



Vergleich der Mulmhöhlen im Sihlwald und dem Buchenurwald Uholka

Semesterarbeit 1 von Joëlle Rügsegger
Vorgelegt bei Dr. Thibault Lachat
Zollikofen, 03. September 2021

Selbstständigkeitserklärung und Gewährung der Nutzungsrechte

Durch meine Unterschrift erkläre ich, dass

- ich die „Richtlinien über den Umgang mit Plagiaten an der Berner Fachhochschule“ kenne und mir die Konsequenzen bei deren Nichtbeachtung bekannt sind,
- ich diese Arbeit in Übereinstimmung mit diesen Grundsätzen erstellt habe,
- ich diese Arbeit persönlich und selbständig erstellt habe,
- ich mich einverstanden erkläre, dass meine Arbeit mit einer Plagiat-Erkennungssoftware getestet und in die BFH-Datenbank der Software aufgenommen wird,
- ich der HAFL ein kostenloses, unbefristetes, nicht-exklusives Nutzungsrecht an meiner Arbeit gewähre.

Ort, Datum Zollikofen, 03. September 2021

Unterschrift 

Mitteilung über die Verwendung von studentischen Arbeiten der Hochschule für Agrar-, Forst und Lebensmittelwissenschaften HAFL

Alle Rechte an Semesterarbeiten, Minorarbeiten sowie Bachelor und Master Theses der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL sind im Besitze des/der Verfasser/in der Arbeit. Die HAFL genießt jedoch ein kostenloses, unbefristetes, nicht-exklusives Nutzungsrecht an den Arbeiten ihrer Studierenden.

Semesterarbeiten, Minorarbeiten sowie Bachelor und Master Theses sind Bestandteile des Ausbildungsprogramms und werden von den Studierenden selbständig verfasst. Die HAFL übernimmt keine Verantwortung für eventuelle Fehler in diesen Arbeiten und haftet nicht für möglicherweise daraus entstehende Schäden

Zollikofen, Dezember 2015
Die Direktion

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	3
Abstract	4
1 Einleitung.....	5
2 Stand der Forschung	6
2.1 Waldarten	6
2.1.1 Urwald	6
2.1.2 Naturwald	6
2.2 Biodiversität	6
2.3 Habitatbäume.....	6
2.4 Mulmhöhlen	7
3 Methode und Material	8
3.1 Untersuchungsgebiete	8
3.1.1 Sihlwald	8
3.1.2 Buchenurwald Uholka	8
3.2 Methode	8
3.3 Material	9
3.4 Auswertung	10
4 Ergebnis.....	11
4.1 Dichte der Mulmhöhlen	11
4.2 Grösse der Höhlenbäume	12
4.3 Art der Mulmhöhlen	12
4.3.1 Eingangsgrosse der Mulmhöhlen	12
4.3.2 Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen	13
4.4 Baumarten und Vitalität der Höhlenbäume.....	13
5 Diskussion	14
5.1 Dichte der Mulmhöhlen	14
5.2 Grösse der Höhlenbäume	14
5.2.1 Brusthöhendurchmesser der Höhlenbäume	14
5.2.2 Stammzahlverteilung der Höhlenbäume in BHD-Klassen.....	15
5.3 Art der Mulmhöhlen	16
5.3.1 Eingangsgrosse der Mulmhöhlen	16
5.3.2 Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen	16
5.4 Baumarten der Höhlenbäume	16
5.5 Vitalität der Höhlenbäume	17
6 Schlussfolgerung.....	18
Literaturverzeichnis.....	19
Dank	21
Anhang	22

Abkürzungsverzeichnis

BHD: Brusthöhendurchmesser
BMH: Baummikrohabitate

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufnahmeprotokoll Sihlwald	9
Tabelle 2: Material für die Feldaufnahme der Mulmhöhlen im Sihlwald	10
Tabelle 3: Ergebnisse der Datenerhebungen vom Sihlwald und Buchenurwald Uholka	11

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen.....	9
Abbildung 2: Anzahl Höhlenbäume pro Teilfläche im Sihlwald und im Buchenurwald Uholka.....	11
Abbildung 3: BHD der Höhlenbäume im Sihlwald und im Buchenurwald Uholka.....	12
Abbildung 4: Anzahl Höhlenbäume pro BHD-Klasse vom Sihlwald und Buchenurwald Uholka	12
Abbildung 5: Eingangsgrößen der Mulmhöhlen im Sihlwald und Buchenurwald Uholka	13
Abbildung 6: Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen im Sihlwald und Buchenurwald Uholka	13

Abstract

RÜEGSEGG, Joëlle. Vergleich der Mulmhöhlen im Sihlwald und dem Buchenurwald Uholka

An Jahrhundertalten Baumriesen sind es unter anderem die Mulmhöhlen, welche die Artenvielfalt in den Wäldern bereichert. Im Sihlwald wurde deswegen die Holzbewirtschaftung im Jahre 2000 eingestellt, um die Biodiversität zu fördern und zu erhalten sowie einen urwaldähnlichen Buchenwald zurückzugewinnen – wie es noch heute der Buchenurwald von Uholka ist.

Diese Semesterarbeit hat zum Ziel, die Unterschiede und Ähnlichkeiten der Mulmhöhlen im Sihlwald und im Buchenurwald Uholka zu untersuchen und zu interpretieren. Dafür wurde im Sihlwald auf einer Fläche von 10 ha jeder Baum (≥ 6 cm BHD) vom Stammfuss bis auf eine Höhe von 2 Meter auf Mulmhöhlen untersucht, wobei die Höhlen eine Einstiegsdurchmesser ≥ 3 cm aufweisen mussten. Bei einem Fund wurden Baumart und deren Vitalität, