



Scopus Indexed Journal

Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz – *Forest Ecology, Landscape Research and Nature Conservation*

www.afsv.de/index.php/waldoekologie-landschaftsforschung-und-naturschutz


Prozessschutz im Nationalpark Schwarzwald – integratives Langzeitmonitoring der Biodiversitätsentwicklung

Protecting natural processes in the Black Forest National Park – integrated long-term biodiversity monitoring

Stefanie M. Gärtner, Esther del Val Alfaro, Sönke Birk, Torsten Bernauer, Jörn Buse, Christoph Dreiser, Kirsten Jung, Raffael Kratzer, Flavius Popa, Martin Weckesser & Marc I. Förstler

Abstract

National parks play an important role in protecting global biodiversity. The development and implementation of a biodiversity assessment program that enables the analysis and evaluation of biodiversity development under protection is a task of the national park administration. This paper presents the sampling design and assessment methods used for biodiversity monitoring in the Black Forest National Park.

The sampling design used was based on the systematic sampling grid used by the previous landowners for forest inventory purposes, and the forest site classification map. In total there were 3,500 sampling points. These sampling points were stepwise reduced to 210 monitoring plots, which represent the different site gradients and strata distributed over the national park area. In the first step only those sampling points which did not represent extreme site conditions or open areas created and maintained by humans were included. Secondly, a minimum distance of 20 m to the nearest trail had to be considered. The remaining sampling points were stratified according to elevation zones, geological and pedological characteristics. Within these site strata as well as between the three assessment years the sampling points were assigned randomly.

At each permanently marked sampling point a 400 m² circular monitoring plot was established and forest structure, individual trees, standing and down dead wood, root plates, and the fungi fruiting bodies were assessed. On selected individuals of all tree species epiphyte data was collected. On four sub-plots, nested within the monitoring plot, various aspects of the vegetation were assessed (i. e. species cover, abundance and tree seedling and sapling damage by species). At the center of each monitoring plot vertebrates and invertebrates were assessed using a variety of standardized methods.

This monitoring program enables the analysis of the interactions between species groups and any changes over time. Additionally, the plot-based biodiversity monitoring will include the assessment of pedological and climatic characteristics that will all be integrated into a landscape level analysis using remote sensing methods to document interactional changes over time and space.

Keywords: Long-term monitoring, biodiversity, sampling design, data assessment methods, natural forest development, protecting natural processes, multi-taxon-approach, species diversity

Zusammenfassung

Nationalparke sind ein wichtiges Instrument im Bemühen um die Erhaltung der globalen Biodiversität. Die Aufgabe der Nationalparkverwaltungen ist es, ein Monitoringsystem zu entwickeln und zu implementieren, um die Diversitätsentwicklung unter Schutz zu dokumentieren und analysieren zu können. In diesem Beitrag wird das Stichprobendesign und die Datenerhebungsmethodik für das Biodiversitätsmonitoring des Nationalparks Schwarzwald vorgestellt.

Grundlage für das Stichprobendesign war das systematische Stichprobenraster der forstlichen Betriebsinventur (BI) sowie die forstliche Standortskarte. Die 3.500 vorhandenen, größtenteils dauerhaft markierten Stichprobenpunkte wurden schrittweise auf ein repräsentatives Netz reduziert, das mit 210 Monitoringflächen verschiedene Standortsgradienten und -Straten reflektiert. Als erstes wurden nur die BI-Stichprobenpunkte einbezogen, die nicht auf Extremstandorten oder anthropogenen Offenflächen lagen. Dabei sollte ein Mindestabstand von 20 m zum nächsten Weg gewährleistet sein. Weiterhin wurde nach Höhenstufe und geologisch-pedologischen Eigenschaften stratifiziert. Sowohl innerhalb der standörtlichen Straten als auch zwischen drei Aufnahmejahren wurden die Monitoringflächen zufällig ausgewählt.

Um jeden permanent markierten Stichprobenpunkt wurde auf 400 m² Kreisfläche die Waldstruktur (Baumindividuen, stehendes und liegendes Totholz, Wurzelteiler) und die Pilze erfasst. An ausgewählten Bäumen jeder Baumart wurden Epiphyten aufgenommen. Innerhalb der Strukturaufnahmefläche wurden systematisch auf vier hierarchischen Satellitenflächen (Subplots) verschiedene Aspekte der Vegetation erfasst (Arten mit ihren Deckungen sowohl der Bryophyten als auch Gefäßpflanzen, Jungwuchs mit Abundanz und Wildwirkung). Am Mittelpunkt jeder Monitoringfläche wurden verschiedene zoologische Erhebungen zum Vorkommen von Vertebraten und Invertebraten mit einheitlich standardisierten Erfassungsmethoden durchgeführt.

Das umfassende Monitoring ermöglicht die Analyse der Interaktionen zwischen den Artengruppen und deren Veränderungen über die Zeit. Das punktbasierte Biodiversitätsmonitoring wird in die Landschaftsanalyse integriert, die mittels Fernerkundungsmethoden und begleitender Erfassung von meteorologischen und bodenparametrischen Kenngrößen erfolgt, sowie deren Wechselbeziehungen analysiert und dokumentiert.

Schlüsselwörter: Langzeitmonitoring, Biodiversität, Stichprobendesign, natürliche Waldentwicklung, Prozessschutz, Multi-Taxon-Ansatz, Artenvielfalt

1 Einführung

Die Biodiversität von Ökosystemen ist das Ergebnis von durch örtliche Gegebenheiten und Evolution bestimmten Veränderungen. Aufgrund des zunehmenden menschlichen Einflusses auf die Ökosysteme steigt in den letzten Jahrzehnten jedoch die Geschwindigkeit ihrer Veränderung in einem rasanten, nie dagewesenen Tempo an. Neben der allgegenwärtigen Klimaveränderung führen vor allem der flächige Lebensraumverlust, die exponentielle Ressourcenausbeutung und das immer stärker in den Vordergrund tretende Artensterben zu einer globalen Biodiversitätskrise nie gekanntes Ausmaßes (CEBALLOS et al. 2017, IPBES 2019).

Längst ist klar, dass dieser Entwicklung, wenn überhaupt, nur entgegenzuwirken ist, indem große Flächen dem direkten menschlichen Einfluss entzogen werden. Speziell streng geschützte Gebiete wie beispielsweise Nationalparke (gemäß IUCN-Kategorie II vgl. EUROPARC DEUTSCHLAND 2010) sind dabei einer der Eckpfeiler in der globalen Anstrengung zum nachhaltigen Schutz und Erhalt der Biodiversität (z. B. LINDENMAYER & FRANKLIN 2002, CBD 2010, SCHULTZE et al. 2014). Auch Nationalparke, in Deutschland unter ihnen der 2014 gegründete Nationalpark Schwarzwald, dienen dem Schutz der natürlichen Prozesse, der natürlichen und naturnahen Ökosysteme und der Biodiversität (BMUB 2007, Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG vom 29. Juli 2009), HÖLTERMANN et al. 2020).

Im Nationalpark-Gesetz (NLPG vom 28. November 2013), erlassen zur Errichtung des Nationalparks Schwarzwald, sind die Ziele des Prozess-, Biotop- und Artenschutzes festgeschrieben (vgl. auch Modul Arten- und Biotopschutz des Nationalpark-Plans (FÖRSCHLER & RICHTER 2019, FÖRSCHLER 2021)):

- Gewährleistung eines weitestgehend frei von menschlichen Eingriffen stattfindenden Wirkens der natürlichen Umweltkräfte und der Dynamik der Lebensgemeinschaften (Prozessschutz),

- Schutz von naturschutzfachlich hochwertigen Flächen wie beispielsweise von Mooren, Grinden und Karen,
- Schutz der natürlichen und naturnahen Ökosysteme, der landschaftlichen Schönheit des Nationalparkgebietes sowie Erhaltung und Entwicklung der heimischen Tier- und Pflanzenarten,
- Bewahrung und/oder Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustandes bestimmter Lebensraumtypen (LRT) zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wild lebenden Tiere und Pflanzen,
- Bewahrung und/oder Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustandes der durch die Europäische Vogelschutz-Richtlinie geschützten Vogelarten.

Zu- und Abnahme, Veränderung der Zusammensetzung und der Diversität – kurz die Dynamik – innerhalb der Biozöosen sind die natürlichen Prozesse in Ökosystemen, die durch „Prozessschutz“ adressiert werden. Um die Entwicklung der Biodiversität möglichst genau und langfristig zu dokumentieren, bedarf es eines Monitorings des zu schützenden Ökosystems und eine Erfassung der Zusammenhänge zwischen den vorkommenden Arten und ihrer Umwelt. Viele Nationalparke haben daher spezifische Monitoring-Konzepte für ihre jeweiligen Schutzgebiete (z. B. GROSSMANN 2006, BÄSSLER et al. 2008), aber auch schutzgebietsübergreifend (z. B. LTER - Long-Term Ecological Research) (GAISER et al. 2020) entwickelt. In diesem Beitrag wird analog dazu das langfristige, terrestrische Biodiversitäts-Monitoring im Nationalpark Schwarzwald vorgestellt. Hierbei werden die Hintergründe für die Auswahl der Stichprobenpunkte (Monitoringflächen) näher erläutert und die Datenerhebungsmethoden aufgeführt.

Hauptziele unseres ökologischen Monitorings sind:

- Erfassung und Dokumentation der im Ökosystem vorkommenden Arten,
- Beschreibung von funktionellen Zusammenhängen und Interaktionen zwischen verschiedenen Arten und Artengruppen,
- Dokumentation der zeitlichen und räumlichen Veränderungen im Ökosystem unter den jeweils vorherrschenden Ausgangsbedingungen,
- Erfassung der durch äußere Einflüsse verursachten Änderungen der Rahmenbedingungen wie beispielsweise klimatische Veränderungen, Stoffeinträge und Störungen.

Der konzeptuelle Ansatz wie auch die Rahmenbedingungen für naturwissenschaftliche Forschung sind begleitend im ersten Nationalparkplan (Fachband Forschung und Dokumentation, GÄRTNER & ENSINGER 2021) dargelegt.

2 Untersuchungsgebiet

Der Nationalpark Schwarzwald wurde am 1.1.2014 gegründet (NLPG) und ist bisher der einzige Nationalpark in Baden-Württemberg. Das Gebiet liegt im zentralen Nordschwarzwald im Bereich der naturräumlichen Einheit „Grindenschwarzwald und Enzhöhen“ (151) (MEYNEN & SCHMITHÜSEN 1956) und wird forstlich dem Wuchsgebiet „Hornisgrinde Murg-Schwarzwald“

(GAUER & ALDINGER 2005) zugeordnet. Die 10.062 ha große Kulisse besteht aktuell aus zwei Teilen (vgl. Abb. 1): dem nördlichen Gebiet Hoher Ochsenkopf (2.447 ha) und dem südlichen Gebiet um den Ruhestein (7.615 ha). Als sogenannter Entwicklungsnationalpark (nach § 24 BNatSchG) ist er in drei Zonen unterteilt (vgl. Fachband Zonierung (FÖRSCHLER et al. 2020, BIRK 2021)):

- Kernzone (aktuell 5.156 ha): In diesen Bereichen hat der Prozessschutz Vorrang und die Natur darf sich weitestgehend selbst entfalten. Ziel in diesen Flächen ist die Förderung natürlicher Abläufe im Wald und der daran angepassten Arten.
- Entwicklungszone (aktuell 2.136 ha): Auf diesen Flächen sind lenkende Eingriffe wie Waldentwicklungs- und Artenschutzmaßnahmen zunächst noch erlaubt. Nach spätestens 30 Jahren gehen diese Bereiche ebenfalls in die Kernzone über (bis 2044).
- Managementzone (aktuell 2.767 ha): Maximal 25 % der Nationalpark-Gesamtfläche verbleibt dauerhaft in der Managementzone. Diese Flächen dienen vor allem als Pufferstreifen zu den angrenzenden Privat- und Gemeindewäldern, umfassen aber auch die waldfreien Bergheiden (Grinden) der Hochlagen (vgl. FÖRSCHLER et al. 2016).

