

Baummikrohabitate im Schweizer Wald und im Buchenurwald Uholka-Schyrokyj Luh

Urs-Beat Brändli^{1,*}, Meinrad Abegg¹, Christoph Düggelein¹, Berthold Traub¹

¹Wissenschaftlicher Dienst LFI, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL (CH)

Abstract

Habitatbäume sind eine Schlüsselkomponente der Waldbiodiversität. Seit rund 20 Jahren ist die Bedeutung von Baummikrohabitaten (BMH) als Lebensraum für Tausende teils hochspezialisierte Arten bekannt, und BMH finden zunehmend Eingang ins Waldmonitoring. Mit der Einführung der ersten europäischen Typologie der BMH verfügen das Schweizerische Landesforstinventar (LFI) und die Inventur im Buchenurwald Uholka-Schyrokyj Luh in der Ukraine als erste Grossrauminventuren über repräsentative Referenzdaten. Auch wenn die Reproduzierbarkeit bei einigen BMH-Typen eher schlecht ist, sind nach drei Erhebungsjahren des fünften LFI doch erste aufschlussreiche Vergleiche möglich. Im Schweizer Wald weisen 60% der stehenden lebenden Bäume ab 12 cm Brusthöhendurchmesser mindestens ein BMH auf. Am häufigsten in Stück pro Hektare sind solche mit Flechtenbewuchs (73), Moosbewuchs (67), Stammfusshöhlen (53), Kronentotholz (47) und Harzfluss (37), selten jene mit tiefen Mulmhöhlen (4), Spalten (1), Spechtbruthöhlen (1) und Pilzfruchtkörpern (1). Am geringsten ist die Anzahl BMH-Typen an Tannen (0.6), am grössten an Arven (1.6), Eichen (1.4) und Kastanien (1.3). Generell nimmt die Anzahl verschiedener BMH-Typen mit zunehmendem Baumdurchmesser zu. Die BMH-Dichte variiert je nach Waldfunktion, Waldeigentum, letzter Nutzung, Höhenlage und Geländeneigung. Die tiefen Werte im Mittelland und im östlichen Jura könnten Handlungsbedarf indizieren. Die BMH-Dichte an lebenden Bäumen ist im Schweizer Buchenwald gleich gross wie im Buchenurwald Uholka-Schyrokyj Luh. Allerdings sind tiefe Baumhöhlen, Rindentaschen, Kronentotholz und mehrjährige Pilzfruchtkörper im Buchenurwald häufiger, im Buchenwald dagegen Dendrotelme, Moos- und Efeubewuchs. Der wohl wichtigste ökologische Unterschied liegt im Totholzvolumen, das im Buchenurwald insgesamt fast dreimal so hoch ist wie im Buchenwald, bei den Dürreständen sogar fast sechsmal so hoch.

Keywords: habitat trees, tree related microhabitats, dead wood, forest monitoring, National Forest Inventory, primeval forest, forest biodiversity, Switzerland

doi: 10.3188/szf.2021.0286

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail urs-beat.braendli@wsl.ch

Das Landesforstinventar (LFI) hat zur Aufgabe, den Zustand und die Entwicklung des Schweizer Waldes zu dokumentieren (Brändli & Hägeli 2019), auch bezüglich der ökologischen Qualität dieses Lebensraumes. Dementsprechend wird der LFI-Datenkatalog laufend dem aktuellen Kenntnisstand angepasst. Beispielsweise wurde im ersten LFI (LFI1; 1983–1985) nur das ökonomisch verwertbare Totholz erfasst, seit dem LFI3 (2004–2006) wird dagegen das gesamte liegende und stehende Totholz aufgenommen. Studien zur Bedeutung von Baummikrohabitaten (BMH) wurden in Europa ab den ersten Jahren des 21. Jahrhunderts publiziert. Auch mit Daten des LFI3 wurde ein erstes Habitatbaummodell entwickelt und eine lan-

desweite Karte publiziert (Brändli et al 2011). Allerdings war das Set der BMH nur lückenhaft abgedeckt. Nach einer Evaluation (Bollmann et al 2013) wurde beim LFI5 (2018–2026) der Datenkatalog entsprechend überarbeitet. Dabei wurden auch explizit Merkmale zu BMH nach der Typologie von Larrieu et al (2018) eingeführt (Düggelein et al 2020). BMH wie Höhlen, Spalten oder Efeubewuchs sind wichtige Lebensräume für viele verschiedene, zum Teil hochspezialisierte Tier-, Pflanzen-, Flechten- und Pilzarten (Bütler et al 2020a, Larrieu et al 2018). Die herausragende Rolle von Habitatbäumen für die Artenvielfalt wird zunehmend erkannt und bei der Waldbewirtschaftung berücksichtigt (Bütler et al 2020b). Für die Erfolgskontrolle ist es dabei von es-

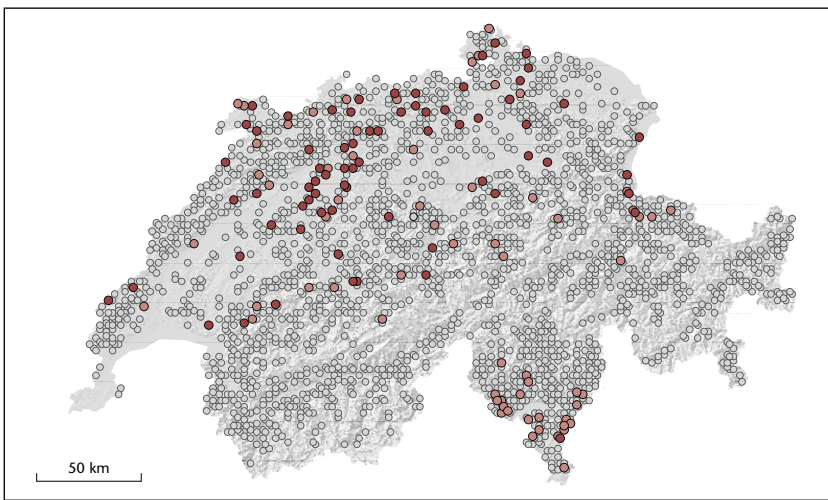


Abb 1 Probeflächen der Erhebungsjahre 2018–2020 des LFI5. Rot: Buchenanteil in der Oberschicht >75% und letzte Nutzung vor ≤20 Jahren (n = 70), hellrot: Buchenanteil in der Oberschicht >75% und letzte Nutzung vor >20 Jahren (n = 65), grau: übrige Probeflächen (n = 1932).

senzieller Bedeutung, beim Monitoring dieser BMH nach einer einheitlichen Typologie mit möglichst identischen Definitionen und Dimensionen zu arbeiten. Auch ergeben Inventuren mit unterschiedlichen Kluppschwellen (Mindestdurchmessern) der Probebäume in der Regel keine vergleichbaren Resultate, etwa beim Totholz (Böhl & Brändli 2007). Deshalb wurde im Rahmen des internationalen Forschungsprojektes «Integrate+»¹ erstmals ein umfassender Katalog von BMH für Europa entwickelt, getestet und in ausgereifter Form für Erhebungen vorgeschlagen (Bütler et al 2020b, Larrieu et al 2018, Kraus et al 2016).

Das LFI ist die erste Nationalinventur, bei der diese europäische Typologie der BMH bereits eingeführt worden ist. Nach drei Erhebungsjahren des LFI5 (2018, 2019, 2020) können erste Ergebnisse und Erfahrungen präsentiert werden. Da 2019 bei der zweiten Grossrauminventur im ukrainischen Buchenurwald Uholka-Schyrokyj Luh nach dem LFI5-Datenkatalog und der gleichen Methode geschult und gearbeitet wurde (Stillhard et al 2019a), ist nun erstmals ein repräsentativer Vergleich zwischen dem mit rund 9000 ha grössten zusammenhängenden Urwald aus europäischer Buche (Commarmot et al 2013, Brändli & Dowhanytsch 2003) und den bewirtschafteten Buchenwäldern der Schweiz möglich. Da Studien über BMH relativ neu und Daten über Urwälder selten sind, sind Kenntnisse über die Häufigkeit und die Vielfalt der BMH in bewirtschafteten Wäldern und in Urwäldern beschränkt (Jahed et al 2020). Bislang wurden auch noch keine Ergebnisse aus grossräumigen Erhebungen von BMH nach der europäischen Typologie publiziert, lediglich Ergebnisse aus Fallstudien und kleineren Reservaten (Larrieu 2020, mündlich).

Mit dem vorliegenden Beitrag soll für das Waldmanagement, für die Umweltpolitik sowie für weitere Erhebungen auf regionaler oder lokaler

Ebene eine erste nationale BMH-Referenz vorgestellt werden. Dazu gehen wir folgenden Fragen nach:

1. Welche Erfahrungen wurden mit der BMH-Typologie im LFI bisher gemacht?
2. Wie häufig sind die BMH-Typen in der Schweiz, und wie verteilen sie sich?
3. Wie unterscheidet sich der Schweizer Buchenwald vom ukrainischen Buchenurwald Uholka-Schyrokyj Luh?

Material und Methoden

Studiengebiete und Inventurdesign

Das LFI ist eine Stichprobenerhebung mit einem Zyklus von neun Jahren. Jedes Jahr wird ein anderes systematisches, für die Schweiz repräsentatives Unternetz beprobt (Brändli & Hägeli 2019). Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der Daten wird bei 8 bis 10% der Erstaufnahmen eine unabhängige Wiederholungserhebung durch eine andere Aufnahmegruppe durchgeführt. Während die Gruppe der Erstaufnahme keine Kenntnis davon hat, welche Probeflächen doppelt aufgenommen werden, ist dies der Gruppe der Wiederholungsaufnahme bekannt (Traub et al 2019a).

