leben.natur.vielfalt
die Strategie

Aufnahmemethoden für das Naturnähe-Monitoring in Wäldern im Projekt „Wildnis Naturerbe“ (WiNat)

Stand: 12.01.2021

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BfN 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
Bearbeiterinnen: 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
Bearbeiterinnen/Bearbeiter: 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
Bearbeiterinnen/Bearbeiter: Prof. Dr. Christoph Leuschner, Agnes Förster, Marco Diers

Projektkoordination: PD Dr. Heike Culmsee (DBU Naturerbe GmbH), h.culmsee@dbu.de

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

Zitiervorschlag: Schneider, H., Culmsee, H., Aljes, M., Förster, A., Meyer, P., Leuschner, C. (2021): Aufnahmemethoden für das Naturnähemonitoring in Wäldern im Projekt „Wildnis Naturerbe“ (WiNat). Stand: 12.01.2021. 82 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. Methodenbeschreibung 11
2.1. Auswahl der Untersuchungsgebiete 11
2.2. Auswahl der Waldbestände 12
2.3. Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen (Probekreise) 12
2.4. Aufnahmeskalen 15
2.5. Waldstrukturaufnahme 17
2.5.1. Aufnahmemethode lebender Bestand 21
2.5.2. Aufnahmemethode liegendes/stehendes Totholz 31
2.5.3. Aufnahmemethode Gehölzverjüngung 38
2.6. Transektkartierung zur Erfassung von Habitatstrukturen und Totholz 41
2.7. Erfassung der Biodiversität 52
2.7.1. Krautschichtvegetation 52
2.7.2. Xylobionte Käfer 58
2.7.3. Pilze 64
2.7.4. Epiphytische Flechten und Moose 68
2.8. Erfassung funktionaler Kenngrößen 71
2.8.1. Bestimmung der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse 71
2.8.2. Produktivitätsmessungen 73
3. Literaturverzeichnis 78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Baukastensystem der im WiNat-Projekt für ein Naturnähemonitoring von Wäldern erhobenen Daten. 10

Abbildung 2: a) Lage der Untersuchungsbestände N, ÜK, ÜL mit jeweils zehn Probekreisen auf der DBU-Naturerbefläche Weißhaus, b) Darstellung eines Probekreises inkl. Unterflächen für Vegetations- und Verjüngungsaufnahmen. 14

Abbildung 3: a) Oberirdische Dauermarkierung eines Probekreismittelpunktes auf DBU-Naturerbeflächen, b) elektronische Unterflurmarke und Suchsonde. 15

Abbildung 4: 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. 17

Abbildung 5: Die im Probekreis zu erfassenden bzw. nicht zu erfassenden Objekte bzw. Objektteile (aus Meyer et al. 2013[16]). 18

Abbildung 6: Übersichtskarte eines Probekreises mit allen erfassten stehenden und liegenden Objekten im Field-Map-Programm. 19

Abbildung 7: Darstellung der BHD-Messpunkte und der Nummerierung bei einem Baum mit Steilästen ≥ 7 cm Durchmesser (aus Meyer et al. 2013[16]). 24

Abbildung 8: Definition der Brusthöhe (aus: Kramer und Akça 1996 verändert) 26

Abbildung 9: Definition der Baumhöhe und Technik der Höhenmessung (aus: Kramer u. Akça 1996[17], verändert) 28

Abbildung 10: Aufnahmeschema von toten oder lebenden vollständigen liegenden Bäumen im Probekreis (aus Meyer et al. 2013[16]). 33

Abbildung 11: Aufnahmeschema von liegenden Bäumen mit Wurzel und Stamm ohne Krone innerhalb des Probekreises (aus Meyer et al. 2013[16]). 34

Abbildung 12: Aufnahmeschema von liegenden Objekten ohne Wurzel innerhalb des Probekreises (aus Meyer et al. 2013[16]). 34

Abbildung 13: Aufnahmeschema von gebrochenen Bäumen ohne Wurzel und von Stammstücken ≥ 20 cm (aus Meyer et al. 2013[16]). 35

Abbildung 14: Aufnahmeschema von lebendem liegenden Bestand (≥ 7 cm) (aus Meyer et al. 2013[16]). 35

Abbildung 15: Versuchsflächendesign in stratifizierter Landschaft am Beispiel der DBU-Naturerbefläche Prora (südlicher Teil). Die Straten entsprechen den DBU Waldkategorien, die den Grad der Bewirtschaftungsintensität bestimmen: Natürliche Waldentwicklung (NW), "kurzfristige Überführung"(ÜK) und „langfristige Überführung"(ÜL) 44

Abbildung 16: 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[25]). 45

Abbildung 17: Histogramm der horizontalen Entfernungen und dazugehörigen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion f(x) für Habitatbäume aus 16 Naturwaldflächen. 46

Abbildung 18: Darstellung der Unterfläche für die Vegetationsaufnahme auf den Probekreisen des WiNat-Projekts. 53

Abbildung 19: Für die Untersuchungen verwendete Lufeklektoren (Foto links: Weigel 2015, Foto rechts: DBUNE). 59

Abbildung 20: Anzahl gefangener Arten pro Fallenleerung im Rahmen des WiNat-Projekts (jeweils fünf Durchgänge in den Jahren 2015 und 2016). 60

Abbildung 21: Für die Pilzinventuren im WiNat-Projekt wurden vier Probekreise pro Waldkategorie ausgewählt (grüne Kreise, Kreuze = nicht beprobte Probekreise). Außerdem wurde der Gesamtbestand in dem die Probekreise liegen begangen (grün umrandete Flächen), am Beispiel der DBU-Naturerbefläche Weißhaus. 65

Abbildung 22: a) Permanent-Baummessband an einer Kiefer. b) Streufänger in einem Buchenbestand (Fotos: A. Förster, Universität Göttingen). 74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Waldkategorien auf DBU-Naturerbeflächen[2,3]. 8

Tabelle 2: Charakteristika der Untersuchungsflächen nach den Waldkategorien N, ÜK und ÜL der DBU Naturerbe GmbH. 12

Tabelle 3: Kenngrößen der Kategorien Struktur (S), Biodiversität (B) und Funktion (F) sowie die Untersuchungsmethodik, der Flächenbezug im Bestand und der hypothetische 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). 16

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[16]). 21

Tabelle 5: Zusammenfassung der Aufnahmeparameter für den lebenden Derbholzbestand. 22

Tabelle 6: Umrechnungstabelle Horizontalentfernung zu Geländeentfernung (aus Meyer et al. 2013[16]). 23

Tabelle 7: Schlüssel zur Klassifikation der oberirdischen Gehölzobjekte des Derbholzbestandes (aus Meyer et al. 2013[16]) 27

Tabelle 8: Aufnahmeparameter für das Totholz. 31

Tabelle 9: Aufnahmeparameter für die Verjüngung. 38

Tabelle 10: Klassifizierung der Höhenklassen (aus Meyer et al. 2013[16]). 39

Tabelle 11: Klassifizierung des Verbissprozents (aus Meyer et al. 2013[16]). 39

Tabelle 12: BHD-Klassen (nach Röhrig et al. 2006) 48

Tabelle 13: Beschreibung der im Aufnahmeverfahren erhobenen Habitatstrukturen. 48

Tabelle 14: Beispiel für ein Formblatt zur Datenaufnahme von stehenden Totholzobjekten und Habitatstrukturen, fettgedruckte Aufnahmeparameter sind obligatorisch. 50

Tabelle 15: Beispiel für ein Formblatt zur Datenaufnahme von liegenden Totholzobjekten, fettgedruckte Aufnahmeparameter sind obligatorisch. 51

Tabelle 16: Definition der Datenfelder 55

Tabelle 17: Beispiel eines Formblattes für Vegetationsaufnahmen. 57

Tabelle 18: Übersicht über die wichtigsten Aufnahmegrößen für die Inventur xylobionter Käfer. 61

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)[47]. 62

Tabelle 20: Übersicht über die wichtigsten Aufnahmegrößen für die Pilzinventur. 66

Tabelle 21: Übersicht über die wichtigsten Aufnahmegrößen für epiphytische Flechten und Moose. 69

Tabelle 22: Formeln für die gesamte oberird. Biomasse (ohne Früchte) und die Holzbiomasse von Bäumen (Erstellung für die jeweils fettgedruckte Arten, Zuordnung der übrigen Arten nach Holzdichte). OBM = oberird. Biomasse (kg Trockenmasse), HBM = Holzbiomasse (kg Trockenmasse), BHD = Brusthöhendurchmesser (cm), H = Baumhöhe (m) 76

1. Einleitung

Im **Projekt „Wildnis Naturerbe“ (WiNat)** wird ein Bewertungs- und Monitoringsystem für die Naturnähe von Wäldern auf Flächen des Nationalen Naturerbes entwickelt. Bisher gibt es kein umfassendes erfolgsorientiertes Evaluierungsverfahren für die Naturwaldentwicklung und Wildnisgebietumsetzung, das sowohl Aspekte der Waldstruktur als auch der Biodiversität und der Funktionen einschließt. Das FFH-Monitoring mit der Einschätzung des Erhaltungszustands von Waldlebensräumen[1] vereint in einem relativ umfassenden Ansatz die Bewertung von Strukturen, Artenzusammensetzung und Gefährdungssituation; es bezieht sich jedoch ausschließlich auf Lebensraumtypen der FFH-Richtlinie und schließt Prozessabläufe nur teilweise mit ein.

Das WiNat-Projekt konzentriert sich auf DBU-Naturerbeflächen, niedersächsische Naturwaldreservate und forstwirtschaftlich genutzte Referenzflächen der Niedersächsischen Landesforsten im Norddeutschen Tiefland. Der Ansatz soll durch diesen überregionalen Ansatz auch auf andere Naturräume übertragbar sein.

Die Grundlage für das hier beschriebene Naturnähemonitoring stellt das von der DBU Naturerbe GmbH entwickelte System der **Waldkategorien** dar[2,3]. Waldflächen werden dabei einer von vier Waldkategorien zugeordnet (Tabelle 1). Die Zuordnung zu den Waldkategorien richtet sich bei Kiefernbeständen nach dem Alter und dem Bestockungsgrad, bei allen anderen Baumarten nach dem Mischungsanteil standortheimischer Baumarten. Wälder der Kategorie N (Natürliche Waldentwicklung) gehen sofort in den Prozessschutz; es sind keine weiteren waldbaulichen Maßnahmen mehr vorgesehen. Dieser Kategorie werden ältere, lichte Kiefernbestände sowie naturnahe Bestände standortheimischer (Laub-) Baumarten zugeordnet. Bei den Kategorien ÜK und ÜL handelt es um jüngere Kiefernbestände sowie Bestände, in denen der Anteil standortheimischer Baumarten < 90 % (Hauptbestand) bzw. ≥ 70 % (alle Bestandsschichten) beträgt. In diesen Kategorien werden zielgerichtete Maßnahmen zur Entwicklung hin zu naturnahen Beständen innerhalb der nächsten 20 Jahre in ÜK (Überführung kurzfristig) bzw. länger als 20 Jahre in ÜL (Überführung langfristig) durchgeführt. Übergeordnetes Ziel ist es, Waldbestände möglichst schnell in eine natürliche Entwicklung zu überführen. Dafür werden standortheimische Baumarten gefördert, Totholz und Habitatbäume im Bestand belassen und natürliche Prozesse wie Naturverjüngung und Sukzession unterstützt. Sind auch in diesen Beständen die Einordnungskriterien für die Waldkategorie N erreicht, werden die Wälder der natürlichen Entwicklung überlassen.

[1] BfN, Bundesamt für Naturschutz (2017): Bewertungsschemata für die Bewertung des Erhaltungsgrades von Arten und Lebensraumtypen als Grundlage für ein bundesweites FFH-Monitoring, Teil II: Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie (mit Ausnahme der marinen und Küstenlebensräumen), BfN-Skripten 481, https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript481.pdf.

[2] DBU Naturerbe (2014): Naturnahe Waldentwicklung auf DBU-Naturerbeflächen. Grundsätze zur Entwicklungssteuerung. Stand: 01.12.2014. Osnabrück.

[3] Culmsee, H., Denstorf, H. O., Mann, P., Schmid, L. (2015): Wälder des Nationalen Naturerbes. Natur und Landschaft 90(3): 117–123.

Tabelle 1: Waldkategorien auf DBU-Naturerbeflächen[2,3].

Waldkategorien		Waldbestände	
		Kiefernbestände[4]	**Sonstige Bestände**
N	**Natürliche Waldentwicklung** *ohne weitere Eingriffe*	Alle Bestände ab 101 Jahre mit einem Bestockungsgrad (BG) ≤ 0,6[5]	Alle Bestände, die zu mind. 90 % aus standortheimischen Baumarten im Hauptbestand bestehen[6]
	Entwicklungsmaßnahmen	Ohne weitere Entwicklungsmaßnahmen außer Verkehrssicherung und Maßnahmen zur Vermeidung von Schäden auf Flächen Dritter	
ÜK	**Überführung – kurzfristig** (innerhalb von bis zu 20 Jahren) *begrenzte Eingriffe zur Entwicklungssteuerung notwendig*	Alle Bestände ab 81 Jahre	Standortheimische Baumarten mit einem Mischungsanteil < 90 % im Hauptbestand und einem Flächenanteil standortheimischer Baumarten über alle Bestandesschichten ≥ 70 %
	Entwicklungsmaßnahmen	BG wird innerhalb von 20 Jahren auf ≤ 0,6 gebracht	Nicht standortheimische Baumarten[7] werden bis zu einem Mischungsanteil von ≤ 10 % im Hauptbestand sukzessive entnommen
		Der Waldzustand erfordert bis zum Überlassen in eine natürliche Entwicklung begrenzte Eingriffe in einem Zeitraum von bis zu 20 Jahren	
ÜL	**Überführung – langfristig** (über 20 Jahre hinaus) *langfristige Entwicklungssteuerung notwendig*	Alle Bestände bis 80 Jahre	Standortheimische Baumarten mit einem Mischungsanteil < 90 % im Hauptbestand und einem Flächenanteil standortheimischer Baumarten über alle Bestandesschichten < 70 %
	Entwicklungsmaßnahmen	BG wird langfristig bis zum Alter 100 Jahre auf ≤ 0,6 gebracht	Nicht standortheimische Baumarten werden langfristig bis zu einem Mischungsanteil von ≤ 10 % im Hauptbestand sukzessive entnommen
		Langfristige Entwicklungssteuerung bis zur Entlassung in die natürliche Entwicklung über einen Zeitraum von mehr als 20 Jahren	
S	**Sonderbewirtschaftung** *dauerhafte Entwicklungssteuerung nötig*	Bestände mit besonderer Bewirtschaftung wie z. B. Waldweide, Nieder- und Mittelwälder	
	Entwicklungsmaßnahmen	Dauerhafte Entwicklungssteuerung erforderlich, diese wird individuell in den Naturerbe-Entwicklungsplänen konkretisiert	

[4] Aufgrund ihres bedeutenden Flächenanteils unterliegt die Kiefer einer eigenen Kategorisierung.
[5] Im Rahmen der Naturerbe-Entwicklungsplanung können auch jüngere Kiefernbestände, die keine weiteren Möglichkeiten zur Entwicklungssteuerung bieten und zugleich eine hohe ökologische Wertigkeit aufweisen, der Kategorie N zugeordnet werden.
[6] Im Einzelfall können auch Bestände mit überwiegend nicht standortheimischen Baumarten direkt aus der Nutzung entlassen werden. Gründe hierfür sind z. B. ein hohes Alter, Strukturreichtum oder die Bedeutung als Referenz für eine Entwicklung ohne anthropogene Beeinflussung. Entsprechende Festlegungen werden im Naturerbe-Entwicklungsplan getroffen. Dies betrifft auch Blößen.
[7] Nicht standortheimische Baumarten gehören nicht den natürlichen Waldgesellschaften (einschließlich ihrer Entwicklungsstadien) des jeweiligen Standorts an, dies sind auf DBU-Flächen u.a.: Roteiche, Robinie, Hybrid-Pappeln, Eschenahorn, Douglasien, Schwarzkiefer u.ä. sowie Fichte und Lärche außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes.
Hinsichtlich nicht standortheimischer Kiefer vgl. Fußnote 4.

Im WiNat-Projekt wurden umfassende Datensätze in unterschiedlichen Waldtypen mit dem Ziel erhoben, eine Bewertung der Naturnähe von Waldbeständen abzuleiten. Dabei wurden Kenngrößen aus den Bereichen Biodiversität, Waldstrukturen und -funktionen erhoben. Auf dieser Grundlage sollen die Kenngrößen identifiziert werden können, die in einem langfristig angelegten Naturnähemonitoring aufgenommen werden sollten.

Im vorliegenden Text werden die im WiNat-Projekt angewendeten Methoden der Flächenauswahl und Datenerhebung dargestellt. Derzeit ist es noch nicht möglich, eine abschließende Aussage zu treffen oder Empfehlungen zu geben, welche Daten letztendlich in einen aussagekräftigen „Naturnähe-Indikator“ einfließen müssen und welche zusätzlich erhoben werden können. Empfehlungen von Aufnahmeparametern für ein intensives bzw. weniger intensives langfristiges Naturnähemonitoring inklusive der Zusammensetzung eines Indikators sollen nach Abschluss des Projektes zur Verfügung stehen. Da es sich um standardisierte Verfahren handelt, ist eine Übertragbarkeit auf andere Waldtypen und andere Naturräume unter Berücksichtigung der entsprechenden Waldstruktur und Artenausstattung prinzipiell möglich.

Das **Naturnähemonitoring** ist ein auf Langfristigkeit ausgelegtes Untersuchungskonzept. Nur so lassen sich die Auswirkungen von unterschiedlich naturnahen Waldbeständen auf die Waldstruktur, die Biodiversität und die Waldfunktionen feststellen oder auch den Erfolg von Maßnahmen im Sinne einer Wirkungskontrolle beschreiben. Entscheidend für den Erfolg eines Monitoringsystems ist die detaillierte Formulierung von Fragestellungen und den sich daraus ergebenden Zielgrößen. Darauf aufbauend lässt sich ein Aufnahmeverfahren entwickeln, das ein Probeflächenkonzept (Anzahl, Form, Lage, Größe, Verteilung der Probeflächen) mit einem festgelegten Aufnahmeturnus umfasst. Abschließend sollte auch vorab entschieden werden, in welcher Form die erhobenen Daten gespeichert und wie die Daten ausgewertet werden sollen. Es ist außerdem sinnvoll, Hintergrundinformationen für die Untersuchungsflächen zu sammeln, beispielsweise über die vergangene Nutzung der Waldbestände, um die Ergebnisse besser interpretieren zu können.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die im Rahmen des WiNat-Projekts erfassten Zielgrößen aus den Bereichen **Waldstruktur**, **Biodiversität** und **Waldfunktionen**. Die Beschreibung der Methoden erfolgt nach dem Baukastenprinzip. Für jede Zielgröße wird die Erfassungsmethode detailliert erklärt. Der hier dargestellte Umfang der Untersuchungen entspricht dem im WiNat-Projekt betriebenen Aufwand.

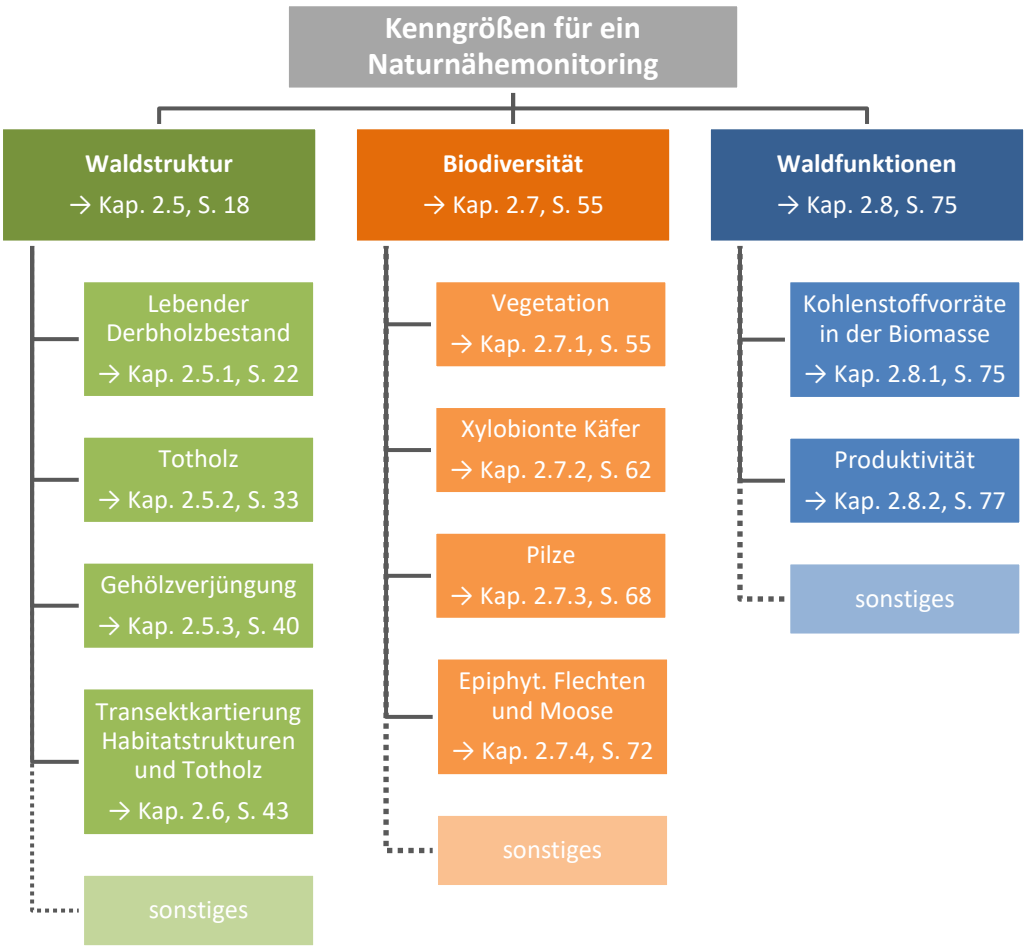


Abbildung 1: Baukastensystem der im WiNat-Projekt für ein Naturnähemonitoring von Wäldern erhobenen Daten.

2. Methodenbeschreibung

2.1. Auswahl der Untersuchungsgebiete

Aufgrund der Langfristigkeit sollte das Naturnähemonitoring auf **Dauerbeobachtungsflächen** zur Anwendung kommen. Solche Flächen sind zur genauen Ableitung von Veränderungen bestimmter Zielgrößen besser geeignet als temporäre Untersuchungsflächen[8]. Durch Wiederholungsaufnahmen derselben, exakt eingemessenen Untersuchungsflächen können außerdem eventuelle Messfehler schneller erkannt und korrigiert werden.

Neben der Installation von Dauerbeobachtungsflächen wurde im WiNat-Projekt das Konzept der unechten oder **konstruierten Zeitreihe**, auch „space-for-time-substitution" genannt[9], angewendet, um schneller auswertbare Ergebnisse zu bekommen. Bei einer echten Zeitreihe können die Daten erst ausgewertet werden, wenn Wiederholungsaufnahmen vorliegen; meist liegen zwischen den Aufnahmen jedoch mehrere Jahre, im Wald oft auch Jahrzehnte. Die unechte Zeitreihe wurde entlang eines Naturnähegradienten von Nutzwäldern zu Naturwäldern entsprechend den Waldkategorien der DBU Naturerbe GmbH (s. Tabelle 1) angelegt. Bei diesem Konzept wird aus dem räumlichen Nebeneinander ein zeitliches Nacheinander. Es impliziert, dass sich die Waldentwicklung von reinen Kiefernwäldern über Kiefern-Mischwälder hin zu Laubwäldern vollzieht und sich die Bestände der Kategorien ÜL und ÜK unter der derzeitig fortgeführten Waldbehandlung in Richtung des angestrebten N-Zieltyps entwickeln werden, einhergehend mit einer Verbesserung des „Naturnähezustands". Unechte Zeitreihen können durch diverse Störungen überprägt sein; die dabei gewonnenen Ergebnisse sind daher mit Vorsicht zu betrachten und als hypothetische Annahmen anzusehen.

Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, sollten im Vorhinein Kriterien zur Auswahl der Untersuchungsflächen und Waldbestände festgelegt werden. Für die Auswahl der Bestände sind Informationen aus Standortkartierungen, Forsteinrichtungen, Bestandesblättern und Biotopkartierungen sowie das Vorhandensein von Geodaten nötig. Auch die Befragung der Revierleiter und Begehungen der potentiellen Untersuchungsflächen ist hilfreich.

Für die Entwicklung des Monitoringsystems im WiNat-Projekt wurde eine **repräsentative Auswahl der potentiell großflächig verbreiteten natürlichen Waldgesellschaften** des Norddeutschen Tieflandes ausgewählt, die von Buchenwäldern auf bodensauren bis mittleren Standorten im Nordwestdeutschen Tiefland bis hin zu subkontinentalen Kiefern-Eichen- und Kiefernmischwäldern im Ostdeutschen Tiefland reichen. Die Auswahl der Untersuchungsgebiete erfolgte anhand folgender Kriterien:

- Lage im Alt- und Jungpleistozän, der dominierenden geologischen Ausgangssituation im Naturraum,
- breite Abdeckung der zonalen potentiellen natürlichen Waldvegetation[10],

[8] Akça, A. (1993): Zur Methodik und Bedeutung kontinuierlicher Forstinventuren. Allg. Forst- und Jagdzeitung 164(11): 193–198.
[9] Pickett, S.T.A. (1989): Space-for-time substitution as an alternative to long term studies. In: Likens, G.E.: Long term studies in ecology: Approaches and alternatives. New York, Springer: 110–135.
[10] Suck, R. & Bushart, M. (2010): Karte der Potentiellen Natürliche Vegetation Deutschlands im Maßstab 1:500.000. Karten + Legende. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 24 S.

- Ausschluss von staunassen und wechselfeuchten Standorten,
- Untersuchungsgebiete der N-Flächen befinden sich auf historisch alten Waldstandorten[11].

2.2. Auswahl der Waldbestände

In allen Untersuchungsgebieten wurden drei Waldbestände (**Tripletts**) von Kiefernreinbeständen (ÜL) über Kiefern-Laub-Mischwälder (ÜK) bis hin zu naturnahen, reiferen Laubwäldern (N) entsprechend den Waldkategorien der DBU Naturerbe GmbH ausgewählt (Tabelle 1).

Grundvoraussetzung war für den WiNat-Ansatz, dass in den ausgewählten Untersuchungsgebieten ausreichend große, repräsentative Waldbestände der Waldkategorien nebeneinander vorkamen. Um die Vergleichbarkeit der Tripletts innerhalb eines Clusters untereinander zu gewährleisten, mussten die Bestände die in Tabelle 2 genannten, weiter einschränkenden Kriterien erfüllen.

Tabelle 2: Charakteristika der Untersuchungsflächen nach den Waldkategorien N, ÜK und ÜL der DBU Naturerbe GmbH.

Typ	Charakteristika
N	Naturnahe, ungenutzte, historisch alte Laubwälder entsprechend der pnV (Buche, Eiche, im kontinentalen Klima auch Kiefernmischbestände) mit einem Bestandesalter > 100 Jahren
ÜK	Ältere Kiefern-Mischwälder > 80 Jahre mit kurzfristiger Überführungsdauer (< 20 Jahre) bis zur Nutzungsaufgabe
ÜL	Naturferne, kieferndominierte Waldbestände (max. 20 % Mischbaumartenanteil) zwischen 50 und 70 Jahren mit langfristiger (> 20 Jahre) Überführungsdauer bis zu Nutzungsaufgabe

Die Tripletts eines Clusters sollten außerdem vergleichbare Standortsbedingungen aufweisen. Zusätzlich war eine ausreichende Flächengröße notwendig, um Platz für die Einrichtung der Probekreise zu gewährleisten (s. Kap. 2.3). Sollte die Mindestflächengröße für eine Waldkategorie nicht mit einem Bestand erreicht werden, können die Probeflächen auch auf mehreren möglichst vergleichbaren Teilflächen verteilt werden (disjunkte Flächen), die in der Auswertung dann einen Gesamtbestand bilden.

2.3. Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen (Probekreise)

Im WiNat-Projekt wurden Dauerbeobachtungsflächen in Form von Probekreisen eingerichtet. Diese Probekreisinventur orientiert sich an dem permanenten Stichprobensystem, dass auch in der Naturwaldforschung und von EUROPARC verwendet wird.

Als Stichprobenfläche für die Datenerfassung (insbesondere für Waldstrukturaufnahmen) sind Probekreise mit einer Fläche von 0,05 ha bis 0,125 ha zu empfehlen, dabei sollten mindestens 15–20

[11] Glaser, F.F. & Hauke, U. (2004): Historisch alte Waldstandorte und Hudewälder in Deutschland. Angewandte Landschaftsökologie, 61: 193 S.

Altbäume je Probekreis eingemessen werden[12]. Im Sinne der Vergleichbarkeit sollten im Rahmen des Naturnähemonitorings gleichbleibende Probekreisgrößen verwendet werden. Der Strichprobenumfang ist abhängig von den Genauigkeitsanforderungen und von der – meist unbekannten – Streuung der Zielgrößen. Gängige Waldinventur-Methoden empfehlen einen Stichprobenumfang, der 10 % des Gesamtbestandes abdeckt.

Zur Verteilung der Probekreise im Bestand existieren verschiedene Stichprobendesigns, die unterschiedliche Vor- und Nachteile mit sich bringen[13]. Sehr geläufig ist die Anordnung der Probekreise nach einem **systematischen Raster**, da die Datenerfassung hierbei einfach zu organisieren ist und gute Aussagen über die räumliche Anordnung von Bestandesmerkmalen gemacht werden können. Die Grundvoraussetzung dieser Methoden besteht darin, dass das zu erhebende Merkmal innerhalb des Bestandes zufällig verteilt sein muss, ansonsten kommt es zu einem hohen Stichprobenfehler.

Im WiNat-Projekt wurden die Probekreise zufällig angeordnet (**Zufallsauswahl**). Die Gründe dafür lagen zum einen in den unterschiedlich großen Waldbeständen, die z. T. ein systematisches Raster mit einer ausreichenden Anzahl von Probekreisen nicht zuließen. Zum anderen werden Störfaktoren wie Rückegassen, Wege, Adlerhorste etc. bei einer Zufallsstichprobe – im Gegensatz zu einem in die Untersuchungsfläche gelegten Rasters bei der systematischen Stichprobe – nicht miterfasst, da nicht geeignete Stichprobenpunkte „aussortiert“ werden können. Anders als in Naturwaldreservatinventuren, wo Veränderungen des Gesamtbestandes über einen langen Zeitraum erfasst werden, war für die Fragestellung im WiNat-Projekt ein relativ homogenes Bestandesbild mit geringen ökologischen Gradienten als Ausgangssituation für die Datenaufnahmen nötig.

Bei der **Einrichtung der Probekreise** wurden folgende Kriterien angewendet:

- Auf Grundlage von digitalen Karten wurden für jede Fläche zufällig verteilte Punkte (= Probekreise) erzeugt.
- 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 Mindestabstand zwischen den Probekreismittelpunkten betrug 66 m. Dieser berechnet sich aus einem Abstand von 30 m zwischen den Probekreisrändern (eine Baumlänge) und dem aufgerundeten Probekreisdurchmesser von 36 m.
- Um Randeffekte auszuschließen, betrug der Abstand zu befestigten Wegen und zum Bestandesrand 20–30 m.
- Der Probekreismittelpunkt sollte zudem nicht auf einer Rückegasse liegen.