Der Nationalpark umfasst einen Höhengradienten von 450 bis 1.150 m NN und liegt damit vor allem in den oberen Lagen des Nordschwarzwaldes (ca. zwei Drittel montan und ein Drittel in der hochmontanen Höhenstufe). Das Gebiet gehört klimatisch zu den regenreichsten Gebieten Deutschlands außerhalb der Alpen; auf der Hornisgrinde, der höchsten Erhebung, fallen durchschnittlich rund 1.950 mm Niederschlag bei einer Jahresmitteltemperatur von 5,8 °C (DWD). Im größten Teil des Nationalparks stehen triassische Sedimentgesteine des Buntsandsteins an, lediglich in den tieferen Lagen das Grundgebirge mit Granit und Gneis. Auf den überwiegend sauren Böden (v. a. Podsole) stehen vor allem Nadelwälder und Nadelmischwälder. Von Buchen dominierte Bestände befinden sich nur an wenigen Stellen im Park.

3 Stichprobendesign

Um ein möglichst repräsentatives Netzwerk an Untersuchungsflächen zu etablieren, orientierte sich die Auswahl der terrestrischen Aufnahmepunkte neben der flächigen Repräsentanz auch unmittelbar an der Fragestellung der Wald- und Biodiversitätsentwicklung entlang von standörtlichen Gradienten. Dazu gehören:

- der Höhengradient,
- Luv-Lee-Lagen in Kombination mit N-S-Exposition und Hangneigung, die ihrerseits wieder Temperaturverhältnisse und den Wasserhaushalt beeinflussen,
- das geologische Ausgangssubstrat und die daraus resultierenden Böden mit ihren variierenden Nährstoff- und Wasserhaltekapazitäten.

Eine repräsentative Wiederholung dieser BI-Stichprobenpunkte (s. u.) im Gesamtgebiet ermöglicht die Erfassung und Analyse bereits vorkommender, unterschiedlicher Waldentwicklungsphasen und -stadien und deren mittel- bis langfristige Entwicklung. Bis auf die beiden Bannwälder

„Wilder See“ (Ausweisung 1911) und „Hoher Ochsenkopf“ (Ausweisung 1970) wurde die Waldfläche des heutigen Nationalparks bis zu seiner Gründung noch überwiegend intensiv bewirtschaftet. Um dieses Bewirtschaftungserbe in ein langfristiges Monitoring zu integrieren, baut das Stichprobendesign des Nationalparks auf der bis dahin durchgeführten forstlichen Betriebsinventur (BI-Stichprobenpunkte, FORSTBW 2018) und der Standortskarte der Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt (FVA) Baden-Württembergs auf. Konsequenterweise wurde daher die Waldstruktur als zeitlich abhängiger Faktor nicht zur weiteren Stratifizierung herangezogen.

Im Nationalparkgebiet liegen 3.500 Stichprobenpunkte der Betriebsinventur (BI-Punkte, FORSTBW 2018) vor, die anhand folgender abiotischer Kriterien schrittweise reduziert wurden:

- Schritt 1: BI-Stichprobenpunkte, die auf Sonderstandorten wie Mooren, Missen, Quellen, Blockströmen (Blockhalden), Schliften (regionale Bezeichnung für anstehenden Fels, der durch oberflächliche Rutschungen exponiert wurde) und Karwänden liegen (s. Standortskarte FVA), aber auch anthropogene Kulturlandschaftselemente wie Grinden (Hochweiden), Wildwiesen oder Wege wurden aus dem allgemeinen Waldentwicklungs-Monitoring herausgenommen, was zu einer Reduktion auf noch 3.095 BI-Punkte führte. Für diese Sonderflächen wurden eigene, spezifische Monitoringprogramme entwickelt.
- Schritt 2: Zur Vermeidung anthropogener Randeinflüsse sollten Stichprobenpunkte einen Mindestabstand von 20 m vom nächsten Weg aufweisen. Der gewählte Mindestabstand ermöglicht, dass sich ein geschlossener Waldinnenrand mit Mantel und Saum entwickeln kann. Aufgrund der hohen Wededichte im Gebiet ergab sich daher eine weitere Reduktion um 1.800 BI-Punkte.
- Schritt 3: Zwei Drittel der Nationalparkfläche liegt in der montanen Höhenstufe, ein Drittel in der hochmontanen und nur ein kleiner Teil unter ein Prozent in der submontanen Höhenstufe. Um den gesamten Gradienten mit entsprechenden Wiederholungen untersuchen zu können, wurden alle 12 BI-Punkte der submontanen Lage ohne weitere Reduktion in der Endauswahl belassen.
- Schritt 4: Die weitere Stratifizierung orientierte sich zum einen an den topographischen Gegebenheiten der Mittelgebirgslandschaft (Rücken, Kuppen, Steil- und Flachhänge, Ebenen und Senken) und zum anderen an den geologischen Ausgangssubstraten (Buntsandstein, Grundgebirge) bzw. deren Verwitterungsprodukten (Block-, Blockschutt-Sande und Lehme) als Annäherung an den Wasser- und Nährstoffhaushalt. Alle Ökoserien (ÖS) und Ökoseriengruppen (Gr) (vgl. Forstliche Standortkartierung der FVA) mit mehr als 10 % Flächenanteil wurden anteilmäßig ihrer Fläche repräsentiert. Die finale Auswahl der BI-Punkte wurde per Zufall über die Fläche verteilt (n = 210 Monitoringflächen, die auf die Ökoserien (ÖS) und Ökoseriengruppen (GR) aufgeteilt wurden).
- Schritt 5: Die Erhebungskampagnen erstreckten sich aus Kapazitäts- und logistischen Gründen in der Regel über drei (bei einzelnen Artengruppen bis fünf) Jahre.

Die Verteilung der einzelnen Monitoringflächen auf die Jahre erfolgte ebenfalls zufällig ($N = 70/a$), um eine Verzerrung der Daten durch extreme Witterungsbedingungen in einzelnen Jahren zu vermeiden (Abb. 1).

4 Datenerhebung

An jeder der 210 Monitoringflächen wurden die verschiedenen Organismengruppen über einen definierten Zeitraum in einem hierarchischen Design erfasst (Abb. 2). Die Mittelpunkte der Monitoringflächen wurden permanent und sichtbar durch einen Metallstab mit blauer Kappe markiert. Ausgehend vom Mittelpunkt wurden mit vier weiteren Metallstäben mit weißer Kappe Norden, Osten, Süden und Westen im horizontalen Abstand von 9,5 m (mit Hangkorrektur, vgl. KRAMER & AKCA 1995) permanent gekennzeichnet (vgl. Abb. 2). Der Radius von 11,3 m um den Mittelpunkt definiert die 400 m² große Monitoringfläche. An ihrem Mittelpunkt konzentrieren sich die zoologischen Erhebungen. Um gegenseitige Beeinträchtigung zu vermeiden, wird die Bodenvegetation auf vier kleineren Satellitenflächen erfasst.

4.1 Waldstruktur

Auf jeder 400 m² großen Monitoringfläche wurde zunächst die Waldstruktur erfasst. Ausgehend vom Mittelpunkt mit

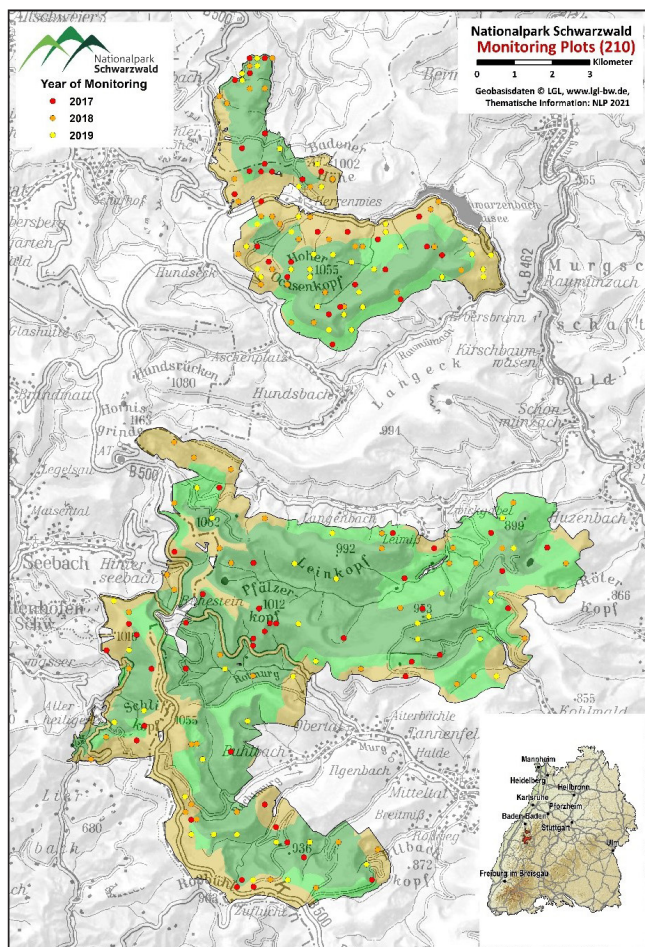


Abb. 1: Verteilung der Monitoringflächen im Nationalparkgebiet farblich kodiert nach Erfassungsjahr.

Fig. 1: Distribution of the monitoring plots within the national park, colour coded by assessment year.

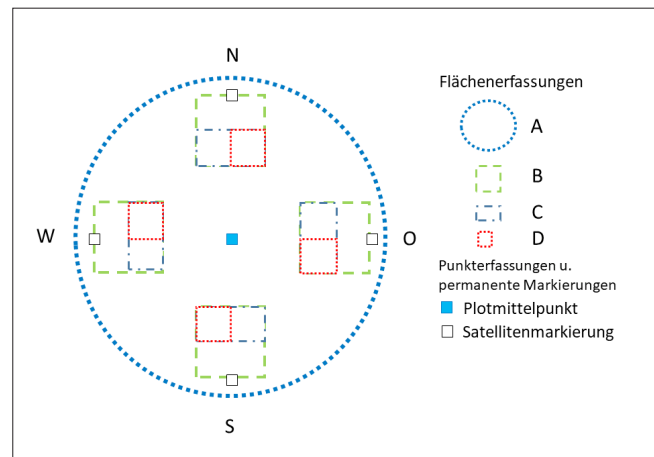


Abb. 2: Aufnahmedesign an einer Monitoringfläche (hierarchische Aufnahmeflächen: A 400 m² - Radius 11,28 m, B 25 m² - 5 m * 5 m, C 12,5 m² - 2,5 m * 5 m, D 6,25 m² - 2,5 m * 2,5 m).

Fig. 2: Assessment design of a monitoring plot (nested plots: A 400 m² - Radius 11,28 m, B 25 m² - 5 m * 5 m, C 12,5 m² - 2,5 m * 5 m, D 6,25 m² - 2,5 m * 2,5 m).

Stammfußkoordinaten (Abstand und Azimut mit TruPulse 360 Laser Rangefinder (Laser Technology, Inc., Centennial, USA)) wurden von sämtlichen Baumindividuen mit einem Brusthöhendurchmesser (BHD) ≥ 7 cm innerhalb der Monitoringfläche die folgenden Parameter erhoben:

- Baumart,
- Zustand (lebend, Wipfelbruch, stehendes Totholz),
- Brusthöhendurchmesser (gemessen mit Umfangmaßband),
- Ansatz der grünen Krone (erster Starkast mit Belaubung),
- Höhe der fünf höchsten Bäume und Höhe abgebrochener Bäume (Ultraschall-Baumhöhenmesser „Vertex VI“, Haglöf Schweden),
- stehende Individuen am Flächenrand wurden nur erfasst, falls mindestens die Hälfte des Brusthöhendurchmessers in die Fläche reichte (vgl. KRAMER & AKCA 1995).

Liegendes Totholz wurde erfasst, falls es über zwei Meter lang war, der Mitteldurchmesser mindestens zwölf Zentimeter betrug und einen halben Meter weit in der Fläche lag (vgl. BÄSSLER et al. 2010). Aufgenommen wurde:

- Baumart (sofern möglich, sonst Nadel- / Laubholz),
- Mitteldurchmesser und Länge (mit Maßband),
- Abstand und Azimut (TruePulse) vom Mittelpunkt zu beiden Totholzen.

Wurzelteller innerhalb der Monitoringfläche wurden erfasst, falls ihr Durchmesser am Stammansatz mindestens 12 cm betrug. Sie wurden nach Durchmesser klassifiziert:

- Klasse I: Durchmesser $< 1,5$ m,

- Klasse II: Durchmesser 1,5–3 m,
- Klasse III: Durchmesser > 3 m

sowie der Abstand und Azimut (TruePulse) vom Mittelpunkt zum Schwerpunkt des Wurzeltellers ermittelt.

Sämtliche erhobene Baumindividuen, liegendes Totholz und Wurzelteller erhielten eine eindeutige Kennung. Über die Koordinaten Abstand und Azimut vom Mittelpunkt wurde für jede Monitoringfläche ein Baumverteilungsplan erstellt.

Zusätzlich wurden alle Monitoringflächen mit 360°-Panorama-Fotos vom Mittelpunkt aus dokumentiert.

Am Flächenmittelpunkt wie auch am Mittelpunkt jeder Satellitenfläche wurden Hemisphärenfotos aufgenommen, um Struktur- und Einstrahlungsverhältnisse detailliert zu analysieren. Genutzt wurde eine Canon EOS 80D Digitalkamera (Canon Inc. Tokio, Japan), ausgestattet mit einem SIGMA Circular Fisheye Objektiv 4,5 mm F2.8 EX DC (Sigma Corporation, Kawasaki, Japan). An jedem der fünf Punkte wurde, in 1 m Höhe über der Bodenoberfläche und mit nach Norden ausgerichteter Kamera, eine Belichtungsreihe (je ein unter-, normal und überbelichtetes Foto) erstellt.

4.2 Vegetation

Für die Erfassung der Artenzusammensetzung wurden in jedem Monitoringplot vier Satellitenflächen mit einer Größe von jeweils 25 m² eingerichtet (Abb. 2, Fläche B). Auf diesen Flächen wurden verschiedene Aspekte der Vegetation und Waldbodenbedeckung mit Hilfe der Londo-Skala (LONDO 1984) in der Zeit der maximalen Laubentfaltung (zwischen Mitte Juni und Mitte September) erfasst:

- Gesamtdeckung (< 1 %, 1–3 %, > 3–5 % und darüber in 10 %-Stufen (im Bereich von 5–15 % und von 45–55 % in 5 %-Stufen)) der Baum- (> 5 m), Strauch- (1–5 m), Kraut- (verholzend < 1 m sowie alle nicht verholzenden Gefäßpflanzenarten) und bodendeckenden Mooschicht.
- Für jede Schicht wurden die Arten mit ihren jeweiligen Deckungen aufgenommen. Die Bryophyten wurden auf einer Teilfläche (Abb. 2, Fläche D) erfasst. Die Artbestimmung und Nomenklatur der Gefäßpflanzen erfolgte nach ROTHMALER (JÄGER 2017) und die der Bryophyten nach FRAHM & FREY (1992).
- Mit der gleichen Methode wurde auch die Deckung durch Laub- und Nadelstreu sowie Farn-,

Heidelbeer- und Grasstreu und der Anteil an offenem Mineralboden, Zapfen und Borke eingeschätzt. Ergänzend wurde auch der Anteil an Felsen, lockerem Gesteinsmaterial, Wurzelstöcken, liegendem Totholz sowie Reisig aufgenommen.

4.3 Baumartenjungwuchs

Zusätzlich zur Deckungsschätzung der einzelnen Arten wurden für den Baumartenjungwuchs die Abundanz pro Art in drei Höhenklassen (s. Tab. 1) gezählt und Schäden durch Herbivoren oder abiotische Effekte erfasst.

Zur Einschätzung der Herbivorie wurde die Anzahl verbissener Individuen erfasst. Hierfür wurden die Individuen mit Verbiss von Terminal- und/oder Seitentrieben gezählt und soweit möglich zwischen frischem (zurückliegender Winter oder Vegetationsperiode) und älterem Verbiss differenziert. Zusätzlich wurden Schäden durch Insekten und abiotische Schäden (Schneebruch, mechanische Schäden) notiert.

4.4 Flechten und epiphytische Moose

4.4.1 Gesamtartenliste

Für jede Monitoringfläche wurde eine Gesamtartenliste der Flechten und epiphytischen Moose erstellt (Moose auf Totholz, Gestein und Waldboden wurden auf Aufnahmefläche D erfasst, vgl. Abb. 2). Bei den Flechten erfolgte dabei eine Unterscheidung in die vier Substrattypen Totholz (epixyle Arten), Boden (epigäische Arten), Gestein (epilithische Arten) und epiphytische Standorte (= Standorte auf lebenden Gehölzen inklusive Zwergsträucher).

Je Fläche wurden Angaben zur Häufigkeit der Arten auf den verschiedenen Substraten gemacht. Die Schätzung der Häufigkeit innerhalb des Probekreises erfolgte als kombinierte Angabe von Individuenzahl („Abundanz“) und Flächenbedeckung („Dominanz“). Die Abundanz wird als Anzahl der Vorkommen eindeutig abgrenzbarer Lager bzw. Thalli einer Art definiert, während die Dominanz die Flächenbedeckung aller Vorkommen einer Art abbildet (Tab. 2).

4.4.2 Epiphytische Arten

In jeder Monitoringfläche wurden von jeder Baumart maximal fünf Bäume mit einem BHD von mindestens 25 cm für die Untersuchung ausgewählt. Da jeder einzelne Baum mit einer aus den Baumverteilungsplänen ersichtlichen eindeutigen Kennung versehen ist, sind die Aufnahmen für

Tab. 1: Höhenklassen des Baumartenjungwuchses.

Tab. 1: Tree seedling and sapling height classes.

Verjüngungsklasse	Beschreibung	Flächenzuordnung vgl. Abb. 2
Keimlinge	weniger als einjährig, nicht verholzt	D, 4 Flächen je 6,25 m ²
verholzte, aber nicht etablierter Jungwuchs	mindestens ein Jahr alt, verholzt bis 50 cm Höhe	D, 4 Flächen je 6,25 m ²
etablierter Jungwuchs	zwischen 51 cm–150 cm Höhe	C, 4 Flächen je 12,5 m ²
gesicherter Jungwuchs	mindestens 151 cm Höhe und bis 7 cm BHD	C, 4 Flächen je 12,5 m ²

Tab. 2: Schätzskala für Abundanz und Dominanz der Flechten.**Tab. 2:** Scale used to estimate the cover and abundance of lichens.

Abundanz		Dominanz		
Klasse	Anzahl der Vorkommen	Klasse	Orientierungswert für Arten auf Totholz, Gestein usw. (absolute Deckung*)	Orientierungswert für Bodenflechten (prozentualer Deckungsgrad)
1	1–3	a	< 1 m ²	< 1 %
2	4–10	b	ca. 1 m ² bis ca. 5 m ²	1–5 %
3	> 10–50	c	> 5 m ² –ca. 10 m ²	> 5 %
4	> 50	d	> 10 m ²	-

*) Bei Arten auf Holz, Steinen etc. wird die absolute Deckung als Orientierungswert verwendet, da der Flächenbezug auf den Gesamtplot insbesondere in reich strukturierten Flächen schwierig ist.

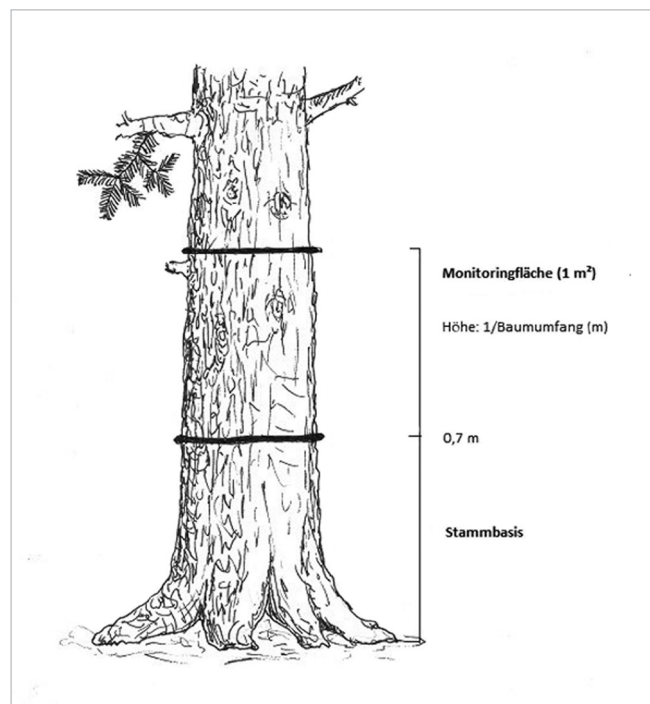
zukünftige Untersuchungen leicht reproduzierbar. Die Epiphytenaufnahme erfolgte nur an Stämmen ohne größere Unregelmäßigkeiten (Faulstellen, Risse, Harzfluss, starker Pilzbewuchs) und ohne dichtstehende grüne Äste. An den ausgewählten Bäumen wurden alle Moose und Flechten in einer Stammhöhe von 0 bis 2 m über dem Boden erfasst (Abb. 3). Dabei erfolgte eine Auftrennung zwischen den Arten am Mittelstamm (70 bis 200 cm) und an der Stammbasis (0 bis 70 cm). Für die flächengenaue Dokumentation der Flechten am Mittelstamm wurde in einer Höhe von 70 cm über dem Boden eine 1 m² große zylinderförmige Aufnahmefläche angelegt. Bei Bäumen an Hängen wurde die Untergrenze der Aufnahmefläche an der Hangseite des Stammes gemessen. Die Zylinderhöhe der Aufnahmefläche ergibt sich aus dem Quotienten der konstanten Flächengröße von 1 m² und dem Umfang des Baumes in Brusthöhe. An der Stammbasis und in der 1 m² umfassenden Fläche am Mittelstamm wurde für jede Art die Deckung mit Hilfe der Londo-Skala (LONDO 1984) geschätzt. Weitere Moose und Flechten, die oberhalb der 1 m²-Aufnahme, aber noch im Bereich unterhalb 2 m Höhe vorkamen, wurden zusätzlich ohne Deckungsgradangabe notiert. Baumarten, die aufgrund ihrer Wuchsform selten oder nie 25 cm Durchmesser erreichen, wurden dennoch mit aufgenommen (v. a. Eberesche), sofern ihr BHD deutlich über der Derbholzschwelle (Durchmesser mindestens 7 cm) lag und sie die oben genannten Kriterien erfüllten. Für diese Bäume erfolgte jedoch keine Trennung in Stammbasis und Mittelstamm.