Die 2067 im zugänglichen Wald ohne Gebüschwald erhobenen LFI5-Probeflächen der Jahre 2018, 2019 und 2020 (Abbildung 1) bilden die Basis dieser Studie mit 24 532 Probepflanzen, wovon 21 631 stehend lebend sind. Sie sind verteilt über einen Höhenbereich von 200 bis 2310 m ü.M. Die Baumdaten werden auf zwei konzentrischen Probekreisen von 200 und 500 m² Grösse erhoben, mit Kluppschwellen von 12 und 36 cm (Düggelin et al 2020), von April bis Oktober, d.h. Laubbäume mehrheitlich in belaubtem Zustand. Die Kluppschwelle von 12 cm liegt im empfohlenen Bereich von 10 bis 20 cm für das BMH-Monitoring (Bütler et al 2020a). Die BMH-Erhebung findet an lebenden und toten Probepflanzen statt, wobei nur Vorkommen am Schaft erhoben werden, in der Regel durch eine Person ohne Feldstecher. Das Vorkommen eines BMH-Typs wird pro Baum nur einmal gezählt, da das reproduzierbare Zählen von Pilzfruchtkörpern, Spechtlöchern oder Rindentaschen pro Baum besonders an Dürreständen zu viel Zeit erfordert. Im LFI fehlen bei stehenden toten Bäumen Daten zu gewissen BMH. Dafür gibt es mehrere Gründe:

1. Gewisse BMH können an toten Bäumen nicht mehr auftreten (z.B. frischer Harzfluss) oder haben ihre Funktion nicht mehr (z.B. Krebs und Maserknollen).
2. Gewisse Baummikrohabitate sind Teil der LFI-Schadensanalyse (z.B. Insektenschäden), die nur an lebenden Bäumen stattfindet.

¹ www.integrateplus.org (20.4.2021)



Abb 2 Lage des Reservats mit seinen Revieren Uholka ($48^{\circ} 16' N$, $23^{\circ} 40' O$) und Schyrokyj Luh ($48^{\circ} 20' N$, $23^{\circ} 44' O$) in Transkarpatien, Ukraine. Quelle: Commarmot et al (2013)

3. Dürrständer weisen in der Regel a priori Holz ohne Rinde und Kronentotholz auf, und deshalb werden diese BMH beim LFI dort nicht explizit erhoben.

Dementsprechend beziehen sich die BMH-Auswertungen auf stehende lebende Bäume ab 12 cm Brusthöhendurchmesser (BHD).

Die Buche (*Fagus sylvatica* L.) ist die häufigste Laubbaumart in der Schweiz und Buchenwaldgesellschaften machen den grössten Teil der Tieflagenwälder aus (Brändli et al 2020a). Allerdings sind reine Buchenbestände relativ selten und die statistischen Schätzfehler entsprechend hoch. Um eine ausreichende Anzahl Probeflächen zu erhalten, werden deshalb für Vergleiche mit dem ukrainischen Buchenurwald Uholka-Schyrokyj Luh (USL-BU) all jene Bestände betrachtet, in denen die Buche in der Ober-schicht mehr als 75% des Deckungsgrades ausmacht (Schweizer Buchenwald, CH-BU; $n = 135$). Im CH-BU macht der Anteil der übrigen Baumarten – zur Hauptsache Fichte, Tanne, Ahorn und übrige Laubhölzer – rund 19% der Stammzahl bzw. 16% der Basalfläche aus. Der CH-BU erstreckt sich über einen Höhenbereich von 340 bis 1440 m ü.M., ähnlich wie der USL-BU, und seine Hauptverbreitung liegt im zentralen und östlichen Teil der Regionen Jura, Mittelland und Voralpen sowie auf der Alpensüdseite (Abbildung 1).

Das zweite Untersuchungsgebiet, der grösste zusammenhängende Urwald der europäischen Buche, befindet sich im Südwesten der Ukraine im Reservat Uholka-Schyrokyj Luh (Abbildung 2). Teile dieser Buchenurwälder wurden bereits 1920 unter Schutz gestellt. Seit 1992 zählt das Reservat zum UNESCO-Weltnaturerbe (Brändli & Dowhanytsch 2003). Das Gebiet liegt in der atlantisch-kontinentalen Klimaregion der Karpaten mit einströmenden atlantischen Luftmassen. Die meteorologische Station Uholka (430 m ü.M.) zeigt eine mittlere Jahrestemperatur von $7.7^{\circ}C$ (Juli-Mittel $17.9^{\circ}C$, Januar-Mittel $-2.7^{\circ}C$) und mittlere Jahresniederschläge von 1134 mm (Commarmot et al 2013). 96% von Uholka-Schyrokyj Luh sind bewaldet mit praktisch reinen Buchenwäldern, die sich über einen Höhenbereich von 400 bis 1350 m ü.M. erstrecken (Brändli & Dow-

hanytsch 2003). Naturwälder machen 9980 ha aus, 8800 ha davon sind Urwälder, zu über 97% aus Buche. Nach einer ersten Stichprobeninventur im Jahr 2010 mit 314 Probeflächen, davon 222 in der Kernzone, fand im Jahr 2019 die zweite Erhebung in der Kern- und Übergangszone statt (238 Probeflächen). Dabei wurden auf den Probeflächen von 500 m² Grösse alle Bäume ab 6 cm BHD erfasst und beschrieben (Stillhard et al 2019a), bezüglich BMH mit wenigen Ausnahmen nach der Methode LFI. In der vorliegenden Studie wurden aber lediglich direkt vergleichbare BMH-Typen an Bäumen ab 12 cm BHD analysiert und in der Regel nur die stehenden lebenden Probeflächen berücksichtigt. Die Schulung der Feldleute in der Ukraine durch J. Stillhard wurde vom LFI-Mitarbeiter U.-B. Brändli begleitet.

Typologie der Baummikrohabitate

Grundsätzlich kann jeder Baum, stehend oder liegend, lebend oder tot, Baummikrohabitate aufweisen. Gemäss Büttler et al (2020b) ist ein Habitatbaum ein lebender oder toter stehender Baum, der mindestens ein Mikrohabitat trägt. Dementsprechend beziehen sich die meisten BMH-Erhebungen nur auf stehende Bäume. In der Regel werden sogar nur stehende lebende Bäume beurteilt, da Dürrständer per se als besonders wertvolle Elemente separat gezählt werden.

Die Typologie von Larrieu et al (2018) unterscheidet 47 Typen von Baummikrohabitaten, die in 15 Gruppen und 7 Formen zusammengefasst sind (Tabelle 1). Im Rahmen der Vorbereitung des LFI5 standen die Autoren seit 2014 in Kontakt mit dem Team des Forschungsprojektes Integrate+ und sammelten Erfahrungen mit dem ersten Katalog der BMH (Kraus et al 2016). Anhand von Daten aus 14 mit Schweizer Wäldern vergleichbaren europäischen Marteloscopen von «Integrate+» wurden die zu erwartende Häufigkeit der einzelnen Typen und ihr Anteil am ökologischen Gesamtwert ermittelt (Quarteroni 2016). Zeitstudien für die Erfassung einzelner BMH-Typen wurden durchgeführt, und die Reproduzierbarkeit von BMH-Erhebungen wurde im Marteloskop Sihlwald getestet (Quarteroni & Brändli 2017). Der

Form	Gruppe	Typ
Höhlen	Spechthöhlen (1)	Kleine Bruthöhle
		Mittelgrosse Bruthöhle
		Grosse Bruthöhle
		Höhlenetage
	Mulmhöhlen (2, 3)	Mulmhöhle mit Bodenkontakt
		Mulmhöhle ohne Bodenkontakt
		Halboffene Mulmhöhle
		Kaminartiger, hohler Stamm mit Bodenkontakt
		Kaminartiger, hohler Stamm ohne Bodenkontakt
		Asthöhle
	Insektengänge und Bohrlöcher (4)	Insektengänge und Bohrlöcher
	Vertiefungen	Dendrotelm (5) oder wassergefüllte Baumhöhlung
		Frasslöcher (Spechte) [beim LFI bei Mulmhöhlen erfasst]
Rindenbedeckte Einbuchtung am Stamm		
Stammfusshöhle (6)		
Stammverletzungen und freiliegendes Holz	Freiliegendes Splintholz	Holz ohne Rinde (7)
		Brandnarbe (8)
		Rindentasche , unten offen (Teil von 9)
		Rindentasche , oben offen (Teil von 9)
	Freiliegendes Splint- und Kernholz	Stammbruch (Teil von 10)
		Starkastbruch mit freiliegendem Kernholz (Teil von 10)
		Riss, Spalte (Teil von 11)
		Blitzrinne (Teil von 11)
		Riss bei Zwiesel
Kronentotholz	Kronentotholz (12)	Tote Äste Kronentotholz
		Abgestorbene Kronenspitze
		Abgebrochener Starkast
Wucherungen	Hexenbesen und Wasserreiser	Hexenbesen
		Wasserreiser
	Maserknollen und Krebse (13)	Maserknolle
		Krebs
Feste und schleimige Pilzfruchtkörper	Mehrfährige Pilzfruchtkörper (14)	Mehrfährige Porlinge
	Kurzlebige Pilzfruchtkörper und Schleimpilze (15)	Einjährige Porlinge
		Ständerpilze
		Grosse Ascomyceten
		Myxomyceten
Epiphytische, epixylische und parasitische Strukturen	Pflanzen und Flechten, epiphytisch oder parasitisch	Moose oder Lebermoose (16)
		Blatt- oder Strauch-Flechten (17)
		Efeu oder Lianen (18)
		Farne
		Misteln
	Nester	Nester von Wirbeltieren
		Nester von Wirbellosen
	Mikroböden	Mikroboden (Rinde)
		Mikroboden (Krone)
	Ausflüsse	Saft- und Harzflüsse
Aktiver Harzfluss (19)		

im LFI nach gleicher oder fast identischer Definition erhoben

im LFI nicht differenziert, sondern nur als Gruppe erhoben

im LFI nach gleicher oder fast identischer Definition, aber anders differenziert erhoben

