausreichend großer Stichprobenanzahl zu einer hohen Variabilität der Daten und großen Konfidenzintervallen führt[22,23,24]. Die Transektkartierung zur Erfassung von Habitatstrukturen und Totholz ist geeignet, um in potentiellen oder bereits ausgewiesenen großflächigen Wildnisgebieten oder Wäldern mit natürlicher Entwicklung eine Bewertung der Habitatausstattung vorzunehmen. Für die Anwendung auf Bestandesebene ist die Methode weniger geeignet, da eine ausreichend große Anzahl an Beobachtungsobjekten, um statistisch gesicherte Schätzwerte abzuleiten, in der Regel nicht erreicht wird.

Probeflächendesign

Durch die **Transektkartierung** kann eine Inventur besonderer Habitatstrukturen oder die Ausstattung eines Gebietes mit Totholz in einem vergleichsweise geringen Aufwand durchgeführt werden. Beispiele für ökologische Fragestellungen sind dabei: Wie hoch ist die Anzahl an Habitatbäumen und starkem

[21] Meyer, P., Ackermann, J., Balcar, P., Boddenberg, J., Detsch, R., Förster, B., Fuchs, H., Hoffmann, B., Keitel, W., Kölbel, M., Köthke, C., Koss, H., Unkrig, W., Weber, J., Willig, J. (2001): Untersuchung der Waldstruktur und ihrer Dynamik in Naturwaldreservaten. IHW-Verlag. 107 S.

[22] Bull, E. L., Holthausen, R. S., Marx, D. B. (1990): How to determine snag density. Western Journal of Applied Forestry, 5(2): 56–58.

[23] Ducey, M. J., Jordan G. J., Gove, J. H., Valentine, H. T. (2002): A practical modification of horizontal line sampling for snag and cavity tree inventory. Canadian Journal of Forest Research, 32(7): 1217–1224.

[24] Kenning, R. S., Ducey, M. J., Brissette, J. C., Gove, J. H. (2005): Field efficiency and bias of snag inventory methods. Canadian Journal of Forest Research, 35(12): 2900–2910.

stehenden Totholz? Genügt die Anzahl den Anforderungen an ein bestehendes Habitatbaum-/Totholzkonzept? Auch für die Modellierung der Habitateignung für assoziierte Arten lassen sich die Daten verwerten. In jedem Fall sollten vor Beginn der Inventur folgende Fragen geklärt werden:

- Welche Habitatstrukturen werden erhoben?
- Ab welcher Durchmesserklasse werden die Bäume aufgenommen?
- Welche weiteren Angaben sind relevant (Zersetzungsgrad, Baumart, Besonnung?)
- In welcher Genauigkeit sollen die Schätzungen vorliegen?

Auf Grundlage dieser Überlegungen kann die Umsetzung der Transektkartierung vorgenommen werden.

Zunächst werden die Grenzen des Untersuchungsgebietes bzw. des Landschaftsausschnittes festgelegt. Diese Zuordnung erfolgt an Hand von Luftbildern, Grenzen der Naturerbeflächen/des Schutzgebietes etc. Idealerweise liegen Geodaten zur Verarbeitung in einem geographischen Informationssystem (GIS) vor. Eine Mindestflächengröße von 400 ha gilt als angemessen, um auch bei geringem Aufkommen an Objekten gesicherte Ergebnisse zu erhalten[25].

Ist zu erwarten, dass Totholz- und Habitatbäume aufgrund der Bestandesstruktur in unterschiedlichen Dichten vorkommen, bietet es sich an, eine **Stratifizierung der Landschaft** durchzuführen. Dadurch lassen sich Arbeitsaufwand und Genauigkeit harmonisieren. Die Stratifizierung kann je nach Fragestellung z. B. an Hand von Waldentwicklungsphase, Biotoptyp oder Art der Bewirtschaftung vorgenommen werden. Folgende Quellen sollten zur Abgrenzung der einzelnen Straten herangezogen werden:

- Hinweise zu Bestandesstruktur und Standort aus der Forsteinrichtung
- Biotopkartierung
- Orthofotos und Satellitenbilder
- vor-Ort-Begehung

Die so gewonnenen Informationen werden in einem GIS zusammengeführt und Metadaten, falls nötig, ergänzt. Aktuelle Luftbilder, oder wenn vorhanden auch terrestrische Laserscans, bieten eine gute Möglichkeit bereits vorhanden GIS-Layer auf ihre Aktualität und eventuelle Veränderungen hin zu überprüfen. Nach einem abschließenden Besuch des Untersuchungsgebietes zur Validierung der erzeugten Karten und Metadaten können die Polygone den einzelnen Straten zugeordnet und deren etwaige Größe berechnet werden.

Zur Ermittlung der idealen Transektlänge im Gelände sollte eine Vorstudie durchgeführt werden. Diese hat zwei grundsätzliche Ziele:

- erste Datenaufnahme zur Bestimmung der idealen Transektlänge
- Abschätzung der Anzahl benötigter Transekte zur Erzielung der gewünschten Genauigkeit

[25] Bate, L. J., Wisdom, M. J., Garton, E. O., Clabough. S. C. (2008a): SnagPRO: Snag and tree sampling and analysis methods for wildlife. Technical Report. US Department of Agriculture and Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon.

Die dabei erhobenen Daten sind keine zusätzlich erhobenen Daten sondern fließen in den Gesamtdatensatz mit ein. Sind in den zu kartierenden Beständen erhebliche Unterschiede in der Anzahl der Objekte zu erwarten empfiehlt es sich, eine Stratifizierung vorzunehmen und für jedes Stratum eine Pilotstudie durchzuführen. In Gebieten mit einer hohen Anzahl an Habitatbäumen/Totholzobjekten kann die Pilotstudie mitunter bereits ausreichend sein, um die Anforderungen des Nutzers zu erfüllen. Zeigt sich, dass die Anzahl der Transekte nicht ausreichend war kann die optimale Flächengröße für die weiteren Aufnahmen basierend auf der Pilotstudie berechnet werden. Mit dem vorliegenden Aufnahmeverfahren kann zusätzlich zur Erfassung von stehenden Objekten die Kartierung von liegenden Tothölzern in Anlehnung an bestehende Methoden[26,27] realisiert werden. Für die Anlage der Transekte empfiehlt es sich, diese in gleichmäßige Untereinheiten aufzuteilen. Das erleichtert das Einmessen und die Navigation entlang der Transektlinie und ist essentiell, wenn gleichzeitig auch liegendes Totholz mit dem Line Intersect Sampling mit erfasst werden soll. Die Länge einer Untereinheit sollte maximal 40 m betragen. Die Erfahrung zeigt, dass größere Entfernungen mit dem Vertex bei ungünstiger Bestandesstruktur nicht mehr gut einzumessen sind.

Im Folgenden werden die Vorgehen zur Anlage von Transekten in stratifizierten und nicht stratifizierten Landschaften beschrieben:

1. unstratifizierte Landschaft

- in einem GIS Gitternetzlinien zufällig über das Untersuchungsgebiet verteilen
- jedem Punkt einen zufällig gewählten Winkel zuordnen und Koordinaten für Endpunkt in gewünschter Transektlänge berechnen (z. B. 100 m)
- zehn Zufallspunkte auswählen (sicherstellen, dass sich die Transekte innerhalb der vorher definierten Abstände zur Landschaftsaußengrenze, Wegen, Straßen, etc. befinden und sich die Transektlinien nicht überschneiden)

2. stratifizierte Landschaft

- zufällige Auswahl von Beständen innerhalb eines Stratums
- in einem GIS Gitternetzlinien zufällig über das Untersuchungsgebiet verteilen
- jedem Punkt einen zufällig gewählten Winkel zuordnen und Koordinaten für Endpunkt in gewünschter Transektlänge berechnen (z. B. 100 m)
- je Bestand zwei zufällig gewählte Punkte bestimmen (sicherstellen, dass sich die Transekte innerhalb der vorher definierten Abstände zur Landschaftsaußengrenze, Wegen, Straßen, etc. befinden und sich die Transektlinien nicht überschneiden)

[26] Marshall, P.L., Davis, G., LeMay, V.M. (2000): Using Line Intersect Sampling for Coarse Woody Debris. Forest Research Technical Report, Forest Service British Columbia, Nanaimo, BC, Canada.

[27] Bate, L. J., Torgersen, T. R., Wisdom, M. J., Garton, E. O., Clabough, S. C. (2008b): Log sampling methods and software for stand and landscape analyses. Technical Report, US Department of Agriculture and Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon.

Zufallszahlen können mithilfe eines Zufallsgenerators oder einer Zufallszahlentabelle erstellt werden. Die Berechnung der Endpunktkoordinaten erfolgt gemäß der ersten geodätischen Hauptaufgabe mittels der Formeln:

$$X_{end} = (\cos(\alpha) * l_t) + X_{anf},$$

$$Y_{end} = (\sin(\alpha) * l_t) + Y_{anf},$$

wobei X_{anf} und Y_{anf} die vorab definierten Anfangskoordinaten der Transektlinien sind und l_t die gewünschte Länge der Transektlinie in Metern ist. Es wird empfohlen mindestens zwei Transekte je Bestand anzulegen, um die Variabilität innerhalb eines Bestandes abzubilden. Je Stratum sollten mindestens 10 Transekte à 100 m angelegt werden. Die Auswertung setzt eine Normalverteilung der Daten voraus, daher sollte je Stratum eine Mindestanzahl von 60–80 Objekten erreicht werden[28]. Prinzipiell besteht auch die Möglichkeit, das Untersuchungsdesign aus parallel zueinander verlaufenden Linien aufzubauen, wobei jedoch darauf geachtet werden muss, dass diese sich nicht entlang eines Gradienten befinden, um Verzerrungen zu vermeiden (z. B. hangparallel oder entlang eines Wegenetzes verlaufend).

Aufnahmemethode

Distance Sampling zur Erfassung von stehendem Totholz und Habitatstrukturen

Das Distance Sampling eine von Buckland et al. (1993)[28] veröffentlichte Methode zur Abschätzung von Populationsdichten im Gelände. Diese wird bevorzugt im Bereich des Wildtiermonitorings eingesetzt, ist jedoch auch für waldökologische Fragestellungen, wie der Schätzung der **Anzahl an Habitatbäumen** oder **starkem stehendem Totholz**, anwendbar[29,30]. Der Vorteil der Methode besteht darin, dass sie ohne festgeschriebene Stichprobenflächen auskommt. Der Beobachter bewegt sich entlang einer festgelegten Transektlinie und notiert für jedes beobachtete Objekt die Entfernung im rechten Winkel zur Transektlinie (Abbildung 19). Die natürlichen Gegebenheiten des Untersuchungsgebietes bestimmen dabei die Sichtbarkeit der Objekte. Mit zunehmender Entfernung eines Objektes von einer Beobachtungslinie (Line Distance Sampling) oder einem Beobachtungspunkt (Point Distance Sampling) steigt die Wahrscheinlichkeit, dass dieses vom Beobachter übersehen wird.

[28] Buckland, S. T., Anderson, D. R., Burnham, K. P., Laake, J. L. (1993): Distance sampling: Estimating abundance of biological populations. Springer Science & Business Media.

[29] Bäuerle, H. (2010): Monitoring von Habitatbäumen und Totholz auf Basis von Stichproben. Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Brsg., Freiburg im Breisgau, 149 S.

[30] Singer, D. (2018): Decisive forest structures for coincident habitat use by woodpeckers and tree-dwelling bats (Masterarbeit). Georg August-Universität Göttingen, Göttingen.