Im GIS (ArcGIS, ESRI) wurde unter Verwendung der Flächenkarten als Shape-Datei (*.shp) zunächst die maximal mögliche Anzahl zufällig verteilter Punkte pro Flächeneinheit generiert (z. B. mit dem Tool Geospatial Modelling Environment (GME), Befehl „genrandompnts“, mit dem sowohl die Anzahl an Punkte als auch deren Abstand zueinander festgelegt werden kann[14]). Die Punkte wurden anschließend mithilfe eines GPS-Gerätes im Bestand aufgesucht und nach der bei der Generierung erstellten, zufälligen Nummerierung der Reihe nach abgegangen bis die gewünschte Anzahl an geeigne-

[12] 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.

[13] Ammer, C., Brang, P., Knoke, T. (2004): Methoden zur waldbaulichen Untersuchung von Jungwüchsen. Forstarchiv, 75: 83–110.

[14] http://www.spatialecology.com/gme/index.htm

ten Probekreispunkte nach o.g. Kriterien ausgewählt war. War ein Bestand nicht ausreichend groß, um alle Probekreise unterzubringen, wurde ein zweiter (ggf. auch ein dritter) disjunkter, aber räumlich möglichst naher Bestand mit vergleichbaren Standorts- und Bestandesbedingungen ausgewählt. Im WiNat-Projekt waren mindestens 6 ha Flächengröße erforderlich um darin 10 Probekreise à 0,1 ha anzulegen. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die Lage der ausgewählten Waldbestände im Untersuchungsgebiet sowie die Anordnung und den Aufbau der Probekreise.

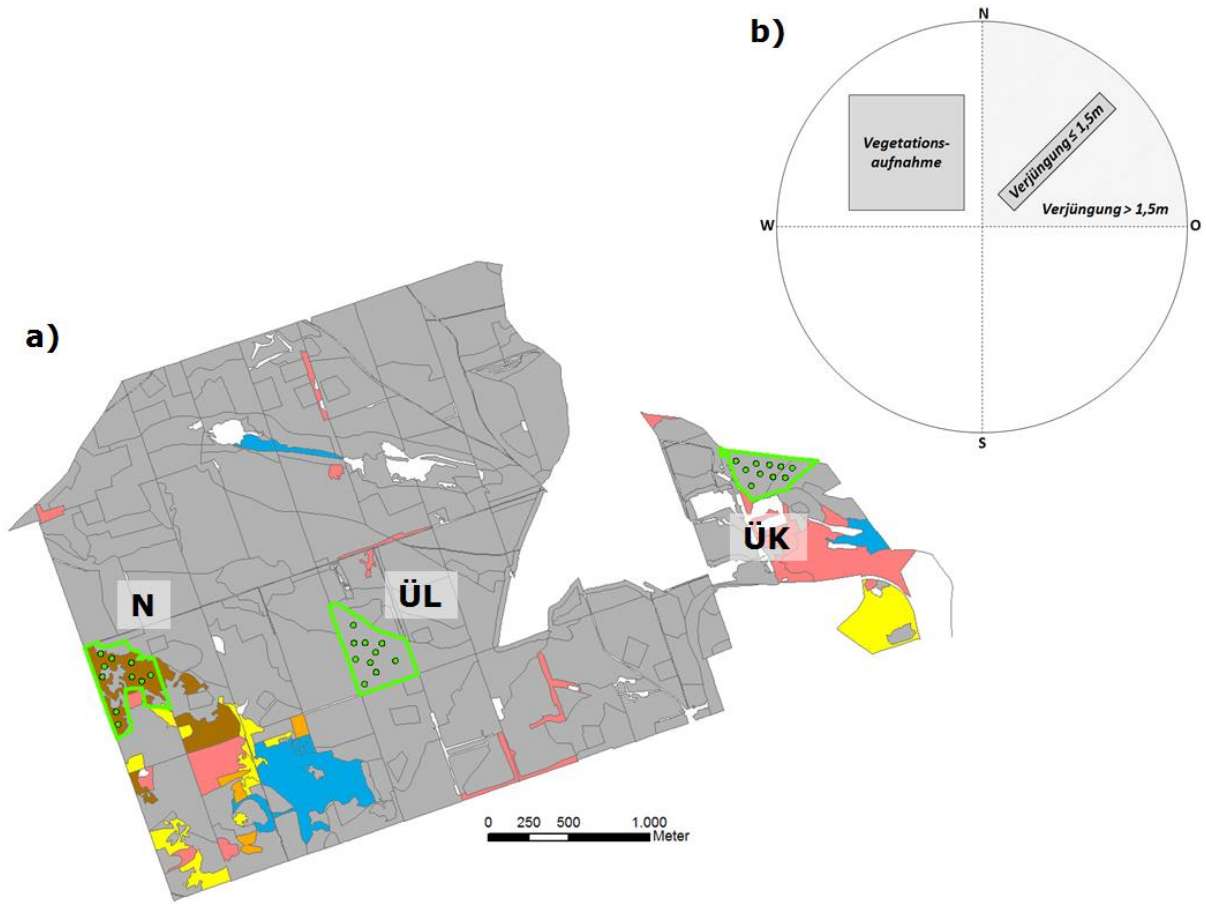


Abbildung 2: a) Lage der Untersuchungsbestände N, ÜK, ÜL mit jeweils zehn Probekreisen auf der DBU-Naturerbefläche Weißhaus, b) Darstellung eines Probekreises inkl. Unterflächen für Vegetations- und Verjüngungsaufnahmen.

Alle **Probekreismittelpunkte wurden dauerhaft markiert** um das Wiederauffinden zu gewährleisten. Da das Naturnähe-Monitoring auf DBU-Naturerbeflächen langfristig weitergeführt werden soll, erfolgte die Markierung hier zweifach[15]:

- 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).

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

- 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.

a)

Foto: DBUNE

b)

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

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

2.4. Aufnahmeskalen

Die im Folgenden vorgestellten Datenerhebungen im Rahmen des WiNat-Projekts fokussieren sich auf die Bestandesebene und werden zum Großteil auf Ebene der Probekreise durchgeführt, jedoch kommen auch andere Skalenebenen vor:

- Die **Waldstruktur** (lebender Derbholzbestand, Totholz, Verjüngung auf Unterflächen) wird auf allen Probekreisen erhoben. Diese dienen so auch als Grundlage für alle anderen Datenaufnahmen.
- Die Transekte für eine gesonderte Inventur von **stehendem** und **liegendem Totholz** und **Habitatstrukturen** werden nach einem in Kapitel 2.6 vorgestellten Verfahren in der Fläche verteilt.
- Die Kartierung der **Krautschichtvegetation** und der **epiphytischen Flechten und Moose** findet auf Unterflächen auf allen Probekreisen statt.
- Die Inventur **xylobionter Käfer** bezieht sich auf den Gesamtbestand und wird durch das Aufstellen von einer Falle pro Bestand realisiert.
- Die **mykologischen Aufnahmen** finden auf einer Auswahl an Probekreisen statt und werden durch eine standardisierte Begehung („random walk“) im Gesamtbestand ergänzt.
- Die **Kohlenstoffvorräte** in der Biomasse basieren auf den Waldstrukturaufnahmen aller Probekreise.

- Die **Produktivitätsmessungen** finden auf einer Auswahl von n = 6 Probekreisen in den N- und ÜL-Beständen statt.

Tabelle 3 gibt einen Überblick über die im WiNat-Projekt erhobenen Kenngrößen, deren Flächenumfang und Erfassungseinheiten. Außerdem werden die **unterschiedlichen Wirkungszeiträume** der Kenngrößen aus den Bereichen Struktur, Biodiversität und Waldfunktionen beschrieben. Durch den Untersuchungsansatz mit einer unechten Zeitreihe, können Kenngrößen erhoben werden, für die kurz-, mittel- und langfristige Reaktionen auf sich verändernde Umweltbedingungen (insbesondere der Waldstruktur) im Zuge der Sukzession erwartet werden. 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. Bei den epiphytischen Flechten und Moosen ist davon auszugehen, dass erst sehr langfristig Veränderungen in der Artenzusammensetzung und in den Deckungsgraden deutlich werden.

Tabelle 3: Kenngrößen der Kategorien Struktur (S), Biodiversität (B) und Funktion (F) sowie die Untersuchungsmethodik, der Flächenbezug im Bestand und der hypothetische 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	Fläche je Bestand	Wirkungszeitraum
Waldstruktur	S	Probekreise	1,0 ha	(K)-M-L
Totholz	S	Probekreise; Linientransekte	1,0 ha; 2 Transekte à 200 m	M-L
Habitatstrukturen	S	Probekreise; Linientransekte	1,0 ha; 2 Transekte à 200 m	M-L
Baumverjüngung	F	Je Probekreis: NO-Quadrant > 1,5 m; Unterfläche á 25 m² ≤ 1,5 m	0,25 ha; 250 m²	K-M-L
Krautschicht-vegetation	B	Unterfläche á 100 m² je Probekreis	0,1 ha	K-M-L
Xylobionte Käfer	B	1 Falle je Bestand	Gesamtbestand	K-M-L
Pilze	B	Auswahl Probekreise (n = 4); Gesamtbestand	0,4 ha; Gesamtbestand	(K)-M-L
Epiphyt. Flechten/Moose	B	Unterfläche á 500 m² je Probekreis	0,5 ha	L
Biomasse-C-Vorrat	S	Probekreise	1,0 ha	M-L
Oberirdische Produktivität	F	Auswahl Probekreise (n = 6) in N und ÜL	0,6 ha	(K)-M-L

2.5. 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[16].

Probeflächendesign

Die Aufnahme der Waldstruktur findet auf den zuvor ausgewiesenen Probekreisen statt (Abbildung 4). Die Gehölzverjüngung (lebende Gehölze außer Keimlinge < 7 cm BHD) wird nur im Nord-Ost-Quadranten des Probekreises erfasst.

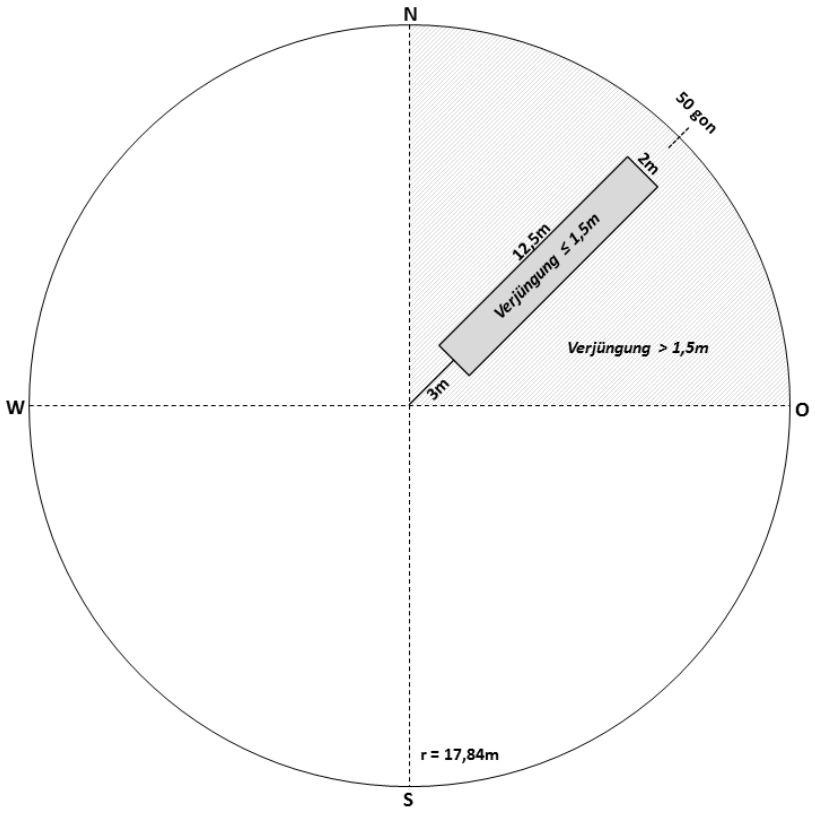


Abbildung 4: Die Erfassung des stehenden und liegenden Bestandes (lebend, tot) findet auf dem gesamten Probekreis statt, für die Verjüngungsaufnahmen wurden Unterflächen je nach Höhe der Verjüngung ausgewiesen.

[16] 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 5).

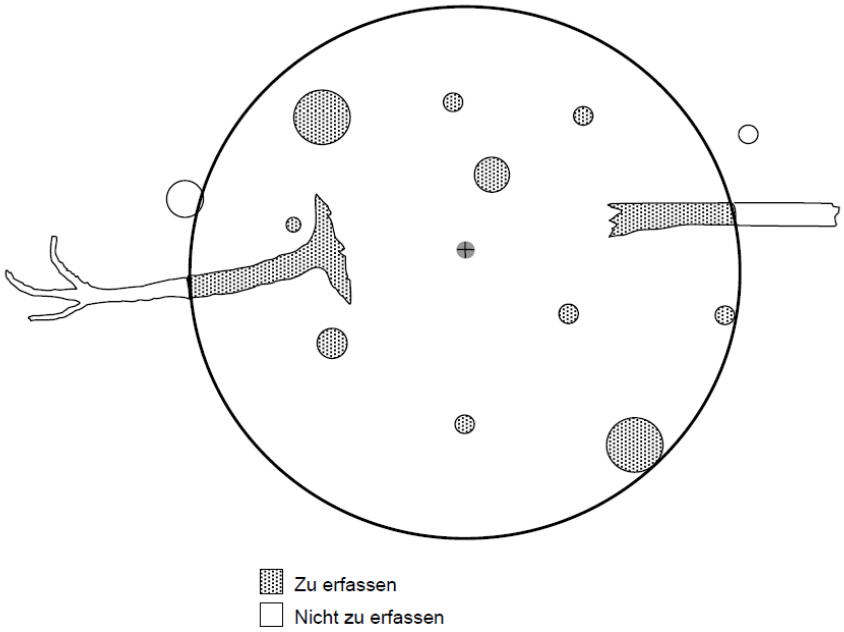


Abbildung 5: Die im Probekreis zu erfassenden bzw. nicht zu erfassenden Objekte bzw. Objektteile (aus Meyer et al. 2013[16]).

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 4). 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[16], enthält allerdings einige auf das WiNat-Projekt 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 6).

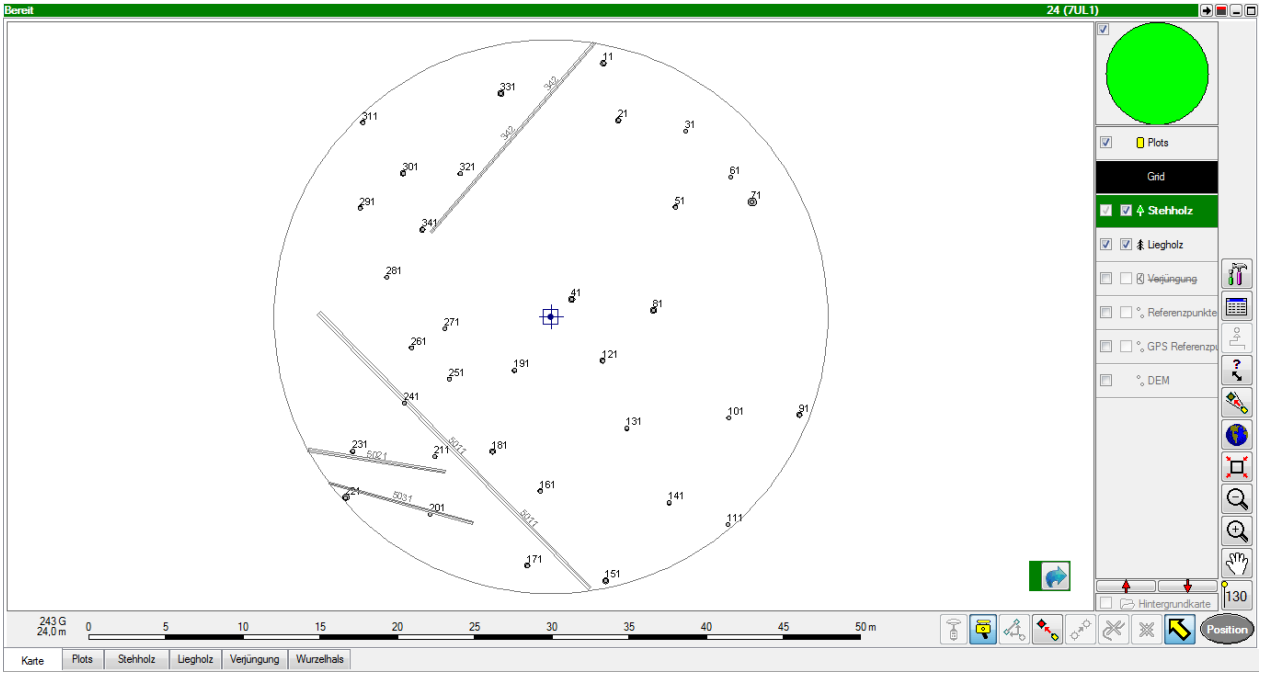


Abbildung 6: Übersichtskarte eines Probekreises mit allen erfassten stehenden und liegenden Objekten im Field-Map-Programm.