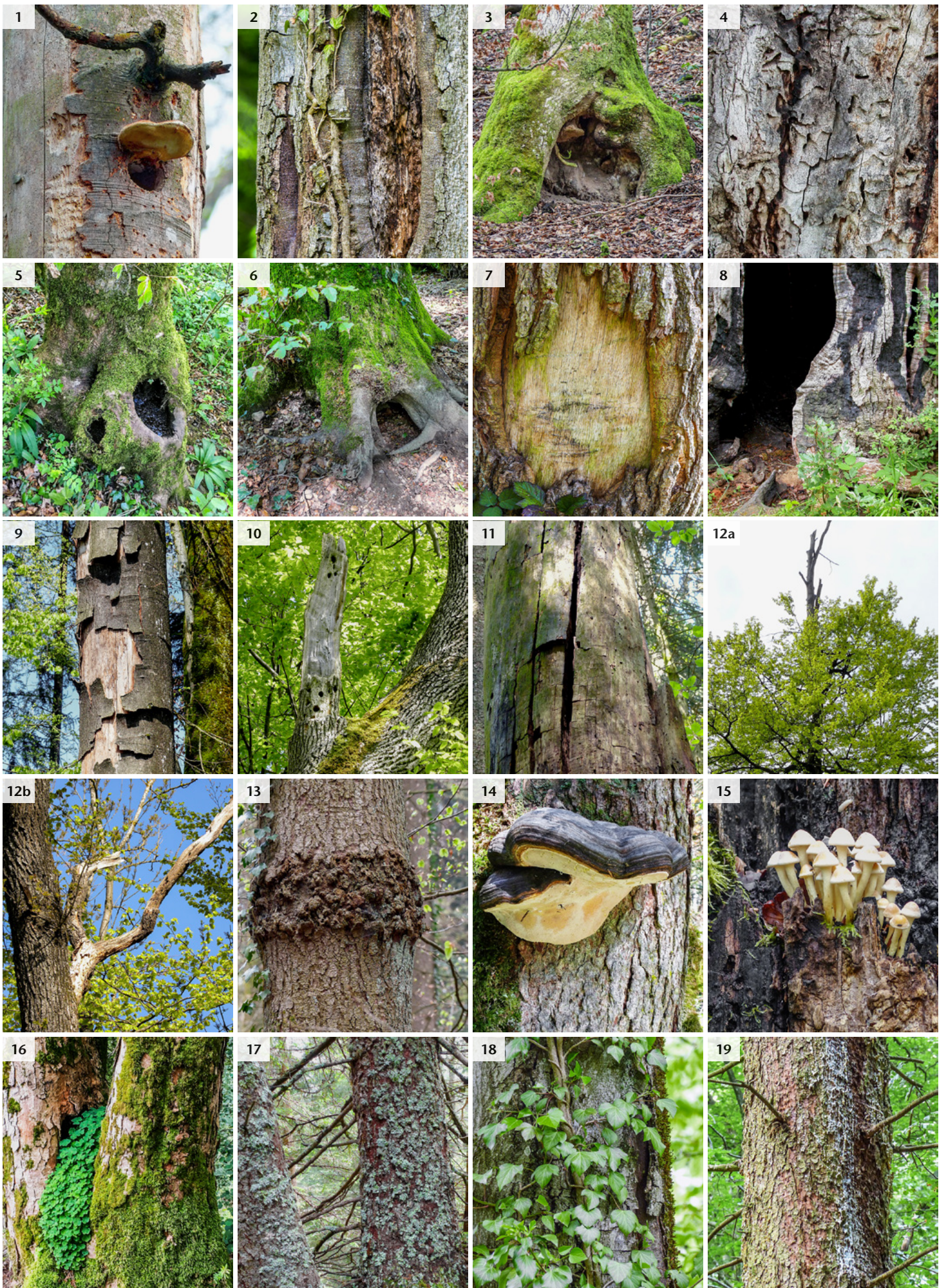
im LFI nicht erhoben

im LFI nach ähnlicher Definition oder nur teilweise erhoben

Tab 1 Baummikrohabitattypologie nach Bütler et al (2020a, 2020b) und Larrieu et al (2018) mit 7 Formen, 15 Gruppen und 47 Typen. In Fettschrift und mit Codes in Klammern die entsprechenden 19 Untergruppen von Mikrohabitaten gemäss LFI, wie sie für diese Studie zusammengefasst wurden.

bestehende Datenkatalog zu den Baummerkmalen der bisherigen LFI-Erhebungen musste zur Erhaltung der Zeitreihe unverändert übernommen werden. Die Frage war, wie dieser durch zusätzliche BMH-Merkmale sinnvoll ergänzt werden könnte, ohne viel Zu-

satzaufwand zu verursachen. Ohne Kompromisse war keine effiziente Lösung möglich. So wurde auf die Einführung von seltenen BMH-Typen wie Nester, Misteln und Mikroböden a priori verzichtet, die (in belaubtem Baumzustand) äusserst schwer zu er-



kennen sind. Da Saftfluss an Laubbäumen bei Regen nicht auszumachen ist, kam auch dieses BMH nicht weiter in Betracht. Damit alle beobachtbaren Phänomene im LFI erfasst werden können, musste bei den Mulmhöhlen eine differenziertere Lösung mit mehr Typen entwickelt werden (Düggelin et al 2020).

Aus Tabelle 1 ist ersichtlich, in welchem Mass die Typen, Gruppen und Formen von BMH nach der Typologie von Larrieu et al (2018) durch das LFI5 abgedeckt sind. Da seltene BMH-Typen mit einem hohen Schätzfehler verbunden sind, wurden für diese Studie 19 Untergruppen gebildet (siehe auch Abbildung 3).

Statistische Analyse

Die Daten des LFI sind in einem zentralen Datenbanksystem an der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) gespeichert und werden mit dem Statistikprogrammpaket NAFIDAS ausgewertet (Traub et al 2019b). Die aus der LFI-Stichprobe abgeleiteten Schätzungen unterliegen einem Stichprobenfehler, der hier in Form des absoluten Standardfehlers angegeben wird. Der wahre Wert des Populationsparameters liegt mit einer Wahrscheinlichkeit von 68% innerhalb dieses Vertrauensintervalls. Überschneiden sich die Vertrauensintervalle von zwei Stichproben nicht, unterscheiden sich die entsprechenden Schätzwerte signifikant bezüglich obigem Signifikanzniveau (Brändli et al 2020b).

Die Daten der Stichprobeninventur im USL-BU sind in einer eigenständigen Datenbank an der WSL gespeichert. Die Auswertungen erfolgen mit dem Package Forestinventory der Statistiksoftware R (Version 4.0.2, Hill et al 2017). Im Gegensatz zum Sampling des LFI in einem gleichmässigen Netz ist das Stichprobendesign im USL-BU ein Clustersampling, bei dem jeweils zwei relativ nahe zueinander gelegene Probeflächen als ein Cluster ausgewertet werden. Auf diese Weise können die Feldaufnahmen effizient durchgeführt werden, und es resultiert nur ein geringer Verlust an Schätzgenauigkeit (Mandalaz 2007).

Resultate

Datenqualität und Reproduzierbarkeit

Basierend auf den Wiederholungsaufnahmen der ersten drei Feldsaisons des LFI5 (2018–2020) konnte an 1957 stehenden lebenden Bäumen die Ansprache der Baummikrohabitate bezüglich Reproduzierbarkeit analysiert werden. Allerdings sind einige

Typen (Untergruppen) von BMH so selten, dass zu diesen nach nur drei Erhebungsjahren noch keine statistisch gesicherten Aussagen über die Datenqualität möglich sind. Dies betrifft Spechtbruthöhlen, Insektenlöcher, Brandnarben, Spalten sowie mehrjährige und kurzlebige Pilzfruchtkörper (Tabelle 2).

Als Masse für die Reproduzierbarkeit betrachten wir die Differenzen und Übereinstimmungen von Erstaufnahme (EA) und Wiederholungsaufnahme (WA). Grosse Differenzen wie bei den BMH-Typen «flache Mulmhöhle», «Rindentasche» und «Krebs/Maserknolle» (Tabelle 2) sind Indizien, dass hier die Definitionen verschieden ausgelegt wurden. Bezüglich Übereinstimmung zeigt sich bei den BMH-Typen «Efeu», «Moose», «Flechten» und «Holz ohne Rinde» eine gute Datenqualität (Übereinstimmung >75%). Mässig ist sie bei «Dürrastanteil», «tiefe Mulmhöhle», «Gipfeldürre», «Stammfusshöhlen», «Stamm-/Starkastbruch» und «Harzfluss» (48–65%) und schlecht bis sehr schlecht bei «Dendrotelm» (36%), «Krebs/Maserknolle» (27%), «Rindentasche» (15%) und «flache Mulmhöhle» (12%). Vertiefte Datenanalysen haben ergeben, dass «Krebs/Maserknolle» und «Rindentasche» nicht immer nach Definition erfasst wurden, wodurch diese beiden BMH-Typen in den ersten drei LFI5-Jahren eher überschätzt wurden.

In der WA wurden nur 0.5% mehr BMH als in der EA registriert (Tabelle 2). Dabei sind die Abweichungen in der Anzahl pro BMH-Typ etwa gleich häufig positiv wie negativ. Dies ist ein Indiz dafür, dass die Beurteilung in der EA und der WA keines systematische Abweichung aufweist. Das war nicht zu erwarten, denn die Aufnahmegruppen der WA wussten, dass sie eine WA durchführen, während den Aufnahmegruppen der EA nicht bekannt war, welche ihrer Probeflächen zur WA gehören werden. Bei den meisten BMH-Typen zeigt die Reproduzierbarkeit im Verlauf der ersten drei LFI5-Erhebungsjahre keine Veränderung, bei einigen hat sie sich verbessert (Spechthöhlen, flache und tiefe Mulmhöhlen, Krebs/Maserknollen, Dürrastanteil, Holz ohne Rinde).

Überblick Schweizer Wald

Ein anschauliches Mass zur Beschreibung der Häufigkeit ist die Dichte der BMH, d.h. die Anzahl BMH pro Hektare Wald. Die häufigsten BMH-Typen an stehenden lebenden Bäumen ab 12 cm BHD sind, im Schweizer Durchschnitt, Flechtenbewuchs, gefolgt von Moosbewuchs, Stammfusshöhlen, Kronentholz und Harzfluss (Tabelle 3). Auffallend selten sind Spechtbruthöhlen und Pilzfruchtkörper, die vermehrt an Dürrständern zu finden sind. Obschon die Stammzahl der Dürrständer (28 St./ha) 14-mal ge-

◀ **Abb 3** Die 19 Baummikrohabitatstypen (Untergruppen) gemäss LFI, wie sie für diese Studie gebildet wurden: 1 Spechtbruthöhle, 2 flache Mulmhöhle, 3 tiefe Mulmhöhle, 4 Insektengänge/-bohrlöcher, 5 Dendrotelm, 6 Stammfusshöhle, 7 Holz ohne Rinde, 8 Brandnarbe, 9 Rindentasche, 10 Stamm-/Starkastbruch, 11 Spalt / breiter Riss, 12a Kronentholz Gipfeldürre, 12b Kronentholz Dürräste, 13 Krebs/Maserknolle, 14 mehrjähriger Pilzfruchtkörper, 15 kurzlebiger Pilzfruchtkörper, 16 Moosbewuchs, 17 Flechtenbewuchs, 18 Efeubewuchs, 19 Harzfluss. Fotos: Urs-Beat Brändli

