



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Biodiversität und Landschaft

November 2025

Anhang A4

Methodenbeschreibung des Artenmonitorings in Naturwaldreservaten der Schweiz (AMORE)

Xylobionte Käfer, totholzlebende Pilze und Waldstrukturen

Methodenbeschreibung gemäss Roth et al. (2025)

Inhaltsverzeichnis

A4.1	Zusammenfassung	3
A4.2	Standortselektion	3
A4.3	Auswahl der Probeflächen	4
A4.4	Waldstrukturen und Umweltvariablen	6
	Totholzaufnahme (liegendes Totholz)	6
	Lebende und tote, stehende Bäume und deren Baummikrohabitatem	7
	Kronenschluss	7
	Temperatur	7
A4.5	Käfer.....	8
	Flugfallen	8
	Standartisierte Handaufsammlung mit Gesiebe (Phase I und II)	9
A4.6	Pilze	11
	Standardisierte Fruchtkörperaufnahmen	11
A4.7	Datenmanagement	13
A4.8	Literatur	13

Quelle Methodenbeschreibung:

Roth, N., Kormann, U., Angeleri, R., Blaser, S., Gossner, M., Gross, A., Wermelinger, B., Lachat, T. 2025. Standortsauswahl und Feldmethoden des Artenmonitorings in Naturwaldreservaten der Schweiz - Xylobionte Käfer, totholzlebende Pilze und Waldstrukturen. Berichtsversion 3.0.

A4.1 Zusammenfassung

Totholzlebende Käfer und Pilze spielen in temperaten Waldökosystemen, wie dem Schweizer Wald, eine besonders wichtige Rolle. Gemeinsam mit den Bakterien sind sie die wichtigsten Akteure bei der Holzzersetzung. Sie sind daher für den Nährstoffkreislauf im Wald unerlässlich. Des Weiteren weisen beide Gruppen eine Vielzahl seltener und bedrohter Arten auf. Diese können als Indikatoren für späte Waldentwicklungsstadien mit einem hohen Totholzanteil dienen, was ihre hohe Planungs- und Naturschutzrelevanz unterstreicht. Im Rahmen des „Artenmonitorings in Naturwaldreservaten der Schweiz – xylobionte Käfer und Pilze“ erfolgt eine Erhebung des Zustands dieser beiden Artengruppen im Schweizer Wald sowie eine Evaluierung der Wirkung von Naturwaldreservaten. Der vorliegende Bericht gibt eine Übersicht über die Auswahl der Standorte und die angewandten Feldmethoden innerhalb des Projekts. Zudem werden methodische Anpassungen über die verschiedenen Projektphasen aufgezeigt. In der ersten Phase (2017–2020) wurde der Fokus auf Buchenwälder, in der zweiten Phase (2021–2024) auf Fichten- bzw. Tannen-Fichtenwälder in Hochlagen gelegt. In der dritten Phase (2025–2028) werden xerothermophile Eichen- und Föhrenwälder untersucht.

Für jedes untersuchte Naturwaldreservat wird eine standörtlich vergleichbare bewirtschaftete Kontrollfläche bestimmt. Im Anschluss werden jeweils elf 1000 m² grosse Probeflächen auf 4 ha Naturwaldreservats- bzw. Wirtschaftswaldfläche in einem stratifizierten, semi-randomisierten Design verteilt. Dies dient sowohl der Abdeckung totholzreicher Standorte als auch der Waldmatrix nach dem Zufallsprinzip. Die Erfassung von Käfern und Pilzen erfolgt auf den Probeflächen in standardisierten Verfahren über einen Zeitraum von zwei aufeinanderfolgenden Jahren. In diesem Zeitraum werden verschiedene Strukturparameter wie Totholzvolumen, Baumarten mit BHD und Baumkohabitaten auf allen Probeflächen erfasst. Die gewonnenen Daten werden in Zusammenarbeit mit dem nationalen Daten- und Informationszentrum der Schweizer Fauna (CSCF) und dem nationalen Daten- und Informationszentrum zur Dokumentation, Förderung und Erforschung der Schweizer Pilzflora (Swissfungi) verwaltet, um eine optimale Datenarchivierung zu garantieren.

A4.2 Standortselektion

Die für das Artenmonitoring ausgewählten Wälder repräsentieren die wichtigsten Hauptwaldgesellschaften der Schweiz. In der ersten Phase (2017–2020) lag der Fokus auf Buchenwäldern (Eu-Fagion, Cephalanthero-Fagion, Luzulo-Fagion), in der zweiten Phase (2021–2024) auf Fichten- bzw. Tannen-Fichtenwäldern (Vaccinio-Piceion, Abieti-Piceion) in Hochlagen. Als Ergänzung dazu werden bei der Durchführung der AMORE Projekte im Rahmen der Planungsperiode 2025–2028 (Phase III) naturschutzfachlich bedeutende Waldgesellschaften mit Schwerpunkt auf xerothermophilen Eichen- und Föhrenwälder berücksichtigt. Diese Waldgesellschaften sind zwar flächenmäßig weniger bedeutsam, spielen aber eine zentrale Rolle für die Biodiversität, sind regional von grossem Interesse, und haben auch im Hinblick auf den Klimawandel eine potenziell zunehmende Bedeutung.