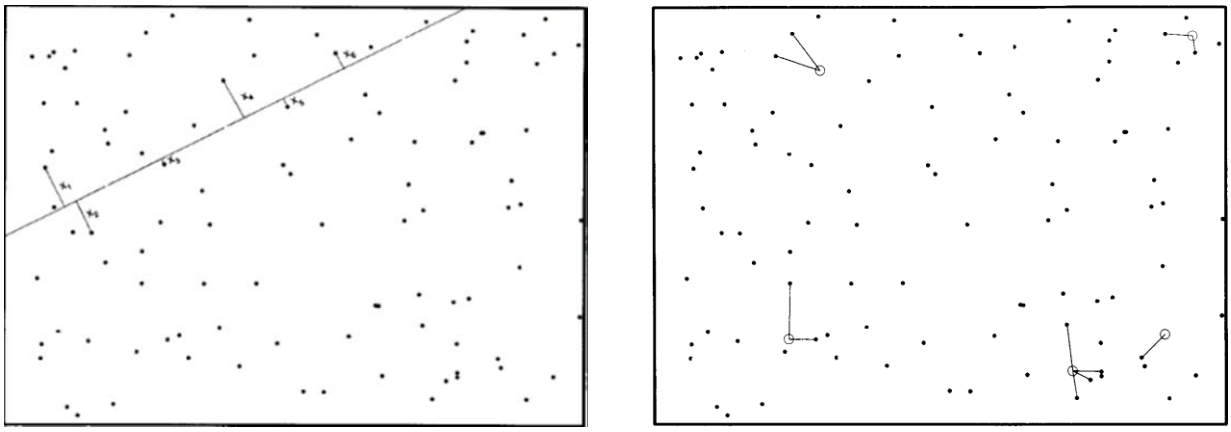

Abbildung 19: Design des Line Distance Sampling (linkes Bild) mit einer einzelnen, zufällig gesetzten Transektlinie der Länge L. Es wurden sechs Objekte (n = 6) entlang der Transektlinie in den Entfernungen x1; x2; … ; x6 gemessen. Design des Point Distance Sampling (rechte Seite) mit fünf zufällig im Untersuchungsgebiet verteilten Probekreisen (Quelle: Buckland et al. 1993[28]).

Basierend auf unverzerrten Schätzungen der Entdeckungsfunktion g(x) liefert das Verfahren unverzerrte Dichteschätzungen. Die Funktion g(x) beschreibt die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Objekt in einer bestimmten horizontalen Distanz entdeckt wird. Dabei wird unterstellt, dass alle Objekte in unmittelbarer Nähe zur Linie mit Sicherheit entdeckt werden. Das Distance Sampling erlaubt so eine Schätzung der Dichte biologischer Populationen auf einer Fläche basierend auf Entfernungsmessungen. Die Anzahl der unentdeckten Objekte wird über eine Verteilungsfunktion ermittelt (Abbildung 20).

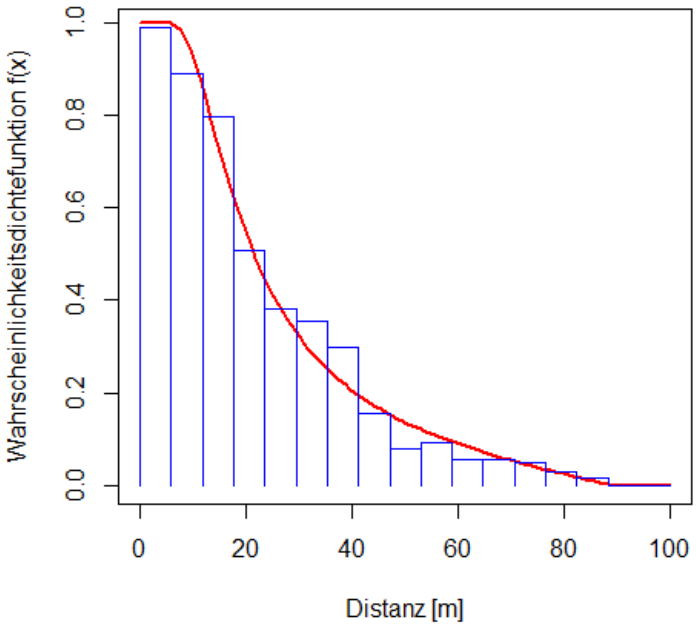

Abbildung 20: Histogramm der horizontalen Entfernungen und dazugehörigen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion f(x) für Habitatbäume aus 16 Naturwaldflächen.

Die Qualität der Daten hängt zudem stark von der Erfahrung der Beobachtertrupps im Identifizieren der Habitatstrukturen und der Einschätzung der Durchmesserklassen ab. Es sollte vor Beginn der Aufnahmen ein Testdurchlauf mit den Bearbeitern der Transektlinien durchgeführt werden, um die korrekte Identifikation und somit Reproduzierbarkeit der Daten zu gewährleisten. Wie andere Untersuchungen[31,32] zeigen, ist der Beobachtereffekt nicht zu unterschätzen. Die Auswertung der mittels Distance Sampling erhobenen Daten erfolgt in der Open-Source-Software Distance[33]. Die Software ermöglicht eine anwenderfreundliche Auswertung der gewünschten Schätzwerte und die Ausgabe von statistischen Kenngrößen (Varianz, Konfidenzintervalle).

Line Intersect Sampling zur Erfassung von liegendem Totholz

Das Line Intersect Sampling ist eine relativ schnell und einfach durchzuführende Inventurmethode zur Erfassung des **Volumens an liegendem Totholz**. Eingeführt wurde das Verfahren bereits im Jahr 1964 mit dem Fokus auf der Erfassung von Schlagabraum bei der Holzernte[34]. Bei der Methode handelt es sich um ein Streifentransekt von kleinstmöglicher Breite (d. h. der Transektlinie), das durch eine Population nadelförmiger Objekte verläuft[35]. An jedem Schnittpunkt der Linie mit einem Totholzobjekt wird der Durchmesser des Objektes gemessen, worüber das Volumen pro Einheit Fläche bestimmt werden kann. Schneidet ein Objekt die Transektlinie mehrmals (z. B. aufgrund eines Astes) werden diese separat aufgenommen.

Die zur Berechnung verwendete Formel wurde von van Wagner (1968)[36] entwickelt und bei Böhl und Brändtli (2007)[35] um die Korrektur des Neigungswinkels erweitert. Dies ermöglicht eine genauere Schätzung bei Stämmen, die nicht horizontal in der Fläche verteilt sind. Es ergibt sich somit

$$\hat{X}_j = \frac{\pi^2}{8L_j} \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{(d1i + d2i)}{2}\right)^2 \frac{1}{\cos(\alpha_i)} \quad ,$$

wobei $\hat{X}_j$ der Volumenschätzwert für liegendes Totholz in m³/ha pro Transektabschnitt j , L_j die Länge der Transektabschnitte in Meter und d_{1i} und d_{2i} die Durchmesser des Totholzobjekts senkrecht zur Achse am Schnittpunkt mit der Transektlinie sind. van Wagner weist darauf hin, dass $\hat{X}_j$ ein unverzerrter Schätzwert des Volumens ist, solange die Objekte zylindrisch, auf dem Boden aufliegen und in zufälliger

[31] Paillet, Y., Coutadeur, P., Vuidot, A., Archaux, F., Gosselin, F. (2015): Strong observer effect on tree microhabitats inventories: A case study in a French lowland forest. Ecological Indicators, 49: 14–23.
[32] Larkin, R. (2017): An assessment of result reproducibility and observer effect in microhabitat monitoring. Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Forstwissenschaften.
[33] Thomas, L., Buckland, S. T., Rexstad, E. A., Laake, J. L., Strindberg, S., Hedley, S. L., Bishop, J. R. B., Marques, T. A., Burnham, K. P. (2010): Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. Journal of Applied Ecology, 47(1): 5–14.
[34] Warren W. G. & Olsen, P. F. (1964): A line intersect technique for assessing logging waste. Forest Science, 10(3):267–276.
[35] Böhl, J. & Brändli. U.-B. (2007): Deadwood volume assessment in the third Swiss National Forest Inventory: methods and first results. European Journal of Forest Research, 126(3). S. 449–457.
[36] van Wagner, C. E. (1968): The line intersect method in forest fuel sampling. Forest science, 14(1): 20–26.

Orientierung in der Fläche verteilt sind. Um Verzerrungen zu vermeiden sollten daher mehrere Transekte in zufälliger Orientierung über die Fläche verteilt und der Neigungswinkel des Objektes zur Horizontalen mit aufgenommen werden.

Kombiniertes Aufnahmeverfahren aus Distance Sampling und Line Intersect Sampling

Die Datenerhebung im Gelände erfolgt mit einem Zwei-Personen-Team. Die für die Geländeaufnahmen benötigten Geräte und Materialien sind unter dem Punkt *Materialien und erforderliche Kenntnisse* gelistet. Zunächst wird mit einem GPS-Gerät der Anfangspunkt der Transektlinie aufgesucht. Mittels Bussole und Fluchtstange wird die erste Untereinheit von maximal 40 m Länge in Richtung des vorher festgelegten Winkels eingemessen. Dort beginnt der erste Abschnitt der Aufnahmen. Das Untersuchungsteam bewegt sich mit Blick in den Bestand rechtwinklig zur Transektlinie. Von allen für die Aufnahme relevanten Objekten, die im rechten Winkel sichtbar sind (d. h. nicht durch einen Baum oder Unterholz verdeckt werden), wird mit einem Lasermessgerät die Entfernung gemessen und auf dem Aufnahmebogen für stehende Objekte (Tabelle 14) notiert. Eine Besonderheit liegt dabei bei der Aufnahme von Wurzeltellern als Habitatstruktur vor. Diese werden, obwohl überwiegend an liegendem Totholz vorkommend, im Aufnahmeblatt für den stehenden Bestand erfasst, da sonst keine Auswertung über das Distance Sampling möglich ist. Je nach Detailgrad der Aufnahme kann die Einteilung der Bäume in Durchmesserklassen (Tabelle 12) sinnvoll sein. Dies erfolgt anhand einer gutachterlichen Einschätzung auf die Entfernung und sollte im Vorfeld trainiert werden. Vorher definierte zusätzliche Parameter, wie Baumart, Objektklasse oder Zersetzungsgrad werden ebenfalls bestimmt und notiert (verwendeter Schlüssel wie in Waldstruktur). Im WiNat-Projekt wurden die in Tabelle 13 aufgeführten gut erkennbaren Habitatstrukturen erfasst. Diese können aber je nach Fragestellung angepasst werden. Dabei sollten keine zusätzlichen Hilfsmittel zur Erkennung der Merkmale (Fernglas) verwendet werden. Die Aufnahme der liegenden Totholzelemente erfolgt im Anschluss der Entfernungsmessungen innerhalb jeden Abschnitts. Die Parameter werden auf einem gesonderten Aufnahmebogen (Tabelle 15) erfasst. Dabei werden am Schnittpunkt des Totholzobjektes mit der Transektlinie mittels Kreuzkluppung zwei Durchmesser ermittelt. Der Durchschnitt muss dabei größer als 7 cm sein. Alle Transektlinien sollten jeweils dieselbe Länge aufweisen und müssen daher bei starker Hangneigung im Gelände korrigiert werden.

Abweichend zur Kartierung entlang einer Transektlinie kann die Durchführung auch auf bereits vorhandenen Probekreisen erfolgen. Es wird darauf hingewiesen, dass insbesondere auf große Entfernungen nur schwer erkennbare Strukturen, wie Höhlen, im Rahmen eines Point-Transect-Samplings besser abgedeckt werden als im Line-Transect-Sampling[30]. Auch das Line-Intersect-Sampling lässt sich auf bereits etablierten Probekreisen gut implementieren, z. B. in Form von drei strahlenförmig ausgelegten Transektlinien innerhalb des Probekreises[35].

Tabelle 12: BHD-Klassen (nach Röhrig et al. 2006[37]).

Durchmesser	Klasse
7-20 cm (Stangenholz)	1
21-35 cm (Schwaches Baumholz)	2
36-50 cm (mittleres Baumholz)	3
51-65 cm (starkes Baumholz)	4
66-80 (starkes Altholz) cm	5
> 80 cm (sehr starkes Altholz)	6

Tabelle 13: Beschreibung der im Aufnahmeverfahren erhobenen Habitatstrukturen.