Baummikrohabittypen (LFI-Untergruppen)	Anzahl Bäume mit Vorkommen		Differenz (%)	Anzahl Bäume mit Vorkommen			Über- einstimmung (%)	
	EA	WA		nur in EA	nur in WA	sowohl in EA als auch in WA		
1 Spechtbruthöhle	4	4	(0.0)*	2	2	2	(50.0)*	
2 Flache Mulmhöhle	22	12	-45.5	20	10	2	11.8	
3 Tiefe Mulmhöhle	23	28	21.7	8	13	15	58.8	
4 Insektengänge/-bohrlöcher	4	2	(-50.0)*	4	2	0	(0.0)*	
5 Dendrotelm	26	19	-26.9	18	11	8	35.6	
6 Stammfusshöhle	316	310	-1.9	141	135	175	55.9	
7 Holz ohne Rinde	166	164	-1.2	42	40	124	75.2	
8 Brandnarbe	0	0	(0.0)*	0	0	0	(-)*	
9 Rindentasche	46	64	39.1	38	56	8	14.5	
10 Stamm-/Starkastbruch	23	29	26.1	9	15	14	53.8	
11 Spalte / breiter Riss	6	5	(-16.7)*	5	4	1	(18.2)*	
12 Kronentotholz	Gipfeldürre	30	23	-23.3	15	8	15	56.6
	Dürrastenteil	213	222	4.2	72	81	141	64.8
13 Krebs/Maserknolle	60	83	38.3	41	64	19	26.6	
14 Mehrjähriger Pilzfruchtkörper	3	2	(-33.3)*	1	0	2	(80.0)*	
15 Kurzlebige Pilzfruchtkörper	3	1	(-66.7)*	3	1	0	(0.0)*	
16 Moose	500	481	-3.8	92	73	408	83.2	
17 Flechten	290	283	-2.4	73	66	217	75.7	
18 Efeu	109	105	-3.7	17	13	92	86.0	
19 Harzfluss	144	161	11.8	71	88	73	47.9	
Alle Baummikrohabitate	1988	1998	0.5					

Tab 2 Vorkommen der Baummikrohabittypen an den gemeinsamen stehenden lebenden Probestämmen (n = 1957) der Erstaufnahme (EA) und der Wiederholungsaufnahme (WA) in den ersten drei Erhebungsjahren des LFI5 (2018–2020). Differenz: WA–EA in % von EA, Übereinstimmung: Anteil in % der Vorkommen, die sowohl in EA als auch in WA erfasst wurden. *Bei seltenen Vorkommen (n < 10) sind Differenzen und Übereinstimmungen wegen der statistisch schwachen Aussagekraft in Klammern gesetzt.

Baummikrohabittyp	Baumzustand						
	stehend lebend			stehend tot		stehend gesamt	
	St./ha	±	%	St./ha	±	St./ha	±
1 Spechtbruthöhle	0.5	0.1	0.1	0.7	0.1	1.3	0.2
2 Flache Mulmhöhle	4.1	0.4	1.1	1.9	0.2	6.0	0.5
3 Tiefe Mulmhöhle	3.9	0.4	1.1	2.2	0.3	6.1	0.5
4 Insektengänge/-bohrlöcher	0.9	0.2	0.2	–	–	–	–
5 Dendrotelm	4.0	0.4	1.1	–	–	–	–
6 Stammfusshöhle	53.0	1.7	14.6	2.9	0.3	55.9	1.8
7 Holz ohne Rinde	27.4	1.1	7.5	–	–	–	–
8 Brandnarbe	0.0	0.0	0.0	–	–	–	–
9 Rindentasche	10.1	0.9	2.8	10.1	0.7	20.2	1.3
10 Stamm-/Starkastbruch	4.1	0.4	1.1	3.4	0.3	7.5	0.5
11 Spalte / breiter Riss	1.3	0.2	0.4	2.1	0.3	3.4	0.4
12 Kronentotholz	47.1	2.7	13.0	–	–	–	–
13 Krebs/Maserknolle	17.4	1.1	4.8	–	–	–	–
14 Mehrjähriger Pilzfruchtkörper	0.5	0.1	0.1	1.9	0.2	2.4	0.2
15 Kurzlebige Pilzfruchtkörper	0.2	0.1	0.1	–	–	–	–
16 Moose	67.4	2.8	18.5	4.4	0.4	71.8	2.9
17 Flechten	73.1	3.6	20.1	4.4	0.5	77.5	3.8
18 Efeu	12.0	1.0	3.3	0.7	0.1	12.7	1.0
19 Harzfluss	36.7	1.6	10.1	–	–	–	–
			100				
Anzahl Mikrohabitate pro Hektare (St./ha)	368	8		–	–	–	–
Anzahl Mikrohabittypen pro Baum (St./Baum)	0.9	0.0		–	–	–	–
Stammzahl insgesamt (mit und ohne BMH)	405	7		28	1	433	7

Tab 3 Stammzahl der stehenden Bäume ab 12 cm Brusthöhendurchmesser pro Hektare nach Vorkommen von Baummikrohabittypen und Baumzustand gemäss den ersten drei Erhebungsjahren des LFI5 (2018–2020) im zugänglichen Wald ohne Gebüschwald, ± Standardfehler der Schätzung. – Vorkommen an stehenden toten sowie an stehenden Probestämmen insgesamt nicht erhoben.

ringer ist als die Stammzahl der stehenden lebenden Bäume (405 St./ha), ist das Vorkommen von Spechtbruthöhlen höher als an lebenden Bäumen. Auch mehrjährige Pilzfruchtkörper, Spalten/Risse, Rindentaschen, Stammbrüche und Mulmhöhlen kommen an Dürrständern häufiger vor als an lebenden Bäumen, mehrjährige Pilzfruchtkörper rund 55-mal häufiger. Etwas seltener als an lebenden Bäumen ist dagegen der Bewuchs mit Efeu, Flechten und Moosen an Dürrständern.

Nach Bütler et al (2020a) spricht man von einem Habitatbaum, wenn mindestens ein BMH vorhanden ist. Dies trifft für 60% der stehenden lebenden Bäume ab 12 cm BHD zu. Je mehr BMH-Typen ein Baum aufweist, umso wertvoller ist er aus ökologischer Sicht. In den ersten drei Erhebungsjahren des LFIS wurden maximal 11 der insgesamt 19 möglichen BMH-Typen an einem Baum gefunden. Im Durchschnitt weist ein stehender lebender Baum 0.9 BMH-Typen auf (Tabelle 4). Mit zunehmendem BHD (gilt auch für das Baumalter) nimmt die Anzahl BMH-Typen pro Baum von 0.6 (BHD 12–20 cm) auf 2.4 (BHD >80 cm) zu. Diese Tendenz ist sowohl in frisch genutzten als auch in schon länger nicht mehr genutzten Beständen zu erkennen. Dabei variiert die Anzahl BMH-Typen pro Baum von 0.8 für frisch genutzte Bestände bis 1.1 für Bestände, die über 50 Jahre nicht genutzt wurden (Tabelle 4). Nun

stehen aber in frisch genutzten Beständen im Durchschnitt weniger Bäume (345 St./ha) als in seit über 50 Jahren nicht genutzten (475 St./ha). Die Bewirtschaftung wirkt sich demnach gleichermassen auf die Anzahl BMH-Typen pro Baum (–26%) wie auf die Anzahl Bäume pro Hektare (–27%) aus und ergibt eine um 46% tiefere BMH-Dichte (278 BMH/ha vs. 517 BMH/ha). Unter den Baumarten ist die Anzahl BMH-Typen pro Baum bei der Tanne am geringsten (0.6), bei der Arve (1.6), gefolgt von der Eiche (1.4) und der Kastanie (1.3), am grössten (Tabelle 4). Bezüglich des Zeitpunktes des letzten Eingriffs sind dabei bei der aktuellen Datenlage keine signifikanten Unterschiede erkennbar.

Wo liegen die BMH-Hotspots in der Schweiz? Da erst LFIS-Zahlen für 2067 Probestflächen vorliegen, sind die Wirtschaftsregionen die kleinstmöglichen geografischen Einheiten für die statistisch aussagekräftige Beantwortung dieser Frage. Als Mass für die «Hotspots» verwenden wir die Anzahl BMH pro Hektare an stehenden lebenden Bäumen, wobei Vorkommen des gleichen BMH-Typs am selben Baum nur einmal gezählt werden. Im Schweizer Durchschnitt resultieren 368 ± 8 BMH/ha. Die höchste Dichte zeigt sich in der Region Alpensüdseite mit 450 ± 24 BMH/ha (Abbildung 4). Dieser hohe Durchschnitt resultiert hier vor allen aus den Tieflagen (500 ± 41), in den Hochlagen liegt der Wert

Hauptbaumart	Anzahl Jahre seit letztem Eingriff							
	0–10		11–50		> 50		Gesamt	
	St./Baum	±	St./Baum	±	St./Baum	±	St./Baum	±
Fichte	0.9	0.0	0.9	0.0	1.2	0.0	1.0	0.0
Tanne	0.6	0.0	0.7	0.0	0.9	0.1	0.6	0.0
Föhre	0.5	0.1	0.5	0.1	0.9	0.1	0.7	0.1
Lärche	1.0	0.1	1.1	0.1	1.4	0.1	1.2	0.1
Arve	1.7	0.2	1.6	0.2	1.5	0.2	1.6	0.1
Übrige Nadelhölzer	0.6	0.1	0.5	0.2	1.0	0.1	0.7	0.1
Buche	0.7	0.0	0.7	0.0	0.8	0.1	0.7	0.0
Ahorn	0.9	0.1	0.9	0.1	1.2	0.1	1.0	0.0
Esche	1.1	0.1	1.0	0.1	1.1	0.1	1.1	0.1
Eiche	1.3	0.1	1.3	0.1	1.6	0.2	1.4	0.1
Kastanie	2.1	0.5	1.4	0.5	1.1	0.2	1.3	0.2
Übrige Laubhölzer	0.6	0.1	0.8	0.1	0.9	0.1	0.8	0.0
Gesamt	0.8	0.0	0.9	0.0	1.1	0.0	0.9	0.0

BHD	St./Baum	±	St./Baum	±	St./Baum	±	St./Baum	±
12–20 cm	0.5	0.0	0.6	0.0	0.8	0.0	0.6	0.0
21–40 cm	0.9	0.0	0.9	0.0	1.1	0.0	1.0	0.0
41–60 cm	1.2	0.0	1.3	0.0	1.6	0.1	1.3	0.0
61–80 cm	1.4	0.1	1.6	0.1	2.3	0.1	1.7	0.0
> 80 cm	2.0	0.4	2.2	0.2	3.0	0.3	2.4	0.2
Gesamt	0.8	0.0	0.9	0.0	1.1	0.0	0.9	0.0

Anzahl/ha	278	10	370	12	517	23	368	8
Stammzahl/ha	345	10	425	10	475	17	405	7

Tab 4 Durchschnittliche Anzahl Baummikrohabitattypen an stehenden lebenden Bäumen ab 12 cm Brusthöhendurchmesser (BHD) nach Baumart, BHD und Anzahl Jahre seit dem letzten Eingriff gemäss den ersten drei Erhebungsjahren des LFIS (2018–2020) im zugänglichen Wald ohne Gebüschwald, ± Standardfehler der Schätzung.