Für das Monitoring werden vorzugsweise Naturwaldreservate aus dem ETH-WSL-Projekt „Forschung und Wirkungskontrolle in Schweizer Naturwaldreservaten“ (Brang u. a. 2008) ausgewählt, in dem kein Monitoring der xylobionten Organismen stattfindet. Dadurch werden Synergien zwischen den Projekten erzeugt. Dies ist bei der Suche nach den passenden Probeflächen hilfreich und wird in Zukunft auch Modellvorhersagen zur Diversität in bisher nicht untersuchten Naturwaldreservaten ermöglichen. Bis zur zweiten Projektphase befanden sich alle ausgewählten Flächen in Naturwaldreservaten, die Teil des ETH-WSL Naturwaldreservat-Netzwerks sind. Darüber hinaus können auch andere Naturwaldreservate einbezogen werden, beispielsweise im Rahmen von kantonalen Wirkungskontrollen. Für jedes Naturwaldreservat wird eine bewirtschaftete Kontrollfläche der gleichen Waldgesellschaft untersucht (gepaartes Design). Bei der Auswahl der Vergleichspaare ist darauf zu achten, dass die Standortfaktoren wie Höhenlage, klimatische Bedingungen, Exposition, Baumhöhen (Waldentwicklungsphase) und Baumartenzusammensetzung bestmöglich übereinstimmen. Gemäss

den Vorgaben sollten die Wälder (bzw. die entsprechenden Probeflächen, siehe Kapitel 2) einen Mindestabstand von 500 m, jedoch nicht mehr als 2000 m zueinander aufweisen.

A4.3 Auswahl der Probeflächen

Nachdem ein Paar aus Naturwaldreservat und bewirtschafteter Kontrollfläche festgelegt wurde, wird jeweils ein 4 ha grosses Polygon pro Wald mittels Geoinformationssystem-Software bestimmt. Gemäss den Vorgaben sollte die Entfernung zum Waldrand mindestens 50 m und zur Grenze des Naturwaldreservats 25 m betragen. Darüber hinaus ist es von grosser Bedeutung, dass die Polygone in den Naturwaldreservaten möglichst eng mit den Probeflächen und Kernflächen der ETH-WSL-Inventare überlappen. Die 4 ha grossen Flächen erlauben schweizweit standardisierte Aufnahmen, unabhängig von der Grösse der Waldreservate.

Innerhalb jeden Polygons werden 11 kreisförmige Probeflächen anhand eines stratifizierten semi-randomisierten Designs ausgewählt (Horizontalfläche = 1000 m², Radius = (+) 17.8 m, siehe auch Tabelle A1 für die Anpassung des Radius an die Hangneigung). Dies berücksichtigt die Tatsache, dass Totholz-Habitate in der Regel geklumpt vorkommen und nicht räumlich zufällig verteilt sind. Eine gänzlich randomisierte Auswahl der Probeflächen innerhalb der 4 ha hätte zur Folge, dass totholzreiche Standorte häufig unbeprobt und weniger mobile, seltene Arten unentdeckt blieben. Um dies zu vermeiden, erfolgt eine Aufteilung der elf Probeflächen in zwei Gruppen. Einerseits werden 6 Probeflächen so ausgewählt, dass diese die qualitativ hochwertigsten Totholz-Habitate und die vorhandenen Totholztypen auf den 4 ha möglichst repräsentativ abdecken. Diese Probeflächen werden dann unabhängig von der tatsächlichen Totholzausstattung als „totholzreiche Probeflächen“ bezeichnet (siehe auch Abbildung A4.1, Tabelle A4.1). Fünf weitere Probeflächen werden zufällig auf der verbleibenden Fläche der 4 ha verteilt. Diese bilden den Bestand ab, ohne sich nur auf die Totholz-Hotspots zu fokussieren, und werden als „Zufalls-Probeflächen“ bezeichnet. In jeder 4 ha Fläche werden zunächst die Probeflächen mit der höchsten Habitatqualität (Totholzangebot, -diversität, Baummikrohabitatem) für den Standort repräsentativ positioniert. Die Zufalls-Probeflächen werden nach der Auswahl der totholzreichen Probeflächen, idealerweise computergestützt ermittelt. Für detaillierte Auskünfte und Unterstützung bei der zufälligen Auswahl stehen N.Roth und T.Lachat zur Verfügung.

Hinweis: Die erste Projektphase (2017–2020) startete mit 8 totholzreichen Probeflächen auf 4 ha. Im Jahr 2018 wurden jeweils 3 Zufalls-Probeflächen hinzugefügt. Nach eingehender Analyse der Daten aus dieser Projektphase wurde die Gesamtzahl der Zufalls-Probeflächen erhöht und die totholzreichen Probeflächen auf 6 pro 4 ha herabgesetzt. Wir empfehlen dringend, ausreichend Zufalls-Probeflächen einzurichten. Nur so ist eine Beurteilung des Reservatseffekts unabhängig vom Totholzeffekt möglich.

Beim Einrichten der Probeflächen ist zu beachten, dass sich die Probeflächen nicht überlappen dürfen. Die Probeflächenzentren sind daher mehr als 35 m voneinander entfernt. Zudem sind Probeflächenzentren aufgrund der Auswahl des Polygons mindestens 50 m vom nächsten Waldrand und mindestens 25 m von der nächsten Naturwaldreservatgrenze entfernt. Das Zentrum von totholzreichen Probeflächen sollte in unmittelbarer Nähe zur Zielstruktur (also der Totholzstruktur oder -ansammlung welche auf der Probefläche beprobt werden soll) liegen. Die Einrichtung der Zentren der Zufalls-Probeflächen erfolgt unter möglichst präziser Berücksichtigung der GPS-Positionierung, wobei die Umgebung, einschließlich Vegetation, Topographie und Totholzangebot, unberücksichtigt bleibt, um eine zufallsgetriebene Lokalisierung zu gewährleisten. Es empfiehlt sich mehr als nur die benötigten 5 zufälligen Probeflächen zu berechnen. So können im Falle extremer Topographie und/oder Vegetation, einzelne zufällige Probeflächen verworfen werden. Es ist davon abzuraten das Zentrum der Zufalls-Probefläche im Feld eigenständig zu verschieben, da somit die Zufälligkeit der Probefläche nicht mehr garantiert werden kann. Das Probeflächenzentrum wird mit einem Holzpfosten markiert (80 cm Länge). Die Koordinaten des Zentrums werden Dezimeter-genau mittels eines Differential-GPS erhoben. Jede Probefläche wird über einen Zeitraum von zwei aufeinander folgenden Jahren beprobt. Dadurch fallen Extremjahre weniger stark ins Gewicht. Weiterhin können so langfristige Trends präziser prognostiziert werden. Im Falle einer Wiederholung können Zufalls-Probeflächen an Ort und Stelle als Langzeitprobeflächen genutzt werden. Totholzreiche Probeflächen, werden im Wiederholungsfall an die

gegebenen lokalen Bedingungen angepasst. Dies kann zu einer Verschiebung der Probenflächen führen (Auswahl der aktuell hochwertigsten Totholzstandorte nach Abbildung A4.1).