HAB_ID	Beschreibung
HOEHO	oberhalb 50 cm Höhe und unterhalb der Krone: Stammverletzung mit erkennbarer Hohlraumbildung, z. B. Asthöhle (durch Astabbruch und Morschung entstanden), Spechtlöcher und -höhlen, Höhle mit oder ohne Mulmsubstrat, ausgehöhlter Stamm etc.
HOEHU	unterhalb 50 cm Höhe: Verletzungen des Baumes im unmittelbaren Stammfußbereich, z. B. Rückeschäden, Aushöhlungen durch Pilzbefall etc.
MOOS	Decken aus Moosen u./o. Blatt-/Strauchflechten. Bei stehenden Bäumen werden die unteren 3 m, bei liegenden Objekten die Oberseiten auf ganzer Länge angesprochen. Das Merkmal wird erst ab 33 % Bedeckung der Stammoberfläche mit Moosen oder Flechten vergeben.
NEKR	lokales Absterben und Aufplatzen der Rinde, teilweise mit Saftausfluss, auch nekrotische Veränderung und Aufbauchungen bei Buche (mehrere Austrittstellen müssen deutlich sichtbar sein)
PILZ	Pilzkonsolen (mehrjährige, lebende, tote oder stark zersetzte Fruchtkörper) von z. B. Zunderschwamm, Rotrandiger Baumschwamm, Schwefelporling, Trameten etc. erkennbar (Artangaben, Alter und Zustand werden nicht berücksichtigt)
KRBR	Kronenbruch oder Teilkronenbruch, es muss mindestens ein Starkast 1. Ordnung betroffen sein, auch Zwieselabbrüche
STBR	Stammbruch, vollständiger Abbruch der Krone, häufig in Verbindung mit der Ausbildung einer Ersatzkrone
RIND	Nicht überwallte, rindenlose Störstellen an der Stammoberfläche (≥ 10 cm Länge oder Breite), wie z. B. Schlag- oder Fällschäden, Schälstellen, Rindentaschen,Totäste (dann mit Vermerk)
WT	Wurzelteller
EFEU	Bewuchs mit Efeu oder anderen Kletterpflanzen mit einer Mindesthöhe von 3 m und einem Deckungsgrad von mehr als 2 m²
WREI	Wasserreiser
RISS	offene Risse, Spalten, Blitzrinnen, die mindestens in den Splint hineingehen
KREBS	Krebswucherung
DENDRO	Dendrothelm, nach oben offene Ausbuchtung oder Höhlung im Baum, in der sich Wasser ansammeln kann
BW	Besondere Wuchsform (Solitärbaum (Starkastigkeit), Zwiesel, ineinander verschränkte Bäume etc.)

[37] Röhrig, E., Bartsch, N., Lüpke v., B. (2006): Waldbau auf ökologischer Grundlage. Verlag Eugen Ulmer. 479 S.

Auf den Flächen des Renaturierungsexperiments wurde das kombinierte Verfahren aus Distance Sampling (DS) zur Erfassung von stehendem Totholz und Sonderstrukturen sowie Line Intersect Sampling (LIS) zur Erfassung der liegenden Totholzobjekte durchgeführt. Dabei wurden in jedem der 16 Plots zwei Transektlinien mit jeweils 160 m Länge, von einem zufällig gewählten Eckpunkt aus beginnend, abgelaufen und die erhobenen Daten auf Aufnahmebögen festgehalten (Abbildung 21). Pro Variante wurden somit 1.280 m und insgesamt 5.120 m Transektlänge kartiert. Da die Stichprobenflächen in einem Raster aus neun Probekreisen angelegt sind, bot es sich an ein daran orientiertes systematisches Probeflächendesign für die Transektkartierung zu verwenden. Es wurde je Fläche zufällig einer der vier äußeren Probekreismittelpunkte des Raster sowie eine zufällige Richtung (SO, SW, NO, NW) bestimmt, sodass die Transektlinie von einem äußeren Punkt über einen mittleren äußeren Punkt und im spitzen Winkel zurück zu dem ersten Punkt gegenüberliegenden äußeren Punkt führt.

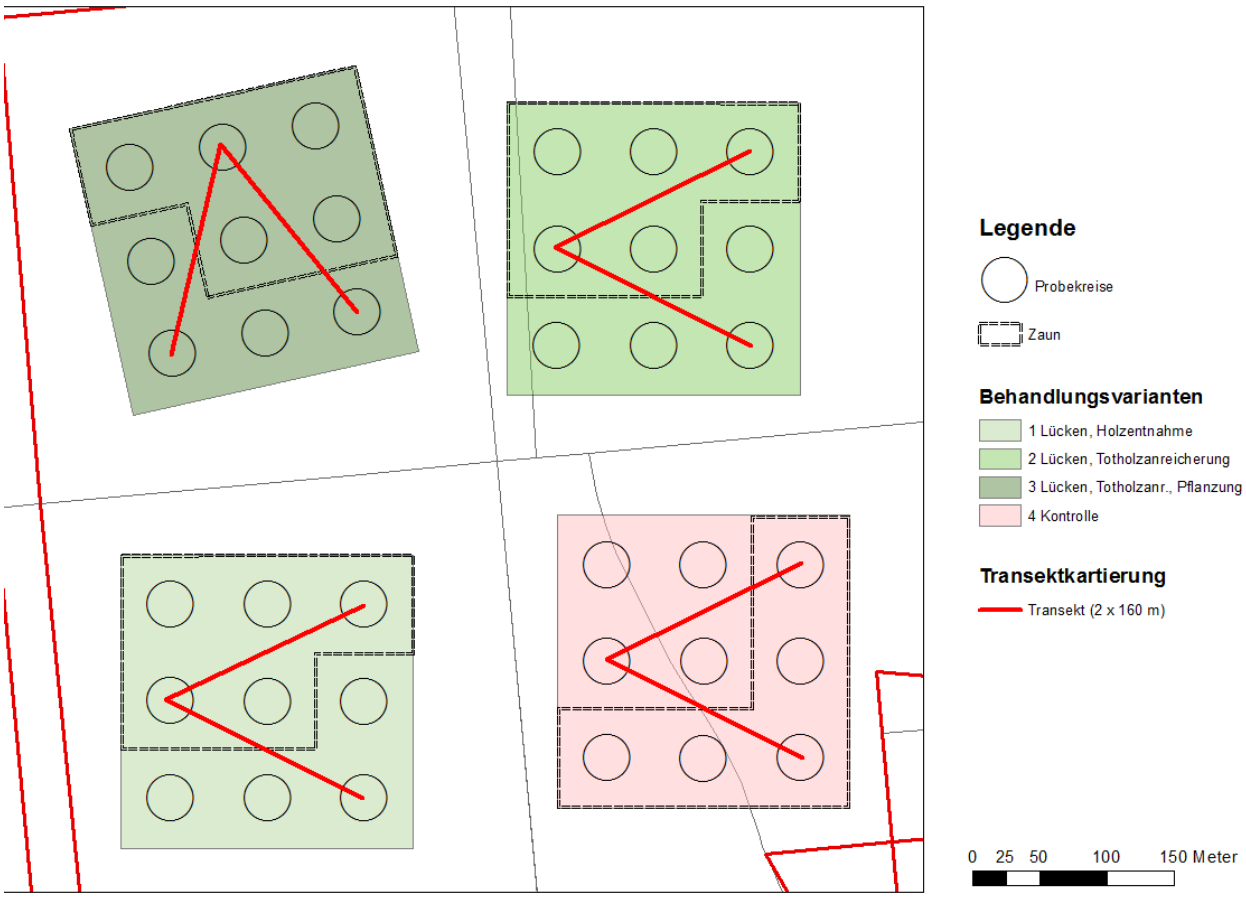

Abbildung 21: Transekte zur Kartierung von Totholz und Sonderstrukturen im Experiment zur Waldrenaturierung. Pro Plot wurden zwei Transekte à 160 m (= 320 m) kartiert.

Materialien und erforderliche Kenntnisse

Folgende Messinstrumente und Materialien sind bei der Transektkartierung mitzuführen:

- Aufnahmeanweisung
- Aufnahmebögen für stehendes Totholz/Habitatstrukturen und liegendes Totholz

- Bleistifte
- Katalog mit Mikrohabitatstrukturen[38]
- Karte mit Transekten und Bestandesgrenzen
- GPS-Gerät mit Anfangspunkten der Transektlinien, Liste mit Anfangspunkten der Transektlinien
- 2 Lasermessgeräte (z. B. TruPulse Laser Rangefinder 360) inklusive Akku/Photobatterie
- Kluppe mit mm-Einteilung (100 cm für Altbestände, 60 cm oder 80 cm für junge bis mittelalte Bestände)
- Ultraschall-Höhen- und Entfernungsmessgerät (z. B. Vertex IV inklusive Transponder T3)
- 1,3 m langer Holzstab mit stumpfer Eisenspitze und Halterung für den Vertex Transponder
- 2 Bussolen mit Gon-Einteilung
- 2 Bussolenstäbe
- 2 Steckkerzen für Bussolen
- 3 Fluchtstangen
- 1 Rollmaßband (25 m) zur Kalibrierung des Vertex

[38] Kraus, D., Bütler, R., Krumm, F., Lachat, T., Larrieu, L., Mergner, U., Paillet, Y., Rydkvist, T., Schuck, A., Winter, S., (2016): Catalogue of tree microhabitats – reference field list. European Forest Institute.

Tabelle 14: Beispiel für ein Formblatt zur Datenaufnahme von stehenden Totholzobjekten und Habitatstrukturen, fettgedruckte Aufnahmeparameter sind obligatorisch.

Waldgebiet				**Datum**		**Beobachter**				**Seite**		
Stratum	**Untersuchungs-gebiet**	**Transekt-nummer**	**Transekt-untereinheit**	**Entfernung (m)**	Baumart	Durchmesser-klasse	**Klasse(*)**	Zersetzungs-grad	Habitat 1	Habitat 2	Habitat 3	Habitat 4

Tabelle 15: Beispiel für ein Formblatt zur Datenaufnahme von liegenden Totholzobjekten, fettgedruckte Aufnahmeparameter sind obligatorisch.

	Waldgebiet			**Datum**		**Beobachter**		**Seite**	
Stratum	**Untersuchungsgebiet**	**Transekt-nummer**	**Transekt-untereinheit**	Baumart	**DM1**	**DM2**	Winkel	Besonnung	Zersetzungsgrad

3.4.3. Erfassung der Biodiversität

Eine Auswahl von Biodiversitätskenngrößen wurde in den verschiedenen Waldkategorien vergleichend untersucht. Im Folgenden soll die Erfassung der **Waldbodenvegetation, xylobionten Käfer, Pilze, epiphytischer Flechten und Moose** detailliert beschrieben werden. Die Auswahl der Artengruppen erfolgte dabei auf Grundlage folgender Kriterien:

- Eignung der Gruppe für die Identifizierung verschiedener Naturnähestadien (besonders hohe Anteile an gefährdeten Arten aufgrund der menschlichen Wirtschaftstätigkeit; Kenntnis über Störungszeiger und Zeigern historisch alter Waldstandorte, Anteil Arten mit Waldbindung);
- Gewährleistung einer guten Ansprache der Gruppen (taxonomischer, floristischer/faunistischer und ökologischer Kenntnisstand in Mitteleuropa; Durchführbarkeit der Untersuchungen durch Fachpersonal kann gewährleistet werden);
- Potential der Wiederholbarkeit der Untersuchungen in einem etablierten Naturnähe-Monitoring.

a) Krautschichtvegetation

Ziel

Durch Vegetationsaufnahmen werden vorrangig die Artenzusammensetzung und die Artmächtigkeit der Krautschichtvegetation inkl. bodenbewohnenden Moosen und Flechten auf den Untersuchungsflächen erfasst. Zusätzlich werden die Arten und Deckungsgrade der Baum- und Strauchschicht beschrieben, die u. a. Aufschluss über Konkurrenzverhältnisse zur Krautschicht geben können.

Bei der Datenauswertung in Hinsicht auf die Bewertung der Naturnähe können folgende Informationen zur Krautschichtvegetation nützlich sein:

- Waldbindung der Arten (vgl. Waldartenlisten[39])
- Arten historisch alter Waldstandorte[40,41]
- Vorkommen von standortheimischen vs. neophytischen Arten
- Vorkommen von Rote-Liste-Arten

Probeflächendesign

Auf allen Probekreisen in den Untersuchungsgebieten wurden Unterflächen ausgewiesen auf denen die Vegetationsaufnahmen stattfinden. Die Durchführung der Vegetationsaufnahmen auf einer **Unterfläche des Probekreises** hat den Vorteil, dass die gewonnenen Vegetationsdaten flächengenau

[39] Schmidt, M., Kriebitzsch, W.-U., Ewald, J. (2011): Waldartenlisten der Farn- und Blütenpflanzen, Moose und Flechten Deutschlands. BfN-Skripten, 299: 111 S.
[40] Hermy, M., Honnay, O., Firbank, L., Grashof-Bokdam, C., Lawesson, J. E. (1999): An ecological comparison between ancient and other forest plant species of Europe, and the implications for forest conservation. Biological Conservation 91(1): 9–22.
[41] Mölder, A., Schmidt, M., Engel, F., Schönfelder, E., Schulz, F. (2015): Bryophytes as indicators of ancient woodlands in Schleswig-Holstein (Northern Germany). Ecological Indicators 54: 12–30.

mit den auf Probekreisebene durchgeführten Waldstrukturaufnahmen (oder anderen Datenerhebungen wie Licht, Bodenparameter etc.) in Verbindung gesetzt werden können. Gebräuchliche Flächengrößen für Vegetationsaufnahmen in Wäldern liegen zwischen 100 und 200 m² [42]. Auch im WiNat-Projekt wurden die Vegetationsaufnahmen auf einer quadratischen Fläche von 100 m² mit einer Seillänge von 10 x 10 m durchgeführt. Die Vegetationsaufnahmen fanden immer im Nordwest-Quadranten jedes Probekreises statt (Abbildung 22). Vom Probekreismittelpunkt aus wird die Aufnahmefläche mithilfe von Suunto-Bussole bzw. Kompass und Maßband eingemessen. Dabei wird vom Mittelpunkt ausgehend 2 m in Richtung Nordwest (350 gon bzw. 315°) gemessen, dies entspricht dann der südöstlichen Ecke der Unterfläche. Von diesem Punkt aus werden die anderen drei Eckpunkte in Abständen von 10 m in Richtung Norden bzw. Westen eingemessen. In kraut- bzw. strauchreichen Wäldern ist es sinnvoll die Untersuchungsfläche mithilfe von Stäben und Bändern genau abzugrenzen. Anders als bei den waldkundlichen Aufnahmen wird dabei die Fläche oberflächenparallel eingemessen (vgl. Kapitel 3.4.1).