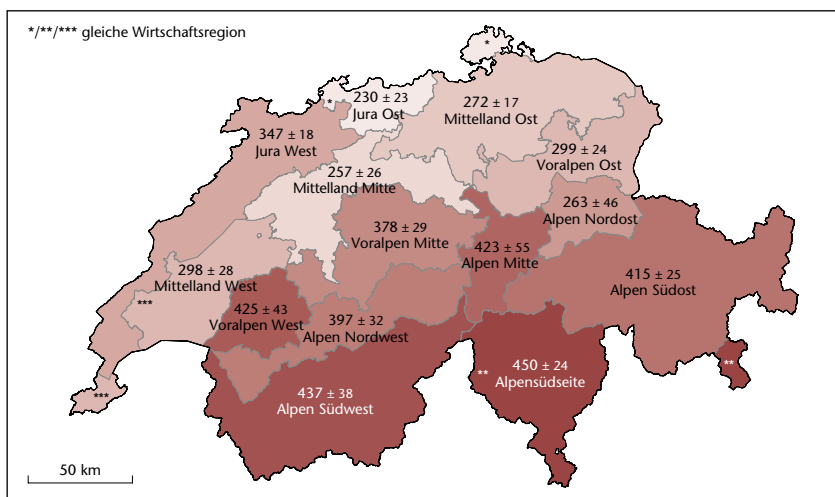


Abb 4 Anzahl Baummikrohabitate pro Hektare an stehenden lebenden Bäumen ab 12 cm Brusthöhendurchmesser pro Wirtschaftsregion gemäss den ersten drei Erhebungsjahren des LFIS (2018–2020) im zugänglichen Wald ohne Gebüschwald, \pm Standardfehler der Schätzung.

von 408 ± 29 im Bereich des Schweizer Durchschnittes für Hochlagen (410 ± 12). Ein BMH-Coldspot ist dagegen die Region Jura Ost (230 ± 23), gefolgt von den Regionen Mittelland Mitte (257 ± 26), Mittelland Ost (272 ± 17), Mittelland West (298 ± 28) und Voralpen Ost (299 ± 24).

In den Hochlagen (obere montane und subalpine Stufe) der Schweiz ist die BMH-Dichte signifikant höher (410 ± 12) als in den Tieflagen (322 ± 10). Zudem ist sie weniger stark von der Hangneigung und somit auch von der Befahrbarkeit abhängig: Während in den Tieflagen die BMH-Dichte im befahrbaren und bedingt befahrbaren Gelände (Neigung bis 60%) um 30% tiefer ist als im nicht befahrbaren (Neigung über 60%), beträgt der Unterschied in den Hochlagen nur 13%. Ähnlich präsentiert sich die Situation bezüglich Waldeigentum: In den Hochlagen macht der Unterschied zwischen privatem und öffentlichem Wald nur 8% aus. In den Tieflagen dagegen ist die BMH-Dichte im Privatwald 37% höher als im öffentlichen Wald, wobei die Anzahl BMH-Typen pro Baum um 22% und die Stammzahl pro Hektare um 12% höher sind. Begründet werden kann dies nicht mit einer geringeren Nutzungsintensität im Privatwald, denn in den letzten 20 Jahren wurde in Tieflagen etwa der gleiche Flächenanteil (73%) wie im öffentlichen Wald (72%) genutzt, und die Nutzungsmenge ($\text{m}^3/[\text{ha} \times \text{Jahr}]$) war gar um 27% höher.

Auch bei den Waldfunktionen zeigen sich Unterschiede in der BMH-Dichte: Bestände mit Vorrangfunktion «Holzproduktion» (304 ± 12) weisen eine um 19% bzw. 27% tiefere Anzahl BMH pro Hektare auf als solche mit Vorrangfunktion «Naturschutz» (374 ± 31) oder «Schutz vor Naturgefahren» (415 ± 12). Bezüglich dieser drei Vorrangfunktionen hat der Holzproduktionswald des Mittellandes die geringste BMH-Dichte (262 ± 16), der Schutzwald der Alpensüdseite die höchste (466 ± 27). Bei den häufigsten Hauptbaumarten Fichte, Tanne und Buche zeigen

sich aber bezüglich Anzahl BMH-Typen pro Baum keine signifikanten Unterschiede zwischen den erwähnten Vorrangfunktionen (nicht dargestellt).

Schweizer Buchenbestände – ukrainischer Buchenurwald

In Bezug auf die Höhenverbreitung und den Standort sind die Verhältnisse im USL-BU vergleichbar mit dem CH-BU oder zumindest mit Teilen davon. Der wesentliche Unterschied liegt in der Bewirtschaftung: In 72% des CH-BU fand in den letzten 20 Jahren ein Eingriff statt, nur 19% wurden seit mehr als 50 Jahren nicht mehr bewirtschaftet. Demgegenüber wurde die Kernzone des USL-BU nach heutigem Stand der Kenntnisse nie genutzt, auch wenn der Ortsname Uholka und der zehn Kilometer südlich gelegene Ort Uhlya (угля = Holzkohle) auf frühere Köhlerei (in der Region) hindeuten (Brändli & Dowhanytsch 2003).

Unter Berücksichtigung der vergleichbaren BMH-Typen resultiert für den CH-BU (211 ± 16) und den USL-BU (217 ± 8) an den stehenden lebenden Bäumen dieselbe BMH-Dichte pro Hektare (Tabelle 5). Zwar ist die Anzahl BMH-Typen pro Baum im USL-BU (0.81 ± 0.03) um 35% höher als im CH-BU (0.60 ± 0.05), aber die Stammzahl pro Hektare ist im USL-BU (267 ± 2) um 24% geringer als im CH-BU (353 ± 25). Bei den einzelnen BMH-Typen sind «tiefe Mulmhöhlen», «Spalten/breite Risse», «Rindentaschen», «Kronentotholz» und «mehrjährige Pilzfruchtkörper» im USL-BU signifikant häufiger, im CH-BU dagegen «Dendrotelme», «Stammfusshöhlen», «Holz ohne Rinde», «Moose» und «Efeu». Der BMH-Typ «Krebs/Maserknolle» wurde im CH-BU überschätzt, weshalb die Werte nicht mit denen des USL-BU vergleichbar sind. Das höhere Vorkommen von «Harzfluss» stammt von beigemischten Fichten, jenes von «Flechten» zu zwei Dritteln von beigemischten Fichten, Tannen und Laubbäumen. Insgesamt kommen im CH-BU 80% der BMH an Buchen vor (bei einem Stammzahlanteil von 81%). Zieht man auch die Dürrständer mit in Betracht, so sind im USL-BU an den stehenden Bäumen auch «Spechthöhlen» und «flache Baumhöhlen» häufiger als im CH-BU (Tabelle 5). Bei der Anzahl BMH-Typen pro Baum und BHD-Klasse gibt es keine Unterschiede zwischen dem USL-BU und dem CH-BU, ausser in den Randklassen 12–20 cm und über 80 cm, in denen die Werte im USL-BU höher liegen. Die Anzahl BMH-Typen nimmt in beiden Gebieten mit zunehmendem BHD zu (nicht dargestellt), wie das bereits für den gesamten Schweizer Wald festgestellt worden war. Im USL-BU ist die BMH-Dichte (BMH/ha) auf Hängen mit über 60% Neigung leicht höher als in flacheren Lagen, im CH-BU ist sie dagegen erheblich höher (nicht dargestellt).

Totholz birgt per se Baummikrohabitate und gilt als einer der wichtigsten Indikatoren für Biodi-

versität. Das Totholzvolumen, d.h. das Volumen der stehenden und liegenden toten Bäume ab 12 cm BHD, ist im USL-BU ($82.7 \pm 8.3 \text{ m}^3/\text{ha}$) mehr als dreimal so hoch wie im CH-BU (25.1 ± 5.2), das Totholzvolumen der stehenden Bäume sogar fast sechsmal so hoch (Tabelle 6). Dabei ist zu beachten, dass in dieser Studie das Schaftholzvolumen für abgebrochene Dürrständer nicht reduziert wurde, um Vergleiche mit bisherigen LFI-Publikationen zu ermöglichen. Im Gegensatz zum USL-BU entfällt im CH-BU der grösste Teil des Totholzvolumens auf liegende Bäume. Auch qualitativ zeigen sich beträchtliche Unterschiede: Totholz in grösseren Dimensionen (BHD >40 cm), das als ökologisch wertvoller gilt, ist im USL-BU mengenmässig viel häufiger als im CH-BU, besonders bei den Dürrständern (Tabelle 6). Im CH-BU ist das Totholzvolumen pro Hektare in Hanglagen ab 40% Neigung fast achtmal so gross wie im flacheren, befahrbaren Gelände. Im USL-BU dagegen weisen entsprechende Hanglagen einen Viertel weniger Totholz auf (nicht dargestellt). Seit dem LFI4 (2009–2017) hat das Totholzvolumen im CH-BU von $17.2 \pm 2.7 \text{ m}^3/\text{ha}$ auf $25.1 \pm 5.2 \text{ m}^3/\text{ha}$ erheblich zugenommen. Die Zunahme war dabei hauptsächlich beim liegenden Totholz zu verzeichnen (nicht dar-

gestellt). Im USL-BU wurde das Totholzvolumen bei der ersten Inventur (2010) nicht erhoben, dagegen die Totholzmenge, d.h. das Volumen allen stehenden und liegenden Totholzes ab 7 cm Durchmesser. Diese hat sich von der ersten Inventur ($162.7 \pm 9.0 \text{ m}^3/\text{ha}$) zur zweiten Inventur neun Jahre später ($173.4 \pm 10.9 \text{ m}^3/\text{ha}$) nicht signifikant verändert.