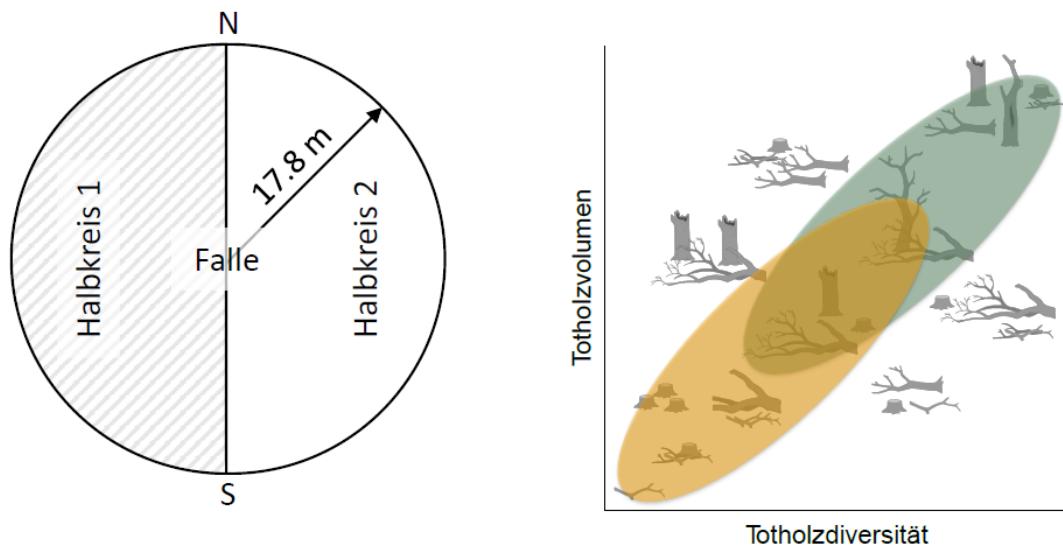


Abbildung A4.1: Links: Schematische Darstellung einer Probefläche. Die Käfer-Handaufsammlung (Kapitel 4.2) wird immer auf der gesamten Kreisfläche durchgeführt. Die Pilzaufnahmen werden im ersten Beprobungsjahr im Halbkreis 1 (Westhälfte) und im zweiten Jahr im Halbkreis 2 (Osthälfte) durchgeführt. Rechts: Symbolische Darstellung der Diversitäts- und Quantitätsabstufungen verschiedener Totholzstrukturen. Die Ellipsen veranschaulichen den typischen „Diversitäts-Quantitäts-Bereich“ der Probeflächen: grün = Naturwaldreservat, orange = bewirtschafteter Wald. (Zeichnung M. Kortmann / N. Roth).

A4.4 Waldstrukturen und Umweltvariablen

Um über den Faktor Naturwaldreservat/Wirtschaftswald hinaus eine Charakterisierung der Probeflächen bzw. der Bestände zu erzielen, werden verschiedene Struktur- und Landschaftsvariablen aufgenommen bzw. recherchiert. Die Bestimmung der Jahre seit der letzten Bewirtschaftung erfolgt anhand von Literaturdaten bzw. Daten aus den Forstbetrieben (nicht probeflächengenau). Im Gegensatz zur Beprobung der xylobionten Käfer und Pilze erfolgen diese Aufnahmen einmalig während zweier, aufeinanderfolgender Beprobungsjahre. Einzig die Temperatur wird in beiden Beprobungsjahren gemessen.

Totholzaufnahme (liegendes Totholz)

Zur Ermittlung des liegenden Totholzvolumens werden alle liegenden Totholzstücke innerhalb der 1000 m² grossen Probefläche aufgenommen. Das einzelne Totholzstück muss dabei einen Durchmesser von mindestens 10 cm und einer Länge von mindestens 1 m, aufweisen, um berücksichtigt zu werden. Gemessen wird der Durchmesser an beiden Enden sowie die Gesamtlänge des Holzstücks. Zusätzlich werden die Baumart sowie die Zersetzungsklasse des Totholzes mit der sogenannten Sackmesser-Methode bestimmt (Düggelin u. a. 2020, Tabelle 1).

In der ersten Projektphase (2017–2020) erfolgte die Totholzaufnahme gemäss der Linien-Intersekt-Methode (Tinner u. a. 2012). Grundsätzlich bestehen zwischen den Totholzvolumina beider Methoden mittlere bis hohe Korrelationen. Das durch die Linien-Intersekt-Methode bestimmte Totholzvolumen kann jedoch empfindlich vom tatsächlich auf der Probefläche vorhandenen Volumen abweichen. Diese Methode bewährt sich darum nach vorläufigen Erkenntnissen insbesondere in folgenden Fällen: wenn sehr viele Stichproben vorliegen, wenn Analysen mit wenigen miteinander interagierenden Prädiktoren durchgeführt werden oder wenn keine Korrelationen von Artdaten und Strukturdaten angestrebt werden. Sollten auf den betreffenden Probeflächen bereits Totholzaufnahmen mithilfe der Linien-Intersekt-Methode durchgeführt worden sein bzw. die Probeflächen mit anderen verglichen werden, auf denen nur Daten aus dieser Methode vorliegen, so empfiehlt sich eine zusätzliche Aufnahme mit dieser Methode (Klupschwelle ≥ 7 cm siehe Düggelin u. a. 2020 für weitere Informationen).

Tabelle A4.1: Zersetzungsklassen nach dem Schweizerischen Landesforstinventar LFI (Düggelin u. a. 2020).