Bei der Ausweisung der Probekreise im WiNat-Projekt wurde auf einen ausreichenden Abstand zur Waldgrenze, zu Wegen und Straßen geachtet. Sollte es nötig sein die Lage der Unterfläche für die Vegetationsaufnahme zu verschieben, so sollte die Abweichung vom üblichen Lageschema auf dem Aufnahmebogen dokumentiert werden (Lage: Gon-Zahl der neuen Ausrichtung). Abweichungen von der standardmäßigen Lage sollen nur in Einzelfällen erfolgen.

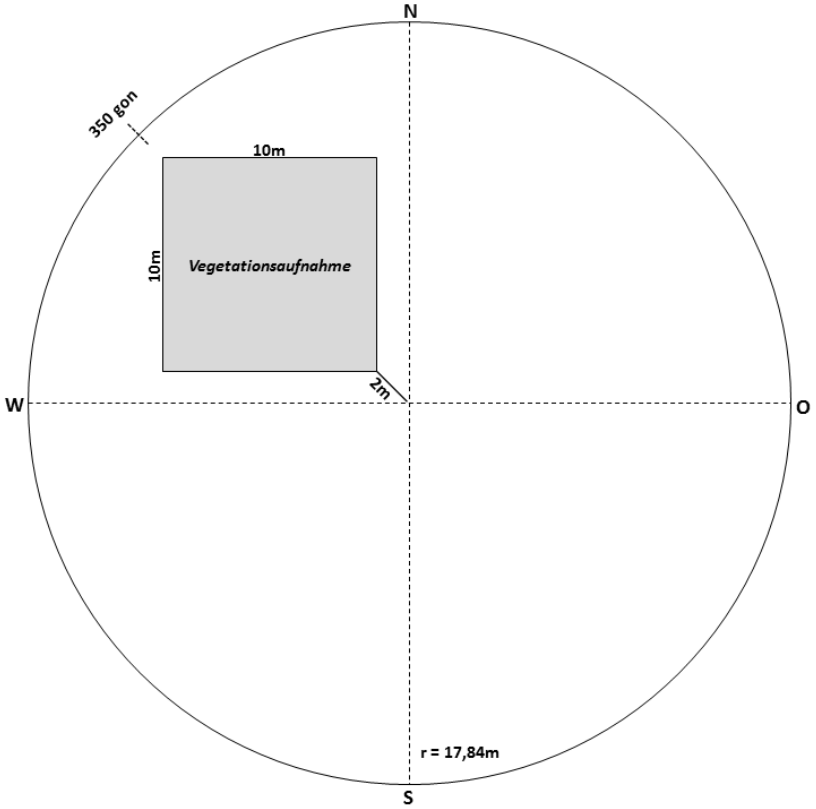

Abbildung 22: Darstellung der Unterfläche für die Vegetationsaufnahme auf den Probekreisen im Renaturierungsexperiment.

Aufnahmemethode

[42] Dierschke, H. (1994): Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden. Ulmer, Stuttgart.

Die hier beschriebene Aufnahmemethode orientiert sich an den Vegetationsaufnahmen in hessischen Naturwaldreservaten[43] .

Der **Erfassungszeitraum** liegt in der Hauptvegetationsperiode von Mai bis Juli. Je nach Artvorkommen kann es notwendig sein den Aufnahmezeitraum auszudehnen bzw. einen zweiten Aufnahmedurchgang durchzuführen: Bei Vorkommen von Frühjahrs-Geophyten ist eine Erfassung bereits im April/Mai notwendig. Waldgräser sind meist erst ab Mitte Juni voll entwickelt, daher ist auf Flächen mit Frühblühern ein zweiter Aufnahmedurchgang sinnvoll.

Tabelle 16: Definition der Datenfelder.

Aufnahmegröße	**Definition**
Untersuchungsgebiet	Name des Untersuchungsgebietes
Nr. Probekreis	Nummer des Probekreises
Datum	Datum der Aufnahme mit dd.mm.yyyy
Exposition, Neigung	Exposition und Neigung des Probekreises
Bemerkungen	Informationen über Abweichungen vom Standard-Aufnahmeverfahren, Besonderheiten der Untersuchungsfläche (Störungen, Wege, Spurrinnen von Rückefahrzeugen, größere Totholzmengen etc.)
Vegetationsschichten	– Baumschicht (**B**): Angabe des Deckungsgrades gesamt, zusätzlich getrennte Schätzung bei deutlicher Trennung in zwei Baumschichten (**B1, B2**) – Strauchschicht (**S**): Gehölze über 0,5 m bis 3 m Höhe – Krautschicht (**K**): alle krautigen Pflanzen sowie Gehölze bis 0,5 m – Moosschicht (**M**): bodenbewohnende Moose und Flechten (keine Epiphyten)
Höhe der Vegetationsschichten [m]	Höhenangabe für Strauch- und Krautschicht in Metern – **Maximale** Baumschicht-Höhen (im WiNat-Projekt bei der Aufnahme der Waldstruktur erfasst) – Strauchschicht: **maximale** Höhe – Krautschicht: **mittlere** Höhe
Deckungsgrad der Arten [%]	Die Arten der Baumschicht, Strauchschicht und Krautschicht werden nach Schichten getrennt notiert und ihre Deckungsgrade geschätzt. Die Moosarten werden notiert oder ggf. gesammelt und zu einem späteren Zeitpunkt bestimmt. Der Deckungsgrad der einzelnen Moosarten wird nicht geschätzt. Angabe der prozentualen Deckungsgrade aller Vegetationsschichten vorgestellt als Horizontalprojektion: – **r** = < 1 %, 1 Individuum – **+** = < 1 %, bis 5 Individuen – **0,5** = < 1 %, > 5 Individuen – **1-10 %** prozentgenau – **10 %** in 5er Schritten – bei Moosen und Flechten keine Vergabe von Deckungsgraden, sondern nur „**v**“ (vorhanden) eintragen
Artenzahl (n)	Gesamtanzahl gefundener Arten pro Schicht
Wissenschaftlicher Artname	Benennung gemäß GermanSL (elektronische Referenzliste für Vegetationsdatenbanken in Deutschland)

[43] Meyer, P., Brößling, S., Bedarff, U., Schmidt, M. (2013): Monitoring von Waldstruktur und Vegetation in hessischen Naturwaldreservaten. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.

Die Kartierung erfolgt anhand des Formblattes für Vegetationsaufnahmen (Tabelle 17). Die Datenfelder und Aufnahmegrößen sind in Tabelle 16 erläutert. Im oberen Teil des Aufnahmeblattes befinden sich als Kopfdaten allgemeine Angaben zum Untersuchungsgebiet sowie Angaben zu Deckungsgrad und Höhe der einzelnen Vegetationsschichten. Im unteren Teil werden die Vegetationsdaten in Form einer Artenliste mit Schichtzugehörigkeit und Deckungsgrad in Prozent eingetragen. Der Deckungsgrad ist der prozentuale Anteil der Teilflächen, die bei senkrechter Projektion aller oberirdischen, lebenden Pflanzenteile einer Sippe auf dem Boden abgebildet werden[42]. Es werden nur Pflanzenarten erfasst, die auf dem Boden wachsen inkl. Flechten und Moose. Auf der Fläche vorkommende Sonderstandorte (z. B. Steine, Felsen, liegende Baumstämme) werden flächenmäßig nicht herausgerechnet. Ihre Arten werden bei der Vegetationsaufnahme nicht berücksichtigt.

Im WiNat-Projekt werden die **Deckungsgrade der Pflanzenarten prozentgenau** angegeben. Allerdings sind auch andere Schätzskalen wie beispielsweise die nach Braun-Blanquet (1964)[44] oder Londo (1976)[45] möglich.

Materialien und erforderliche Kenntnisse

Folgende Messinstrumente und Materialien sind bei der Vegetationsaufnahme mitzuführen:

- Formblätter für Vegetationsaufnahmen
- ggf. Aufnahmeanweisung
- GPS-Gerät, Liste mit Koordinaten der Probekreise
- Arbeitskarte des Untersuchungsgebietes mit Probekreisen
- Suunto-Bussole mit Gon-Teilung bzw. Kompass
- Fluchtstangen bzw. Stäbe zum Einmessen und Abstecken der Probefläche
- Rollmaßband (20 m) zum Abmessen der Fläche
- Zollstock zur Messung der Schichthöhen
- Stift
- Lupe, Binokular zur (späteren) Bestimmung
- Aufbewahrungsmöglichkeiten zur Mitnahme von Pflanzen für die spätere Bestimmung
- Bestimmungsliteratur
- Schätzhilfen zur Bestimmung des Deckungsgrades

Weiterhin sind umfangreiche Kenntnisse der im Gebiet vorkommenden Pflanzenarten vonnöten.

Literaturhinweise:

- Informationen zu Vegetationsaufnahmen (z. B. Dierschke (1994): Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden)[42]

[44] Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde.
[45] Londo, G. (1976): The decimal scale for releves of permanent quadrats. Vegetatio, 33: 61–64.

- Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland[46]
- Schmidt et al. (2011): Waldartenlisten der Farn- und Blütenpflanzen, Moose und Flechten Deutschlands[47]
- Rote Liste der Pflanzen Deutschlands[48]
- Zeigerwerte der Vegetation Mitteleuropas[49]

[46] Jäger, E.J. (Hrsg.) (2016): Rothmaler - Exkursionsflora von Deutschland, Gefäßpflanzen: Grundband, 21. Auflage, 924 S.
[47] Schmidt, M., Kriebitzsch, W.-U., Ewald, J. (2011): Waldartenlisten der Farn- und Blütenpflanzen, Moose und Flechten Deutschlands. BfN-Skripten, 299: 111 S.
[48] Ludwig, G. & Schnittler, M. (Bearb.) (1996): Rote Liste gefährdeter Pflanzen Deutschlands. Schr.R. f. Vegetationskunde 28, 744 S. https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/RoteListePflanzen.pdf
[49] Ellenberg, H. & Leuschner, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht (6 Aufl.). Kapitel 27: Zeigerwerte der Pflanzen Mitteleuropas, Ulmer Verlag, Stuttgart.

Tabelle 17: Beispiel eines Formblattes für Vegetationsaufnahmen.