Diskussion

Datenqualität und Reproduzierbarkeit

Für Zeitreihenerhebungen wie das LFI ist die Reproduzierbarkeit der Daten von grösster Bedeutung, weil andernfalls keine gesicherten Veränderungen ausgewiesen werden können (Traub et al 2016). Diesbezüglich sind die in Tabelle 2 gezeigten Differenzen zwischen EA und WA problematisch. Auf dieser Basis sind kaum Veränderungen für einzelne BMH nachweisbar, lediglich für die Anzahl BMH insgesamt, die nur eine Differenz von 0.5% aufweist. Das Problem der beschränkten Reproduzierbarkeit von BMH-Erhebungen wurde beim LFI schon früh erkannt (Brändli et al 2011). Paillet et al (2015) bestätigen eine besondere Gefährdung von

Baummikrohabitat	Baumzustand													
	stehend lebend						stehend tot				stehend gesamt			
	CH-BU			USL-BU			CH-BU		USL-BU		CH-BU		USL-BU	
	St./ha	±	%	St./ha	±	%	St./ha	±	St./ha	±	St./ha	±	St./ha	±
1 Spechtbruthöhle	0.7	0.3	0.3	0.6	0.3	0.4	0.9	0.5	1.9	0.5	1.6	0.6	2.5	0.6
2 Flache Mulmhöhle	5.0	1.4	2.1	3.5	0.6	2.1	0.5	0.3	4.9	0.7	5.5	1.4	8.4	1.0
3 Tiefe Mulmhöhle	2.9	0.8	1.2	8.8	0.9	5.3	2.5	1.1	3.2	0.5	5.4	1.5	12.0	1.0
4 Insektengänge/-bohrlöcher	0.0	0.0	0.0	0.6	0.2	0.4	–	–	–	–	–	–	–	–
5 Dendrotelm	14.7	3.8	6.3	8.8	1.0	5.3	–	–	–	–	–	–	–	–
6 Stammschwamm	61.1	5.9	26.4	46.9	2.7	28.1	2.3	0.8	3.4	0.6	63.4	6.2	50.3	2.8
7 Holz ohne Rinde	27.9	3.1	12.1	20.7	1.6	12.4	–	–	–	–	–	–	–	–
8 Brandnarbe	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	–	–	–	–	–	–	–	–
9 Rindentasche	2.7	0.8	1.2	7.1	0.9	4.3	8.0	2.7	7.7	1.2	10.7	2.8	14.9	1.4
10 Stamm-/Starkastbruch	3.2	1.0	1.4	2.9	0.5	1.7	2.2	0.9	4.7	0.8	5.5	1.3	7.6	1.0
11 Spalte/breiter Riss	0.8	0.4	0.3	2.3	0.5	1.4	2.0	1.0	2.4	0.5	2.8	1.1	4.6	0.7
12 Kronentotholz	17.0	4.3	7.4	29.2	2.6	17.5	–	–	–	–	–	–	–	–
13 Krebs/Maserknolle	21.8	6.2	9.4	13.1	1.3	7.9	–	–	–	–	–	–	–	–
14 Mehrjähriger Pilzfruchtkörper	0.0	0.0	0.0	2.0	0.4	1.2	1.6	0.8	4.0	0.7	1.6	0.8	6.1	0.9
15 Kurzlebige Pilzfruchtkörper	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.0	0.0	–	–	0.2	0.2	–	–
16 Moose	58.3	6.7	25.2	19.1	2.4	11.4	2.8	1.0	2.2	0.4	61.1	7.1	21.3	2.6
17 Flechten	2.8	1.5	1.2	0.7	0.3	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	2.9	1.5	0.8	0.3
18 Efeu	10.4	2.3	4.5	0.1	0.1	0.1	0.5	0.4	0.0	0.0	10.9	2.4	0.1	0.1
19 Harzfluss	2.0	0.6	0.9	0.1	0.1	0.1	–	–	–	–	–	–	–	–
			100			100								
Anzahl Mikrohabitate pro Hektare (St./ha)	211	16		217	8		–	–	–	–	–	–	–	–
Anzahl Mikrohabitatstypen pro Baum (St./Baum)	0.6	0.1		0.8	0.0		–	–	–	–	–	–	–	–
Stammzahl insgesamt (mit und ohne BMH)	353	25		267	2		17	4	16	10	370	26	283	2
Anzahl Probestämme	1294			5423			53		272		1347		5695	
Anzahl Probestflächen	135			238			135		238		135		238	

Tab 5 Stammzahl der stehenden Bäume ab 12 cm Brusthöhendurchmesser nach Vorkommen von Baummikrohabitatstypen und Baumzustand im Schweizer Buchenwald (CH-BU; LFI5 2018–2020) und im Buchenurwald Uholka-Schyrokyj Luh (USL-BU; Inventur 2019), ± Standardfehler der Schätzung. – Vorkommen an stehenden toten sowie an stehenden Probestämmen insgesamt nicht erhoben.

BHD	CH-BU						USL-BU					
	Baumzustand						Baumzustand					
	stehend tot		liegend tot		gesamt		stehend tot		liegend tot		gesamt	
	m ³ /ha	±	m ³ /ha	±	m ³ /ha	±	m ³ /ha	±	m ³ /ha	±	m ³ /ha	±
12–20 cm	1.1	0.3	1.3	0.4	2.4	0.5	0.8	0.1	0.6	0.1	1.4	0.2
21–40 cm	3.5	1.3	4.2	1.1	7.7	1.9	2.9	0.6	2.6	0.5	5.5	0.7
41–60 cm	3.2	1.2	7.1	2.2	10.3	2.8	10.0	1.8	8.3	2.3	18.2	2.9
61–80 cm	0.8	0.7	4.0	2.2	4.8	2.3	21.2	3.5	15.4	3.2	36.6	4.8
> 80 cm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.2	3.9	6.8	2.6	21.0	4.5
Total	8.5	1.9	16.6	4.3	25.1	5.2	49.0	5.8	33.7	5.7	82.7	8.3

Tab 6 Totholzvolumen der Bäume ab 12 cm Brusthöhendurchmesser (BHD) nach Baumzustand im Schweizer Buchenwald (CH-BU; LFI5 2018–2020) und im Buchenurwald Uholka-Schyrokyj Luh (USL-BU; Inventur 2019), ± Standardfehler der Schätzung.

BMH-Inventuren durch Beobachtereffekte. Eine erste LFI-Studie auf dem Marteloskop Sihlwald hat ergeben, dass auch der Einsatz von Feldstechern und mehr Zeit für die Beurteilung eines Baumes zu keinen signifikant anderen BMH-Häufigkeiten führten (Quarteroni & Brändli 2017, Quarteroni 2016). Dagegen konnte gezeigt werden, dass die LFI-Teams in der Lage sind, selbst aus Distanzen von 30 m die Durchmesser von Ästen und Stämmen auf ± 1 cm genau zu schätzen. Dies lässt vermuten, dass das Einschätzen der Grösse eines BMH für routinierte Feldleute das kleinere Problem ist als das Erkennen desselben, zum Beispiel im belaubten Baumzustand oder bei schlechten Lichtverhältnissen. Da eine Inventur wie das LFI aber ungeachtet dieser Verhältnisse von Frühjahr bis Spätherbst Daten erheben muss, kann die Datenqualität durch weiteres Training insgesamt wohl kaum in sehr grossem Mass gesteigert werden.

In einer künftigen Studie sollen die Gründe für die unbefriedigende Reproduzierbarkeit pro BMH-Typ im LFI und das Potenzial von vertiefter Ausbildung abgeklärt werden. Bis dahin läuft vorerst verstärkt die Schulung auf BMH-Typen, die im LFI5 bisher eine (besonders) schlechte Reproduzierbarkeit gezeigt haben. Lerneffekte sollten dann wiederholt auf wechselnden Testparcours überprüft werden. Weiter wäre zur Steigerung der Reproduzierbarkeit denkbar, die subjektive Einschätzung der Feldteams durch Messungen mittels naher Fernerkundung (Laserscanning, Fotogrammetrie) zu ersetzen. Auch wenn das LFI mit seinen weltweit ersten Versuchen dieser Art erstaunlich gute Ergebnisse in der automatischen Erkennung von wichtigen BMH erzielen konnte (Rehush et al 2018), ist der Weg bis zu einer operationellen Anwendung mangels aufwendig zu erhebender Trainingsdaten sehr ungewiss oder zumindest lang.

Überblick Schweizer Wald

Das LFI ist die erste Grossraum- und Nationalinventur, die den grössten Teil des Kataloges von BMH nach den Definitionen von Larrieu et al (2018) erhebt. Dadurch ist sie eine erste Referenz. Es zeigt

sich anhand der LFI-Daten, dass einige wenige häufige BMH-Typen (Flechtenbewuchs, Moosbewuchs, Stammfusshöhlen, Harzfluss, Kronentotholz, Holz ohne Rinde) die gesamte BMH-Dichte (BMH/ha) stark prägen, während relativ seltene und möglicherweise ökologisch bedeutendere BMH-Typen (Spechtbruthöhlen, Spalten, tiefe Mulmhöhlen, Dendrotelme, Rindentaschen) viel weniger ins Gewicht fallen (Tabelle 3). Auch tritt im LFI die Mehrzahl der BMH-Typen an Dürrständern häufiger als an lebenden stehenden Bäumen auf. Das unterstreicht nicht nur den besonderen ökologischen Wert von Dürrständern, sondern zeigt auch, dass bei gleicher Typologie und gleicher Definition der BMH Vergleiche nur dann zulässig sind, wenn auch die Definition der Probestämme übereinstimmt (lebend/tot, Kluppschwelle). Die Daten aus dem USL-BU belegen, dass der Anteil Bäume mit einem BMH (Habitatbäume) stark von der Kluppschwelle abhängt: Bei 6 cm sind es 38%, bei 7.5 cm 41%, bei 12 cm 47% und bei 30 cm 64%. Publikationen ohne Angabe der Kluppschwelle sind demnach für Vergleiche von Habitatbaumanteilen nicht geeignet.