4.5 Funga

Pilze wurden aufgrund der starken Saisonalität und Phänologie der Fruchtkörperbildung zweimal pro Jahr (Mai und September) und jeweils innerhalb von vier Wochen aufgenommen. Da Pilze eine extrem hohe Artenvielfalt aufweisen (BLACKWELL 2011), wurden bestimmte Kriterien im Vorfeld festgelegt, um eine möglichst gute Vergleichbarkeit zu gewährleisten. So wurde die Gesamt-Kartierungsdauer pro Monitoringfläche auf eine Stunde limitiert und eine festgelegte Auswahl an Totholzsubstraten pro Durchmesserklasse vorgegeben.

Nur Pilzfruchtkörper, die mit bloßem Auge sichtbar waren (> 1 mm), wurden aufgenommen. Rostpilze (Pucciniomycotina), Brandpilze (Ustilaginomycotina) und Schleimpilze (Myxomyceten) wurden nicht kartiert. Um die Diversität der

Streu- und Mykorrhizapilze zu erheben und eine Häufigkeit abschätzen zu können, wurde jeder Plot in flächengleiche Viertel (A, B, C, D) unterteilt (Abb. 4). Zusätzlich wurden Substrate und Wirtsbäume erfasst. Holzabbauende Arten wurden objektbezogen kartiert. Dazu wurden bis zu vier Totholzstämme oder -stümpfe mit einem Durchmesser > 40 cm (LWD), bis zu vier Totholzstämme oder -stümpfe mit einem Durchmesser > 12 cm (CWD) und bis zu acht Äste mit einem Durchmesser < 12 cm (FWD) pro Monitoringfläche zufällig ausgewählt und komplett aufgenommen (BÄSSLER et al. 2010). Pro kartiertem Substrat wurden zusätzlich die Ursache des Absterbens (sofern eine Aussage möglich war), die Lage (stehend/liegend/hängend), die Länge, die Moos- und Rindenbedeckung in Prozent und der Zersetzungsgrad in fünf Stufen (HEILMANN-CLAUSEN & CHRISTENSEN 2003) sowie der Bodenkontakt in Prozent aufgenommen. Arten, die nicht im Gelände bestimmt werden konnten, wurden fotografiert, ihre

**Abb. 3:** Lage und Größe der Aufnahmefläche für Epiphyten.**Fig. 3:** Location and size of the epiphyte plots.

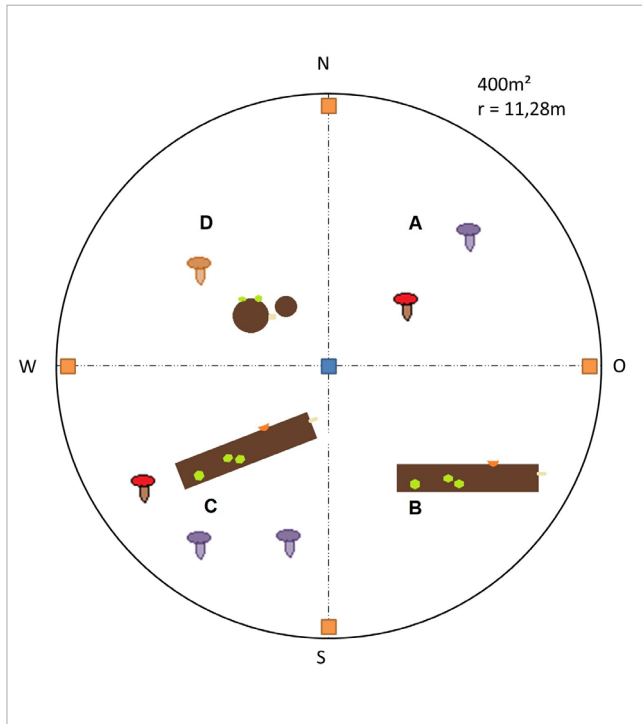


Abb. 4: Erhebung der Pilzfruchtkörper, hierfür wurde die Kreisfläche in Viertel unterteilt (Bezeichnung im Uhrzeigersinn A, B, C, D).

Fig. 4: Assessment of fungi fruiting bodies, the circular monitoring plot was divided into quarters (A, B, C, D).

Frischmerkmale notiert und ein getrockneter Beleg für die weitere Untersuchung angelegt. Die Herbarbelege werden im Fungarium des Staatlichen Museums für Naturkunde Karlsruhe hinterlegt.

Zusätzlich zu den Fruchtkörperaufnahmen werden auf den Monitoringflächen für eine Metabarcodinganalyse an zehn zufälligen über den Plot verteilten Standorten 100 cm³ Stechzylinderproben ohne Streuauflage entnommen. Die Proben werden bei - 60° C bis zur Analyse konserviert. Es werden neben Pilzen (TOJU et al. 2012) Bakterien (THIJS et al. 2017) und die Bodenfauna (LERAY et al. 2013) sequenziert.

4.6 Invertebraten

Mit ca. 48.000 Arten bzw. Unterarten sind die wirbellosen Tiere die artenreichste Organismengruppe in Deutschland. Für ein Monitoring ist daher eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden bei gleichzeitig hoher räumlicher Replikation (MONTGOMERY et al. 2021) erforderlich. Wirbellose Tiere wurden im Nationalpark Schwarzwald durch eine Kombination verschiedener Fallentypen und durch standardisierte Handfänge erfasst (UYS & URBAN 2006). Die einzelnen Methoden und deren zeitliche Anwendung sind spezifisch für die zu betrachtende Artengruppe (Tab. 3). Sie orientieren sich dabei in der Regel an der Hauptaktivitätszeit der Artengruppe. Als Basiserfassung kamen auf allen 210 Monitoringflächen jeweils drei Bodenfallen und ein Luftkolektor, eine besondere Variante einer Flugfensterfalle, zum Einsatz (Abb. 5). Der Luftkolektor vom Typ Polytrap (BRUSTEL 2012) wurde am Mittelpunkt der Monitoringfläche an einem Holzgalgen zusammen mit einer Bodenfalle platziert. Die beiden anderen Bodenfallen standen in etwa 3 m Abstand davon entfernt in

Tab. 3: Erfasste Artengruppen der wirbellosen Tiere und die eingesetzten Erfassungsmethoden.

Tab. 3: Invertebrate species groups and assessment methods used.

Artengruppe	deutscher Name	Erfassungsmethode
Mollusca	Schnecken / Muscheln	Handaufsammlung, Gesiebe
Lepidoptera	Schmetterlinge (nur Nachtfalter)	Lichtfang
Coleoptera	Käfer	Luftkolektor, Malaisefalle, Bodenfalle, Dungköderfalle
Heteroptera	Wanzen	
Neuroptera	Netzflügler	
Syrphidae	Schwebfliegen	
Symphyta	Pflanzenwespen	
Aculeata	Stechimmen	
Formicidae	Ameisen	
Mecoptera	Schnabelfliegen	Malaisefalle
Araneae	Spinnen	Bodenfalle
Opiliones	Weberknechte	
Chilopoda	Hundertfüßer	
Diplopoda	Tausendfüßer	
Collembola	Springschwänze	
Isopoda	Asseln	

verschiedenen Richtungen. Die Bodenfallen bestanden aus Plastikbechern mit einem Öffnungsdurchmesser von 10 cm. Aufgrund hoher jährlicher Niederschlagsmengen mussten die Bodenfallen mit einem Dach aus Plexiglas geschützt werden. Beide Fallentypen wurden im Laufe des Mai ausgebracht und blieben bis Ende September/Anfang Oktober fängig. Die Leerung erfolgte in einem Intervall von etwa 4–6 Wochen. Zur Konservierung wurde eine Lösung aus 50 % Propylenglykol in den Bodenfallen und in den Luftklektoren verwendet. Auf einigen ausgewählten Monitoringflächen erfolgten Erfassungen mit Malaisefallen (Abb. 6), die ein sehr breites Spektrum an Artengruppen fangen (v. a. Diptera und Hymenoptera) und für ein quantitatives sowie qualitatives Insektenmonitoring empfohlen werden (HAUSMANN et al. 2020, SSYMANK et al. 2018). Die hier benutzten Fallen entsprechen dem Townes-Typ, besitzen aber eine kleinere Fangfläche von 1,2 m². Sie werden auch im Malaisefallenprojekt des Netzwerks LTER-D erfolgreich eingesetzt (WELTI et al. 2022). Die Fänge aus den Malaisefallen wurden ohne Vorsortierung ausschließlich mittels Barcoding analysiert. Dabei wurden zwei Fraktionen (8 mm Sieb) gebildet und getrennt untersucht, um mögliche Verzerrungen der Ergebnisse durch unterschiedliche Körpergrößen der Tiere zu minimieren. Ergänzend zu diesen Standardmethoden kamen auch Dungköder- und Lichtfallen an wenigen Monitoringflächen zum Einsatz.

Die terrestrischen Gastropoden (Schnecken) lassen sich nur schwer und nicht umfassend mit Fallen nachweisen, so dass

dafür eine zusätzliche, zeitstandardisierte Handsuche von 30 Minuten durchgeführt wurde. An ausgewählten Monitoringflächen erfolgten ergänzend Gesiebe des Oberbodens und der Streu. Die Gesiebeprouben wurden anschließend fraktioniert geschlämmt (DEICHNER et al. 2004).

Alle Untersuchungen von Wirbellosen im Rahmen der Ersterhebung sind prinzipiell einjährig (pro Monitoringfläche) angelegt. Die Datenerhebung orientiert sich in weiten Teilen am Monitoring des Nationalparks Bayerischer Wald und ist gut mit Erfassungen in anderen Gebieten vergleichbar (BÄSSLER et al. 2008). Die gefangenen Wirbellosen sind in 70 % Ethanol konserviert und gelagert. Bei vielen Artengruppen gibt es eine enge Zusammenarbeit mit unabhängigen Experten sowie Forschungsinstitutionen, zum Beispiel dem Staatlichen Museum für Naturkunde Karlsruhe.