Untersuchungsgebiet:			**Nr. Probekreis:**		**Datum:**	
Exposition: **Neigung:**	**Bemerkungen:**					
Schicht	**B**	**B1**	**B2**	**S**	**K**	**M**
Höhe (m)						----------
Deckung (%)						
Artenzahl (n)						
B1, B2, S: max. Höhe → bei Waldstrukturaufnahme erfasst, K: mittl. Höhe						

Baumschicht		**Krautschicht (inkl. Moose)**			
Strauchschicht					

b) Xylobionte Käfer

Ziel

Mit 1.400 Arten machen xylobionte Käfer einen Anteil von etwa 20 % der heimischen Käferfauna aus. Aufgrund ihrer vielfältigen Anpassungen an Waldstandorte und -strukturen und ihrer guten taxonomischen, faunistischen und ökologischen Erforschung, sind sie sehr gut geeignet, um Waldzustände zu beschreiben und Veränderungen zu studieren[50]. Durch ihren Bedarf an Alt- und Totholz v.a. starker Dimensionen sind xylobionte Käfer ein besonderer Indikator für die naturnahen Strukturen und die lange Habitattradition alter Waldstandorte. Zu den xylobionten Käfern (Coleoptera) zählen alle Arten die sich im überwiegenden Teil ihres Lebens an oder im gesunden, kranken oder zersetzenden Holz entwickeln. Dazu gehören auch jene Arten, die sich an Holzpilzen, im Mulm oder in Nestern entwickeln. Informationen über die Zuordnung zur xylobionten Lebensweise gibt Köhler (2000)[50]. Weiterhin lassen sich sogenannten Urwaldreliktarten[51] identifizieren, die auf naturschutzfachlich besonders wertvolle Waldbestände mit langer Habitatkontinuität und das Vorhandensein später Waldentwicklungsphasen sowie großen, unterschiedlich stark zersetzten Totholzmengen angewiesen sind.

Probeflächendesign & Aufnahmemethode

Die Erfassung xylobionter Käfer findet nicht auf Ebene der Probekreise sondern auf dem gesamten Untersuchungsgebiet, d. h. im gesamten Waldbestand in dem sich die Probekreise befinden, statt. Die Flugfensterfallen wurden an einem für den Käferfang optimalen Standort angebracht. Pro Waldbestand wurde im WiNat-Projekt eine Käferfalle installiert.

Die Inventur orientiert sich methodisch an den Bestandserfassungen von Totholzkäfern in Naturwaldreservaten und Naturwaldvergleichsflächen[50,52]. Hier werden noch weitere Standardmethoden zur Totholzkäfererfassung vorgestellt, die zusätzlich zu der hier beschriebenen Methoden durchgeführt werden können.

Zur Erfassung xylobionter Käfer eignen sich **Flugfensterfallen** (Abbildung 23, Flugfensterfalle nach Rahn[53]). Die Flugfensterfalle besteht aus gekreuzten, transparenten Scheiben aus Kunststoff, einem Regenschutz und einem Fangtrichter, der in eine Fangflasche mündet. Als Konservierungsflüssigkeit eignet sich eine Mischung aus vergälltem Ethanol, Wasser, Glycerin und Essigsäure (im Verhältnis 4:3:2:1), die gleichzeitig eine anziehende Wirkung auf Totholzprimärbesiedler ausübt. Mindestens eine Flugfensterfalle pro Waldbestand wird an einem für den Käferfang optimalen Standort aufgestellt. Als Fallenbäume werden möglichst abgestorbene, absterbende oder geschädigte Stämme ausgewählt. Wenn dies nicht möglich ist, sollten möglichst stärker besonnte, vitale Bäume der Hauptbaumart ausgewählt werden. Die Baumart sollte repräsentativ für den jeweiligen Waldbestand

---

[50] Köhler, F. (2000a): Totholzkäfer in Naturwaldzellen des nördlichen Rheinlandes. Vergleichende Studien zur Totholzkäferfauna Deutschlands und deutschen Naturwaldforschung. Naturwaldzellen in Nordrhein-Westfalen VIII. – Schriftenreihe LÖBF/LAfAO NRW 18: 1-351. Recklinghausen.

[51] Müller, J., Bußler, H., Bense, U., Brustel, H., Flechtner, G., Fowles, A., Kahlen, M., Möller, G., Mühle, H., Schmidl, J. (2005): Urwald relict species – Saproxylic beetles indicating structural qualities and habitat tradition. Waldökologie online 2: 106–113.

[52] Köhler, F. (1996): Käferfauna in Naturwaldzellen und Wirtschaftswald. Vergleichende Untersuchungen im Waldreservat Kermeter in der Nordeifel. – Schriftenreihe LÖBF/LAfAO NRW 6: 1-283. Recklinghausen.

[53] Anleitung z. B. unter https://www.bioform.de/shop.php?action=tree&wg=1&pid=706&treeid=71

sein. Mittels Wurf- oder Schleudertechnik werden die Flugfensterfallen möglichst im Kronenbereich der Bäume positioniert.

Abbildung 23: Für die Untersuchungen verwendete Flugfensterfallen (Foto links: A. Weigel/ROSALIA, Foto rechts: H. Schneider/DBU Naturerbe GmbH).

Die Exposition der Fallen erfolgt bis Anfang Mai. Sinnvoll für die weitere Auswertung sind das Einmessen der Fallenstandorte (Koordinaten) und die Dokumentation der Fallenbäume (Foto, Baumart, Besonnung, Nachbarschaft). Die Fallen werden fünfmal im Jahr, monatlich von Mai bis September/Oktober, geleert um ein möglichst breites Artenspektrum zu erfassen.

Die Bestimmung der xylobionten Käferarten (inklusive fakultativ xylobionte Käfer, Altholzkäfer) erfolgt bis auf Artniveau unter Verwendung der fachüblichen Standard- und Spezialliteratur. Taxonomische Grundlage ist das „Verzeichnis der Käfer Deutschlands“[54] (Fortschreibung seit 2013 unter: www.colkat.de).

Im Rahmen des Experiments zur Waldrenaturierung wurde eine Falle pro Plot installiert (n = 16). Die xylobionten Käfer zunächst in drei aufeinanderfolgenden Jahren erfasst.

Tabelle 18 gibt einen Überblick über wichtige Aufnahmegrößen, die zur Erstellung der Datentabelle genutzt werden können. Neben den reinen Artdaten sollten bei der Erfassung xylobionter Käferarten auch noch Informationen über Biotoptypen (hier v.a. Waldarten), Waldtyp- und Habitatpräferenzen sowie die Zugehörigkeit zur Roten Liste angegeben werden (Tabelle 19).

[54] Köhler, F. & Klausnitzer, B. (Hrsg.) (1998): Verzeichnis der Käfer Deutschlands – Entomologische Nachrichten und Berichte, Beiheft 4: 1–185. Dresden.

Tabelle 18: Übersicht über die wichtigsten Aufnahmegrößen für die Inventur xylobionter Käfer.

Aufnahmegröße	Definition
CODE	EDV-Code nach "Die Käfer Mitteleuropas"[55,56,57]
GATTUNG	Gattungsname
ART	Artname
AUTOR	Autor Erstbeschreibung
FAMILIE	Familienname
ANZAHL	Anzahl gefundener Exemplare
BELEG	Belegnummer falls Beleg vorhanden
PLOT	Nummer/Name des Probekreises/der Untersuchungsfläche
GEBIET	Name des Untersuchungsgebietes
BREITE	Geografische Breite der Untersuchungsfläche
LÄNGE	Geografische Länge der Untersuchungsfläche
DATUM	Datum der Fallenleerung (dd.mm.yyyy)
DURCHG	Nummer Fallenleerung
XYLOBIONT	xylobionte Art: 1 = ja, 0 = nein
BIOTOP	Biotoppräferenz, s. Tabelle **19**
WALD	Waldtyppräferenz, s. Tabelle **19**
HABITAT	Habitatpräferenz, s. Tabelle **19**
RL1998	Gefährdungskategorie der Roten Liste 1998, s. Tabelle **19**
URWALD	Urwaldreliktarten[51]
ERFASSER	Name des Erfassers
BEMERKUNG	Bemerkungen über Besonderheiten etc.

[55] Freude, H., Harde, K. W., Lohse, G.A. (1965–83): Die Käfer Mitteleuropas. Band 1-11. Goecke & Evers. Krefeld.
[56] Lohse, G.A. & Lucht, W. (1989, 1992, 1993): Die Käfer Mitteleuropas. Supplementband mit Katalogteil 1–3 (Bd. 12, 13, 14). Krefeld.
[57] Lucht, W. & Klausnitzer, B. (1998): Die Käfer Mitteleuropas. Supplementband 4 (Bd. 15). Jena.

Tabelle 19: Wichtige Variablen bei der Erfassung xylobionter Käfer. Für xylobionte Arten werden nur die relevanten Biotop- und Habitatpräferenzen dargestellt, vollständige Liste siehe Köhler (2000)[50].

Variable	Code	Volltext
Biotoppräferenz (nur Waldbiotope)	?	unbekannt
	e	ohne Präferenz
	w	Wald/Gehölzbiotope allgemein
	wf	Wald/Gehölzbiotope Bruch- und Auwald
	wo	Wald/Gehölzbiotope offene Strukturen
Waldtyppräferenz	?	unbekannt
	b	beide
	l	Laubholz
	n	Nadelholz
Habitatpräferenz (nur Totholzhabitate)	th	Totholz Holz (lignicol)
	tm	Totholz Mulm (xylodetriticol)
	tn	Totholz Nester (xylonidicol)
	tp	Totholz Pilze (polyporicol)
	tr	Totholz Rinde (corticol)
	ts	Totholz Saftflüsse (succicol)
Gefährdungskategorie Roten Liste 1998	0	ausgestorben
	1	vom Aussterben bedroht
	2	stark gefährdet
	3	gefährdet
	4	potentiell gefährdet
	D	Daten defizitär
	R	Restriktion geographisch, sehr selten
	V	Vorwarnliste (=4)
	V*	Vorwarnliste (regional gefährdet)

Materialien und erforderliche Kenntnisse

Folgende Messinstrumente und Materialien werden bei der Inventur xylobionter Käfer benötigt:

- Für eine Anleitung zum Bau einer Flugfensterfalle nach Rahn siehe beispielsweise https://www.bioform.de/shop.php?action=tree&wg=1&pid=706&treeid=71
- Benötigte Materialen: transparente Polycarbonatscheiben (25 x 50 cm), Regenschutz (z. B. Blumenuntersetzer aus Kunststoff, Durchmesser ca. 30 cm), Fangtrichter (Durchmesser 25 cm), Fangflasche, Konservierungsflüssigkeit (Mischung aus vergälltem Ethanol, Wasser, Glycerin und Essigsäure im Verhältnis 4:3:2:1)
- ggf. Aufnahmeanweisung
- Arbeitskarte des Untersuchungsgebietes mit Probekreisen
- GPS-Gerät zum Einmessen der Fallenstandorte

- Aufbewahrungsmöglichkeiten für die gefangenen Käfer zur späteren Bestimmung
- Notizzettel
- Bestimmungsliteratur
- Lupe, Binokular
- Geeignete Datenbankstruktur (in Excel), als Vorlage eignet sich Tabelle 18

Weiterhin sind umfangreiche Kenntnisse der im Gebiet vorkommenden Käferarten vonnöten.

Literaturhinweise:

- Freude et al. (1965–83): Die Käfer Mitteleuropas[55], Ergänzungsbände[56,57,58]
- Köhler & Klausnitzer (1998): Verzeichnis der Käfer Deutschlands[54], Nachtrag[59], Fortschreibung seit 2013 unter: www.colkat.de)
- Informationen über xylobionte Käfer (z. B. Köhler (2000a): Totholzkäfer in Naturwaldzellen des nördlichen Rheinlandes[50])
- Urwaldreliktarten nach Müller et al. (2005)[51]
- Rote Liste der Käfer (Coleoptera)[60]

[58] Pfeffer, A. (1995): Zentral- und westpaläarktische Borken- und Kernkäfer (Coleoptera: Scolytidae, Platypodidae). Pro Entomologica. Basel.
[59] Köhler, F. (2000c): Erster Nachtrag zum „Verzeichnis der Käfer Deutschlands“. Entomologische Nachrichten und Berichte 44 (1): 60–84.
[60] Geiser, R. (1998): Rote Liste der Käfer (Coleoptera). In: BFN (1998): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Schriftenr. f. Landschaftspfl. u. Natursch. 55: 168–230.

c) Pilze

Ziel

Ähnlich wie die anderen bereits vorgestellten Biodiversitätskenngrößen kann auch das Pilzvorkommen bei der Bewertung von Waldbeständen dienlich sein, insbesondere im Hinblick auf die Habitatkontinuität und zur Erfassung von Totholzmengen und Strukturen reifer Wälder[61]. Auch für Pilze existiert mittlerweile eine anerkannte Referenzliste auf Basis von Expertenbefragungen und Literaturstudien, in der 68 holzbewohnenden Arten als Naturnähezeiger von Wäldern genannt werden[62]. Ein anderer Ansatz bezieht sich auf sogenannte Signalarten zur schnellen und kostengünstigen Einschätzung der Naturnähe eines Waldbestanden, zur Identifizierung historisch alter Waldstandorte und zur Erfassung der Biodiversität inkl. gefährdeter Arten eines Lebensraumes[63].