Zersetzungsklasse	Bezeichnung	Beschreibung
1	Frischholz	saftführend
2	Totholz	saftlos, fest; Messer dringt in Faserrichtung nur sehr schwer ein
3	Morschholz	weniger fest; Messer dringt in Faserrichtung leicht ein, nicht quer
4	Moderholz	weich; Messer dringt in jeder Richtung leicht ein
5	Mulmholz	sehr locker oder pulverig; kaum noch zusammenhängend

Lebende und tote, stehende Bäume und deren Baummikrohabitatem

Auf jeder Probefläche werden alle stehenden, lebenden und toten Bäume ab einem Brusthöhendurchmesser (BHD) von 10 cm erfasst. Im Anschluss werden an jedem Baum die Baumart, der Zustand (lebend, tot) und der BHD notiert. Bei toten, abgebrochenen Bäumen wird außerdem die Höhe sowie der Durchmesser an der Abbruchstelle aufgenommen bzw. abgeschätzt, um das Volumen des stehenden Totholzes zu berechnen. Um letzteres möglichst genau abschätzen zu können, werden auch Baumstrünke erfasst. Dies kann insbesondere im Zusammenhang mit den bewirtschafteten Flächen auf die letzte Bewirtschaftung hindeuten. Des Weiteren erfolgt eine Untersuchung jedes Baumes auf Baummikrohabitatem. Diese werden gemäss der Typologie von Larrieu u. a. (2018) erfasst, welche 47 Baummikrohabitattypen (BMH-Typen) unterscheidet. Diese BHM-Typen können um fünf zusätzliche Typen erweitert werden, die in Bütler u. a. (2025) aufgenommen wurden. Andererseits besteht die Möglichkeit, die BMH Typenauswahl einzuschränken, um eine effizientere Aufnahme zu ermöglichen. In Bütler u. a. (2025) werden sechs BMH-Typen beschrieben, die aufgrund ihrer geringen Grösse, ihrer Lage in der Baumkrone oder ihres sporadischen Auftretens in routinemässigen Bestandsaufnahmen schwer zu erfassen sind und daher auch weggelassen werden können. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, die BHD-Schwelle ab der BMH-Typen an Bäumen aufgenommen werden, an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen. So kann beispielsweise bei der Untersuchung von Fichtenwäldern, in denen BMHs nur selten auf Bäumen mit einem Durchmesser unter 20 cm auftreten, eine entsprechende Anpassung vorgenommen werden. In der ersten Projektphase erfolgte die Aufnahme der BMHs nach der Typologie von Larrieu u. a. (2018) auf allen Bäumen ab einem BHD von 10 cm. In der zweiten Phase wurde aufgrund der vorherrschenden Fichten/Tannen-Dominanz die Aufnahme der BMHs erst ab einem BHD von 20 cm durchgeführt. In Phase III des Projekts werden die BMHs nach dem Katalog von Bütler u. a. (2025) ohne die schwierig zu erfassenden BMH-Typen auf allen Bäumen ab einem BHD von 10 cm erfasst.

Kronenschluss

Zur Bestimmung des Kronenschlussgrades werden hemisphärische Fotos mit einer Nikon Coolpix4500 und einem Nikon Fisheye Converter FC-EB 0.21x am Probeflächenzentrum aufgenommen. Für die Analyse wird das hemispheR package (Chianucci und Macek 2023) in R (R Core Team 2022) verwendet, welches eine Korrektur für dieses Objektiv ermöglicht. In der ersten Projektphase erfolgte die Aufnahme des Kornenschlussgrads teilweise mit der Canopy Capture App. Anschließend erfolgte eine Analyse mit dem hemiphot Skript (Steege 2018). Grundsätzlich wird von Aufnahmen mit Canopy Capture oder ähnlichen Anwendungen abgeraten, es sei denn, bereits vorhandene Aufnahmen wurden mit dieser Methode auf den betreffenden Probeflächen erstellt. In diesem Fall wird jedoch zusätzlich eine genauere Methode empfohlen. In Zukunft sollte die Bestimmung des Kronenschlussgrads über LiDAR-Daten erfolgen. Diese Methode ist nicht anfällig für direkte Sonneneinstrahlung und ermöglicht eine effizientere Gestaltung der Feldarbeit. In diesem Fall ist es jedoch unerlässlich, darauf zu achten, dass LiDAR-Daten im Zeitraum der Probenahme verfügbar sind.

Temperatur

Ab der zweiten Projektphase erfolgt eine Temperaturmessung auf den Probeflächen mit HOBO Pendant ® Temperatur-Datenloggern. Dieser wird in einem etwa 10 cm langen Stück eines PP-H Rohrs mit Durchmesser 5 cm befestigt, um den Datenlogger vor starken Umwelteinflüssen zu schützen. Im Anschluss erfolgt die Anbringung dieser Konstruktion am zentralsten Baum der Probeflächen, der einen BHD von mindestens 20 cm aufweist. Um den Datenlogger vor Sonneneinstrahlung zu schützen, wird er auf der Nordseite der Bäume angebracht. Die Datenlogger werden bei der Installation der Fallen angebracht und beim Abbau wieder eingeholt (siehe 4.1).

A4.5 Käfer

Das Ziel des Totholz-Käfermonitorings in Naturwaldreservaten besteht darin, die Artengemeinschaft eines 4 ha grossen Waldstücks möglichst vollständig zu erfassen und insbesondere auch dort vorkommende seltene und bedrohte Arten nachzuweisen. Zur Erhebung wurde in Phase I und II des Projekts eine Kombination aus zwei komplementären Methoden gewählt: Es wurden Flugfallen eingesetzt und zusätzlich eine standardisierte Handaufsammlung durchgeführt. Flugfallen sind ein effektives Mittel, um standardisierte und vergleichbare Daten zu liefern. Zusätzlich sollten mit der Handaufsammlung auch kryptisch lebende und wenig mobile Arten erfasst werden, die in Flugfallen nicht oder nur wenig nachgewiesen werden. Die standardisierte Handaufsammlung wurde ab Phase III des Projekts nicht weitergeführt (siehe unten).