Im USL-BU weisen 47%, im CH-BU 43% und im gesamten Schweizer Wald 58% der stehenden lebenden Bäume ab 12 cm BHD einen oder mehrere vergleichbare BMH-Typen auf. Mehrheitlich bewirtschaftete Wälder wie der Schweizer Wald können demnach ähnlich viele Habitatbäume aufweisen wie Natur- und Urwälder. In einer Fallstudie fanden Büttler & Lachat (2009) für die Schweiz in letztmals vor 5 bis 10 Jahren genutzten Beständen 95 BMH/ha und in solchen ohne Nutzung seit mindestens 30 Jahren 220 BHM/ha (Faktor 2.3). Die entsprechenden Werte des LFI für die Schweiz liegen bei 258 BMH/ha und 494 BMH/ha (Faktor 1.9). Die Fallstudie und das LFI zeigen die gleichen Tendenzen, aber die absoluten Werte (BMH/ha) sind nicht vergleichbar, weil vermutlich nicht mit derselben Typologie und derselben Erhebungsmethode gearbeitet wurde. Die Bewirtschaftung reduziert gemäss LFI das Vorkommen der BMH pro Baum gleichermassen wie die Stammzahl pro Hektare. Bei der Durchforstung werden Bäume mit überdurchschnittlich vielen BMH vermehrt ge-

nutzt, um Raum zu schaffen für Bäume von besserer Holzqualität (mit weniger Schäden bzw. BMH).

Weitere wichtige Faktoren, die die BMH-Dichte bestimmen, sind gemäss LFI die Baumart und der Baumdurchmesser (Tabelle 4; Bütler et al 2020), aber auch Standortfaktoren wie die Höhenlage und die Hangneigung (und somit auch die Befahrbarkeit). Je nach Waldeigentum (öffentlich/privat in Tieflagen) oder vorherrschender Waldfunktion (Vorrangfunktion) zeigen sich ebenfalls Unterschiede in der BMH-Dichte, wobei bei den Waldfunktionen die Baumartenmischung und die Durchmesser-Verteilung eine bedeutende Rolle spielen. Im Zusammenspiel all dieser Faktoren zeigen sich die Regionen, in denen die BMH-Dichte tief ist (Abbildung 4) und möglicherweise der grösste Handlungsbedarf besteht, nämlich im gesamten Mittelland und in der Wirtschaftsregion Jura Ost. Die Förderung von BMH lässt sich dabei über die Baumart, die Durchmesser, die Art der Auslese bei der Durchforstung und die Durchforstungsintensität steuern.

Schweizer Buchenbestände – ukrainischer Buchenurwald

Vergleiche zwischen dem CH-BU gemäss LFI und dem USL-BU wurden bereits nach der ersten Stichprobeninventur in Uholka-Schyrokyj Luh angestellt und ergaben, dass grosse Holzkörperverletzungen im CH-BU etwas häufiger, dagegen lange Risse im Holzkörper nur halb so häufig vorkommen wie im USL-BU (Brändli & Abegg 2013). Dies deckt sich annähernd mit den neuen Ergebnissen zu den BMH-Typen «Holz ohne Rinde» und «breiter Spalt» (Tabelle 5). Dies ist ein Indiz, dass sich gewisse Baum-schäden (aus früheren LFI-Erhebungen) als Proxy-Variablen für BMH eignen könnten, wenn es darum geht, deren Entwicklung seit dem LFI1 einzuschätzen. Dagegen scheint die 10-ha-Versuchsfläche in Uholka (Stillhard et al 2019b) bezüglich BMH nicht für den gesamten USL-BU repräsentativ zu sein. Vergleiche mit Ergebnissen von Jahed et al (2020) für diese Versuchsfläche zeigen, dass beispielsweise die Dichte (Anzahl/ha) von Spechtlöchern, Baumhöhlen, Dendrotelmen, Stammschälhöhlen, Holz ohne Rinde und Kronentotholz im USL-BU für Bäume ab 12 cm BHD erheblich höher ist (Faktor 2 und mehr) als auf der Versuchsfläche – dies trotz der dort tieferen Kluppschwelle von 7 cm. Wie weit dies allenfalls methodisch bedingt ist, zum Beispiel durch andere Definitionen der BMH, ist nicht bekannt.

Überraschend ist der Umstand, dass die Anzahl BMH pro Hektare an stehenden lebenden Bäumen im USL-BU gleich gross ist wie im CH-BU. Entscheidend ist demnach nicht nur die Anzahl BMH-Typen pro Baum, sondern eben auch die Stammzahl pro Hektare. Letztere ist in bewirtschafteten Wäldern, die im Durchschnitt jünger sind, in der Regel grösser als in Urwäldern mit ihrem grösseren Anteil an

dicken Bäumen, die mehr Standraum einnehmen. Bei den einzelnen BMH-Typen bestehen bezüglich Dichte teilweise keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 5). Einige BMH-Typen (tiefe Mulmhöhlen, Spalten, breite Risse, Rindentaschen, Kronentotholz, mehrjährige Pilzfruchtkörper) scheinen typisch für Urwälder zu sein. Dendrotelme dagegen entstehen oder entstanden nicht selten als Folge einer früheren (Niederwald-)Bewirtschaftung. Dass Stammschälhöhlen sowie Holz ohne Rinde im CH-BU häufiger sind, liegt aber nur daran, dass dort auch die Stammzahl insgesamt höher ist: An der Gesamtzahl der BMH an stehenden lebenden Bäumen haben diese zwei BMH-Typen nämlich in beiden Gebieten dieselben Anteile (26 bzw. 28% sowie je 12%, Tabelle 5). Dass der Bewuchs mit Moosen und Efeu im CH-BU erheblich höher ist, ist möglicherweise ein Indiz dafür, dass er sich in luftfeuchteren Lagen befindet als der USL-BU.

Als Ergänzung zur ökologischen Analyse der einzelnen BMH-Typen wird die BMH-Dichte zur gesamtheitlichen Bewertung von Beständen oder zur räumlichen und standörtlichen Differenzierung (Hotspots) verwendet. Die gleiche Dichte von BMH pro Hektare im CH-BU und im USL-BU führt dabei zwingend zur Frage, wie weit es sinnvoll und aus ökologischer Sicht (Erhaltung der Artenvielfalt) zulässig ist, die verschiedenen BMH-Typen gleichwertig aufzurechnen. Hier fehlt noch ein Konsens in der Bewertung, ebenso in der Frage, ob man ein effizientes Monitoring (Zeitreihe) nicht mit einigen wenigen Schlüssel-BMH durchführen kann, und wenn ja, mit welchen.

Überraschend ist auch, dass die Anzahl Dürrständer (Kluppschwelle 12 cm) mit 17 und 16 Stämmen/ha in beiden Gebieten gleich gross ist (Tabelle 5). Wenn aber die Dürrständer im USL-BU bei allen BMH-Typen ausser «breiter Spalt» und «Bewuchs mit Moos und Efeu» eine grössere Anzahl aufweisen, so liegt das wohl daran, dass diese im Durchschnitt dicker sind und von entsprechend älteren Bäumen stammen. So ist das Totholzvolumen der Dürrständer bei gleicher Stammzahl im USL-BU fast sechsmal so hoch wie im CH-BU (Tabelle 6). Im USL-BU weisen flachere Lagen bis 40% Neigung etwa ein Viertel mehr Totholz auf als steilere, möglicherweise wegen einer stärkeren Windexposition. In CH-BU dagegen sind steilere Lagen reicher an Totholz, vermutlich weil das Holz dort weniger abtransportiert wird. So weist insbesondere der CH-BU im befahrbaren Gelände sehr geringe Totholzvolumen (rund 5 m³/ha) auf, und es besteht ein erheblicher Handlungsbedarf bezüglich Totholzförderung.

Folgerungen und Ausblick

Die teils sehr beschränkte Reproduzierbarkeit bei der Erhebung der Mehrzahl der BMH-Typen lässt

darauf schliessen, dass es nahezu unmöglich ist, mit verhältnismässigem Aufwand die effektive (wahre) Anzahl gewisser BMH-Typen zu ermitteln, dies selbst auf der Basis der klaren Definitionen der BMH-Typologie von Larrieu et al (2018). Vor diesem Hintergrund sind Vergleiche mit anderen Erhebungen nicht zulässig, wenn nicht mit identischen Definitionen und unter vergleichbaren Bedingungen gearbeitet wurde. Die Ergebnisse aus den beiden Studiengebieten zeigen, dass bei gleich geschulten Teams relative Betrachtungen (Abhängigkeiten, Vergleich von Häufigkeiten pro Baum und Hektare) möglich sind und zu wertvollen Erkenntnissen über Zusammenhänge und Hotspots führen können. Welche BMH-Typen geeignet sind für Zeitreihen, lässt sich nach Abschluss des LFIS bei ausreichender Datenmenge ermitteln.

Um die Reproduzierbarkeit der BMH-Erhebungen im LFI zu erhöhen, sind vermehrt gezielte Schulungen der Aufnahmegruppen, Übungen auf Parcours und auf Probeflächen mit widersprüchlichen EA und WA vorgesehen. Von besonderem Interesse ist dabei, welche BMH-Typen durch solche Trainings (mit der Zeit) wirklich mit angemessenem Aufwand verlässlicher erhoben werden können – bei welchen Typen sich also eine intensive Schulung auszahlt und bei welchen nicht. Auf dieser Basis kann ein Set von «robusten» BMH-Typen entwickelt werden, das im Waldmonitoring besonders empfohlen werden kann.

Wenn Ende 2026 die Felddaten zum LFIS abgeschlossen sind, liegen rund dreimal so viele Daten vor und die Schätzfehler sind kleiner. Dadurch sind zum Beispiel auch Karten mit feinerer räumlicher Auflösung möglich, die noch deutlicher zeigen, wo einerseits bereits heute viele BMH vorhanden sind und wo andererseits die Praxis aus Waldwirtschaft und Naturschutz die BMH noch stärker fördern könnte/sollte. ■

Eingereicht: 3. Dezember 2020, akzeptiert (mit Review): 28. Mai 2021

Dank

An die Feldmitarbeitenden des LFIS und der Zweitinventur Uholka-Schyrokyj Luh für ihre gewissenhafte Erhebung der Baum-mikrohabitate, an die Einsatzleiter Fabrizio Cioldi, Jonas Stillhard und Mykola Korol für die Schulung der Feldteams sowie an Thibault Lachat, Laurent Larrieu und Rita Bütler für die Unterstützung bei der Entwicklung des BMH-Datenkataloges.