4.7 Vertebraten

Die ornithologische Erfassung der heimischen Brutvogelarten wurde mittels einer Kombination aus traditioneller Punkt-Stopp-Zählung (BIBBY et al. 1992) und moderner, automatisierter bioakustischer Methoden (FROMMOLT et al. 2012) durchgeführt. Dafür wurden an den ausgewählten Monitoringflächen fünf Stunden Tonaufzeichnungen an mindestens drei aufeinanderfolgenden Tagen zwischen Ende April und Mitte Juni mittels eines wetterfesten Stereorecorders (SongMeter SM4, Wildlife Acoustics Inc., Massachusetts) erstellt. Um ein möglichst breites Spektrum an Vogelarten zu erfassen, wurde zwei Stunden vor bis drei Stunden nach dem Sonnenaufgang kontinuierlich aufgezeichnet. Die Geräte wurden dabei innerhalb der Monitoringfläche in ca. 1,5 m Höhe so aufgehängt, dass sie eine möglichst gute Abdeckung der Akustik der Fläche und seiner direkten Umgebung abbildeten. Zusätzlich wurden beim Auf- und Abhängen der Aufnahmegerate jeweils zwei Punkt-Stopp-Zählungen durchgeführt und für maximal fünf Minuten alle gesehenen oder gehörten und sicher bestimmten Vögel registriert (BIBBY et al. 1992). Die Bestimmung von Rufen und Gesängen



Abb. 5: Luftklektor vom Typ Polytrap (BRUSTEL 2012) und die zentrale Bodenfalle im Einsatz auf einer der 210 Monitoringflächen im Nationalpark Schwarzwald. Foto: J. Buse.

Fig. 5: Aerial eclector trap Typ Polytrap (BRUSTEL 2012) showing the plot center insect trap on one of the monitoring plots. Photo: J. Buse.



Abb. 6: Malaisefalle im Einsatz auf einer der 210 Monitoringflächen im Nationalpark Schwarzwald. Foto: J. Buse.

Fig. 6: Malaise trap setup on one of the 210 monitoring plots in the Black Forest National Park. Photo: J. Buse.

erfolgte durch visuelle Begutachtung und Abhören der Aufzeichnungen im Labor mit der Software Avisoft-SASLab Pro 5.2 (Avisoft Bioacoustics).

Für die Erfassung der mittelgroßen bis großen Säugetiere wurden Kamerafallen (Cuddeback C mit Weißlichtblitz) am nächstgelegenen Baum zum Mittelpunkt der jeweiligen Monitoringfläche angebracht. Die Kamera wurde dabei immer standardisiert in nördliche Richtung (NW-N-NO) ausgerichtet, um Reflexionen und Fehlauflösungen durch die einstrahlende Sonne zu vermeiden. Jede Fotofalle musste eine freie Blicktiefe von mindestens 5 m aufweisen. Falls dies nicht möglich war, wurde die Kamera im direkten Umfeld versetzt. Der Erfassungsbereich wurde dabei so gewählt, dass er immer innerhalb der Monitoringfläche lag. Eine gezielte Ausrichtung auf Wildwechsel oder andere Standorte (z. B. Suhlen), welche die Chance einer Erfassung erhöhen, wurde bewusst vermieden. Zudem wurden die Fotofallen nicht beködert, um eine Lockwirkung auszuschließen (WEARN & GLOVER-KAPFER 2017). Die Fotofallen wurden in Hüfthöhe (60–80 cm) parallel zum Bodenniveau und leicht geneigt montiert. Beim Ausrichten wurde beachtet, dass innerhalb des gewünschten Erfassungsbereichs (2–10 m) verschiedene Wildarten (von Eichhörnchen bis Rothirsch) aufgezeichnet werden können. Die Bildverzögerung wurde so eingestellt, dass die Kamera nach einer Erfassung wieder schnellstmöglich auslöste und immer zwei Serienbilder machte. Der Aufnahmezeitraum wurde auf ein komplettes Jahr festgelegt.

Das Vorkommen und die Aktivität von Fledermäusen wurde über eine akustische Erfassung ihrer Echoortungsrufe durchgeführt. Die akustischen Aufnahmen erfolgten mit autonomen Ultraschallaufnahmegeräten (Batcorder 3.1, EcoObs GmbH Nürnberg, Deutschland). Batcorder wurden in einer Höhe von 1,8–2,2 m möglichst im Zentrum der Monitoringfläche angebracht. Hierbei wurde auf einen möglichst vegetationsfreien Bereich vor dem Mikrofon geachtet. Jede Fläche wurde während verschiedener reproduktiver Phasen der Fledermäuse insgesamt 3–4-mal zwischen Juni und September wiederholt erfasst. Nächte mit bevorstehendem Regen oder starkem Wind wurden vermieden. Aufnahmen (500 kHz sample rate, 16 bits) starteten eine Stunde vor Sonnenuntergang und endeten eine Stunde nach Sonnenaufgang. Einzelne Sequenzen wurden durch Signale mit mindestens -36 dB SPL (Schalldruckpegel) und über einer kritischen Frequenz von 14 kHz aktiviert (post-trigger 800 ms).

Die Bestimmung der akustischen Aufnahmen erfolgte mit einer automatischen Vorklassifikation (BC-Ident, EcoObs) und einer manuellen Nachkontrolle aller Sequenzen. In den Aufnahmen enthaltene Terminalphasen und Sozialrufe, die Jagdaktivität und soziale Aktivität von Tieren anzeigen können, wurden zusätzlich notiert.

Die Spitzmäuse wurden über das Wirbellosen-Monitoring indirekt miterfasst, da sie häufig als Beifang in den Bodenfallen (vgl. Methodik Invertebraten) zu finden waren. Die Tiere wurden nachträglich auf Artniveau anhand der Zahnformeln bestimmt. Auf 30 für das Gesamtgebiet repräsentativen Monitoringflächen wurden zusätzlich die Bilche mithilfe von sogenannten Spurentunneln untersucht (LANGER et al. 2020).

Andere Kleinsäuger-Arten wie Echte Mäuse und Wühlmäuse wurden nicht systematisch erfasst, da ihre Populationen

starken Schwankungen unterliegen. Auch die vorkommenden Amphibien- und Reptilienarten wurden nur über Zufallsfunde erfasst. Die Daten wurden in die Nationalpark-interne Datenerfassungs-App CyberTracker eingegeben.

5 Diskussion

5.1 Begründung des Stichprobendesigns

Traditionell ging und geht es bei Prozessschutzgebieten in Mitteleuropa darum nachzuvollziehen, wie sich die Waldstruktur verändert. Folgerichtig wurden und werden verschiedentlich Ansätze klassischer, systematischer Forstinventurverfahren mit entsprechend zehnjährigem Turnus angewandt (zum Beispiel NATIONALPARKVERWALTUNG EIFEL (2017), WEVELL VON KRÜGER et al. (2015)). Dieser Ansatz ermöglicht eine flächige Bilanzierung der forstlich relevanten Kenngrößen, die eine direkte Vergleichbarkeit mit der Situation im Wirtschaftswald erlaubt. Um die Option der Vergleichbarkeit dennoch zu erhalten, basiert das Monitoring hier auf einem forstlichen Stichprobenraster. Es gibt mehrere Gründe, warum bei diesem Design vom bewährten Ansatz der Forstinventur abgewichen wurde:

1. Ein Nationalpark ist in allererster Linie ein Naturschutzprojekt. Forschung bzw. Monitoring ist nur ein Anspruch von vielen, die an einen Nationalpark gestellt werden, auch wenn aus naturwissenschaftlicher Sicht das Monitoring der Biodiversitätsentwicklung unabdingbar ist, um die Effektivität der Naturschutzmaßnahme „Prozessschutz“ zu evaluieren. Hinzu kommt die fast flächige Begehung des Gebiets während der Aufnahmekampagnen bei der Inventur. Auch wenn dies wiederum aus naturwissenschaftlicher Sicht unproblematisch erscheint, so ist diese Störung in einem durch Besucher hochfrequentierten Gebiet gesellschaftspolitisch nicht vermittelbar.
2. Um die Waldstrukturentwicklung flächig zu repräsentieren und statistische Fehlerabschätzung zu ermöglichen, wird eine hohe Stichprobenzahl vorausgesetzt. Das bedeutet i. d. R. ein enges Stichprobenpunktenetz. Daher werden die Aufnahmekampagnen sehr aufwendig und damit kostenintensiv, mithin langfristig nicht umsetzbar. Der im Nationalpark Schwarzwald entwickelte Stichprobenansatz differenziert zwischen dem flächigen Monitoring der Landschaftsentwicklung einerseits und einem detaillierten, integrativen terrestrischen Monitoring der Biodiversität andererseits. Das Monitoring der Landschaftsentwicklung und damit der flächigen Waldentwicklung stützt sich vor allem auf verschiedenste Fernerkundungsmethoden (z. B. HOLOGA et al. 2021).
3. Großflächig vorkommende standörtliche Gegebenheiten werden durch systematisches Vorgehen i. d. R. überrepräsentiert, dagegen werden seltene linienhafte oder punktuelle Landschaftselemente unterrepräsentiert (z. B. KANGAS & MALTAMO 2009). Für einen ökologischen Erkenntnisgewinn aus dem Monitoring ist es aber gerade wichtig, die selten vorkommenden Standorte mit möglicherweise spezifischer Artenzusammensetzung bzw. Biodiversität zu analysieren und deren Veränderung zu dokumentieren (vgl. LINDENMAYER & LIKENS 2010).

Naheliegender ist es, neben den grundlegenden, standörtlichen Rahmenbedingungen (vgl. Abb. 7 geologisches

Ausgangssubstrat, Topographie und Lage) auch die Waldstruktur als Kriterium für die Stratifizierung mit einzubeziehen (z. B. FISCHER et al. 2010, STORCH et al. 2020). In Prozessschutzgebieten entwickelt sich die Waldstruktur, beispielsweise die Baumartenzusammensetzung oder auch das Entwicklungsstadium, ohne direkte menschliche Einflüsse. Aus diesem Grund wird die Waldstruktur flächig in der Landschaft (mittels Fernerkundung), aber zeitgleich auch auf der Monitoringfläche detailliert erfasst. Die Veränderungen der Waldstruktur über die Zeit ist das offensichtlichste Ergebnis des Prozessschutzes von Waldökosystemen. Die Waldstruktur als Funktion der Veränderung eignet sich daher nicht als Stratifizierungskriterium, sondern ist selbst ein Untersuchungsobjekt.

Generell ist es für extrem artenreiche Organismengruppen wichtig, definierte Untersuchungsflächen für eine vergleichbare Auswertung vorzugeben. Beispielsweise hängt das Vorkommen von bestimmten Pilz- und Flechtenarten neben Standortfaktoren vor allem von der Struktur und dem Angebot an Substraten und Wirtsorganismen wie z. B. bestimmten Baumarten ab. Die Waldstrukturaufnahmen der Flächen sowie die Vegetationskartierungen und die bodenchemischen Analysen bieten eine sehr gute Grundlage, um die späteren Ergebnisse vergleichen und diskutieren zu können.

5.2 Reflexion der Datenerhebungsmethoden

Für viele Organismengruppen sind etablierte Untersuchungsprotokolle als Standards festgelegt. Die hier angewendeten Feldmethoden entsprechen den allgemeinen Standards für die jeweiligen Artengruppen (siehe 4.6 Invertebraten) und sind nur im Detail an die Waldökosysteme im Nord-schwarzwald angepasst worden (siehe 4.1 Waldstruktur, 4.2 Vegetation, 4.3 Baumartenjungwuchs). Dies ermöglicht die Einbindung unserer Daten in überregionale und nationalparkübergreifende Analysen und Vergleiche.