Flugfallen

Als Flugfallen kommen Kreuzfensterfallen zum Einsatz. Diese Methode stellt den Standard in mitteleuropäischen Käferstudien im Wald dar und ermöglicht dadurch internationale Vergleiche. Es werden durchgängig Kreuzfensterfallen des Typs Polytrap™ verwendet (Brustel 2012, Abbildung A4.2). Die Vorrichtung besteht aus zwei rechtwinklig angeordneten transparenten Plexiglasscheiben (42 cm * 70 cm), darunter befindet sich ein Trichter, der in einen 1 l Fangbecher mündet. Um eine Ansammlung von Regenwasser und Laub zu verringern, ist oberhalb der Plexiglasscheiben eine Abdeckung angebracht. Das Fanggefäß wird mit 600 ml Fangflüssigkeit befüllt. Diese besteht aus Wasser und 0,5 % Rocima, einem Mittel gegen Schimmelbildung. Auf dieser Höhe befinden sich auch Öffnungen im Fanggefäß, die als Regenwasserüberlauf dienen.

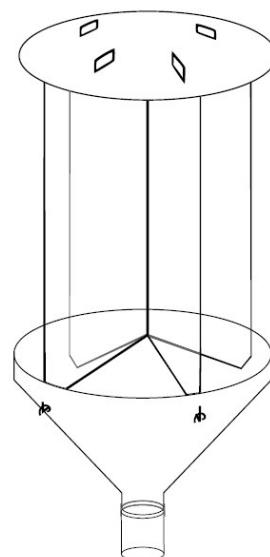


Abbildung A4.2: Kreuzfensterfallen des Typs Polytrap™ werden mit Schnüren in der Regel zwischen zwei Bäumen aufgehängt. Links: Beispiel einer im Wald hängenden Kreuzfensterfalle Foto: E. Haeler. Rechts: Schematischer Aufbau der Kreuzfensterfalle abgewandelt nach Brustel (2010), Zeichnung: N. Roth.

Die Fallen werden Mitte-Ende April installiert und verbleiben bis Mitte August im Gelände. In höheren Lagen, wie beispielsweise in montanen Fichtenwäldern, ist es erforderlich, den Beginn der Saison an die Erreichbarkeit des Waldes anzupassen. Es empfiehlt sich, die Installation der Fallen an besonders warmen Standorten frühzeitig vorzunehmen, um den ersten saisonalen Aktivitätspeak nicht zu verpassen. Die Fallen werden auf allen Probeflächen mit Schnüren zwischen zwei Bäumen möglichst genau über dem Zentrum positioniert (siehe 2). Sie sollten rund 1 m über der Totholzstruktur bzw. dem Boden hängen und ausreichend Abstand zu den Aufhängsbäumen haben um den Einflugsbereich nicht

einzu beschränken. Die Leerung der Fallen erfolgt je nach Witterungsbedingungen ein- bis zweimal pro Monat. Dies entspricht einer maximalen Anzahl von sieben Leerungen pro Saison. Die letzte Leerung erfolgt zeitgleich mit dem Abbau der Fallen. Die gefangenen Arthropoden werden mit einem Einweg-Teebeutel aus der Fangflüssigkeit gefiltert und in 70-prozentigem Ethanol überführt. Dabei ist darauf zu achten, dass der Fang aus jeder Falle in ein separates, etikettiertes Gefäß gefüllt wird. Die Fallen werden mit frischer Fangflüssigkeit befüllt. Die gebrauchte Flüssigkeit wird für eine korrekte Entsorgung gesammelt und mitgenommen. Sollten sich mehr als zehn Aaskäfer in einem Fangbecher befinden, ist es empfehlenswert, diesen durch einen neuen zu ersetzen. Andernfalls besteht die Gefahr, dass sich weitere Aaskäferaggregationen in den Fallen bilden. Im Anschluss werden die Käfer aus den Fallen im Labor aussortiert und in Ethanol zur Bestimmung an Spezialist*innen versendet.

Standardisierte Handaufsammlung mit Gesiebe (Phase I und II)

Ziel der Handaufsammlung ist die Erfassung von Arten, die in den Fallen unterrepräsentiert sind (siehe oben). Aufgrund des geringen Mehrwerts an zusätzlichen Arten wurde diese sehr zeitintensive Methode nach der zweiten Phase des Projekts eingestellt. In der ersten Projektphase wurde diese Methode ausschliesslich auf totholzreichen Probeflächen angewendet, während sie in der zweiten Projektphase auf allen Probeflächen zum Einsatz kam.

Grundsätzlich können einige Arten jedoch ausschliesslich per Handfang nachgewiesen werden. Die entsprechende Vorgehensweise ist daher im Methodenbeschrieb erläutert. Die Handaufsammlung wird auf den Probeflächen im ersten Jahr im Frühling (Mai/Juni) und im zweiten Jahr im Sommer (Juli/August) durchgeführt. Die Handaufsammlung in diesem Projekt weicht vom klassischen, expert*innengetriebenen Handfang ab. Um den Beobachtereffekt zu minimieren, wird darauf abgezielt, ein standardisiertes Volumen (2,5 Liter netto) an potenziellem Substrat für xylobionte Käfer auf jeder Probefläche (1000 m²) einzusammeln. Die Probe sollte eine repräsentative Mischung aus den entsprechenden Materialien enthalten, wie zum Beispiel Holz, Pilze, Mulm. Die Substrate werden bei Bedarf zerkleinert und anschliessend mit einem Käfersieb (8 mm Maschenweite) gesiebt. Sollten im Rahmen dieses Prozesses oder zuvor Käfer an oder in den Strukturen festgestellt werden, werden diese manuell in ein der Probefläche entsprechendes, etikettiertes Gefäß mit 70 prozentigem Ethanol überführt. Wenn nach maximal 45 Minuten nicht 2,5 Liter gesiebtes Material erreicht sind, wird die Handaufsammlung mit dem erreichten Gesiebematerial beendet. Ein schematischer Ablauf der Handaufsammlung befindet sich im Anhang (Abbildung A4.A1).