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[16]).

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	√	√	√	√	-

2.5.1. 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 2.5.2). In den Abbildung 10 bis Abbildung 14 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 2.5.2).

Tabelle 6: Umrechnungstabelle Horizontalentfernung zu Geländeentfernung (aus Meyer et al. 2013[16]).

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 2.5.2).

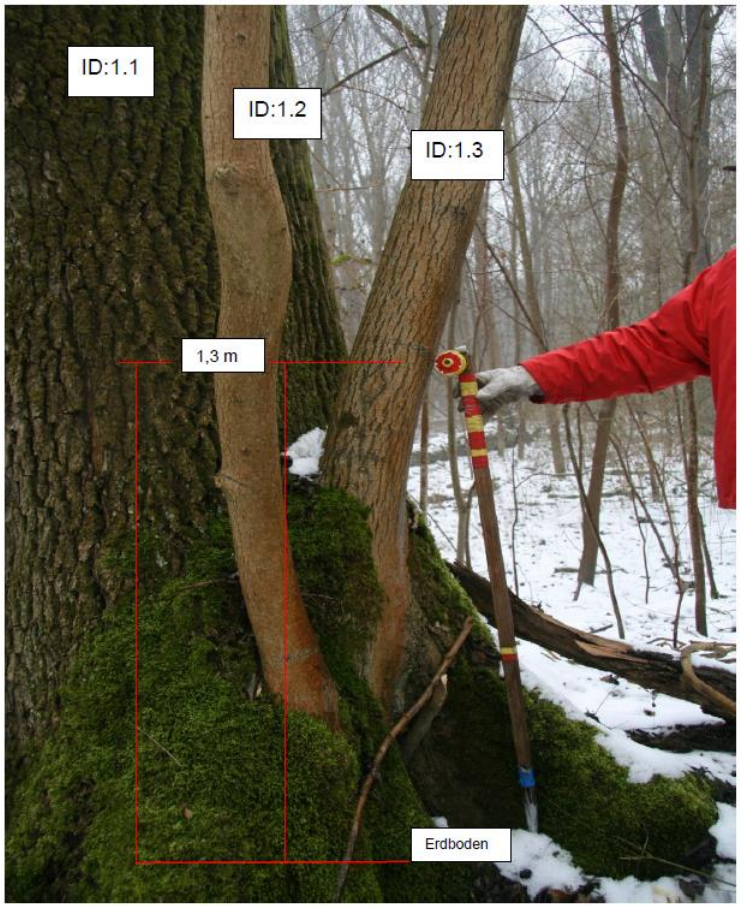


Abbildung 7: Darstellung der BHD-Messpunkte und der Nummerierung bei einem Baum mit Steilästen ≥ 7 cm Durchmesser (aus Meyer et al. 2013[16]).

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 7). 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 7).
  - 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.

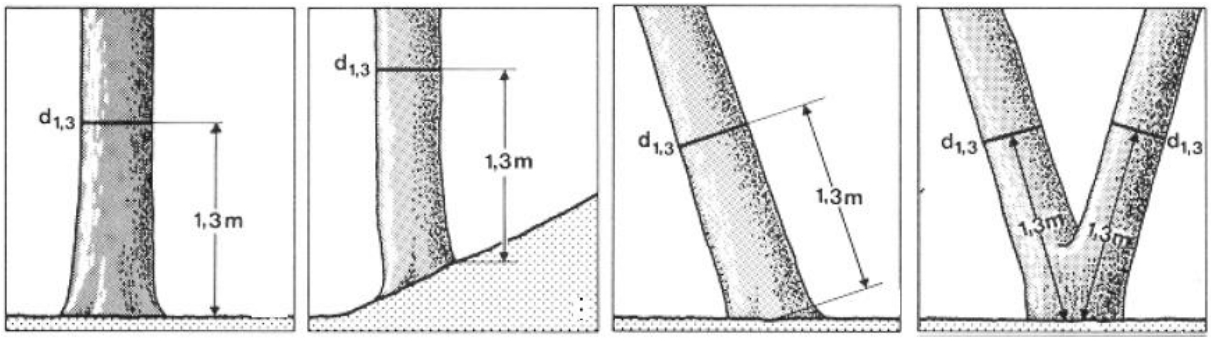


Abbildung 8: Definition der Brusthöhe (aus: Kramer und Akça 1996[17] verändert)

- **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.

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 10 bis Abbildung 14 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.

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

Tabelle 7: Schlüssel zur Klassifikation der oberirdischen Gehölzobjekte des Derbholzbestandes (aus Meyer et al. 2013[16]).

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 9). 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.

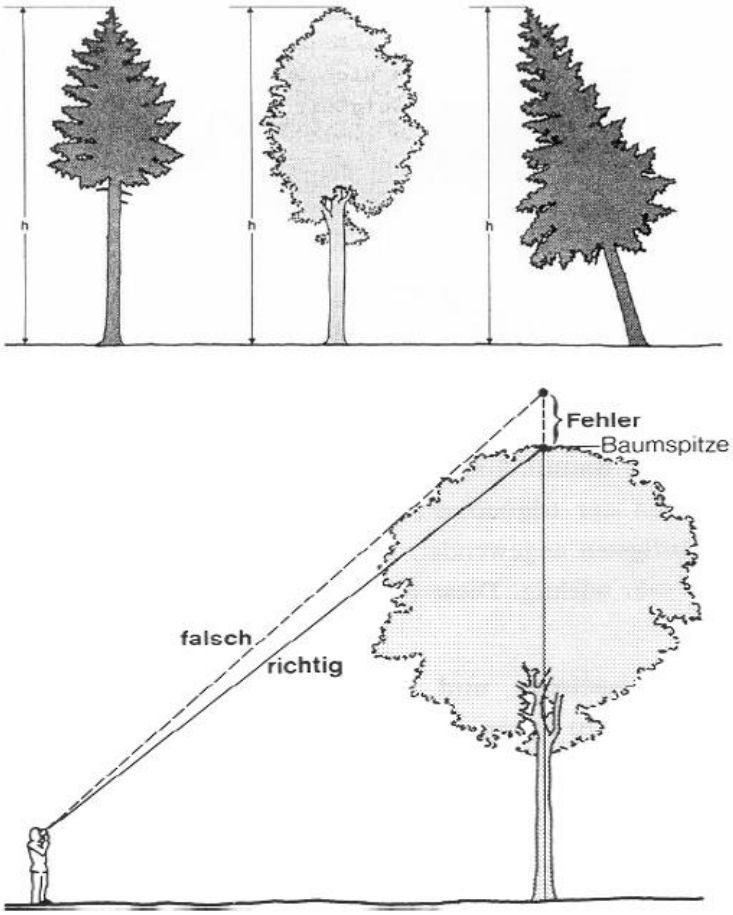


Abbildung 9: Definition der Baumhöhe und Technik der Höhenmessung (aus: Kramer u. Akça 1996[17], verändert).

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

- Sonderfall: 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

2.5.2. 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 2.5.1).

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 10 bis Abbildung 14 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 2.5.1). 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 10 bis Abbildung 14 sind die Durchmesser-Messstellen für die unterschiedlichen liegenden Objekte grafisch dargestellt. In dem dazugehörigen Kasten sind die möglichen Objekttypen mit Aufnahmeparametern und Klasseneinteilung erläutert.

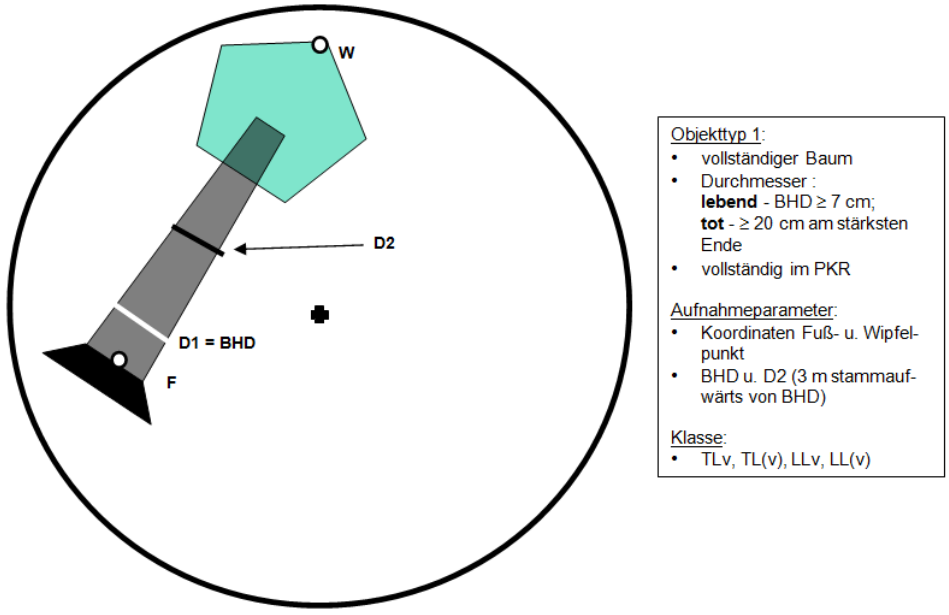


Abbildung 10: Aufnahmeschema von toten oder lebenden vollständigen liegenden Bäumen im Probekreis (aus Meyer et al. 2013[16]).

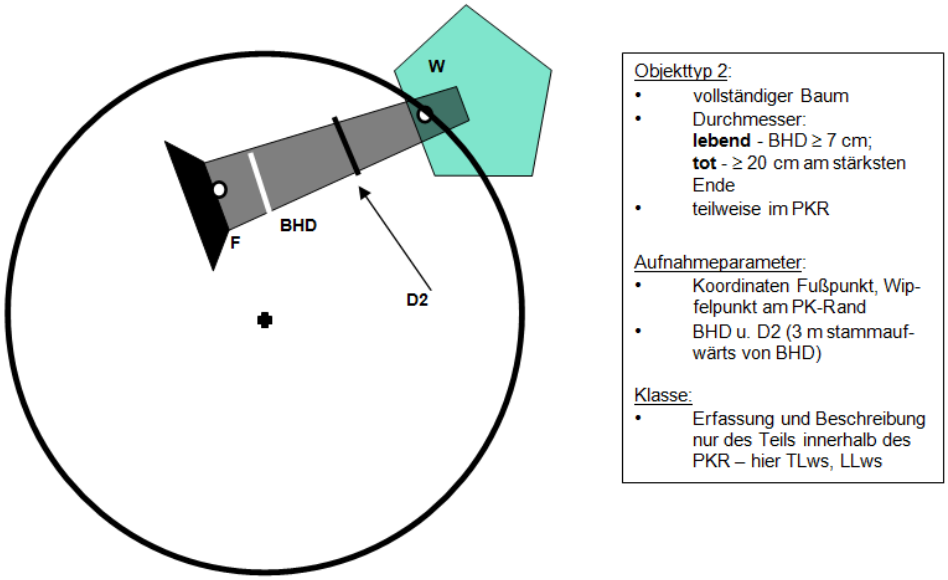


Abbildung 11: Aufnahmeschema von liegenden Bäumen mit Wurzel und Stamm ohne Krone innerhalb des Probekreises (aus Meyer et al. 2013[16]).

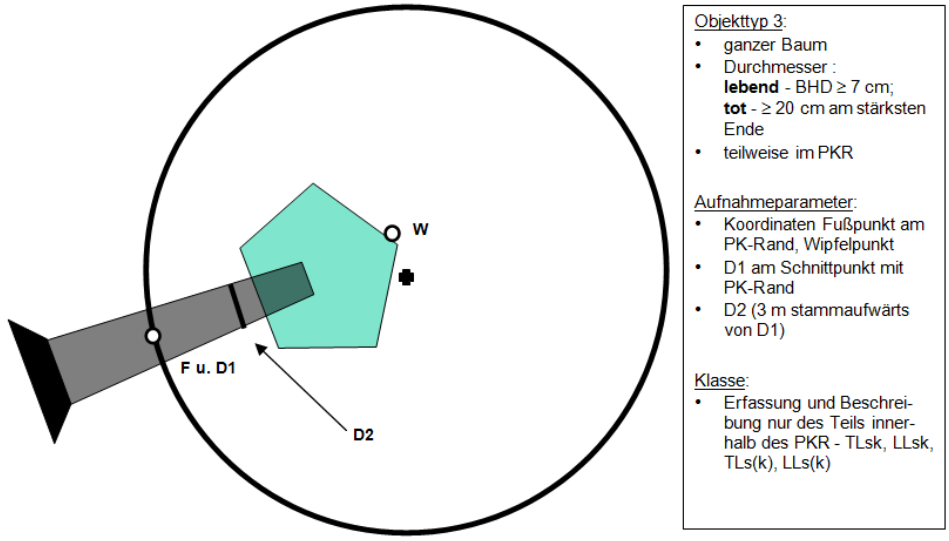
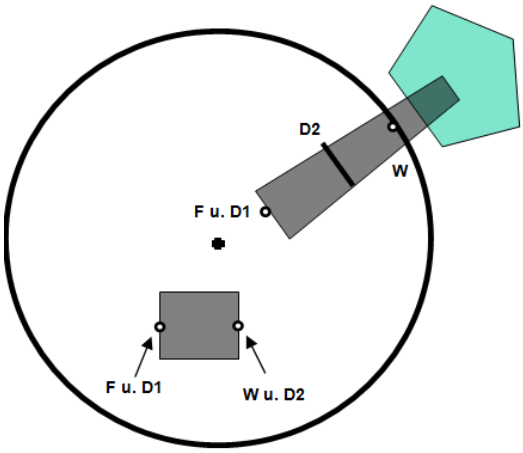


Abbildung 12: Aufnahmeschema von liegenden Objekten ohne Wurzel innerhalb des Probekreises (aus Meyer et al. 2013[16]).



Objekttyp 5:
- Stammstück - ohne Wurzel oder gebrochen
- Durchmesser ≥ 20 cm am stärksten Ende
- teilweise im PKR

Aufnahmeparameter:
- Koordinaten Fußpunkt u. Wipfelpunkt am PK-Rand
- D1 am Fußpunkt
- D2 3 m stammaufwärts von D1

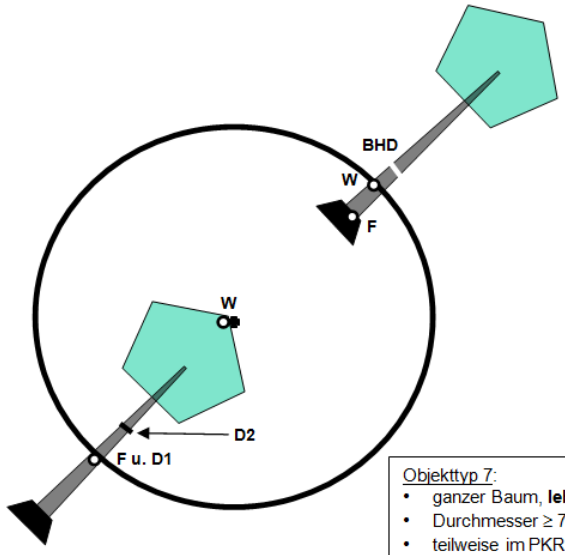
Klasse:
- Erfassung und Beschreibung nur des Teils innerhalb des PKR - TL(s)

Objekttyp 4:
- Stammstück < 3 m Länge
- Durchmesser am stärksten Ende ≥ 20 cm
- vollständig im PKR

Aufnahmeparameter:
- Koordinaten Fußpunkt und Wipfelpunkt
- D1 am Fußpunkt
- D2 am Endpunkt (D1 + D2 in Messpkt_D1 und Messpkt_D2 notieren)

Klasse:
- TL(s)

Abbildung 13: Aufnahmeschema von gebrochenen Bäumen ohne Wurzel und von Stammstücken ≥ 20 cm (aus Meyer et al. 2013[16]).