Literatur

- BÖHL J, BRÄNDLI UB (2007)** Deadwood volume assessment in the third Swiss National Forest Inventory: methods and first results. *Eur J For Res* 126: 449–457.
- BOLLMANN K, KÜCHLER M, ECKER K, LACHAT T, BERGAMINI A ET AL (2013)** Evaluation von Biodiversitätsindikatoren im Schweizerischen Landesforstinventar durch die Forschungseinheit Biodiversität und Naturschutzbiologie. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL, unveröff. 14 p.
- BRÄNDLI UB, ABEGG M (2013)** How natural are Swiss beech forests? In: Internat Conf Primeval beech forests reference systems for the management and conservation of biodiversity, forest resources and ecosystem services. June 2nd to 9th, 2013 Lviv, Ukraine. Abstracts. Birmensdorf: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research. p. 69.
- BRÄNDLI UB, ABEGG M, ALLGAIER LEUCH B, EDITORS (2020A)** Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL. 341 p.
- BRÄNDLI UB, ABEGG M, ALLGAIER LEUCH B, BISCHOF S, CIOLDI F ET AL (2020B)** Das Landesforstinventar. In: Brändli UB, Abegg M, Allgaier Leuch B, editors. Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der vierten Erhebung 2009–2017. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL. pp. 11–33.
- BRÄNDLI UB, ABEGG M, BÜTLER R (2011)** Lebensraum-Hotspots für saproxyliche Arten mittels LFI-Daten erkennen. *Schweiz Z Forstwes* 162: 312–325. doi: 10.3188/szf.2011.0312
- BRÄNDLI UB, DOWHANYTSCH J, EDITORS (2003)** Urwälder im Zentrum Europas. Ein Naturführer durch das Karpaten-Biosphärenreservat in der Ukraine. Bern: Haupt. 192 p.
- BRÄNDLI UB, HÄGELI M (2019)** Swiss NFI at a glance. In: Fischer C, Traub B, editors. Swiss National Forest Inventory – methods and models of the fourth assessment. Cham: Springer, Managing forest ecosystems 35. pp. 3–35.
- BÜTLER R, LACHAT T (2009)** Wälder ohne Bewirtschaftung: eine Chance für die saproxyliche Biodiversität. *Schweiz Z Forstwes* 160: 324–333. doi: 10.3188/szf.2009.0324
- BÜTLER R, LACHAT T, KRUMM F, KRAUS D, LARRIEU L (2020A)** Taschenführer der Baummikrohabitate. Beschreibung und Schwellenwerte für Felddaten. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL. 58 p.
- BÜTLER R, LACHAT T, KRUMM F, KRAUS D, LARRIEU L (2020B)** Habitatbäume kennen, schützen und fördern. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL, *Merbl Prax* 64. 12 p.
- COMMARMOT B, BRÄNDLI UB, HAMOR F, LAVNYI V, EDITORS (2013)** Inventory of the largest primeval beech forest in Europe. A Swiss-Ukrainian scientific adventure. Birmensdorf: Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL. 69 p.
- DÜGGELIN C, ABEGG M, BISCHOF S, BRÄNDLI UB, CIOLDI F ET AL (2020)** Schweizerisches Landesforstinventar. Anleitung für die Felddaten der fünften Erhebung 2018–2026. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL, *Ber* 90. 274 p.
- HILL A, MASSEY A, MANDALLAZ D (2017)** Forest inventory: design-based global and small-area estimations for multiphase forest inventories. R package version 0.2.0. Vienna: R Core Team.
- JAHED RR, KAVOUSI MR, FARASHIANI ME, SAGHEB-TALEBI K, BAKANNEZHAD M ET AL (2020)** A comparison of the formation rates and composition of tree-related microhabitats in beech-dominated primeval Carpathian and Hyrcanian forests. *For-ests* 11: 144.
- KRAUS D, BÜTLER R, KRUMM F, LACHAT T, LARRIEU L ET AL (2016)** Katalog der Baummikrohabitate – Referenzliste für Felddaten. Freiburg i.Br.: European Forest Institute, EFICENT, Integrate+ Technical Paper. 16 p.
- LARRIEU L, PAILLET Y, WINTER S, BÜTLER R, KRAUS D ET AL (2018)** Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: a hierarchical typology for inventory standardization. *Ecol Indic* 84: 194–207.
- MANDALLAZ D (2007)** Sampling techniques for forest inventories. Boca Raton: Chapman & Hall. 256 p.
- PAILLET Y, COUTADEUR P, VUIDOT A, ARCHAUX F, GOSSELIN F (2015)** Strong observer effect on tree microhabitats inventories: a case study in a French lowland forest. *Ecol Indic* 49: 14–23.
- QUARTERONI A (2016)** Intégration des dendromicrohabitats du protocole LFIS: quelles possibilités? Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anstalt WSL, Wissenschaftlicher Dienst LFI, unveröff. 67 p.

- QUARTERONI A, BRÄNDLI UB (2017)** Les dendromicrohabitats dans l'Inventaire forestier national suisse. Zürich: Schweizerischer Forstverein, Infoblatt Arbeitsgruppe Waldplanung und -management (1): 10–14.
- REHUSH N, ABEGG M, WASER LT, BRÄNDLI UB (2018)** Identifying tree-related microhabitats in TLS point clouds using machine learning. *Remote Sens* 10: 1735.
- STILLHARD J, ABEGG M, KELLER S, DÜGGELIN C, BRÄNDLI UB (2019A)** Stichprobeninventur im Buchenurwald Uholka-Schyrokyj Luh. Anleitung für die zweite Inventur 2019. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt WSL. 70 p.
- STILLHARD J, HOBI M, HÜLSMANN L, BRANG P, GINZLER C ET AL (2019B)** Stand inventory data from the 10-ha forest research plot in Uholka: 15 yr of primeval beech forest development. *Ecology* 100: e02845.
- TRAUB B, CIOLDI F, DÜGGELIN C (2016)** Wiederholungsaufnahmen als Instrument zur Qualitätssicherung im Schweizerischen Landesforstinventar. *Schweiz Z Forstwes* 167: 118–127. doi: 10.3188/szf.2016.0118
- TRAUB B, CIOLDI F, DÜGGELIN C, KELLER M, GINZLER C (2019A)** Quality in aerial-image interpretation and field survey. In: Fischer C, Traub B, editors. *Swiss National Forest Inventory – methods and models of the fourth assessment*. Cham: Springer, *Managing forest ecosystems* 35. pp. 339–365.
- TRAUB B, MEILE R, SPEICH S, RÖSLER E (2019B)** The Swiss National Forest Inventory data analysis system. In: Fischer C, Traub B, editors. *Swiss National Forest Inventory – methods and models of the fourth assessment*. Cham: Springer, *Managing forest ecosystems* 35. pp. 299–336.

Dendromicrohabitats dans la forêt suisse et dans la hêtraie vierge d'Uholka-Schyrokyj Luh

Les arbres-habitats forment une composante-clé de la biodiversité forestière. Depuis 20 ans environ, la signification des dendromicrohabitats (DMH) est reconnue comme espace vital pour des milliers d'espèces en partie très spécialisées; ces DMH gagnent ainsi en importance dans le monitoring de la forêt. L'introduction de la première typologie des DMH a permis à l'Inventaire forestier national suisse (IFN) et à l'inventaire de la hêtraie vierge d'Uholka-Schyrokyj Luh en Ukraine d'être les premiers inventaires de grande ampleur à disposer de données de référence représentatives. Même si la reproductibilité est plutôt mauvaise pour certains types de DMH, des premières comparaisons pleines d'enseignements semblent possibles, après trois années de relevés du cinquième IFN. Dans la forêt suisse, 60% des arbres vivants sur pied avec un diamètre à hauteur de poitrine à partir de 12 cm hébergent au moins un DMH. Les plus fréquents (en nombre par hectare) sont ceux avec une couverture de lichens (73), de mousse (67), des concavités à fond dur de tronc (53), du bois mort dans le houppier (47) et des écoulements de résine (37) et plus rarement des cavités à terreau profondes (4), des fentes (1), des loges de pics (1) et des sporophores de champignons (1). Le sapin (0.6) est l'essence qui héberge le moins de types de DMH, alors que l'arole (1.6), les chênes (1.4) et le châtaignier (1.3) en hébergent le plus. Le nombre des divers DMH augmente en général avec le diamètre de l'arbre. La densité des DMH varie selon la fonction forestière, les conditions de propriété, la dernière exploitation, l'altitude et la pente. Les valeurs basses sur le Plateau et dans l'est du Jura pourraient indiquer un besoin d'agir. La densité des DMH sur les arbres vivants est aussi grande dans la hêtraie suisse que dans la hêtraie vierge d'Uholka-Schyrokyj Luh. Les cavités profondes, les écorces décollées, le bois mort dans le houppier et les sporophores pérennes sont plus fréquents dans la hêtraie vierge alors que les dendrotelmes et la couverture de mousse ou de lierre est plus fréquente dans la hêtraie suisse. La plus grande différence écologique se situe dans le volume de bois mort qui est presque trois fois plus grand dans la hêtraie vierge, et même six fois plus pour les arbres secs sur pied.

Tree-related microhabitats in the Swiss forest and in the Uholka-Schyrokyj Luh primeval beech forest

Habitat trees are a key component for forest biodiversity. Tree-related microhabitats (TreM) were identified about 20 years ago as important habitats for thousands of species, some of which are highly specialised, and are increasingly being taken into consideration in forest monitoring. With the introduction of the first European TreM typology, the Swiss National Forest Inventory (NFI) and the inventory in the primeval beech forest Uholka-Schyrokyj Luh in Ukraine became the first large-scale inventories to have representative reference data. Although the reproducibility of some TreM types is rather poor, it is now possible, after three survey years of the fifth NFI, to make initial informative comparisons. In the Swiss forest, 60% of the standing living trees with a diameter at breast height of 12 cm or more have at least one TreM. The most frequent TreMs per hectare are those with lichen cover (73), moss cover (67), buttress-root concavities (53), crown deadwood (47), and resin flow (37), whereas those with deep rot holes (4), cracks (1), woodpecker breeding cavities (1), and fungal fruiting bodies (1) are rarer. The tree with the fewest TreM types is the silver fir (0.6), and the most are found on stone pines (1.6), oaks (1.4) and chestnuts (1.3). In general, the number of different TreM types increases with increasing tree diameter. TreM density varies according to forest function, forest ownership, previous use, altitude, and slope. The low frequency on the Central Plateau and in the eastern Jura could indicate that action is needed. The TreM density on living trees in Swiss beech forests is the same as in the Uholka-Schyrokyj Luh primeval beech forest. However, deep tree cavities, bark pockets, crown deadwood and perennial fungal fruiting bodies are more common in Ukraine's primeval beech forest. In contrast, dendrotelmes, moss and ivy growth are more common in Switzerland's beech forests. Probably the most important ecological difference is in the volume of deadwood, which is almost three times higher in the primeval beech forest than in Swiss beech forests, and as much as six times higher if the focus is on standing dead trees.