Abbildung A4.3: Anordnung (links) und Aufbau (rechts) der Schlupffallen für das Austreiben des Gesiebematerials. Fotos: N. Roth.

Das gesiebte Material wird in luftdurchlässigen Stoffsäcken (ein Sack pro Probefläche) gelagert und anschliessend so schnell wie möglich ex situ in Schlupffallen überführt. In diesen wird das Material anschliessend für einen Zeitraum von einem Monat ausgetrieben. Die Schlupffallen bestehen aus einem lichtundurchlässigen Eimer, der mit einem stabilen Stoff möglichst dicht abgedeckt wird (siehe Abbildung A4.3). Im Inneren des Eimers befindet sich ein Sieb, in welches das zu siebende Material gefüllt wird. Der Eimer ist am unteren Ende durchbohrt. An dieser Stelle wird ein am Deckel durchbohrtes Vierkantgefäß (Weithalsflasche) angebracht. Das mit der Probefläche etikettierte Gefäß enthält 70-prozentiges Ethanol, das zur Konservierung der herunterfallenden Insekten dient. Nach Abschluss der einmonatigen Austriebszeit wird das gesiebte Material getrocknet (für 48 Stunden bei 60 °C im Trocknungsschrank) und anschliessend gewogen, bevor es entsorgt wird. Im Anschluss werden die Käfer im Labor aus den Vierkantgefäßen aussortiert und in Ethanol an Spezialist*innen zur Bestimmung weitergegeben.

A4.6 Pilze

Das Ziel des Holzpilz-Monitorings in Naturwaldreservaten ist es, die Artengemeinschaft eines 4 ha grossen Waldstücks möglichst vollständig zu erfassen. Im Fokus steht dabei insbesondere der Nachweis seltener und bedrohter Arten. Aus diesem Grund wird eine standardisierte Fruchtkörperaufnahme mit einer opportunistischen Suche auf den Probeflächen kombiniert. Im Rahmen des Projekts wurden in Phase I und II zusätzlich Bohrmehlproben der Totholzstücke entnommen, auf denen die standardisierte Fruchtkörperaufnahme erfolgte. Im Anschluss wurden die Proben sequenziert, um Pilze zu identifizieren, die zum Zeitpunkt der Aufnahmen keine Fruchtkörper ausgebildet hatten. Die Sequenzierung wurde für Phase III des Projekts vorläufig eingestellt.

Standardisierte Fruchtkörperaufnahmen

Die Aufnahmen der Fruchtkörper erfolgen in den gleichen Jahren wie die Käfererhebungen auf den Probeflächen. Diese werden hierfür entlang der Nord-Süd-Achse in zwei Hälften geteilt (= 500 m² Horizontalfläche, siehe Abbildung 2). Im ersten Beprobungsjahr werden die Aufnahmen auf der Osthälfte der Probeflächen (Halbkreis 1) durchgeführt, im zweiten Beprobungsjahr jeweils auf der Westhälfte (Halbkreis 2). Die standardisierten Fruchtkörperaufnahmen werden je Hälfte auf jeweils 2 Totholzstücken durchgeführt. Pro Jahr und Waldpaar (Naturwaldreservat/Wirtschaftswald) werden also insgesamt 22 liegende Totholzstücke untersucht. Die 2 Totholzstücke pro Halbfläche müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Das stärkste Totholzstück auf dem Halbkreis mit einem Durchmesser von über 12 cm, Mindestlänge ist 2 m.
- Ein zufälliges Totholzstück mit einem Durchmesser zwischen 7 und 12 cm, Mindestlänge ist 2 m.
- Falls kein Totholzstück in den beiden Größenkategorien vorhanden ist, dürfen der minimale erforderliche Durchmesser oder die Mindestlänge angepasst werden.

Für die Zufallsauswahl des schwächeren Totholzes läuft man vom Probeflächenzentrum ausgehend entlang eines Transekts in eine zufällige Richtung (Kompasspeilung beruhend auf Zufallszahl), bis innerhalb des 500 m² Halbkreises ein passendes Totholzstück geschnitten wird. Ist dies nicht der Fall, wird zufällig im Uhrzeiger- oder Gegenuhrzeigersinn (Münzwurf) auf der Probefläche weitergesucht, bis ein geeignetes Stück gefunden ist. Die Stücke sollen einen mittleren bis späten Zersetzungsgang (ZG) aufweisen. Dies entspricht den LFI Klassen 2 bis 4 (Tabelle 1). Frisches Totholz (ZG 1) und Totholz, welches schon sehr stark zersetzt ist (ZG 5, Mulmholz), werden ausgeschlossen.

Nach Erreichen der Probefläche werden die Totholzstücke, für das Monitoring der totholzbewohnenden Pilze ausgewählt. Die Totholzstücke werden entsprechend der Abbildung 5 markiert, beschrieben (Baumart und Zersetzungsgang) und vermessen (Länge und mittlerer Durchmesser). Im nächsten Schritt erfolgt die Pilzaufnahme. Für die Aufnahme der Fruchtkörper ist kein zeitlicher Rahmen vorgesehen, jedoch wird mit einer Dauer von ca. 20 Arbeitsstunden pro Durchgang und Waldstandort (11 Untersuchungsflächen) gerechnet. Bei den Fruchtkörper-Aufnahmen werden die vorkommenden Pilzarten für jedes der festgelegten Totholzstücke notiert. Berücksichtigt werden alle Basidiomyceten sowie grössere Xylariales und weitere Ascomyceten mit einer Grösse von mindestens 5 mm (Einzelfruchtkörper oder dichtgedrängte, scheinbar zusammenhängende Fruchtkörpergruppen). Bei einem Grossteil der Arten werden Proben entnommen, getrocknet (60° C; mind. 12 h) und später im Labor mikroskopisch nachbestimmt.