Objekttyp 6:
- ganzer Baum, **lebend**
- Durchmesser ≥ 7 cm
- teilweise im PKR (< 1,3 m), heraus-fallend

Aufnahmeparameter:
- Koordinaten: Fußpunkt, Wipfelpunkt am PKR-Rand
- D1 sinnvoll am Objekt messen (Wurzel-anläufe!)
- D2 am PKR-Rand messen
- D1 + D2 in Messpkt_D1 und Messpkt_D2 notieren

Klasse:
- LL(s), LL(ws),

Objekttyp 7:
- ganzer Baum, **lebend**
- Durchmesser ≥ 7 cm
- teilweise im PKR, hereinfallend

Aufnahmeparameter:
- Koordinaten: Fußpunkt am PKR-Rand, Wipfelpunkt
- D1 am Fußpunkt (PKR-Rand)
- D2 (3 m stammaufwärts von D1)

Klasse:
- LL(s), LL(sk)

Abbildung 14: Aufnahmeschema von lebendem liegenden Bestand (≥ 7 cm) (aus Meyer et al. 2013[16]).

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

2.5.3. 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 2.5.1 und 2.5.2).

Die Gehölzverjüngung (lebende Gehölze < 7 cm BHD außer Keimlinge) wird nur im Nord-Ost-Quadranten des Probekreises erfasst (Abbildung 4). 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[16]).

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[16]).

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.[18]

[18] 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.

2.6. 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 (s. Kap. 2.3.3). 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[19,20,21]. Die im WiNat-Projekt angewandte Methode 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 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?

[19] Bull, E. L., Holthausen, R. S., Marx, D. B. (1990): How to determine snag density. Western Journal of Applied Forestry, 5(2): 56–58.
[20] 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.
[21] 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.

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[22].

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

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 Anleh-

[22] 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.

nung an bestehende Methoden[23,24] 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)

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 mindes-

[23] 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.

[24] 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.

tens 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[25]. Abbildung 15 zeigt beispielhaft die Verteilung von Transektlinien in einer stratifizierten Landschaft. 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).

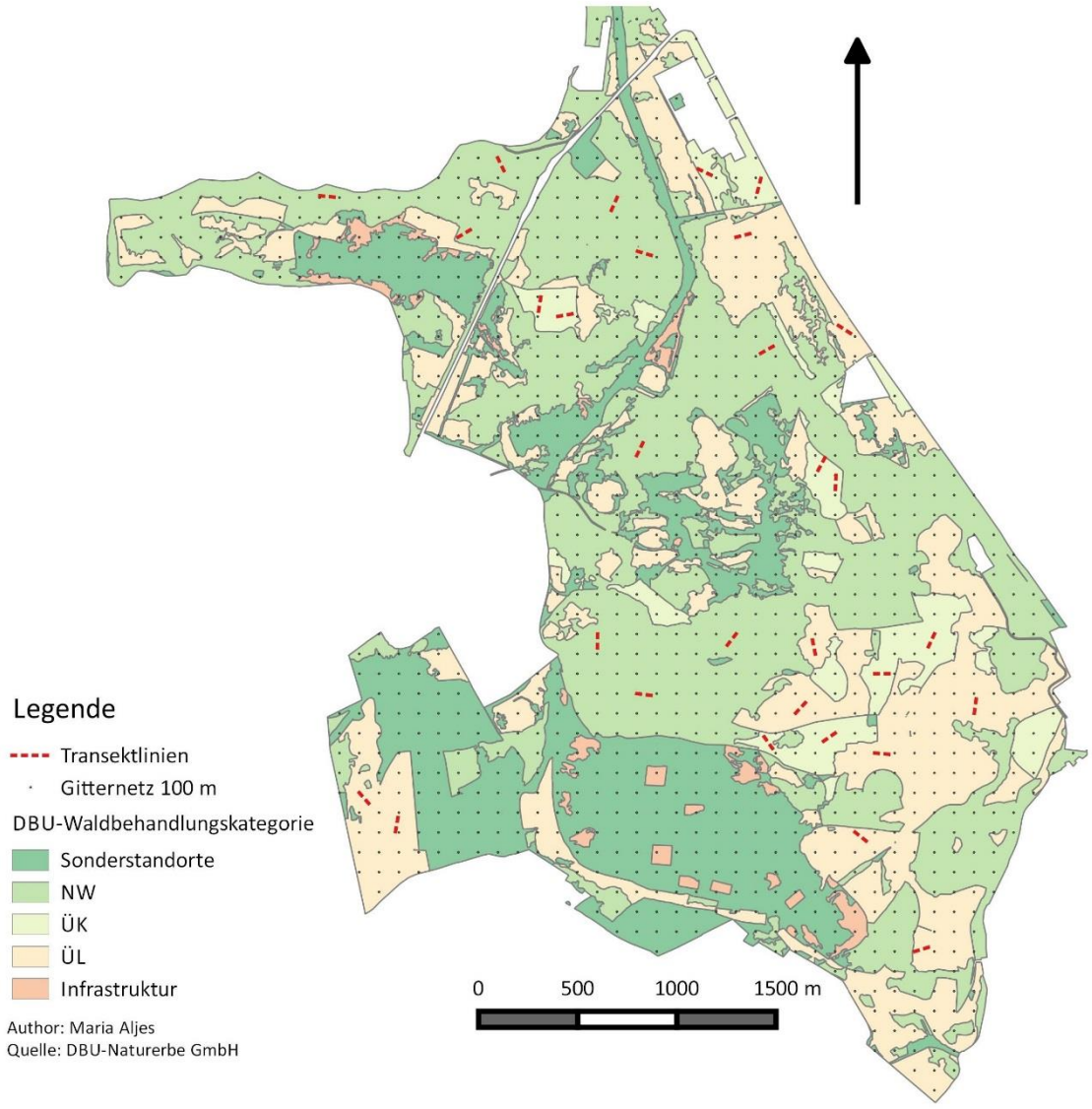


Abbildung 15: Versuchsflächendesign in stratifizierter Landschaft am Beispiel der DBU-Naturerbefläche Prora (südlicher Teil). Die Straten entsprechen den DBU Waldkategorien, die den Grad der Bewirtschaftungsintensität bestimmen: Natürliche Waldentwicklung (NW), "kurzfristige Überführung"(ÜK) und „langfristige Überführung"(ÜL).

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

Aufnahmemethode

Distance Sampling zur Erfassung von stehendem Totholz und Habitatstrukturen

Das Distance Sampling eine von Buckland et al. (1993)[25] 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[26,27]. 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 16). 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.

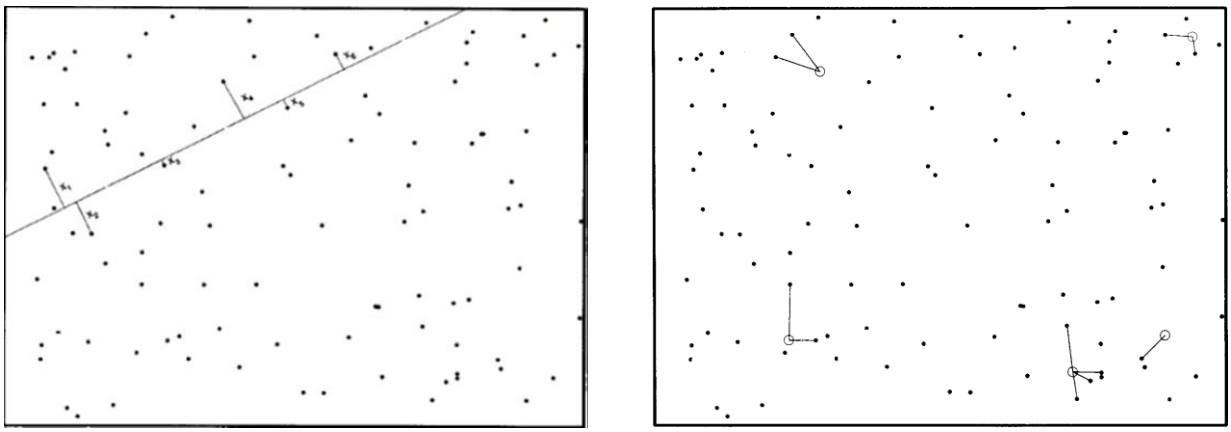


Abbildung 16: Design des Line Distance Sampling (linkes Bild) mit einer einzelnen, zufällig gesetzten Transektlinie der Länge L. Es wurden sechs Objekte (n = 6) entlang der Transektlinie in den Entfernungen x1; x2; … ; x6 gemessen. Design des Point Distance Sampling (rechte Seite) mit fünf zufällig im Untersuchungsgebiet verteilten Probekreisen (Quelle: Buckland et al. 1993[25]).

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 17).

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

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

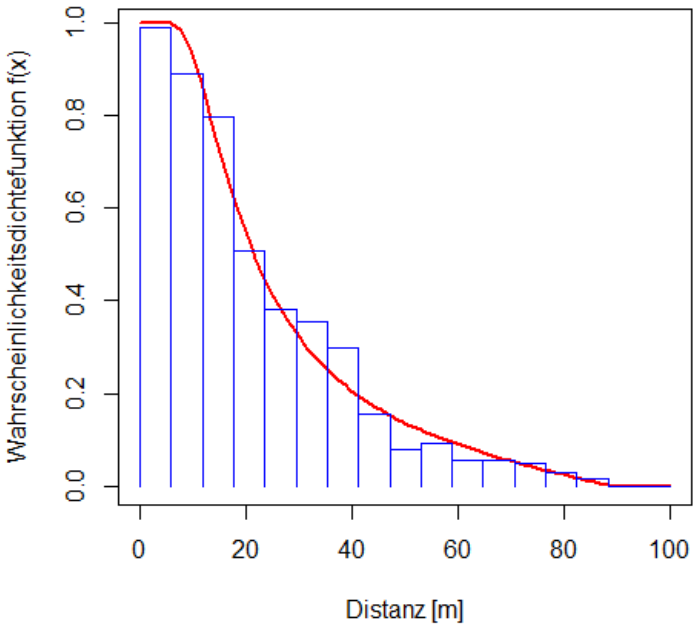


Abbildung 17: Histogramm der horizontalen Entfernungen und dazugehörigen Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion f(x) für Habitatbäume aus 16 Naturwaldflächen.

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[28,29] zeigen, ist der Beobachtereffekt nicht zu unterschätzen. Die Auswertung der mittels Distance Sampling erhobenen Daten erfolgt in der Open-Source-Software Distance[30]. 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[31]. Bei der Methode handelt es sich um ein Streifentransekt von kleinstmöglicher Breite (d.h. der Transektlinie), das durch eine Population nadel-

[28] 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.
[29] Larkin, R. (2017): An assessment of result reproducibility and observer effect in microhabitat monitoring. Masterarbeit, Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Forstwissenschaften.
[30] 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.
[31] Warren W. G. & Olsen, P. F. (1964): A line intersect technique for assessing logging waste. Forest Science, 10(3):267–276.

förmiger Objekte verläuft[32]. An jedem Schnittpunkt der Linie mit einem Totholzobjekt wird der Durchmesser des Objektes gemessen, worüber das Volumen pro Flächeneinheit 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)[33] entwickelt und bei Böhl und Brändtli (2007)[32] 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 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).

[32] 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.
[33] van Wagner, C. E. (1968): The line intersect method in forest fuel sampling. Forest science, 14(1): 20–26.

Tabelle 12: BHD-Klassen (nach Röhrig et al. 2006[34])

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.)

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

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[27]. 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[32].

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[35]
- 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

[35] 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	**Untersuchungsgebiet**	**Transektnummer**	**Transektuntereinheit**	**Entfernung (m)**	Baumart	Durchmesserklasse	**Klasse(*)**	Zersetzungsgrad	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

2.7. 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.

2.7.1. 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[36])
- Arten historisch alter Waldstandorte[37,38]
- 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 mit den auf Probekreisebene durchgeführten Waldstrukturaufnahmen (oder anderen Datenerhebungen wie Licht, Bodenparameter etc.) in Verbindung gesetzt werden können. Gebräuchliche Flä-

[36] Schmidt, M., Kriebitzsch, W.-U., Ewald, J. (2011): Waldartenlisten der Farn- und Blütenpflanzen, Moose und Flechten Deutschlands. BfN-Skripten, 299: 111 S.
[37] 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.
[38] 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.

chengrößen für Vegetationsaufnahmen in Wäldern liegen zwischen 100 und 200 m² [39]. 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 18). 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. Kap. 2.5).

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.

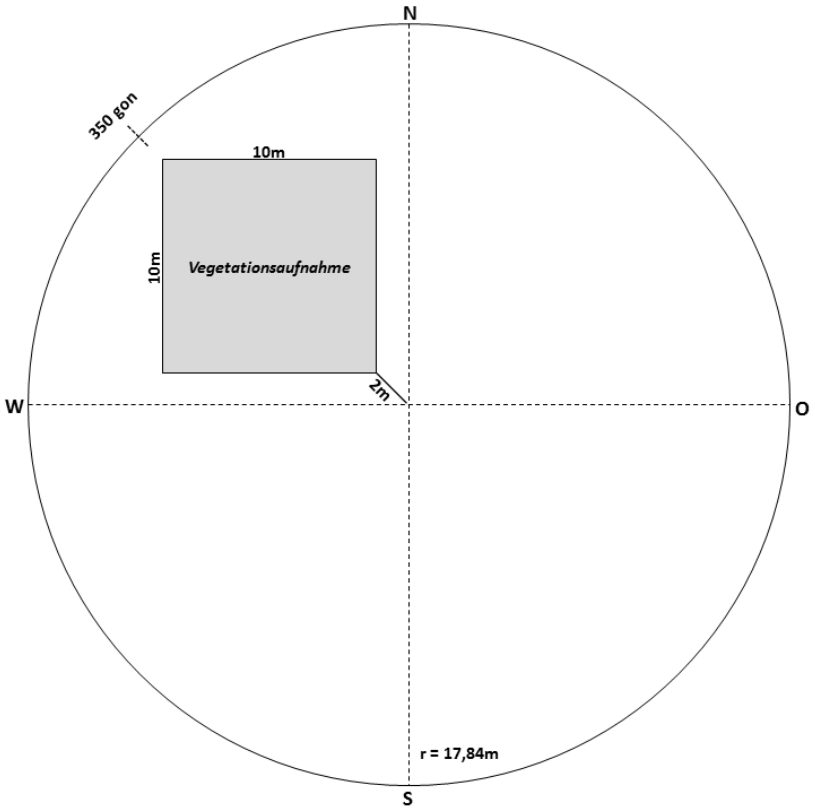


Abbildung 18: Darstellung der Unterfläche für die Vegetationsaufnahme auf den Probekreisen des WiNat-Projekts.

Aufnahmemethode

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

Die hier beschriebene Aufnahmemethode orientiert sich an den Vegetationsaufnahmen in hessischen Naturwaldreservaten[40] .

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.