Probeflächendesign & Aufnahmemethode

Die Erfassung der Pilzdiversität kann auf Basis der Probekreise durchgeführt werden. Alternativ dazu kann auch der Gesamtbestand, in dem die Probekreise liegen, auf der Suche nach naturschutzfachlich relevanten bzw. gebietstypischen Arten per **„random walk“** begangen (s. Abbildung 24). Je nach Kapazitäten sollten so viele Probekreise wie möglich oder auch der gesamte Waldbestand – sofern die Flächengröße es zulässt – untersucht werden, um ein möglichst breites Artenspektrum zu erfassen.

Im Experiment zur Waldrenaturierung fanden die Pilzinventuren aufgrund des umfassenden Arbeitsaufwandes auf einer zuvor festgelegten Auswahl an Probekreisen pro Plot statt (n = 3, d. h. n = 12 pro Behandlungsvariante).

[61] Schmidt, M., Meyer, P., Langer, E. (2012): Holzbewohnende Pilze als Naturnähezeiger in hessischen Wäldern. AFZ – Der Wald 6: 19–21.
[62] Blaschke, M., Helfer, W., Ostrow, H., Hahn, C., Loy, H., Bußler, H., Krieglsteiner, L. (2009): Naturnähezeiger – Holz bewohnende Pilze als Indikatoren für Strukturqualität im Wald." Natur und Landschaft 84 (12): 560–566.
[63] Fichtner, A. & M. Lüderitz (2013): Signalarten – ein praxisnaher Beitrag zur Erfassung der Naturnähe und Biodiversität in Wäldern. Natur und Landschaft 88: 392–399.

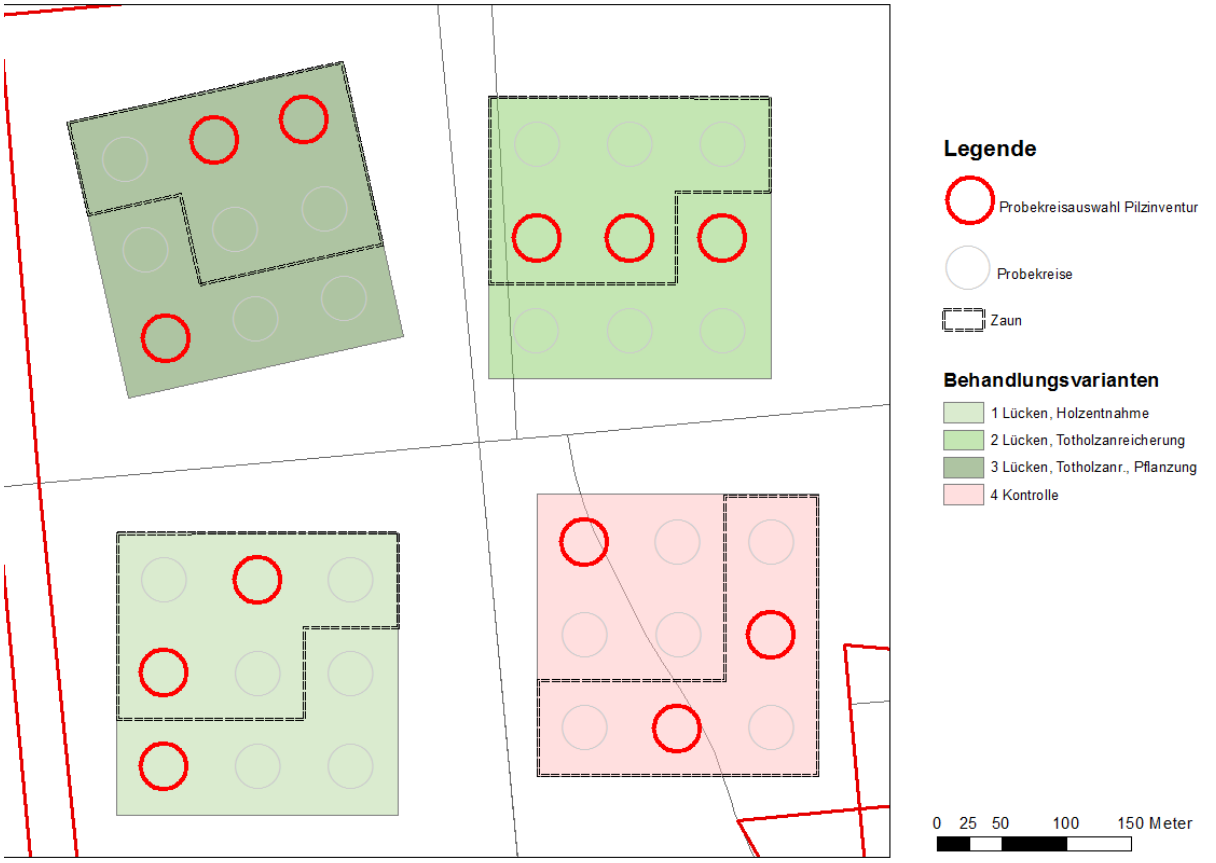

Abbildung 24: Für die Pilzinventuren im Renaturierungsexperiment wurden drei Probekreise pro Plot ausgewählt (rote Kreise). Außerdem wurde der gesamte Plot in dem die neun Probekreise liegen begangen.

Die Methode der Pilzinventur wurde zusammen mit der Deutschen Gesellschaft für Mykologie (DGfM) erarbeitet. Als Hilfsmittel zur Erfassung, Verwaltung und Auswertung der Pilzfunde eignet sich das mykologische Informationssystem (MykIS) der DGfM[64].

Unabhängig von der Anzahl bzw. der Größe an zu untersuchenden Probeflächen, ist eine einheitliche Methode bei der Pilzinventur nötig. Dies kann durch eine **zeitstandardisierte Begehung** der Flächen (vorher festgelegte Zeit pro Person, Fläche und Begehung) auf der Suche nach den relevanten Pilzvorkommen gewährleistet werden. Im Renaturierungsexperiment wurde jeder 0,1 ha-Probekreis jeweils 45 Minuten pro Person und Erfassungsdurchgang begangen und nach den relevanten Pilzvorkommen (reife Fruchtkörper von Großpilzen) hin visuell untersucht. Zeitgleich wurde der gesamte Plot auf der Suche nach naturschutzfachlich relevanten bzw. gebietstypischen Arten abgegangen.

Als sinnvoll erweisen sich **drei Erfassungsdurchgänge** pro Jahr, um ein möglichst breites Artenspektrum zu erfassen. Die Auswahl der Untersuchungstage erfolgt entsprechend günstiger Wuchsbedingungen jeweils einmal pro Jahr im Frühjahrs- (April/Mai), Haupt- (August/September) und Spätherbstaspekt (Oktober/November). Im Renaturierungsexperiment wurde das Pilzvorkommen zunächst in drei aufeinanderfolgenden Jahren erfasst.

Es werden folgende Arten erfasst: Ektomykorrhiza-Pilze, Holz- und Streuzersetzer (Basidiomycota: Agaricales, Boletales, Cantharellales, Russulales, Thelephorales und polyporoide sowie corticioide

[64] https://www.dgfm-ev.de/naturschutz-und-kartierung/kartierung

Pilze; alle Ascomyzeten mit großen Fruchtkörpern). Die Bestimmungen erfolgen bei leicht kenntlichen Arten makroskopisch im Feld. Nicht sofort ansprechbare Arten werden frisch und ggf. als Exsikkat detailliert mikroskopisch untersucht. Im WiNat-Projekt wurden alle o.g. Arten auf Ebene der ausgewählten Probekreise erfasst. Bei den zu erfassenden Arten im Gesamtbestand handelte es sich um (tot)holzbewohnenden Arten[62], Rote-Liste-Arten Deutschlands und alle Arten, die makroskopisch sichtbar sind.

Tabelle 20 gibt einen Überblick über wichtige Aufnahmegrößen, die zur Erstellung der Datentabelle genutzt werden kann.

Tabelle 20: Übersicht über die wichtigsten Aufnahmegrößen für die Pilzinventur.

Aufnahmegröße	Definition
CODE	Artnummer nach MykIS (DGfM)
GATTUNG	Gattungsname
ART	Artname
AUTOR	Autor Erstbeschreibung
FAMILIE	Familienname
BELEG	Belegnummer falls Beleg vorhanden
PLOT	Nummer/Name des Probekreises/der Untersuchungsfläche
GEBIET	Name des Untersuchungsgebietes
BREITE	Geografische Breite der Untersuchungsfläche
LÄNGE	Geografische Länge der Untersuchungsfläche
DATUM	Datum (dd.mm.yyyy)
DURCHG	Nummer Sammeldurchgang
WIRT	Wirtsbaumart, wenn unbekannt dann angeben ob Laub- oder Nadelholz
ORGAN/SUBSTRAT	Organ bzw. Substrat
ZERFALLSPHASE	Zerfallsphase des Holzes (Initialphase, Optimalphase, Finalphase = frisch, mittel, stark)
XYLOBIONT	xylobionte Art: 1 = ja, 0 = nein
RL_D	Gefährdungskategorie der Roten Liste 1998
ERFASSER	Name des Erfassers
BEMERKUNG	Bemerkungen über Besonderheiten etc.

Materialien und erforderliche Kenntnisse

Folgende Messinstrumente und Materialien werden bei der Pilzinventur benötigt:

- Formblätter für Pilzinventur (Name Untersuchungsfläche, Nummer Probekreis, Artname bzw. fortlaufende Nummer des Pilzfundes zur späteren Bestimmung)
- ggf. Aufnahmeanweisung
- GPS-Gerät, Liste mit Koordinaten der Probekreise
- Arbeitskarte des Untersuchungsgebietes mit Probekreisen
- Stift

- Lupe, Binokular
- Aufbewahrungsmöglichkeiten zur Mitnahme von Pilzen für die spätere Bestimmung
- Bestimmungsliteratur
- Schätzhilfen zur Bestimmung des Deckungsgrades
- Geeignete Datenbankstruktur (in Excel), als Vorlage eignet sich Tabelle 20

Weiterhin sind umfangreiche Kenntnisse der im Gebiet vorkommenden Pilzarten vonnöten.

Literaturhinweise:

- Zahlreiche Bestimmungswerke für alle Artengruppen
- Naturnähezeiger nach Blaschke et al. (2009)[62]
- Signalarten nach Fichtner & Lüderitz (2013)[63]
- Rote Liste der Großpilze Deutschlands[65]

[65] Matzke-Hajek, G.; Hofbauer, N., Ludwig, G. (Red.) (2016): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands. Band 8: Pilze (Teil 1) – Großpilze. Bundesamt für Naturschutz. Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (8): 440 S.

3.4.4. Erfassung der Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte des Bodens

Ziel

Die Erfassung bodenchemischer Parameter stellt die Grundlage u. a. für die Zusammensetzung und Diversität der Waldvegetation dar. Neben der allgemeinen Beurteilung der bodenchemischen Gegebenheiten im Renaturierungsexperiment sollten auch Auswirkungen der künstlich angelegten Bestandslücken auf bodenchemische Parameter wie z. B. die Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte des Bodens quantifiziert werden.

Probeflächendesign & Aufnahmemethode

Probekreisbezogene Probenentnahme

Um probekreisbezogene Bodendaten für die Flächen des Renaturierungsexperiments zu erhalten, wurden auf allen 144 Probekreisen des Renaturierungsexperiments Bodenproben bis zu einer Tiefe von 20 cm entnommen. Die Proben wurden jeweils in NW-Richtung (315°), mit einem Abstand von 9 m zum Probekreismittelpunkt entnommen. Dies entspricht dem Mittelpunkt der Unterfläche, auf der die Vegetationsaufnahmen durchgeführt wurden. Für die Messungen wurden die Proben in die organische Auflage und 0–20 cm Mineralboden getrennt.