Die 500 m² Halbkreise werden zusätzlich jeweils für 15 Minuten auf weitere Fruchtkörper abgesucht. Dadurch ist es möglich, eine grössere Anzahl an Substraten abzudecken, da auch Pilze an stehendem Totholz, Stubben oder abgestorbenen Teilen von lebenden Bäumen erfasst werden. Bei der opportunistischen Suche werden nur bestimmte Pilzgruppen abgedeckt, die sich durch eine gute Erkennbarkeit und Bestimmbarkeit sowie eine hohe Langlebigkeit (in der Regel Wochen) auszeichnen. Es handelt sich dabei um die Formgruppen der Porlinge sowie der stereoiden Pilze (Schichtpilze).

Der Zeitpunkt und die Frequenz der Aufnahmen variierten je nach Projektphase. Während der ersten Projektphase wurden pro Halbfläche und Jahr zwei Aufnahmen durchgeführt. Ziel war es, neben den im Herbst vorhandenen Arten auch jene zu erfassen, die vorrangig im Frühjahr fruktifizieren (Tabelle 2). In der zweiten Projektphase wurde aufgrund der kürzeren Vegetationszeit in höheren Lagen nur einmal pro Jahr aufgenommen. In der dritten Phase findet die Erfassung zukünftig ebenfalls nur einmal statt, und zwar im Herbst.

Tabelle 2: Zeitpunkte der Pilzerfassungen in Abhängigkeit der Projektphasen im Artenmonitoring in Naturwaldreservaten

	Phase I (2017–2020)	Phase II (2021–2024)	Phase III (2025–2028)
1. Aufnahme	Mai/Juni	August/September	September/Oktober
2. Aufnahme	September/Oktober		

Molekulare Analyse: Feldteil (Phase I und II)

Mithilfe molekularer Analysen von Bohrmehl können Pilzarten nachgewiesen werden, die zum Zeitpunkt der Aufnahmen noch nicht fruktifizieren. Die Vorgehensweise im Feld wird daher im Methodenbeschrieb weitergeführt auch wenn die molekularen Analysen in Phase III ausgesetzt wurden.

Das Material für die Sequenzierungen wird aus den Totholzstücken entnommen, bei denen die standardisierten Fruchtkörper-Aufnahmen durchgeführt werden. Pro Waldpaar (Naturwaldreservat/Wirtschaftswald) werden also die gleichen 44 Totholzstücke untersucht, an denen auch Fruchtkörper bestimmt werden. Die Probenentnahme erfolgt während der Herbstaufnahme der Fruchtkörper. Es werden an 5 Stellen des Stammes Proben entnommen. Dazu wird über den Stamm verteilt je eine seitliche Bohrung durchgeführt: diese erfolgen am Anfang und Ende des Totholzstücks sowie in etwa jeweils einem Viertel der Länge des Totholzstücks. Das Bohrmehl wird in einer Tiefe von bis zu 8 cm aufgefangen. In diesem Projekt sind die Unterschiede in der Artenverteilung innerhalb des Stammes nicht von Relevanz. Aus diesem Grund werden die Teilproben eines Totholzstückes vor dem Weiterverarbeiten gemischt und als eine Probe behandelt. Zur Sterilisation des Bohrers (10 mm Durchmesser, 10 cm Länge) wird er zwischen den einzelnen Totholzstücken mit 97-prozentigem Ethanol und Flamme sterilisiert. Die anschliessenden Labormethoden werden in einem separaten Protokoll beschrieben, das auf Anfrage bei Andrin Gross einsehbar ist.

A4.7 Datenmanagement

Um die langfristige Archivierung der erhobenen Monitoring-Daten zu gewährleisten, werden die Rohdaten an der WSL in einer Datenbank gespeichert, die eine dauerhafte Sicherung garantiert. Um vor allem die Artenlisten optimal verfügbar zu machen, werden diese zusätzlich nach Abschluss jeder Projektphase bei den betroffenen Datenzentren gespeichert. Die Käferdaten werden an das CSCF/SZKF (Schweizer Zentrum für die Kartografie der Fauna) und die Pilzdaten an Swissfungi (Nationales Daten- und Informationszentrum zur Dokumentation, Förderung und Erforschung der Schweizer Pilzflora) weitergeleitet. Die Daten, die hierzu von den betreffenden Stellen gebraucht werden, sind im Anhang A4.A2 angeführt.

A4.8 Literatur

- Brang, Peter u. a. (2008). Monitoringkonzept für Naturwaldreservate in der Schweiz. Techn. Ber. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Zürich, ETH Zürich, Professur für Waldökologie, S. 58.
- Brustel, H (2012). “Polytrap 2010: new “soft design” window flight trap for saproxylic beetles”. In: Saproxylic beetles. In: Europe: monitoring, biology and conservation. Short note. Studia Forestalia Slovenica, Professional and Scientific Works 137, S. 91–92.
- Bütler, Rita u. a. (2025). Taschenführer der Baummikrohabitatem – Beschreibung und Schwellenwerte für Feldaufnahmen in gemässigten und mediterranen Wäldern. Techn. Ber. Zweite überarbeitete Ausgabe. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL, S. 64.
- Chianucci, Francesco und Martin Macek (2023). “hemispheR: an R package for fisheye canopy image analysis”. In: Agricultural and Forest Meteorology. url: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109470>.
- Düggelin, Christoph u. a. (2020). Schweizerisches Landesforstinventar: Anleitung für die Feldaufnahmen der fünften Erhebung 2018-2026. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
- Larrieu, Laurent u. a. (2018). “Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization”. In: Ecological Indicators 84, S. 194–207.
- R Core Team (2022). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. url: <https://www.R-project.org/>.
- Steege, Hans ter (2018). “Hemiphot. R: Free R scripts to analyse hemispherical photographs for canopy openness, leaf area index and photosynthetic active radiation under forest canopies”. In: Unpublished report. Naturalis Biodiversity Center, Leiden, The Netherlands.
- Tinner, Raphaela u. a. (2012). “Stichprobeninventur in Schweizer Naturwaldreservaten–Anleitung zu Feldaufnahmen”. In: Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.