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[39]. Es werden nur Pflanzenarten erfasst, die auf dem Boden wachsen inkl. Flechten und Moose. Epiphytische Flechten und Moose auf Baumstämmen werden gesondert erfasst (s. Kap. 2.7.4). 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)[41] oder Londo (1976)[42] möglich.

[40] Meyer, P., Brößling, S., Bedarff, U., Schmidt, M. (2013): Monitoring von Waldstruktur und Vegetation in hessischen Naturwaldreservaten. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.
[41] Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde.
[42] Londo, G. (1976): The decimal scale for releves of permanent quadrats. Vegetatio, 33: 61–64.

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)

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)[39]
- Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland[43]
- Schmidt et al. (2011): Waldartenlisten der Farn- und Blütenpflanzen, Moose und Flechten Deutschlands[44]
- Rote Liste der Pflanzen Deutschlands[45]
- Zeigerwerte der Vegetation Mitteleuropas[46]

[43] Jäger, E.J. (Hrsg.) (2016): Rothmaler - Exkursionsflora von Deutschland, Gefäßpflanzen: Grundband, 21. Auflage, 924 S.
[44] Schmidt, M., Kriebitzsch, W.-U., Ewald, J. (2011): Waldartenlisten der Farn- und Blütenpflanzen, Moose und Flechten Deutschlands. BfN-Skripten, 299: 111 S.
[45] 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
[46] 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					

2.7.2. 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[47]. 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)[47]. Weiterhin lassen sich sogenannten Urwaldreliktarten[48] identifizieren, die auf naturschutzfachlich besonders wertvolle Waldbestände mit langer Habitatkontinuität und das Vorhandensein später Waldentwicklungsphasen sowie großen, unterschiedlich stark zersetzten Totholzmengen angewiesen sind.

Probeflächendesign

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 Käferfallen (Lufteklektoren/Flugfensterfallen) wurden an einem für den Käferfang optimalen Standort angebracht. Pro Waldbestand wurde im WiNat-Projekt eine Käferfalle installiert.

Aufnahmemethode

Die Inventur orientiert sich methodisch an den Bestandserfassungen von Totholzkäfern in Naturwaldreservaten und Naturwaldvergleichsflächen[47,49]. Hier werden noch weitere Standardmethoden zur Totholzkäfererfassung vorgestellt, die zusätzlich zu der hier beschriebenen Methoden durchgeführt werden können.

Zur Erfassung xylobionter Käfer eignen sich **Lufteklektoren** (Abbildung 19, Flugfensterfalle nach Rahn[50]). 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 ein Lufteklektor pro Waldbestand wird an einem für den Käferfang optimalen Standort aufgestellt. Als

[47] 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.

[48] 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.

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

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

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

Abbildung 19: Für die Untersuchungen verwendete Lufeklektoren (Foto links: Weigel 2015, Foto rechts: DBU-NE).

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. Auswertungen aus dem WiNat-Projekt zeigen, dass im September/Oktober beider Untersuchungsjahre deutlich weniger Arten gefangen wurden als in den vorherigen Fallenleerungen (Abbildung 20). Daher kann überlegt werden, ob man zur Reduzierung des Untersuchungsaufwandes nur vier Fallenleerungen von Mai bis August/September durchführt. Da das Naturnähemonitoring langfristig ausgelegt ist, sollte die Käferinventur regelmäßig wiederholt werden. Im Rahmen des WiNat-Projekts wurden die xylobionten Käfer zunächst in zwei aufeinanderfolgenden Jahren erfasst.

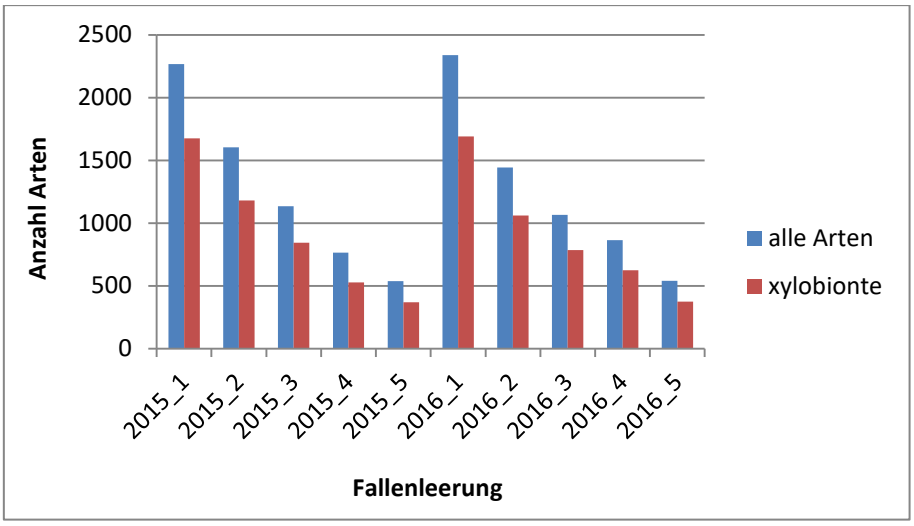


Abbildung 20: Anzahl gefangener Arten pro Fallenleerung im Rahmen des WiNat-Projekts (jeweils fünf Durchgänge in den Jahren 2015 und 2016).

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“[51] (Fortschreibung seit 2013 unter: www.colkat.de).

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).

[51] 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"[52,53,54]
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[48]
ERFASSER	Name des Erfassers
BEMERKUNG	Bemerkungen über Besonderheiten etc.

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

Tabelle 19: Wichtige Variablen bei der Erfassung xylobionter Käfer[55]. Für xylobionte Arten werden nur die relevanten Biotop- und Habitatpräferenzen dargestellt, vollständige Liste siehe Köhler (2000)[47].

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

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

- 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[52], Ergänzungsbände[53,54,56]
- Köhler & Klausnitzer (1998): Verzeichnis der Käfer Deutschlands[51], Nachtrag[57], Fortschreibung seit 2013 unter: www.colkat.de)
- Informationen über xylobionte Käfer (z. B. Köhler (2000a): Totholzkäfer in Naturwaldzellen des nördlichen Rheinlandes[47])
- Urwaldreliktarten nach Müller et al. (2005)[48]
- Rote Liste der Käfer (Coleoptera)[58]

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

2.7.3. 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[59]. 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[60]. 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[61].

Probeflächendesign

Aufgrund des im Rahmen des WiNat-Projekts nicht leistbaren Arbeitsaufwandes fanden die flächenbezogenen Pilzinventuren nur auf einer festgelegten Auswahl an Probekreisen pro Waldbestand statt (Zufallsauswahl, n = 4). Zeitgleich wurde der Gesamtbestand, in dem die Probekreise liegen, auf der Suche nach naturschutzfachlich relevanten bzw. gebietstypischen Arten per **„random walk“** begangen (s. Abbildung 21). 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.

[59] Schmidt, M., Meyer, P., Langer, E. (2012): Holzbewohnende Pilze als Naturnähezeiger in hessischen Wäldern. AFZ – Der Wald 6: 19–21.
[60] 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.
[61] Fichtner, A. & M. Lüderitz (2013): Signalarten – ein praxisnaher Beitrag zur Erfassung der Naturnähe und Biodiversität in Wäldern. Natur und Landschaft 88: 392–399.

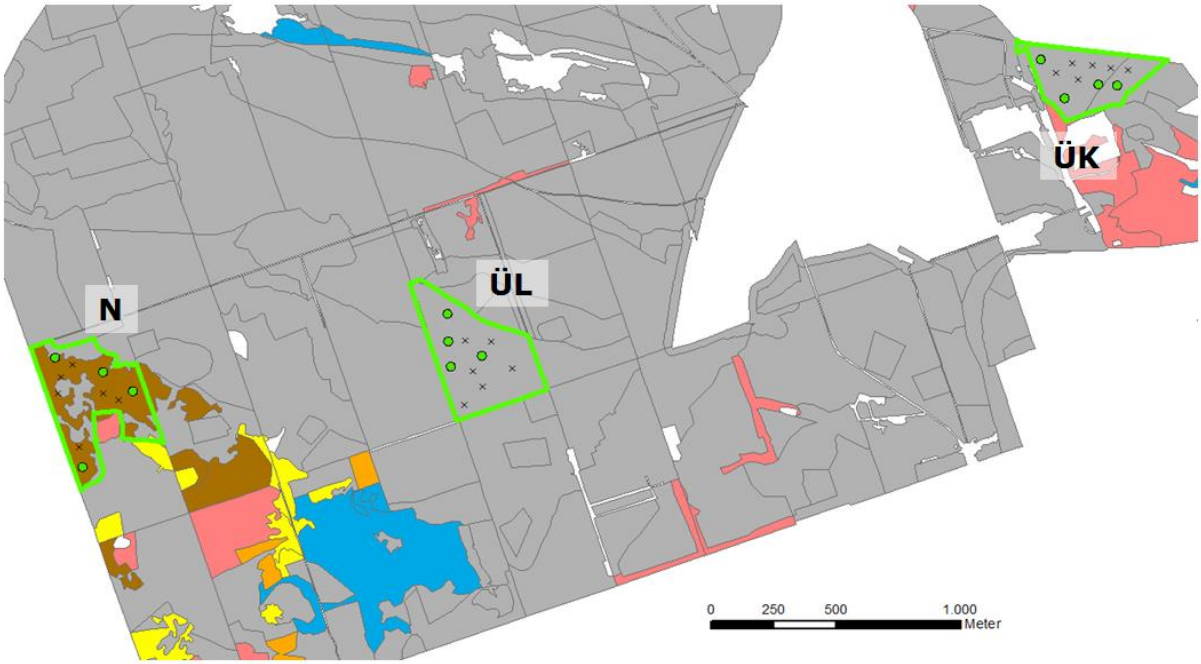


Abbildung 21: Für die Pilzinventuren im WiNat-Projekt wurden vier Probekreise pro Waldkategorie ausgewählt (grüne Kreise, Kreuze = nicht beprobte Probekreise). Außerdem wurde der Gesamtbestand in dem die Probekreise liegen begangen (grün umrandete Flächen), am Beispiel der DBU-Naturerbefläche Weißhaus.

Aufnahmemethode

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[62].

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 WiNat-Projekt wurde beispielsweise 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 Gesamtbestand, in dem jeweils 4 Probekreise liegen, 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). Da das Naturnähemonitoring langfristig ausgelegt ist, sollte die Pilzinventur regelmäßig wiederholt werden. Im Rahmen des WiNat-Projekts wurde das Pilzvorkommen zunächst in zwei aufeinanderfolgenden Jahren erfasst.

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

[62] 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[60], 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)[60]
- Signalarten nach Fichtner & Lüderitz (2013)[61]
- Rote Liste der Großpilze Deutschlands[63]

[63] 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.

2.7.4. Epiphytische Flechten und Moose

Ziel

Baumbewohnende Flechten und Moose stellen besonders sensitive Indikatoren für die Naturnähe von Wäldern dar. Untersuchungen zeigen, dass die Artendiversität stark mit dem Bestandesalter korreliert ist[64,65]. Vor allem auf sehr alte Bäume und Totholz angewiesene, sich langsam ausbreitende und austrocknungsempfindliche Arten fehlen in den Wirtschaftswäldern weitgehend oder ganz[66].

Probeflächendesign

Die Erfassung epiphytischer Flechten und Moose wurde auf einer kreisförmigen **Unterfläche** à 500 m² in jedem Probekreis durchgeführt. Der Mittelpunkt der Unterfläche lag dabei genau auf dem Mittelpunkt des Probekreises. Vom Mittelpunkt aus können die Grenzen der Unterfläche mit einem Radius von 12,61 m abgesteckt werden. Übliche Flächengrößen für die Kartierung epiphytischer Flechten und Moose liegen meist zwischen 100–200 m². Aufgrund der geringen Stammdichten in den für das WiNat-Projekt ausgewählten N-Beständen wurden 500 m² beprobt. Je nach Stammdichte kann die Flächengröße variiert werden.

Die Durchführung der Vegetationsaufnahmen auf einer Unterfläche des Probekreises hat den Vorteil, dass die gewonnenen Vegetationsdaten flächengenau mit den auf Probekreisebene durchgeführten Waldstrukturaufnahmen (oder andere Datenerhebungen wie Licht, Bodenparameter etc.) in Verbindung gesetzt werden können.

Aufnahmemethode

In jeder Unterfläche wurden alle Bäume auf das Vorkommen epiphytischer Flechten und Moose hin untersucht. Stehende Bäume (lebend und tot) ≥ 7 cm BHD wurden bis zu einer Höhe von 2 m beprobt, auf liegendem Totholz ≥ 7 cm BHD vorkommende Arten wurden auf der ganzen Oberfläche aufgenommen. Bis zu einer Baumhöhe von 2 bis. max. 3 m ist die Kartierung ohne zeit- und kostenaufwendige technische Hilfsmittel wie Kräne, Türme oder professionelle Baumkletterer möglich.

Das Vorkommen einzelner Arten wurde anhand von Deckungsgradklassen ermittelt:

- 1 % (ein bis mehrere Individuen, aber weniger als 1 % Deckung),
- 5 % (Arten mit bis zu 5 % Deckung),
- Arten mit mehr als 10 % Deckung wurden im Anschluss zu 10 %-Klassen zusammengefasst.

Die Bestimmung der Arten erfolgt mit dem Lichtmikroskop. Viele Flechten enthalten Substanzen, die mithilfe von bestimmten Chemikalien farbige Reaktionen der Flechtenthalli hervorrufen. Dies ist ein hilfreiches Verfahren bei der Flechtenbestimmung. Weiterführende Informationen zur dieser Me-

[64] Brunet, J., Fritz, Ö., Richnau, G. (2010): Biodiversity in European beech forests – a review with recommendations for sustainable forest management. Ecol. Bull., 53: 77–94.

[65] Paillet, Y., Bergès, L., Hjältén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Bijlsma, R.-J., De Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U. (2010): Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. Cons. Biology, 24: 101–112.

[66] Hauck, M., de Bruyn, U., Leuschner, C. (2013): Dramatic diversity losses in epiphytic lichens in temperate broad-leaved forests during the last 150 years. Biol. Cons., 157: 136–145.

thode finden sich in der Fachliteratur. Ist eine rein optische Bestimmung nicht möglich, können zur Identifikation der Arten auch Dünnschichtchromatographien[67] für die Bestimmung der Sekundärmetabolite (=Flechtenstoffe) verwendet werden.

Tabelle 21: Übersicht über die wichtigsten Aufnahmegrößen für epiphytische Flechten und Moose.

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	Angaben zu Besonderheiten im Probekreis, zur Aufnahme o.ä.
Charakterisierung des Wirtsbaumes	– Ggf. Baumnummer (nötig bei Wiederholungsaufnahmen) – Baumart – BHD – Status (tot, lebend, stehend, liegend) – Ggf. Zersetzungsgrad – Ggf. Rindentextur – Ggf. Mikroexposition
Artenzahl pro Baum	
Wissenschaftliche Artnamen der Epiphyten	
Deckungsgrad der einzelnen Arten [%]	– 1 % (ein bis mehrere Individuen, aber weniger als 1 % Deckung), – 5 % (Arten mit bis zu 5 % Deckung), – Arten mit mehr als 10 % Deckung wurden im Anschluss zu 10 %-Klassen zusammengefasst.

Materialien und erforderliche Kenntnisse

Folgende Messinstrumente und Materialien sind bei der Vegetationsaufnahme mitzuführen:

- Formblätter für die Kartierung epiphytischer Flechten und Moose
- 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 o.ä. zur Messung der Erfassungsgrenze von 2 m bei stehenden Bäumen
- Stift
- Lupe, Binokular zur (späteren) Bestimmung
- Aufbewahrungsmöglichkeiten zur Mitnahme von Flechten/Moosen für die spätere Bestimmung
- Bestimmungsliteratur

[67] Orange, A., James, P. W., White, F. J. (2001): Microchemical methods for the identification of lichens (p. 101). London, UK: British Lichen Society.

- Schätzhilfen zur Bestimmung des Deckungsgrades

Weiterhin sind umfangreiche Kenntnisse der im Gebiet vorkommenden epiphytischen Flechten- und Moosarten vonnöten.