Lückenbezogene Probenentnahme

Die Auswirkungen der künstlich angelegten Bestandeslücken im Renaturierungsexperiment auf die Bodenparameter sollten durch Bodenproben vor und nach Maßnahmenumsetzung bestimmt werden. Die Entnahme der Bodenproben beschränkte sich auf die Flächen der Variante 1 (Holzernte), da die Bodenparameter durch die Maßnahmenumsetzung in den Varianten 2 und 3 (Totholzanreicherung) zu sehr beeinträchtigt wurden. Auf den vier Flächen der Variante 1 wurden jeweils neun Lücken (drei Lücken je Größe von 100, 250 und 500 m²) beprobt. Pro Lücke wurden jeweils acht Bodenproben bis 20 cm Tiefe entnommen (n = 288 Proben). Vier Proben wurden im Zentrum der Lücke (zufällige Verteilung der Proben in einer quadratischen Fläche der Größe 3x3 m) entnommen. Die vier übrigen Proben wurden außerhalb der Lücke in südlicher Richtung, in einem Abstand von maximal 5 m zum Lückenrand entnommen um nicht mit anderen Lücken in Berührung zu kommen (zufällige Verteilung innerhalb von 4 m², Abbildung 25). Der Abstand zum Lückenrand sollte dabei nicht zu stark variieren. Für alle Proben galt ein Mindestabstand zum nächsten Baum als auch zur nächsten Probe von 1 m. Die Einstichstellen wurden mit Magneten markiert, um die Lokalisierung für die am Ende des Experiments folgenden Wiederholungsproben zu ermöglichen. Für die Messungen wurden die Proben in die organische Auflage, 0–10 cm und 10–20 cm Mineralboden getrennt.

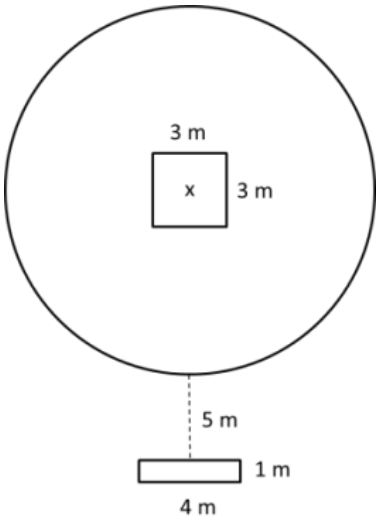

Abbildung 25: Schema der Bodenprobenentnahme auf den Experimentflächen. Der Kreis stellt den Bereich der Baumfällungen dar (Bestandeslücke); innerhalb des Rechtecks fand die Probenentnahme statt.

Materialien und erforderliche Kenntnisse

Folgende Messinstrumente und Materialien werden benötigt:

- GPS-Gerät, Liste mit Koordinaten der Probekreise bzw. Messstellen
- Arbeitskarte des Untersuchungsgebietes mit Probekreisen und ggf. Lage der Lücken
- Kompass
- Stift, Aufnahmebogen
- Pürckhauer o. ä. zur Probenentnahme
- Zollstock zur Messung der Bodentiefen
- Aufbewahrungsmöglichkeiten zur Mitnahme der Bodenproben
- Ggf. Farbe, Bänder, Magnete zur Markierung der Messstelle
- Bei Wiederholungsaufnahme: Metalldetektor zum Wiederauffinden der Messstelle

3.5. Erste Veränderungen nach Maßnahmenumsetzung

3.5.1. Totholzanreicherung

Nach der Erfassung der Ausgangsituation im Jahr 2015, wurde 2017 die Wiederholung der Waldinventur durchgeführt. Anhand der digitalen Bestandeskarten können die Veränderung aufgrund der durchgeführten Behandlungsmaßnahmen der Varianten 1–3 veranschaulicht werden (Abbildung 26).

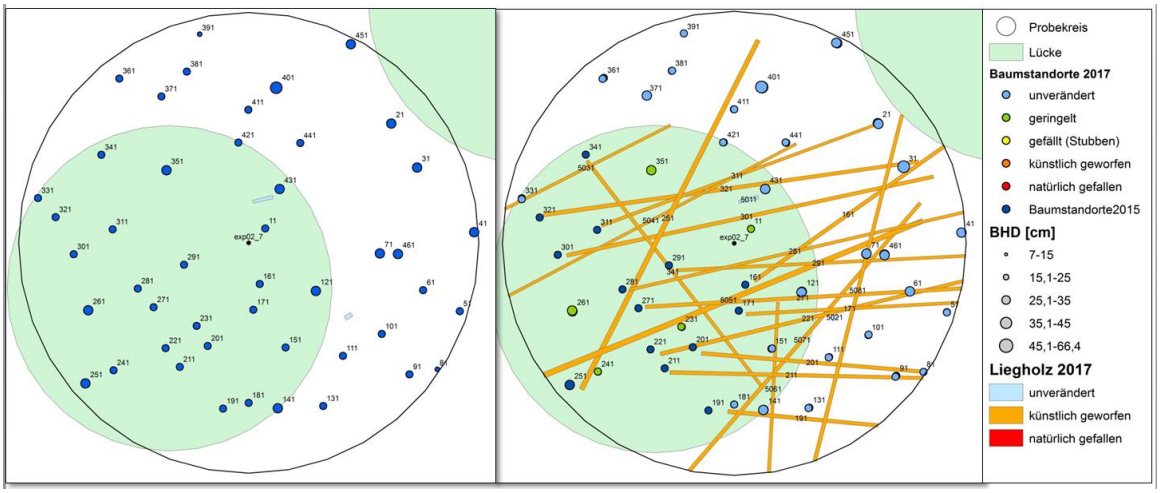

Abbildung 26: Waldstrukturaufnahme im Renaturierungsexperiment (Variante 2 = Totholzanreicherung in Lücken) aus den Jahren 2015 (links) und 2017 (rechts).

Im Renaturierungsexperiment wurden im Jahr 2015 insgesamt 9.079 stehende Bäume kartiert. Die Wiederholungsinventur aus dem Jahr 2017 zeigte, dass im Zuge der Maßnahmenumsetzung innerhalb der Probekreise 526 Bäume umgeworfen und 426 gefällt und geerntet wurden, sodass insgesamt 8.108 Bäume im stehenden Bestand verblieben (Tabelle 21). In den Varianten 1 bis 3 wurde das Ziel, rund 20 % des Baumbestands auf den Probekreisen zu behandeln, erreicht. Die Auflichtung ohne Holzentnahme führte in den Varianten 2 und 3 zu einem signifikanten Anstieg der Totholzmenge von ca. 2,5 m³ auf 50 m³ (Abbildung 27). Diese Menge entspricht dem von Müller und Bütler (2010) angegebenen Schwellenwert für eine reiche Biodiversität xylobionter Arten. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass durch die Maßnahmen ein sehr homogenes Totholzangebot hinsichtlich Dimensionen, Baumarten und Zersetzungsgrad geschaffen wurde. Untersuchungen im Rahmen des Naturnähe-Monitorings zeigten aber, dass gerade ein vielfältiges Totholzangebot den Artenreichtum fördert. Der leichte Anstieg in den Varianten 1 und 4 ist auf den Zaunbau, wofür auch einige Bäume gefällt werden mussten, und auf Windwürfe zurückzuführen.

Tabelle 21: Anzahl Bäume nach Maßnahmenumsetzung (stehender Bestand , April 2017). Unverändert = im Vergleich zu 2015 (d. h. ohne Maßnahme); gefällt (Stubben) = Baum gefällt und entfernt (Variante 1); geworfen = Baum umgeworfen, Stehholz zu Liegholz (Varianten 2 & 3); geringelt = Stamm geringelt (Varianten 2 & 3); gefallen = ohne menschliches Eingreifen.

Maßnahme	Variante 1				Variante 2				Variante 3				Variante 4				Σ
	exp04	exp08	exp12	exp13	exp02	exp06	exp07	exp15	exp01	exp05	exp10	exp11	exp03	exp09	exp14	exp16	
unverändert	563	370	300	636	316	611	377	581	408	541	337	285	639	467	853	547	**7831**
gefällt	116	99	83	126													**426**
geworfen					50	61	66	94	67	69	72	47					**526**
geringelt					22	33	34	49	36	41	37	25					**277**
gefallen	1	1	4	5						1	1			5		1	**19**
Σ	680	470	387	767	388	705	477	724	511	652	447	357	639	472	853	548	**9079**
Anteil	**19%**				**18%**				**20%**				**0%**				

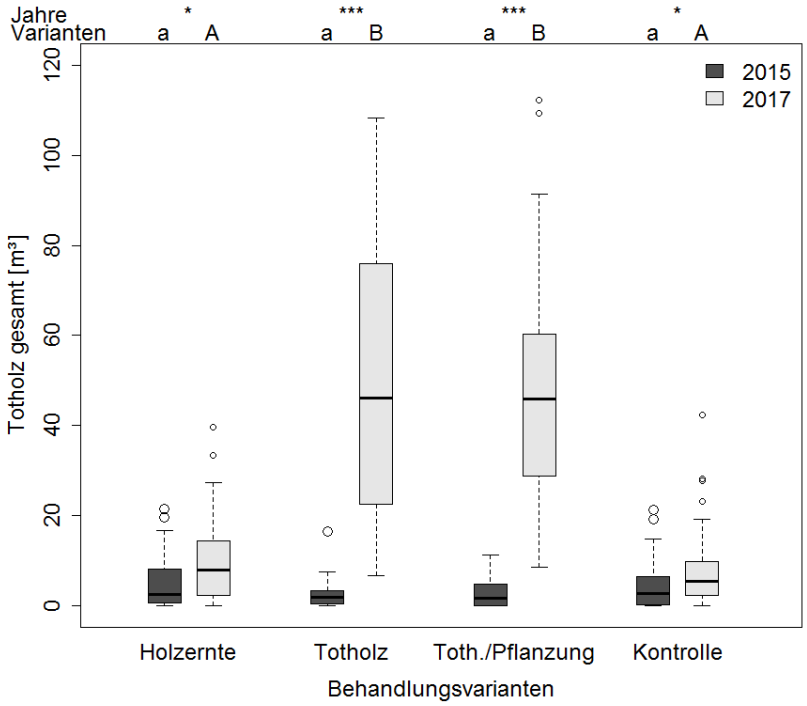

Abbildung 27: Vergleich des Totholzvolumens in den Jahren 2015 und 2017 in den vier Behandlungsvarianten. Sternchen zeigen sign. Unterschiede zwischen den Aufnahmejahren (* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$), Buchstaben zeigen sign. Unterschiede zwischen den Varianten in beiden Jahren.

3.5.2. Biodiversität

Der durch die Maßnahmenumsetzung verbundene Anstieg der Lichtmenge im Unterwuchs lässt einen Anstieg der **Pflanzenartenzahlen** erwarten. Wie durch zahlreiche Studien gezeigt wurde, profitieren zunächst Lichtarten und Generalisten von dem erhöhten Lichteinfall durch die forstliche Bewirtschaftung[66,67]. Die Anzahl an spezialisieren, typischen Waldarten mit geringerem Lichtbedarf nimmt dagegen ab. Allerdings zeigen weder die Arten der Krautschicht noch die der Moosschicht zwei Jahre nach der Bestandesauflichtung keine signifikanten Zunahmen. Betrachtet man ausschließlich die Artenzahlen der Gehölzverjüngung so werden signifikante Unterschiede deutlich (Abbildung 28). Nach Maßnahmenumsetzung kommt es in den Behandlungsvarianten 1–3 zu einem signifikanten Anstieg der Artenzahlen. Auch in Variante 4 ist ein leichter Trend hin zu mehr Arten erkennbar, jedoch nicht signifikant. Da die höheren Artenzahlen nicht nur in Variante 3 mit aktiver Pflanzung erkennbar ist, kann davon ausgegangen werden, dass es sich um einen Effekt der Auflichtung durch Anlegen der Lücken handelt. Die besseren Lichtbedingungen und Bodenverwundungen durch den Maschineneinsatz fördert vor allem Lichtarten und Rohbodenkeimer wie die Kiefer. In Variante 4 ist der leichte Anstieg der Gehölzarten durch den Zaunbau erklärbar. Auch hier mussten für das Anlegen des Zaunes einige Bäume gefällt und Abtransportiert werden, was ebenfalls zu leichten Veränderungen der o. g. Wuchsbedingungen geführt haben könnte.