O'DELL et al. 2004 und SCHMIT & LODGE 2005 haben Kartierungsmethoden für Pilze zusammengefasst und zeigen, dass die Auswahl der entsprechenden Methoden aufgrund der Diversität und Komplexität des Organismenreichs an die entsprechenden Fragestellungen angepasst werden sollten. Ein Standardprotokoll für die Kartierung von Pilzen ist bis heute nicht etabliert, was den Vergleich zwischen verschiedenen Untersuchungen, Gebieten etc. erschwert. Sowohl die Zeit als auch die Substrate und deren Anzahl haben einen Einfluss auf die Arten und auf die Artenzahl, die nachweisbar ist. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Monitoringflächen zu ermöglichen, wurden deshalb gemäß festgelegtem Kartierungsprotokoll sowohl die Gesamtaufnahmen in einem bestimmten Zeitraum durchgeführt als auch die Untersuchungsdauer am Plot selbst auf eine Stunde festgelegt. Zusätzlich wurde im Vorfeld festgelegt, wie viele und welche Objekte (z. B. liegendes oder stehendes Totholz) pro Plot untersucht werden. Deren Auswahl und auch die Auswahl der zusätzlichen Faktoren basiert auf bereits etablierten und publizierten mykologischen Untersuchungen (HEILMANN-CLAUSEN UND CHRISTENSEN 2003, BÄSSLER et al. 2010, ABREGO & SALCEDO 2013). Neben der Vorgabe der Totholzobjekte wurde auch die Untersuchungsfläche in vier Teile aufgeteilt, um eine Häufigkeitsangabe von Streuzersetzern und Mykorrhizapilzen angeben zu können.

Vorteile der Fruchtkörper-basierten Aufnahme sind die direkten Nachweise der Arten an den entsprechenden Substraten, deren herbarisierte Belege, die für weitere taxonomische und ökologische Fragestellungen genutzt werden können, sowie die Fruktifikationsdaten, die in Zusammenhang mit weiteren Erfassungen wie z. B. Klimadaten gebracht werden können. Nachteile sind die aufwendige Erhebung der Daten im Feld sowie die spätere Bestimmung und Dokumentation der Belege. Ein weiterer Nachteil ist die z. T. sehr deutliche zeitliche Abhängigkeit der Fruchtkörperbildung, die nur kurze Kartierungsperioden zulässt. Es wird jedoch versucht, diese Nachteile durch Metabarcodingansätze zumindest teilweise kompensieren zu können.

Für verschiedene Vertebratengruppen (s. Vertebraten 4.7) wurden traditionelle Methoden der Feldforschung durch die Anwendung automatisierter Methoden zur bildhaften (Säugtiermonitoring) bzw. akustischen Erfassung von Rufen und Gesängen (Vögel und Fledermäuse) erweitert. Dabei handelt es sich um sehr effiziente und standardisierte Systeme zur Datenaufnahme, welche dort eingesetzt werden können, wo klassische Methoden sehr aufwändig oder ungeeignet sind. Da die Anwesenheit eines Beobachters vor Ort nicht notwendig ist, erlauben sie zudem eine weitgehend störungsfreie Datenerfassung (z. B. FROMMOLT et al. 2012).

Digitale Recorder ermöglichen dank größerer Speichermedien eine lange, kontinuierliche Überwachung von Standorten, entweder durch ununterbrochene Aufzeichnung über längere Zeiträume, durch gezielte Aufnahmen zu bestimmten programmierbaren Zeiten oder in wählbaren Intervallen. Sie erlauben auch die Erfassung seltener Ereignisse oder von Ereignissen, die sonst nicht zugänglich sind, wie z. B. nachtaktiven oder weniger ruffreudigen Vogelarten (FROMMOLT et al. 2012). Die Tonaufzeichnungen können von Nichtspezialisten erstellt und zu einem späteren Zeitpunkt von erfahrenem Personal im Labor ggf. auch mehrfach ausgewertet werden. Sie sind zudem unabhängig von der Erfahrung, Sinnesleistungen oder Konzentrationsfähigkeit des Erfassers vor Ort (FROMMOLT et al. 2012).

All diese Aspekte ermöglichen eine deutliche Erfassungserweiterung des Artenspektrums (HASELMAYER & QUINN 2000) gegenüber konventionellen Methoden. Ein weiterer Vorteil automatisierter Methoden besteht darin, dass unter Einsatz mehrerer Aufzeichnungsgeräte größere Untersuchungsflächen zeitgleich abgedeckt werden können. Personal-, Zeit- und Arbeitskosten können dementsprechend reduziert werden (FROMMOLT et al. 2012) und damit teilweise die Nebenkosten hinsichtlich der Beschaffung von technischen Geräten ausgleichen.

Nachteil dieser Methode sind aktuell die aufwändige manuelle Verarbeitung der generierten großen Datensätze im Labor. Die Entwicklung effektiver Lösungen für eine automatisierte Auswertung unter Nutzung von Algorithmen der akustischen Mustererkennung sollten in Zukunft diese Aufgabe erleichtern und beschleunigen (BROOKER et al. 2020).

Ein gemeinsames Monitoring verschiedenster Artengruppen ist immer ein Kompromiss, denn die Erfassungsskalen, sowohl zeitlich (Phänologie) als auch räumlich (z. B. Reviergrößen), sind für die einzelnen Gruppen und Arten sehr unterschiedlich. Daher kann sich die Beschreibung und Analyse der Auswirkungen des Schutzes und der Wechselwirkungen im Ökosystem nicht auf diese und andere

punktuellen Erfassungen beschränken (vgl. Abb. 7 abiotische und biotische Diversität), sondern muss zwingend verschiedene Ebenen einbeziehen (Abb. 7 Landschaftsraum).

Neben der zentralen Fragestellung nach den Auswirkungen des Prozessschutzes sind die begleitenden Effekte und Interaktionen im Zuge des globalen Wandels Gegenstand zukünftiger Analysen (vgl. Abb. 7). Nationalparke mit ihren zusätzlichen Aufgaben der Bildung und Erholung wie auch dem Schutz der benachbarten Wälder begründen Managementmaßnahmen (u. a. Besucherlenkung, Verkehrssicherung, Borkenkäfer-, Wildtiermanagement). Unter aktivem Management verstehen wir auch Naturschutzmaßnahmen zur Erhaltung von Arten und Lebensräumen (Natura 2000) sowie zur Erhaltung und Verbesserung der Kulturlandschaftselemente in der Managementzone. Diese verschiedenen Managementmaßnahmen werden durch spezifische Monitoringprogramme begleitet, deren Ergebnisse wiederum im Sinne eines adaptiven Managements in die Nationalparkverwaltung zurückgespiegelt werden.

6 Schlussfolgerungen und Ausblick

Grundlage für die Erweiterung des ökologischen Wissens bei der Einrichtung von Schutzgebieten ist die Etablierung eines repräsentativen Monitorings der Waldentwicklung und deren Auswirkungen auf die Biozönose (vgl. auch GROSSMANN 2006, BÄSSLER et al. 2008, GAISER et al. 2020). Der im Nationalpark Schwarzwald entwickelte Monitoringansatz differenziert zwischen dem flächigen Monitoring der Landschaftsentwicklung (HOLOGA et al. 2021) und einem detaillierten, integrativen terrestrischen Monitoring der Biodiversität.

Neben biologischen Wachstums- und Absterbeprozessen

von Bäumen spielen in einem Waldökosystem natürlich auftretende Veränderungen eine große Rolle. Im Nationalpark Schwarzwald zu erwartende natürliche Störungen sind beispielsweise Windwürfe, Schneebruch oder Schäden durch extreme Temperaturereignisse wie Spätfrost oder langanhaltende Trockenheitsphasen, aber auch der Einfluss der sich veränderten Zusammensetzung von Herbivoren und Prädatoren. Über die Langfristigkeit des Monitorings können diese Prozesse bzw. die Situation vorher, während und nach einer Störung dokumentiert und die Einflüsse auf die Interaktion der verschiedenen Organismengruppen analysiert werden. Nicht zuletzt hinsichtlich der anstehenden Herausforderungen durch die klimatischen Veränderungen können Prozessschutzgebiete wie der Nationalpark Schwarzwald wertvolle Referenzgebiete im Vergleich zu bewirtschafteten Flächen bieten und ermöglichen damit ein adaptives Management im Naturschutz, in der Forstwirtschaft und bei anderen Landnutzungen für die Erhaltung verschiedenster Ökosystemleistungen.

- Die Vorteile unserer Methodik sind: die nahezu gleichzeitige, interdisziplinäre Untersuchung der Waldstruktur und der dort lebenden Organismen, welche eine bessere Kenntnis über direkte ökologische Zusammenhänge und Wechselwirkungen ermöglicht (holistischer Ansatz),
- die Verteilung der Monitoringflächen über verschiedene Gradienten, inklusive der standörtlichen Rahmenbedingungen, die eine differenzierte Analyse der beobachteten Biodiversitäts- und Waldveränderungen ermöglicht,
- die zeitliche und räumliche Konzentration auf 210 repräsentative Monitoringflächen, wodurch die Störung des

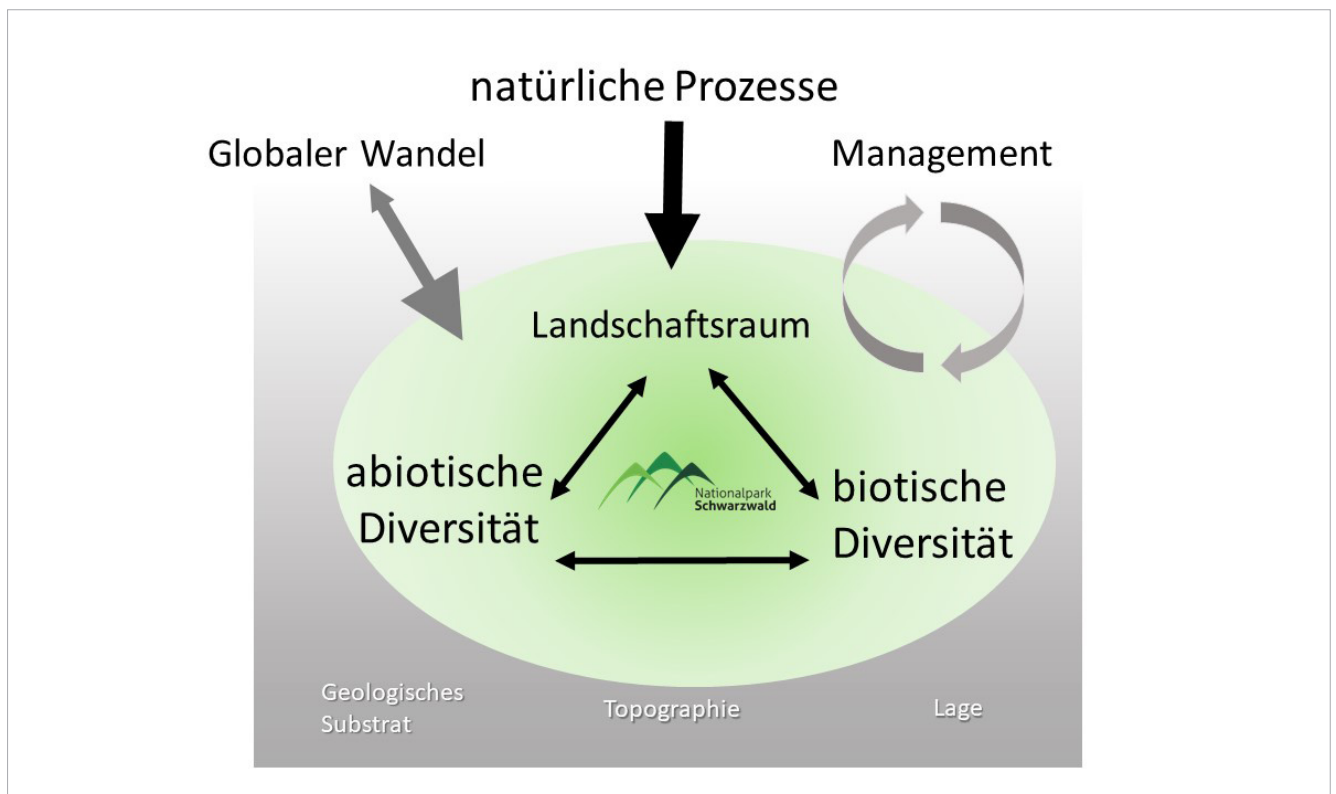


Abb. 7: Konzeptionelles Modell zur ökologischen Forschung im Nationalpark Schwarzwald.