Literaturhinweise:

- Frahm & Frey (2004): Moosflora [68]
- Freyet al. (2006): The Liverworts, mosses and ferns of Europe[69]
- Nebel (2000, 2001, 2005): Die Moose Baden-Württembergs[70]
- Wirth et al. (2013): Die Flechten Deutschlands[71]

[68] Frahm, J.-P. & Frey, W. (2004): Moosflora. 4. Auflage. UTB, Stuttgart.
[69] Frey, W., Frahm, J.-P., Fischer, E., Lobin, W. (2006): The Liverworts, mosses and ferns of Europe. Harley Books.
[70] Nebel, M. (2000, 2001, 2005): Die Moose Baden-Württembergs. Bd. 1–3. Ulmer Verlag.
[71] Wirth, V.; Hauck, M.; Schultz, M. (2013): Die Flechten Deutschlands. Bd. 1–2. Ulmer Verlag.

2.8. Erfassung funktionaler Kenngrößen

Wälder sind ein wichtiger Teil des Kohlenstoffkreislaufs. Durch Photosynthese wird der Atmosphäre Kohlenstoffdioxid (CO_2) entnommen, welches durch Zersetzung oder Verbrennung organischen Materials wieder in die Atmosphäre entlassen wird. Deutsche Wälder sind Kohlenstoffsenken, d.h. sie nehmen mehr Kohlenstoff auf, als im gleichen Zeitraum wieder freigesetzt wird[72]. Diese Funktion des Waldes als Kohlenstoffsenke ist besonders in Zeiten des Klimawandels von besonderer Bedeutung.

2.8.1. Bestimmung der Kohlenstoffvorräte in der Biomasse

Ziel

Die Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen Biomasse machen einen erheblichen Teil der Kohlenstoffvorräte in Wäldern aus. Die Höhe der Biomassevorräte ist abhängig von vielen Faktoren, wie beispielsweise der Baumartenzusammensetzung und des Alters, aber auch der Nutzung der Bestände[73]. Durch forstliche Entscheidungen und Eingriffe können also auch die Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen Biomasse beeinflusst werden. Ziel der Bestimmung der Kohlenstoffvorräte ist es, zu bewerten wie gut die Wälder unterschiedlicher Naturnähe die Funktion der Kohlenstoffspeicherung erfüllen.

Probeflächendesign

Die Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen Biomasse wurden für alle Probekreise in den Untersuchungsgebieten berechnet. Die Berechnung für die lebende Biomasse, die tote Biomasse und für die Verjüngung erfolgte **anhand der Waldstrukturdaten**. Dies hat den Vorteil, dass keine zusätzlichen Daten mehr im Gelände erhoben werden müssen.

Berechnungsmethode

In den Waldstrukturdaten werden zunächst die fehlenden Höhen sämtlicher vollständiger Bäume ergänzt. Die Schätzung erfolgt mit Hilfe der Petterson-Funktion[74] artspezifisch für jeden Bestand anhand des Zusammenhangs der gemessenen Höhen mit dem Brusthöhendurchmesser.

Die Berechnung der Biomasse erfolgt separat für (i) lebende, vollständige Bäume des stehenden Bestandes, (ii) tote und/oder unvollständige Bäume des stehenden Bestandes und Bäume des liegenden Bestandes und (iii) die Verjüngung.

(i) Die Biomasse lebender, vollständiger Bäume des stehenden Bestandes erfolgt anhand artspezifischer, allometrischer Regressionsgleichungen. Diese Gleichungen erlauben eine Schät-

[72] WBAE, Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz & WBW, Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL (2016): Klimaschutz in der Land- und Forst-wirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Berlin.
[73] Ellenberg, H. & Leuschner, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht (6 Aufl.). Ulmer Verlag, Stuttgart.
[74] Schmidt, A. V. (1967): Der rechnerische Ausgleich von Bestandeshöhenkurven. Forstwissenschaftliches Centralblatt 86: 370-382.

zung der Einzelbaumbiomassen anhand des Brusthöhendurchmessers und in einigen Fällen der Baumhöhe. Baumarten, für die keine geeigneten artspezifischen Gleichungen vorliegen, werden anhand der Holzdichte anderen Baumarten zugeordnet, für die geeignete Gleichungen vorliegen. Für die Berechnungen auf den WiNat-Flächen wurden die Gleichungen in Tabelle 22 verwendet.

(ii) Zur Bestimmung der Biomassen toter und/oder unvollständiger Bäume des stehenden Bestandes und Bäumen des liegenden Bestandes werden die Volumen der Objekte berechnet[75]. Die Volumen werden mit der artspezifischen Holzdichte multipliziert[76,77]. Je nach Zersetzungsgrad wird ein Volumenabschlag mit eingerechnet[78].

(iii) Die Biomasse der Verjüngung wird anhand artspezifischer Regressionsgleichungen berechnet, die speziell für junge Bäume entwickelt wurden[79]. Baumarten, für die keine geeigneten artspezifischen Gleichungen vorliegen, werden erneut anhand der Holzdichte anderen Baumarten zugeordnet, für die geeignete Gleichungen vorliegen.

Die Biomassen aller Objekte in einem Probekreis werden summiert. Zur Bestimmung der Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen Biomasse wird ein Kohlenstoffgehalt von 50 % in der gesamten Biomasse angenommen[80,81]. Die Kohlenstoffvorräte der Probekreise werden auf Werte je Hektar hochgerechnet und für den Bestand gemittelt.

Materialien und erforderliche Vorkenntnisse

Um die umfangreichen Berechnungen selbstständig durchzuführen, sind gute Kenntnisse in einem Statistikprogramm (beispielsweise R[82]) erforderlich. Es ist geplant, für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen Biomasse ein Programm zu entwickeln und zur Verfügung zu stellen, in das nur noch die erhobenen Waldstrukturdaten eingegeben werden müssen. Diese müssen dann vollständig in einem standardisierten Format vorliegen.

---

[75] Meyer, P. (1999): Totholzuntersuchungen in nordwestdeutschen Naturwäldern: Methodik und erste Ergebnisse. Forstwissenschaftliches Centralblatt 118: 167–180.

[76] Chave, J., Coomes, D. A., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., Zanne, A. E. (2009): Towards a worldwide wood economics spectrum. Ecology Letters 12: 351–366.

[77] Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N. G., Wiemann, M. C., Chave, J. (2009): Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. Dryad Digital Repository. https://doi.org/10.5061/dryad.234

[78] Meyer, P., Menke, N., Nagel, J., Hansen, J., Kawaletz, H., Paar, U., Evers, J. (2009): Entwicklung eines Managementmoduls für Totholz im Forstbetrieb. Abschlussbericht des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.

[79] Annighöfer, P., Ameztegui, A., Ammer, C., Balandier, P., Bartsch, N., Bolte, A., ... , Mund, M. (2016): Species-specific and generic biomass equations for seedlings and saplings of European tree species. European journal of forest research 135: 313–329.

[80] IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2003): Good practice guidance for land use, land-use change, and forestry. J. Penman, et al., editors. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan.

[81] Wirth, C., Schulze, E. D., Schwalbe, G., Tomczyk, S., Weber, G., Weller, E., Böttcher, H., Schumacher, J., Vetter, J. (2003): Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern Thüringens. Abschlussbericht zur 1. Phase des BMBF-Projektes "Modelluntersuchung zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls". Max-Planck Institute for Biogeochemistry, Jena.

[82] R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/

2.8.2. Produktivitätsmessungen

Ziel

Die jährliche Nettoprimärproduktion ist ein Maß für den jährlichen Zuwachs an Biomasse und lässt somit darauf schließen, wie viel Kohlenstoff jährlich in den Wäldern neu gebunden wird. Neben den klimatischen Bedingungen und den Bodenbedingungen eines Standorts kann die Produktivität auch durch die Waldstruktur, die Baumartenzusammensetzung oder das Alter der Bestände beeinflusst werden[73,83,84]. Durch die Messung der Nettoprimärproduktion soll bewertet werden, wie sich die Wälder unterschiedlicher Naturnähe in ihrer Funktion der Kohlenstoffbindung unterscheiden.

Probeflächendesign

Für die Produktivitätsmessungen wurden jeweils die ersten 6 der 10 ausgewählten, zufällig verteilten Probekreise in den N- und ÜL-Beständen der WiNat-Untersuchungsgebiete ausgewählt (vgl. Kap. 2.1). Auf den ausgewählten Probekreisen wurden der Zuwachs des Brusthöhendurchmessers an bis zu 15 Bäumen und die Streuproduktion mittels eines Streufängers gemessen, der an dem Probekreismittelpunkt aufgestellt wurde.

Aufnahmemethode

Der Holzzuwachs wird für Bäume mit einem Brusthöhendurchmesser ≥ 7 cm gemessen. Hierfür werden repräsentativ nach Baumart und Durchmesser 15 Bäume je Probekreis ausgewählt (bei weniger als 15 lebenden Bäumen ≥ 7 cm BHD auf einem Probekreis: alle Bäume des Probekreises). Um jährlich an exakt derselben Position am Baum den Brusthöhendurchmesser bestimmen zu können, werden **Permanent-Baummessbänder** (z. B. der Firma UP – Umweltanalytische Produkte GmbH) an den Bäumen dauerhaft befestigt (Abbildung 22a). Durch eine Feder, die am Maßband befestigt wird, erweitert sich dieses mit zunehmendem Durchmesser des Baumes und wächst mit. An Bäumen mit dicker Borke wie Kiefern und Eichen wird vor Befestigung der Maßbänder die Borke mit Hilfe eines Rindenglätteisens entfernt, so dass Feuchtigkeit, die zum Quellen der Borke führt, nicht das Messergebnis beeinflusst. An den Maßbändern lässt sich der Durchmesser dank einer π-Skala mit einer Genauigkeit von 0,01 cm direkt ablesen. Die Ablesung erfolgt jährlich in der vegetationsfreien Periode.

Um den Holzzuwachs auf Probekreisebene zu berechnen, wird zunächst für alle Bäume mit einem BHD ≥ 7 cm, deren Zuwachs nicht gemessen wurde, der Zuwachs geschätzt. Dies erfolgt baumartenspezifisch anhand des Zusammenhangs zwischen Ausgangs-BHD und BHD-Zuwachs desselben Jahres der gemessenen Bäume. Die Schätzung sollte außerdem unter Einbeziehung des Standortes erfolgen, wenn dies die Schätzgenauigkeit verbessert. Auf diese Weise werden für alle nicht gemessenen Bäume die BHDs der Folgejahre geschätzt. In Waldbeständen mit geringer Stammzahl ist eine Messung aller Bäume wünschenswert, um die durch Schätzungen entstehende Ungenauigkeit zu vermeiden.

[83] Genet, H., Bréda, N.,, Dufrêne, E. (2009): Age-related variation in carbon allocation at tree and stand scales in beech (*Fagus sylvatica* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.) using a chronosequence approach. Tree Physiology 30: 177–192.

[84] Noormets, A., Epron, D., Domec, J. C., McNulty, S. G., Fox, T., Sun, G., King, J. S. (2015): Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis. Forest Ecology and Management 355: 124–140.

Anhand von baumartenspezifischen Regressionsgleichungen (Tabelle 22) wird nun mit den BHDs der unterschiedlichen Messjahre die Holzbiomasse der Bäume berechnet. Die Differenz der Holzbiomasse zwischen den aufeinanderfolgenden Jahren ergibt den Holzzuwachs. Der Holzzuwachs für alle Bäume eines Probekreises wird summiert, auf einen Wert je ha hochgerechnet und für den Bestand gemittelt.

a) b)

Abbildung 22: a) Permanent-Baummessband an einer Kiefer. b) Streufänger in einem Buchenbestand (Fotos: A. Förster, Universität Göttingen).

Die Streuproduktion wird mit Hilfe von **Streufängern** mit einem Durchmesser von 60 cm (Laubwaldbestände) bzw. 21 cm (Nadelwaldbestände) gemessen (Abbildung 22b). Die Streufänger werden mit Löchern für den Abfluss von Niederschlagswasser versehen. In Nadelwaldbeständen werden die Abflusslöcher mit Siebhülsen versehen, um einen Verlust von Streu zu vermeiden. An jedem Probekreismittelpunkt wird ein Streufänger aufgestellt und mit einem (Erd-)Nagel am Waldboden befestigt. Die Leerung der Streufänger erfolgt im Herbst nach dem Laubfall. Eine Nachkontrolle in allen Beständen sollte im Frühjahr mit Beginn der Blattentwicklung erfolgen. In den Nadelwaldbeständen empfiehlt sich eine weitere Leerung im Sommer, um die in dieser Zeit herabfallende Streu nicht teilweise durch den beginnenden Zersetzungsprozess zu verlieren. Um auch in Nadelwaldbeständen die Zapfenproduktion repräsentativ zu messen ohne einen erheblichen Mehraufwand für das Messen der Nadelproduktion in Kauf zu nehmen, kann eine weitere Methode angewendet werden. Es wird an einer genau festgelegten Position neben dem Probekreismittelpunkt ein Quadratmeter Boden markiert. Innerhalb dieses Quadratmeters werden nun sämtliche Zapfen entfernt. Nach genau einem Jahr werden sämtliche Zapfen, die sich nun innerhalb des markierten Quadrats befinden, abgesammelt.

Die Streu wird nach Laub bzw. Nadeln und Früchten sortiert. Gegebenenfalls kann auch noch genauer nach Hauptbaumart und Nebenbaumart Laubbaum/Nebenbaumart Nadelbaum sortiert werden. Die einzelnen Fraktionen werden für 48 Stunden bei 70°C getrocknet und gewogen.

Materialien und erforderliche Kenntnisse

Folgende Materialien werden für die Messung des Holzzuwachses benötigt:

- GPS-Gerät, Koordinaten der Probekreise
- Karten (ggf. digital) der Waldstruktur der einzelnen Probekreise (beim Anbringen der Maßbänder, zur Lokalisation der zu messenden Bäume)
- Permanent-Baummessbänder (Anzahl: 15 je Probekreis) mit Federn
- Schere zum Abschneiden überstehender zu langer Enden der Baummessbänder

- Outdoormarker zum Beschriften der Baummessbänder (Zuordnung zu Baum-IDs in den Waldstrukturdaten)
- Formblätter für die BHD-Zuwachs-Messung (Datum, Name Untersuchungsfläche, Nummer Probekreis, ID des Maßbands bzw. des Baumes in den Waldstrukturdaten, Vorjahres-BHD, aktueller BHD)
- Stift

Folgende Materialien werden für die Messung der Streuproduktion benötigt:

- GPS-Gerät, Koordinaten der Probekreise
- Streufänger mit Abflusslöchern und ggf. Siebhülsen versehen (Anzahl: 1 je Probekreis)
- Erdnägel (Laubwälder) bzw. Nägel (Nadelwälder) zum Befestigen der Streufänger auf dem Waldboden
- Plastiktüten (bei nassem Wetter mit kleinen Abflusslöchern versehen) zum Einsammeln der Streu
- Wasserfester Stift zum Beschriften der Plastiktüten
- Zollstöcke und Holzstäbchen zum Markieren des Quadrats für die Messung der Zapfenproduktion

Im Anschluss an die Geländearbeit:

- Sortierschalen
- Papiertüten zum getrennten Trocknen der Fraktionen
- Trockenschrank
- Waage

Um die Berechnung der Holzproduktion selbstständig durchzuführen, sind gute Kenntnisse in einem Statistikprogramm (beispielsweise R[82]) erforderlich. Wie auch für die Berechnung der Kohlenstoffvorräte ist geplant, für die Berechnung der Holzproduktion ein Programm zu entwickeln und zur Verfügung zu stellen, in das die Waldstrukturdaten und die jährlich gemessenen BHDs eingegeben werden müssen.

Tabelle 22: Formeln für die gesamte oberird. Biomasse (ohne Früchte) und die Holzbiomasse von Bäumen (Erstellung für die jeweils fettgedruckte Arten, Zuordnung der übrigen Arten nach Holzdichte). OBM = oberird. Biomasse (kg Trockenmasse), HBM = Holzbiomasse (kg Trockenmasse), BHD = Brusthöhendurchmesser (cm), H = Baumhöhe (m).