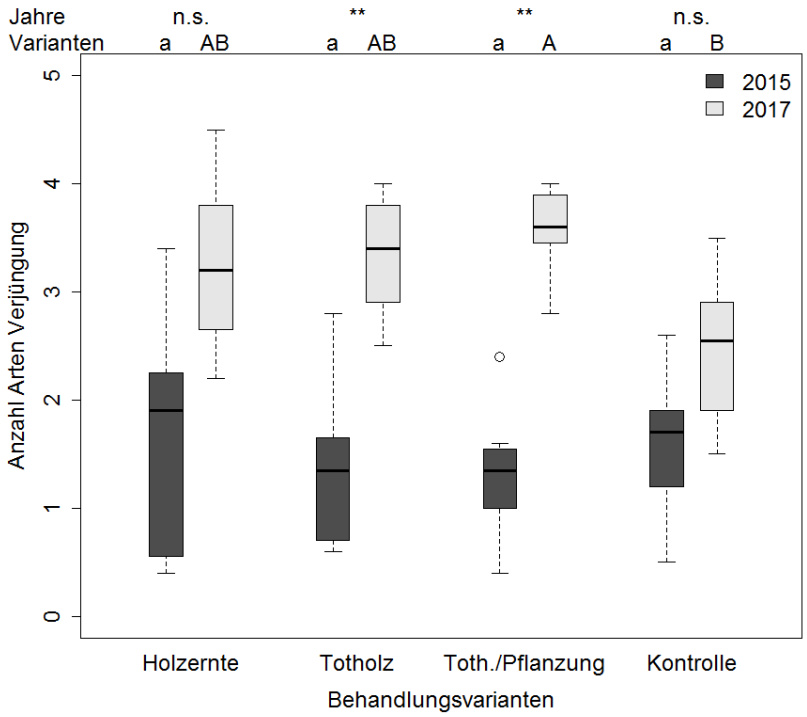

Abbildung 28: Anzahl Arten der Verjüngung im Renaturierungsexperiment der Jahre 2015 und 2017 in den vier Behandlungsvarianten (2015 Nullaufnahme, 2017 Wiederholungsaufnahmen nach Maßnahmenumsetzung). Sternchen zeigen sign. Unterschiede zwischen den Aufnahmejahren (* $p < 0{,}05$, ** $p < 0{,}01$, *** $p < 0{,}001$), Buchstaben zeigen sign. Unterschiede zwischen den Varianten in beiden Jahren.

[66] Schmidt, W. (2005): Herb layer species as indicators of biodiversity of managed and unmanaged beech forests. For Snow Landsc Res 79(1/2): 111-125.

[67] Boch, S., Prati, D., Müller, J., Socher, S., Baumbach, H., Buscot, F., Gockel, S., Hemp, A., Hessenmöller, D., Kalko, E. K. V., Linsenmair, K. E., Pfeiffer, S., Pommer, U., Schöning, I., Schulze, E.-D., Seilwinder, C., Weisser, W. W., Wells, K., Fischer, M. (2013): High plant species richness indicates management-related disturbances rather than the conservation status of forests. Basic and Applied Ecology 14(6): 496-505.

Auf den Untersuchungsflächen wurden insgesamt 348 **Käferarten** bestimmt; davon können 169 Arten den **xylobionten Käfern** zugeordnet werden (vgl. Köhler, 2000[68]). Im Jahr 2015 wurden zwei Exemplare der **Urwaldreliktart**: *Mycetophagus decempunctatus* gefunden, eine Art die Holzpilze und pilzbefallenes Holz als Habitat nutzt. Beide Exemplare wurden an aufeinanderfolgenden Fallenleerungen auf der gleichen Fläche gefunden. Aufgrund der geringen Individuenzahl ist es nicht ungewöhnlich, dass diese Art in den Wiederholungsinventuren nach Maßnahmenumsetzung nicht gefunden wurde. Es kann angenommen werden, dass die Art in den nächsten Jahren mit fortschreitender Pilzzersetzung des Holzes wieder vermehrt vorkommen wird. Die ökologische Gilde der Rinden- und Saftkäfer machen hierbei den größten Anteil der xylobionten Käfer aus (Zugehörigkeit der gefundenen xylobionten Käfer zu den ökologischen Gilden: 43 % Rinden/Saft, 16 % Holz, 11 % Nest/Mulm, 8 % Pilze). Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muss beachtet werden, dass diese sehr mobilen Arten besonders häufig in hier verwendeten Flugfallen gefangen werden, da sie durch Alkohol angelockt werden, der sowohl bei der Gärung von Baumsäften entsteht als auch einen Großteil der Konservierungsflüssigkeit (i.d.R. 40 % Ethanol) ausmacht[69]. Die Anzahl an xylobionten Käferarten steigt nach Maßnahmenumsetzung leicht an. Da auch in der Kontrollvariante ein Anstieg erkennbar ist, deutet der Artenanstieg eher auf gute Witterungsbedingungen für Käfer hin als auf einen Effekt der Maßnahmen. Neben den jungen Kiefernreinbeständen des Renaturierungsexperiments wurden vier alte Kiefernbestände (> 100 Jahre), die aus der Nutzung entlassen wurden, als Referenz vergleichend beprobt. Die Kiefernaltbestände und die Nullnutzungsfläche des Experiments weist eine vergleichbare Anzahl xylobionter Arten auf. Hier ist der Anstieg der Artenzahlen nicht so deutlich ausgeprägt. Da die Varianten 1–4 nah beieinander liegen, die Referenzbestände jedoch nicht, wäre es ebenfalls möglich, dass der Anstieg in 2017 doch auf die Maßnahmen zurückzuführen ist, der sich – aufgrund der räumlichen Nähe – auch auf Variante 4 auswirkt. Die nächsten Jahre werden zeigen, ob sich der Effekt v.a. in den Varianten mit aktiver Behandlung noch verstärkt.

Während der **Pilzinventur** wurden insgesamt 371 Arten erfasst, davon 230 **xylobionte Arten**. Als Arten der Roten Liste Deutschlands konnten *Cortinarius tubarius* (Kat. 2), *Russula claroflava* und *Tricholoma albobrunneum* (beide Kat. 3) nachgewiesen werden. Vier Arten konnten im Rahmen der Inventur zum ersten Mal in Brandenburg nachgewiesen werden. Auf den Schnittflächen und Stämmen der gefällten und umgeworfenen Kiefern kamen vermehrt *Phlebiopsis gigantea* sowie *Trichaptum abietinum* und *T. hollii* als Erstbesiedler auf. Außerdem wurden innerhalb der Lücken der Variante 1 verschiedene Bodenpilze kartiert. Bei den Wiederholungsinventuren nach der Maßnahmenumsetzung wurden bislang noch keine signifikanten Unterschiede im Pilzvorkommen beobachtet. Die Trockenheit der Jahre 2015 und 2016 führt trotz Totholzanreicherung zu einer Abnahme des Gesamtpilzaufkommen. Ein Anstieg der Pilzarten wird erst in den nächsten Jahren erwartet.

[68] Köhler, F. (2000): Totholzkäfer in Naturwaldzellen des nördlichen Rheinlandes. Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten NRW, Band 18, 352 S.

[69] Köhler, F. (2012): Die Totholzkäfer (Coleoptera) des Naturwaldreservates „Beetebuerger Bësch“ (2007-2008). In: Murat, D. (Schriftl.) (2012): Naturwaldreservate in Luxemburg, Bd. 9. Zoologische und botanische Untersuchungen „Beetebuerger Bësch“ 2005-2011. Naturverwaltung Luxemburg: 324S.

4. Fazit

Nach Zielstellungen der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) sollte in Deutschland bis zum Jahr 2020 eine natürliche Waldentwicklung auf 5 % der gesamten Waldfläche bzw. 10 % des öffentlichen Waldes stattfinden. Diese Flächen schließen z. T. auch Wildnisgebiete ein, die im Rahmen der NBS für 2 % der Landesfläche in Deutschland angestrebt werden. Einer aktuellen Studie zufolge ist die natürliche Waldentwicklung auf 2,8 % der gesamten Waldfläche Deutschlands zum Stichjahr 2020 gesichert; nach 2020 ist ein Wert von 3 % zu erwarten[70]. Insbesondere auf den Flächen des Nationalen Naturerbes, die zu großen Teilen von nicht-standortgerechten Nadelholzreinbeständen dominiert werden, stellt sich im Zuge der Ausweisung als Naturerbefläche die Frage, ab welchem Zeitpunkt der Verzicht auf ein weiteres Management in Betracht gezogen werden sollte, wenn das Ziel die schnellstmögliche Überführung in strukturreiche Laub(misch)waldbestände ist. Sollen diese Wälder sich selbst überlassen werden, was bedeutet, dass sich ein mittelalter Kiefernreinbestand erst in vielen hundert Jahren zu einem im besten Fall naturnahen Buchenbestand entwickeln wird – wie es in den meisten Gebieten Deutschlands als potentiell natürliche Waldgesellschaft angenommen wird? Oder sollte man aktiv eingreifen und damit eine Initialzündung schaffen um die Entwicklung hin zu naturnahen, strukturreichen Wälder zu beschleunigen? Das „Experiment zur Waldrenaturierung“ im Rahmen des WiNat-Projekts kann dabei helfen diese Fragen zu beantworten. Hintergrund des Experiments ist das Bestreben, die Waldbestände des DBU-Naturerbes schnellstmöglich einer natürlichen Entwicklung zuzuführen. Dafür wurden verschiedene Maßnahmen zur Erhöhung der Naturnähe in Kiefernreinbeständen (die Altersspanne liegt zwischen 48 und 79 Jahren) auf der DBU-Naturerbefläche Rüthnicker Heide in Brandenburg erprobt mit dem Ziel einer beschleunigten Entwicklung mit Strukturmerkmalen reifer Wälder.

Zwei Jahre nach Maßnahmenumsetzung zeigen sich hinsichtlich der Biodiversität noch kaum Unterschiede in den verschiedenen Behandlungsvarianten. Die Struktur der Wälder hat sich durch die Schaffung von Bestandeslücken, Totholzanreicherung und Pflanzungen je nach Behandlungsvariante deutlich verändert. Die Anwendung des im Rahmen des WiNat-Projekts erarbeiteten Old-Growth-Indikators als Maß für die Naturnähe der Waldstruktur (siehe Abschlussbericht des WiNat-Projekts) auf die Daten der Experimentflächen zeigt jedoch keine Ähnlichkeiten mit echten Old-Growth-Beständen. Messbare Veränderungen der eigendynamischen Entwicklung der Waldstruktur, sowie der damit assoziierten Artengruppen werden vermutlich erst im Zuge einer Wiederholungsaufnahme, die in einem Zeitraum von zehn Jahren nach Maßnahmenumsetzung angestrebt ist, nachvollziehbar sein. Aus den so gewonnenen Daten lassen sich praktische Implikationen für die zukünftige Bewirtschaftung von nadelholzdominierten Naturerbeflächen ableiten. Zum Beispiel sollten sich die Fragen klären lassen, welche der drei Lückengrößen (100 m², 250 m² und 500 m²) den besten Effekt auf die Etablierung von Naturverjüngung hat, ob diese sich besser auf den Lücken mit oder ohne Totholzanreicherung halten kann, ob die Erzeugung der Lücken zu erhöhten Absterberaten der unmittelbar angrenzenden noch lebenden Bäume geführt hat (sei es infolge von Windwurf, Trockenheit oder Insektenbefall) und welche Artengruppen durch die veränderte Bestandesstruktur profitieren oder an Bedeutung

[70] Engel, F., Bauhus, J., Gärtner, S., Kühn, A., Meyer, P., Reif, A., Schmidt, M., Schultze, J., Späth, V., Stübner, S. (2016): Wälder mit natürlicher Entwicklung in Deutschland: Bilanzierung und Bewertung. Naturschutz und Biologische Vielfalt 145, 274.

verlieren. Nach einer Meta-Studie[71] wirkt sich aktive Totholzanreicherung positiv auf die meisten untersuchten totholzbewohnenden Artengruppen aus, wobei sich Reichtum und Zusammensetzung zum Teil von den auf natürlich abgestorbenem Totholz vorkommenden Arten unterscheidet. Insbesondere die kontinuierliche Totholznachlieferung und starke Durchmesser sind für seltene und Rote-Liste Arten von großer Bedeutung. Ob die umgesetzten Maßnahmen als Initialzündung geeignet sind und sich auch langfristige auf die Waldentwicklung und das Artenspektrum auswirken werden, wird sich erst in der Zukunft zeigen. Im Optimalfall verändert sich die vertikale und horizontale Struktur der Bestände dauerhaft, so dass sich in einigen Jahrhunderten ein kleinräumiges Mosaik aus verschiedenen Waldentwicklungsphasen in einem von Laubbaumarten dominierten Bestand einstellt.

[71] Koivula, M. & Vanha-Majamaa, I. (2020): Experimental evidence on biodiversity impacts of variable retention forestry, prescribed burning, and deadwood manipulation in Fennoscandia. Ecol Process 9, 11.