Fig. 7: Conceptual Model for ecological research in the Black Forest National Park.

Gebietes durch häufigen Begang dem Schutzzweck entsprechend deutlich reduziert werden kann,

- die Konzentration auf wenige Stichprobenpunkte (im Vergleich zu klassischen Waldinventuren), wodurch der Erfassungsaufwand (Personal/Kosten) langfristig planbar bleibt und auch von kommenden Generationen umgesetzt werden kann,
- die zufällige Verteilung auf drei Aufnahmejahre, welche es ermöglicht, witterungsbedingte Jahreseffekte auszuschließen und den Erhebungsaufwand zu optimieren,
- das methodische Vorgehen zur Erhebung der verschiedenen Artengruppen, welche möglichst intersubjektiv d. h. vom Untersuchenden unabhängig ausgewählt sind und dadurch auch langfristig umsetzbar bleiben. Der Ablauf wurde dabei so optimiert, dass eine gegenseitige negative Beeinflussung bei der Probenahme so gering wie möglich bleibt.
- die mit standardisierten Methoden erhobenen Datensätze, welche ein großes Potenzial zur Beantwortung aktueller, aber auch zukünftiger Fragestellungen bieten.

Die Erfassung ökosystemarer Veränderungen und Wechselwirkungen kann sich allerdings nicht nur auf diese punktuellen Aufnahmen beschränken, sondern muss zwingend auch höhere räumliche Ebenen mit einbeziehen. Mit Hilfe der zusätzlich regelmäßig durchgeführten Fernerkundungskampagne (LIDAR alle 5 Jahre; Luftbilder bis zu 2 mal jährlich) werden daher die Ergebnisse des Monitorings auch auf Landschaftsebene analysiert und transferiert. Weitere für die Interpretation nötige abiotische Daten liefert ein repräsentatives Netz aus Wetterstationen, Bodenfeuchtemessstellen und Wasserabflussmessungen im Nationalpark Schwarzwald sowie das landesweite Messnetz der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württembergs.

Danksagung

Wir bedanken uns:

- für die Unterstützung bei der Markierung der Monitoringflächen und der Aufnahme der Hemisphärenfotos bei Sven Drößler und diverse technische Hilfestellungen (z. B. Fallenbau) bei Thomas Gamio,
- bei den Ersterfassern der Waldstruktur, insbesondere bei Florian Lang, Patricia Mannßhardt, Carl Seitz und Bernhard Thiel,
- bei den Bryologen für die Nachbestimmung durch Michael Lüth, Thomas Wolf und Dr. Matthias Ahrens sowie die Mithilfe bei der Erfassung der Bryophyten durch mehrere Praktikanten,
- für die Hilfe bei der Nachbestimmung von Pflanzenbelegen durch Dr. Winfried Meier,
- bei Dr. Manuel Striegel für die Nachbestimmung corticoider Pilze,
- für den Auf- und Abbau von Fledermausdetektoren durch das Ranger-Team des Nationalparks, insbesondere durch Urs Reif, Friederike Schneider, Lukas Schmidt, Heidrun Zeus und Florian Hofmann,
- für die Bestimmung von Kleinsäugetern durch Hans-Werner Maternowski und Harald Brünner und die Untersuchung von einigen Flächen auf Vorkommen von Bilchen mithilfe von Spurentunneln durch Prof. Dr. Joanna Fietz, Stefanie Erhardt und Franz Langer,
- für die Bestimmung von verschiedenen Artengruppen im Rahmen von Werkverträgen wie Stephan Gürlich, Dr. Jörg Lorenz und Dr. Hans-Peter Reike (Käfer), Dr. Hubert Höfer (Spinnen), Klaus Groh und Dr. Carsten Renker (Schnecken), Dr. Peter Decker (Myriapoda) sowie Dr. Herbert Nickel (Zikaden).

Literatur

- ABREGO, N., SALCEDO, I. (2013): Variety of woody debris as the factor influencing wood-inhabiting fungal richness and assemblages: Is it a question of quantity or quality? *Forest Ecology and Management* **291**: 377-385.
- BÄSSLER, C., FÖRSTER, B., MONING, C., MÜLLER, J. (2008): The BIOKLIM Project: Biodiversity Research between Climate Change and Wilding in a temperate montane forest – The conceptual framework. *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz* **7**: 21-34.
- BÄSSLER, C., MÜLLER, J., DZIOCK, F., BRANDL, R. (2010): Effects of resource availability and climate on the diversity of wood-decaying fungi. *Journal of Ecology* **98**: 822-832.
- BIBBY, C.J., BURGESS, N.D., HILL, D.A. (1992): Methoden der Feldornithologie – Bestandserfassung in der Praxis. Nauermann Verlag. Radebeul: 272 S.
- BIRK, S. (2021): Zonierung, Fachband **14**. Nationalpark Schwarzwald (Hrsg.). Seebach: 43 S.
- BLACKWELL, M. (2011): The Fungi: 1, 2, 3 ... 5.1 million species? *American Journal of Botany* **98**: 426-438.
- BMUB - BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ, BAU UND REAKTORSICHERHEIT (Hrsg.) (2007): Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt. BMUB. Berlin: 179 S.
- BROOKER, S.A., STEPHENS, P.A., WHITTINGHAM, M.J., WILLIS, S.G. (2020): Automated detection and classification of birdsong: An ensemble approach. *Ecological Indicators* **117**: 1-9.
- BRUSTEL, H. (2012): Polytrap 2010™: new "soft design" window flight trap for saproxylic beetles - Short note. In: JURČ, M. (editor): Saproxylic beetles in Europe: monitoring, biology and conservation. Slovenian Forest Institute. Ljubljana: 91-92.
- CBD - SECRETARIAT OF THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (2010): The Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 and the Aichi Biodiversity Targets. Document UNEP/CBD/COP/DEC/X/2.
- CEBALLOS, G., EHRLICH, P.R., DIRZO, R. (2017): Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **114** (30): E6089-E6096. doi: 10.1073/pnas.1704949114.
- DEICHNER, O., FOECKLER, F., GROH, K., HENLE, K. (2004): Anwendung und Überprüfung einer Rüttelmaschine zur Schlammung und Siebung von Mollusken-Substratproben. *Mitteilungen der deutschen malakozoologischen Gesellschaft* **69/70**: 71-77.
- DWD (2022): Vieljährige Mittelwerte 1991–2020. <https://www.dwd.de/>.