Baumarten	Formel gesamte oberirdische Biomasse	Formel Holzbiomasse	Quelle
***Fagus sylvatica* L.**	$OBM = (0.0523 * BHD^{2.12} * H^{0.655}) + (0.0377 * BHD^{2.43} * H^{-0.913})$	$HBM = 0.0523 * BHD^{2.12} * H^{0.655}$	Wutzler et al. 2008[85]
***Pinus sylvestris* L.** *Pinus nigra* J. F. Arnold *Pinus strobus* L. *Larix* spec.	$OBM = (0.03060 * (BHD^2 * H)^{0.93702}) - (0.00741 * BHD^{2.79348} * H^{-1.28137})$	$HBM = (0.03060 * (BHD^2 * H)^{0.93702}) - (0.00741 * BHD^{2.79348} * H^{-1.28137}) - (0.44583 * BHD^{1.70154} * H^{-0.95354})$	Cienciala et al. 2006[86]
***Quercus* spec.** *Quercus petraea* Liebl. *Quercus robur* L. *Quercus rubra* L. *Fraxinus excelsior* L.	$OBM = \exp(-0.604 + 10.677 * (BHD / (BHD + 15.9)))$	$HBM = 0.999 * \exp(-3.069 + 2.137 * \log_e(BHD) + 0.661 * \log_e(H))$	Muukkonen 2007[87] Ciencieala et al. 2008[88]
***Betula pendula* Roth** *Acer pseudoplatanus* L. *Acer platanoides* L. *Corylus avellana* L.	$OBM = (-4.3091 + 0.04057 * (BHD^2 * H)^{0.91895}) + (0.72429 + 0.065697 * (BHD^2 * H)^{0.67831}) + (-0.73113 + 0.14686 * (BHD^2 * H)^{0.36687})$	$HBM = (-4.3091 + 0.04057 * (BHD^2 * H)^{0.91895}) + (0.72429 + 0.065697 * (BHD^2 * H)^{0.67831})$	Hagemeier 2002[89]

[85] Wutzler, T., Wirth, C., Schumacher, J. (2008): Generic biomass functions for Common beech (*Fagus sylvatica*) in Central Europe: predictions and components of uncertainty. Canadian Journal of Forest research 38: 1661–1675.

[86] Cienciala, E., Černý, M., Tatarinov, F., Apltauer, J., Exnerová, Z. (2006): Biomass functions applicable to Scots pine. Trees 20: 483–495.

[87] Muukkonen, P. (2007): Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. European Journal of Forest Research 126: 157–166.

[88] Cienciala, E., Apltauer, J., Exnerová, Z., Tatarinov, F. (2008): Biomass functions applicable to oak trees grown in Central-European forestry. Journal of Forest Science 54: 109–120.

[89] Hagemeier, M. (2002): Funktionale Kronenarchitektur mitteleuropäischer Baumarten am Beispiel von Hängebirke, Waldkiefer, Traubeneiche, Hainbuche, Winterlinde und Rotbuche. Dissertationes Botanicae. Cramer, Berlin, Stuttgart.

Baumarten	Formel gesamte oberirdische Biomasse	Formel Holzbiomasse	Quelle
***Prunus avium* L.** *Prunus serotina* Ehrh. *Prunus padus* L. *Frangula alnus* Mill. *Alnus glutinosa* (L.) J. Gaertn. *Salix* spec. *Tilia* spec. *Castanea sativa* Mill. *Populus* spec.	$OBM = \exp(-2.067 + 1.746 * \log_e(BHD) + 0.612 * \log_e(H)) + \exp(-3.379 + 1.640 * \log_e(BHD))$	$HBM = \exp(-2.067 + 1.746 * \log_e(BHD) + 0.612 * \log_e(H))$	Hochbichler 2008[90]
***Picea abies* (L.) H. Karst.** *Picea sitchensis* (Bong.) Carrière *Abies alba* Mill.	$OBM = \exp(-1.694 + 10.825 * (BHD / (BHD + 11.816)))$	$HBM = \exp(-3.043 + 11.784 * (BHD / (BHD + 9.328))) + \exp(-0.537 + 10.093 * (BHD / (BHD + 40.426)))$	Muukkonen 2007[87]
***Carpinus betulus* L.** *Ilex aquifolium* L. *Crataegus* spec.	$OBM = \exp(-2.346 + 2.611 * \log_e(BHD)) + \exp(-4.132 + 1.766 * \log_e(BHD))$	$HBM = \exp(-2.346 + 2.611 * \log_e(BHD))$	Hochbichler 2008[90]
***Sorbus aucuparia* L.**	$OBM = (\exp(4.9569 + 1.5396 * \log_e(BHD) + 0.4408 * \log_e(BHD^2)) + \exp(2.7241 + 1.4068 * \log_e(BHD) + 0.4646 * \log_e(BHD^2)) + \exp(2.2305 + 0.6070 * \log_e(BHD) + 0.7941 * \log_e(BHD^2))) / 1000$	$HBM = (\exp(4.9569 + 1.5396 * \log_e(BHD) + 0.4408 * \log_e(BHD^2)) + \exp(2.7241 + 1.4068 * \log_e(BHD) + 0.4646 * \log_e(BHD^2))) / 1000$	Korsmo 1995[91]

[90] Hochbichler, E. (2008): Fallstudien zur Struktur, Produktion und Bewirtschaftung von Mittelwäldern im Osten Österreichs (Weinviertel). Forstliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur, Wien.

[91] Korsmo, H. (1995): Weight equations for determining biomass fractions of young hardwoods from natural regenerated stands. Scandinavian journal of forest research 10: 333–346.

3. Literaturverzeichnis

Akça, A. (1993): Zur Methodik und Bedeutung kontinuierlicher Forstinventuren. Allg. Forst- und Jagdzeitung 164(11): 193–198.

Ammer, C., Brang, P., Knoke, T. (2004): Methoden zur waldbaulichen Untersuchung von Jungwüchsen. Forstarchiv, 75: 83–110.

Annighöfer, P., Ameztegui, A., Ammer, C., Balandier, P., Bartsch, N., Bolte, A., ... , Mund, M. (2016): Species-specific and generic biomass equations for seedlings and saplings of European tree species. European journal of forest research 135: 313–329.

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.

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.

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

BfN, Bundesamt für Naturschutz (2017): Bewertungsschemata für die Bewertung des Erhaltungsgrades von Arten und Lebensraumtypen als Grundlage für ein bundesweites FFH-Monitoring, Teil II: Lebensraumtypen nach Anhang I der FFH-Richtlinie (mit Ausnahme der marinen und Küstenlebensräumen), BfN-Skripten 481, https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript481.pdf

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.

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.

Braun-Blanquet, J. (1964): Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde.

Brunet, J., Fritz, Ö., Richnau, G. (2010): Biodiversity in European beech forests – a review with recommendations for sustainable forest management. Ecol. Bull., 53: 77–94.

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

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

Chave, J., Coomes, D. A., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., Zanne, A. E. (2009): Towards a worldwide wood economics spectrum. Ecology Letters 12: 351–366.

Cienciala, E., Černý, M., Tatarinov, F., Apltauer, J., Exnerová, Z. (2006): Biomass functions applicable to Scots pine. Trees 20: 483–495.

Cienciala, E., Apltauer, J., Exnerová, Z., Tatarinov, F. (2008): Biomass functions applicable to oak trees grown in Central-European forestry. Journal of Forest Science 54: 109–120.

Culmsee, H., Denstorf, H. O., Mann, P., Schmid, L. (2015): Wälder des Nationalen Naturerbes. Natur und Landschaft 90(3): 117–123.

DBU Naturerbe (2014): Naturnahe Waldentwicklung auf DBU-Naturerbeflächen. Grundsätze zur Entwicklungssteuerung. Stand: 01.12.2014. Osnabrück.

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

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.

Ellenberg, H. & Leuschner, C. (2010): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen: in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht (6 Aufl.). Ulmer Verlag, Stuttgart.

Fichtner, A. & M. Lüderitz (2013): Signalarten – ein praxisnaher Beitrag zur Erfassung der Naturnähe und Biodiversität in Wäldern. Natur und Landschaft 88: 392–399.

Frahm, J.-P. & Frey, W. (2004): Moosflora. 4. Auflage. UTB, Stuttgart.

Freude, H., Harde, K. W., Lohse, G.A. (1965–83): Die Käfer Mitteleuropas. Band 1–11. Goecke & Evers. Krefeld.

Frey, W., Frahm, J.-P., Fischer, E., Lobin, W. (2006): The Liverworts, mosses and ferns of Europe. Harley Books.

Geiser, R. (1998): Rote Liste der Käfer (Coleoptera). In: BFN (1998): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Schriftenr. f. Landschaftspfl. u. Natursch. 55: 168–230.

Genet, H., Bréda, N., Dufrêne, E. (2009): Age-related variation in carbon allocation at tree and stand scales in beech (Fagus sylvatica L.) and sessile oak (Quercus petraea (Matt.) Liebl.) using a chronosequence approach. Tree Physiology 30: 177–192.

Glaser, F.F. & Hauke, U. (2004): Historisch alte Waldstandorte und Hudewälder in Deutschland. Angewandte Landschaftsökologie, 61: 193 S.

Hagemeier, M. (2002): Funktionale Kronenarchitektur mitteleuropäischer Baumarten am Beispiel von Hängebirke, Waldkiefer, Traubeneiche, Hainbuche, Winterlinde und Rotbuche. Dissertationes Botanicae. Cramer, Berlin, Stuttgart.

Hauck, M., de Bruyn, U., Leuschner, C. (2013): Dramatic diversity losses in epiphytic lichens in temperate broad-leaved forests during the last 150 years. Biol. Cons., 157: 136–145.

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.

Hochbichler, E. (2008): Fallstudien zur Struktur, Produktion und Bewirtschaftung von Mittelwäldern im Osten Österreichs (Weinviertel). Forstliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur, Wien

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2003): Good practice guidance for land use, land-use change, and forestry. J. Penman, et al., editors. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan.

Jäger, E.J. (Hrsg.) (2016): Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland, Gefäßpflanzen: Grundband, 21. Auflage, 924 S.

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.

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

Köhler, F. & Klausnitzer, B. (Hrsg.) (1998): Verzeichnis der Käfer Deutschlands – Entomologische Nachrichten und Berichte, Beiheft 4: 1–185. Dresden. Fortschreibung seit 2013 unter: www.colkat.de

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.

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

Köhler, F. (2000c): Erster Nachtrag zum „Verzeichnis der Käfer Deutschlands“. Entomologische Nachrichten und Berichte 44 (1): 60–84.

Korsmo, H. (1995): Weight equations for determining biomass fractions of young hardwoods from natural regenerated stands. Scandinavian journal of forest research 10: 333–346.

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

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.

Larkin, R. (2017): An assessment of result reproducibility and observer effect in microhabitat monitoring. Master-arbeit, Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Forstwissenschaften.

Lohse, G.A. & Lucht, W. (1989, 1992, 1993): Die Käfer Mitteleuropas. Supplementband mit Katalogteil 1–3 (Bd. 12, 13, 14). Krefeld.

Londo, G. (1976): The decimal scale for releves of permanent quadrats. Vegetatio, 33: 61–64.

Lucht, W. & Klausnitzer, B. (1998): Die Käfer Mitteleuropas. Supplementband 4 (Bd. 15). Jena.

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

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.

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.

Meyer, P. (1999): Totholzuntersuchungen in nordwestdeutschen Naturwäldern: Methodik und erste Ergebnisse. Forstwissenschaftliches Centralblatt 118: 167–180.

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.

Meyer, P., Menke, N., Nagel, J., Hansen, J., Kawaletz, H., Paar, U., Evers, J. (2009): Entwicklung eines Managementmoduls für Totholz im Forstbetrieb. Abschlussbericht des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes. Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen.

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

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.

Muukkonen, P. (2007): Generalized allometric volume and biomass equations for some tree species in Europe. European Journal of Forest Research 126: 157–166.

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.

Nebel, M. (2000, 2001, 2005): Die Moose Baden-Württembergs. Bd. 1–3. Ulmer Verlag.

Noormets, A., Epron, D., Domec, J. C., McNulty, S. G., Fox, T., Sun, G., King, J. S. (2015): Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis. Forest Ecology and Management 355: 124–140.

Orange, A., James, P. W., White, F. J. (2001): Microchemical methods for the identification of lichens (p. 101). London, UK: British Lichen Society.

Paillet, Y., Bergès, L., Hjältén, J., Ódor, P., Avon, C., Bernhardt-Römermann, M., Bijlsma, R.-J., De Bruyn, L., Fuhr, M., Grandin, U. (2010): Biodiversity differences between managed and unmanaged forests: meta-analysis of species richness in Europe. Cons. Biology, 24: 101–112.

Paillet, Y., Coutadeur, P., Vuidot, A., Archaux, F., Gosselin, F. (2015): Strong observer effect on tree microhabi-tats inventories: A case study in a French lowland forest. Ecological Indicators, 49: 14–23.

Pfeffer, A. (1995): Zentral- und westpaläarktische Borken- und Kernkäfer (Coleoptera: Scolytidae, Platypodidae). Pro Entomologica. Basel.

Pickett, S.T.A. (1989): Space-for-time substitution as an alternative to long term studies. In: Likens, G.E.: Long term studies in ecology: Approaches and alternatives. New York, Springer: 110–135.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. https://www.R-project.org/.

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

Schmidt, A. V. (1967): Der rechnerische Ausgleich von Bestandeshöhenkurven. Forstwissenschaftliches Centralblatt 86: 370–382.

Schmidt, M., Kriebitzsch, W.-U., Ewald, J. (2011): Waldartenlisten der Farn- und Blütenpflanzen, Moose und Flechten Deutschlands. BfN-Skripten, 299: 111 S.

Schmidt, M., Meyer, P., Langer, E. (2012): Holzbewohnende Pilze als Naturnähezeiger in hessischen Wäldern. AFZ – Der Wald 6: 19–21.

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

Suck, R. & Bushart, M. (2010): Karte der Potentiellen Natürliche Vegetation Deutschlands im Maßstab 1:500.000. Karten + Legende. Bundesamt für Naturschutz, Bonn-Bad Godesberg, 24 S.

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.

van Wagner, C. E. (1968): The line intersect method in forest fuel sampling. Forest science, 14(1): 20–26.

Warren W. G. & Olsen, P. F. (1964): A line intersect technique for assessing logging waste. Forest Science, 10(3):267–276.

WBAE, Wissenschaftlicher Beirat Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlicher Verbraucherschutz & WBW, Wissenschaftlicher Beirat Waldpolitik beim BMEL (2016): Klimaschutz in der Land- und Forstwirtschaft sowie den nachgelagerten Bereichen Ernährung und Holzverwendung. Gutachten. Berlin.

Wirth, C., Schulze, E. D., Schwalbe, G., Tomczyk, S., Weber, G., Weller, E., Böttcher, H., Schumacher, J., Vetter, J. (2003): Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wäldern Thüringens. Abschlussbericht zur 1. Phase des BMBF-Projektes “Modelluntersuchung zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls”. Max-Planck Institute for Biogeochemistry, Jena.

Wirth, V.; Hauck, M.; Schultz, M. (2013): Die Flechten Deutschlands. Bd. 1–2. Ulmer Verlag.

Wutzler, T., Wirth, C., Schumacher, J. (2008): Generic biomass functions for Common beech (*Fagus sylvatica*) in Central Europe: predictions and components of uncertainty. Canadian Journal of Forest research 38: 1661–1675.

Zanne, A. E., Lopez-Gonzalez, G., Coomes, D. A., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S. L., Miller, R. B., Swenson, N. G., Wiemann, M. C., Chave, J. (2009): Data from: Towards a worldwide wood economics spectrum. Dryad Digital Repository. https://doi.org/10.5061/dryad.234