Appendix

Tabelle A4.A1: Neigung in % und ° und der entsprechend angepasste Stichprobenflächenradius um eine Horizontalfäche von 1000 m² zu erhalten.

Neigung (%)	Neigung (°)	Radius (m)
0	0	17.84
10	5.7	17.89
15	8.5	17.94
20	11.3	18.02
25	14.0	18.11
30	16.7	18.23
35	19.3	18.36
40	21.8	18.52
45	24.2	18.68
50	26.6	18.86
55	28.8	19.06
60	31.0	19.27
65	33.0	19.48
70	35.0	19.71
75	36.9	19.95
80	38.7	20.19
85	40.4	20.44
90	42.0	20.69
95	43.5	20.95
100	45	21.22

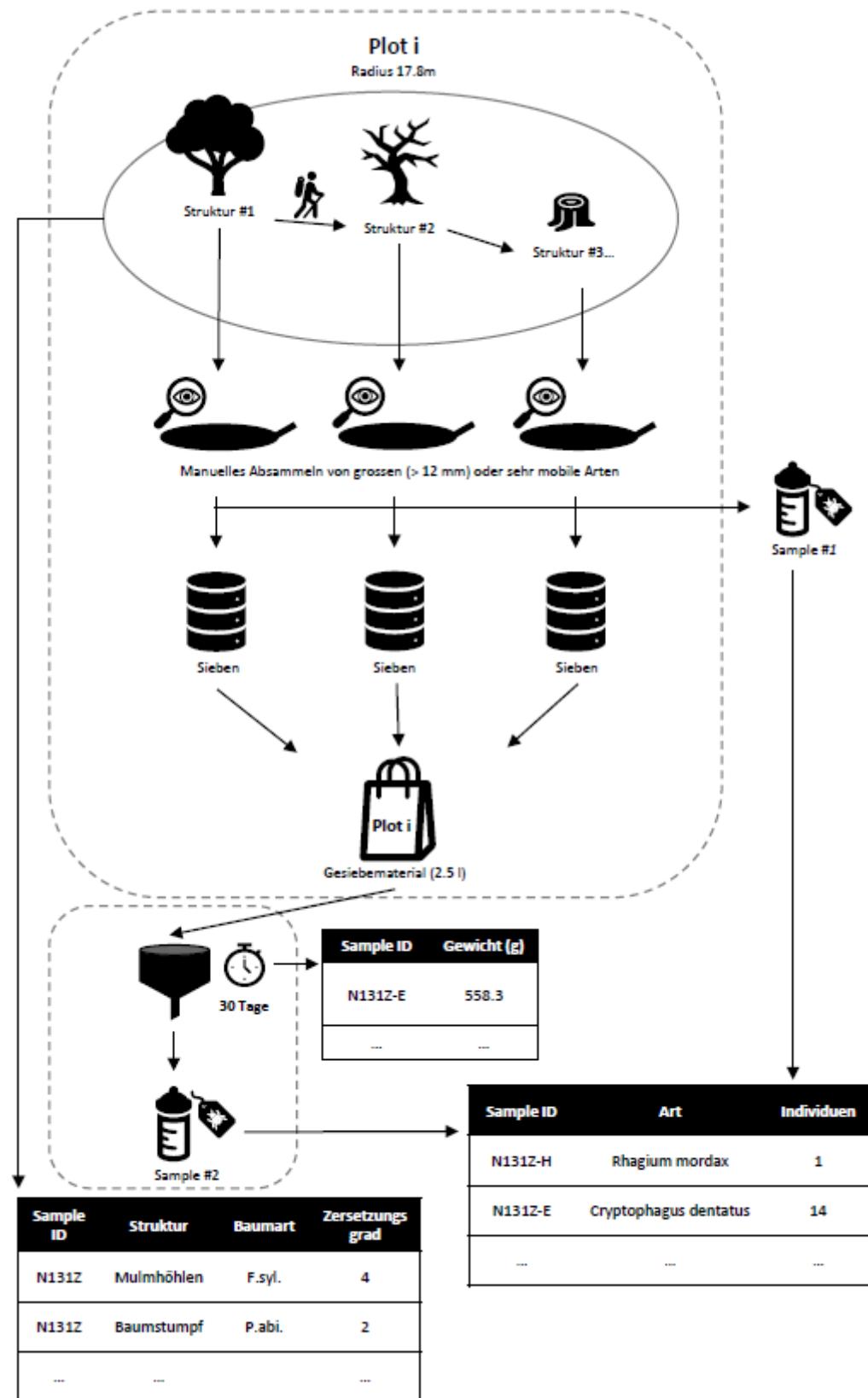


Abbildung A4.A1 Schema des Ablaufs der Handaufsammlung von R. Angeleri

Tabelle A4.A2: Für die Fallenstandorte, den Handfang und die Pilzerhebungen müssen folgende Variablen erhoben werden.

Käfer (Fallen und Handfang z.H. CSCF):

- Tierart
- Fangtag
- Fangmonat
- Fangjahr
- Gemeinde
- Flurname
- X-Koordinate
- Y-Koordinate
- Genauigkeit
- Höhe
- Individuenzahl (Adult)
- Lebensraumtyp
- Lebensraumstruktur
- Beobachter*in
- Bestimmer*in
- Sammlung
- Projekt

Pilze (Felderhebung und Genetik z.H. Swissfungi):

- Gattung
- Art
- Bemerkungen
- Autor*in
- Bestimmungsliteratur
- Beobachter*in
- Bestimmer*in
- Ortbeschreibung
- Kanton
- Gemeinde
- X-Koordinate
- Y-Koordinate
- Höhe
- Funddatum
- Standort / Lebensraum
- Substrat
- Wirtspflanze
- Zersetzungsgrad