- EUROPARC DEUTSCHLAND (2010): Richtlinien für die Anwendung der IUCN-Managementkategorien für Schutzgebiete. Berlin: 88 S. Deutsche Übersetzung von: DUDLEY, N. (editor) (2008): Guidelines for Applying Protected Area Management Categories. IUCN. Gland, Schweiz: 86
- SFISCHER, M., BOSSDORF, O., GOCKEL, S., HÄNSEL, F., HEMP, A., HESSENMÖLLER, D., WEISSER, W.W. (2010): Implementing large-scale and long-term functional biodiversity research: The biodiversity exploratories. *Basic and Applied Ecology* **11**: 473–485.
- FORSTBW - LANDESBETRIEB FORST BADEN-WÜRTTEMBERG (2018): Aufnahmeanweisung permanente Betriebsinventur 2018. Version 1.0, Stand: 18.01.2018. RP Freiburg. Freiburg i. Breisgau: 83 S.
- FÖRSCHLER, M. (2021): Arten- und Biotopschutz, Fachband 2. Nationalpark Schwarzwald (Hrsg.). Seebach: 43 S.
- FÖRSCHLER, M., RICHTER, C. (2019): Nationalpark Schwarzwald – Arten und Biotopschutz durch Prozessschutz und Management. *Naturschutz-Info* **1/2019 + 2/2019**: 63–66.
- FÖRSCHLER, M., RICHTER, C., BIRK, S. (2020): Nationalpark Schwarzwald – Kernzonen-Erweiterung. *Naturschutz-Info* **1/2020 + 2/2020**: 1–4.
- FÖRSCHLER, M., RICHTER, C., GAMIO, T. (2016): Grinden – waldfreie Bergheiden im Nationalpark Schwarzwald. *Naturschutz-Info* **2/2016**: 28–31.
- FRAHM, J.P., FREY, W. (1992): Moosflora. 3. Aufl. Ulmer. Stuttgart: 528 S.
- FROMMOLT, K.-H., HÜPPOP, O., BARDELI, R., HILL, R., KOCH, M., TAUCHERT, K.-H., SPECHT, R. (2012): Methods for the automatic recording of bird calls and songs in field ornithology. *Vogelwarte* **50**: 65–78.
- GAISER, E.E., BELL, D.M., CASTORANI, M.C.N., CHILDERS, D.L., GROFFMAN, P.M., JACKSON, R.C., KOMINOSKI, J.S., PETERS, D.P.C., PICKETT, S.T.A., RIPPLINGER, J., ZINNERT, J.C. (2020): Long term ecological research and evolving frameworks of disturbance ecology. *BioScience* **70**: 141–156. doi:10.1093/biosci/biz162.
- GÄRTNER, S., ENSINGER, K. (2021): Forschung und Dokumentation. Fachband 6. Nationalpark Schwarzwald (Hrsg.). Seebach: 40 S.
- GAUER, J., ALDINGER, E. (2005): Waldökologische Naturräume Deutschlands – Forstliche Wuchsgebiete und Wuchsbezirke – mit Karte 1:1.000.000. *Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortkunde und Forstpflanzenzüchtung* **43**: 1–324.
- GROSSMANN, M. (2006): Forschung im Nationalpark Hainich / Thüringen. *Waldökologie online* **3**: 63–66.
- HASELMAYER, J., QUINN, J.-S. (2000): A Comparison of Point Counts and Sound Recording as Bird Survey Methods in Amazonian Southeast Peru. *The Condor* **102** (4): 887–893.
- HAUSMANN, A., SEGERER, A.H., GREIFENSTEIN, T., KNUBBEN, J., MORINIERE, J., BOZICEVIC, V., DOCZKAL, D., GÜNTER, A., ULRICH, W., HABEL, J.C. (2020): Toward a standardized quantitative and qualitative insect monitoring scheme. *Ecology & Evolution* **10**: 4009–4020. <https://doi.org/10.1002/ece3.6166>.
- HEILMANN-CLAUSEN, J., CHRISTENSEN, M. (2003): Fungal diversity on decaying beech logs – Implications for sustainable forestry. *Biodiversity and Conservation* **12**: 953–973. doi:10.1023/A:1022825809503.
- HOLOGA, R., SCHEFFCZYK, K., DREISER, C., GÄRTNER, S. (2021): Tree Species Classification in a Temperate Mixed Mountain Forest Landscape Using Random Forest and Multiple Datasets. *Remote Sensing* **13** (22): 4657. <https://doi.org/10.3390/rs13224657>.
- HÖLTERMANN, A., REISE, J., FINCK, P., RIECKEN, U. (2020): Forstlich ungenutzte Wälder in Deutschland. Bedeutung für den Naturschutz und ökonomische Effekte der Umsetzung des 5 %-Ziels der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. *Natur und Landschaft* **95** (2): 80–87.
- IPBES (BRONDIZIO, E.S., SETTELE, J., DÍAZ, S., NGO, H.T. (editors)) (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. IPBES secretariat. Bonn: 1148 S. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>.
- JÄGER, E.J. (Hrsg.) (2017): Rothmaler – Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Grundband. 21. Auflage. Springer. Berlin: 924 S.
- KANGAS, A., MALTAMO, M. (Hrsg.) (2009): Forest Inventory. Methodology and Applications. Springer. Dordrecht: 362 S.
- KRAMER, H., AKCA, A. (1995): Leitfaden zur Waldmesslehre. 3. Auflage. J.D. Sauerländer. Frankfurt a. M.: 266 S.
- LANGER, F., ERHARDT, S., FIETZ, J. (2020): Erfahrungsbericht: Spurentunnel als Nachweismethode für Bilche. *Maus - Mitteilungen aus unserer Säugetierwelt* **21**: 15–19.
- LERAY, M., YANG, J.Y., MEXER, C.P., MILLS, S.C., AGUDELO, N., RANWEZ, V., BOEHM, J.T., MACHIDA, R.J. (2013): A new versatile primer set targeting a short fragment of the mitochondrial COI region for metabarcoding metazoan diversity: application for characterizing coral reef fish gut contents. *Frontiers in Zoology* **10**: 34.
- LINDENMAYER, D.B., FRANKLIN, J.F. (2002): Conserving forest biodiversity: a comprehensive multiscaled approach. Island Press. Washington DC: 351 S.
- LINDENMAYER, D.B., LIKENS, G.E. (2010): Effective Ecological Monitoring. CSIRO. Collingwood: 170 S.
- LONDO, G. (1984): The decimal scale for relevés of permanent quadrats. In: KNAPP, R. (editor): Sampling methods and taxon analysis in vegetation science. *Handbook of Vegetation Science* **4**: 45–49.
- MEYNEN, E., SCHMITHÜSEN, J. (1956): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. 3. Lieferung. Bundesanstalt für Landeskunde. Remagen: 350 S.
- MONTGOMERY, G.A., BELITZ, M.W., GURALNICK, R.P., TINGLEY, M. W. (2021): Standards and best practices for monitoring and benchmarking insects. *Frontiers in Ecology and Evolution* **8**: 579193. doi: 10.3389/fevo.2020.579193.
- NATIONALPARKVERWALTUNG EIFEL (2017): Permanente Stichprobeninventur im Nationalpark Eifel. Schriftenreihe zum Nationalpark Eifel, Band 7: 116 S.
- O'DELL, T.E., LODGE, D.J., MUELLER, G.M. (2004): Approaches to sampling macrofungi. *Biodiversity of fungi: inventory and monitoring methods*. Elsevier Academic Press. Amsterdam: S. 163–168.
- SCHMIT, J.P., LODGE, D.J. (2005): Classical methods and modern analysis for studying fungal diversity. *Fungal community: its organization and role in the ecosystem*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis. Boca Raton:
- SCHULTZE, J., GÄRTNER, S., BAUHAUS, J., MEYER, P., REIF, A. (2014): Criteria to evaluate the conservation value of strictly protected forest reserves in Central Europe. *Biodiversity and Conservation* **23**: 3519–3542. doi: 10.1007/s10531-014-0787-2.
- SSYMAN, A., SORG, M., DOCZKAL, D., RULIK, B., MERKEL-WALLNER, G., VISCHER-LEOPOLD, M. (2018): Praktische Hinweise und Empfehlungen zur Anwendung von Malaisefallen für Insekten in der Biodiversitätserfassung und im Monitoring. *Series Naturalis* **1**: 1–12.

- Storch, I., Penner, J., Asbeck, T., Basile, M., Bauhus, J., Braunisch, V., Dormann, C.F., Frey, J., Gärtner, S., HANWINKEL, M., KOCH, B., KLEIN, A.-M., KUSS, T., PREGERNIG, M., PYTTEL, P., REIF, A., SCHERER-LORENZEN, M., SEGELBACHER, G., SCHRAML, U., STAAB, M., WINKEL, G., YOUSEFPOUR, R. (2019): Evaluating the effectiveness of retention forestry to enhance biodiversity in production forests of Central Europe using an interdisciplinary, multi-scale approach. *Ecology and Evolution* **10**: 1489-1509.
- THIJS, S., OP DE BEECK, M., BECKERS, B., TRUYENS, S., STEVENS, V., VAN HAMME, J., WEYENS, N., VANGRONSVELD, J. (2017): Comparative Evaluation of Four Bacteria-Specific Primer Pairs for 16S rRNA Gene Surveys. *Frontiers in Microbiology* **8**: 494. 10.3389/fmicb.2017.00494.
- TOJU, H., TANABE, A.S., YAMAMOTO, S., SATO, H. (2012): High-Coverage ITS Primers for the DNA-Based Identification of Ascomycetes and Basidiomycetes in Environmental Samples. *PLOS ONE* **7** (7): e40863.
- UYS, V.M., URBAN, R.P. (2006): How to collect and preserve insects and arachnids. Plant Protection Research Institute. Queenswood, South Africa: 112 S.
- WEARN, O., GLOVER-KAPFER, P. (2017): Camera trapping for conservation: a guide to best-practices. *WWF Conservation Technology Series* **1** (1): WWW-UK, Woking, United Kingdom: 181 S.
- WELTI, E.A.R., ZAJICEK, P., FRENZEL, M., AYASSE, M., BORNHOLDT, T., BUSE, J., CLASSEN, A., DZIOCK, F., ENGELMANN, R.A., ENGLMEIER, J., FELLENDORF, M., FÖRSCHLER, M.I., FRICKE, U., GANUZA, C., HIPPE, M., HOENSELAAR, G., KAUS-THIEL, A., KERNER, J., KILIAN, D., MANDERY, K., MARTEN, A., MONAGHAN, M.T., MORKEL, C., MÜLLER, J., PUFFPAFF, S., REDLICH, S., RICHTER, R., ROJAS-BOTERO, S., SCHARNWEBER, T., SCHEIFFARTH, G., YANEZ, P.S., SCHUMANN, R., SEIBOLD, S., STEFFAN-DEWENTER, I., STOLL, S., TOBISCH, C., TWIETMEYER, S., UHLER, J., VOGT, J., WEIS, D., WEISSER, W.W., WILMKING, M., HAASE, P. (2022): Temperature drives variation in flying insect biomass across a German malaise trap network. *Insect Conservation & Diversity* **15**: 168-180. doi: 10.1111/icad.12555.
- WEVELL VON KRÜGER, A., MOOSMANN, S., WINKLER, K., KÄRCHER, R. (2015): *Methodenhandbuch für die WSA-Aufnahme*. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Naturverwaltung Luxemburg: 61 S.
- Dr. Marc I. Förschler,
E-Mail: marc.foerschler@nlp.bwl.de
- Nationalpark Schwarzwald
Fachbereich Ökologisches Monitoring, Forschung & Artenschutz
Kniebisstraße 67
77740 Bad Peterstal-Griesbach
- Raffael Kratzer
Nationalpark Schwarzwald
Fachbereich Wald und Naturschutz
Kniebisstraße 67
77740 Bad Peterstal-Griesbach
E-Mail: raffael.kratzer@nlp.bwl.de
- Dr. Kirsten Jung
Universität Ulm, Fakultät für Naturwissenschaften
Institut für Evolutionsökologie und Naturschutzgenomik
Albert-Einstein-Allee 11
89069 Ulm
E-Mail: kirsten.jung@uni-ulm.de
- Dr. Martin Weckesser
Engelbergstr. 1
79252 Stegen
E-Mail: martinweckesser@web.de

submitted: 15.06.2022

reviewed: 26.07.2022

accepted: 05.11.2022

Autorenanschriften:

Dr. Stefanie M. Gärtner,

E-Mail: stefanie.gaertner@nlp.bwl.de

Esther del Val Alfaro,

E-Mail: esther.delvalalfaro@nlp.bwl.de

Sönke Birk,

E-Mail: soenke.birk@nlp.bwl.de

Dr. Torsten Bernauer,

E-Mail: torsten.bernauer@nlp.bwl.de

Dr. Jörn Buse,

E-Mail: joern.buse@nlp.bwl.de

Dr. Christoph Dreiser,

E-Mail: christoph.dreiser@nlp.bwl.de

Dr. Flavius Popa,

E-Mail: flavius.popa@nlp.bwl.de

Anhang / Appendix

Anzahl der Monitoringflächen pro Stratum

Zufällige Auswahl (10%) der Stichprobenpunkte (Betriebsinventur) innerhalb der Straten (Kombination Höhenstufe und Ökoserie (ÖS) bzw. Ökoseriengruppe (Gr)); wenn die Anzahl der Stichprobenpunkte < 3, dann wurden alle Stichprobenpunkte in das Monitoring aufgenommen.

Höhenstufe Ökoseriengruppe (Gr) und Ökoserie (ÖS)	Anzahl der Monitoringflächen
hochmontan	71
Gr Hochlagen-Blockhänge	7
Gr Hochlagen-Hänge	30
Gr Hochlagen-Sande u. lehmige Hochlagen-Sande	20
Gr feucht-saure Hochlagenhänge	3
Gr grundfeuchte Hochlagen-Sande	5
Gr Hochlagen-Rücken u. -Kuppen	6
montan	127
ÖS der durchlässigen Sande	2
ÖS der lehmigen Grusböden	3
ÖS der lehmigen Grushänge	8
ÖS der lehmigen Steinschutthänge	2
ÖS der lehmig-sandigen Buntsandstein-Steilhänge	3
ÖS der lehmig-sandigen Flachhänge	6
ÖS der nicht vernässenden lehmigen Sande	3
ÖS der sandigen Buntsandstein-Steilhänge	56
ÖS der sandigen Flachhänge	14
Gr der Block- und Felshänge im Grundgebirge	2
Gr der Blockhänge im Buntsandstein	16
Gr der Blockschuttdecken	1
Gr der Blockschuttlagen	1
Gr der feucht-sauren Flachhänge	4
Gr der feucht-sauren Steilhänge	2
Gr der mehr oder weniger vernässenden lehmig-sandigen Böden	1
Gr der Rücken und Hangrücken im Buntsandstein	1
Gr der Rücken und Kuppen im Grundgebirge	1
Gr feucht-saure Lagen	1

submontan	12
ÖS der lehmigen Grusböden	2
ÖS der lehmigen Grushänge	6
ÖS der lehmigen Steinschutthänge	3
Gr der Block- und Felshänge im Grundgebirge	1
Gesamtergebnis	210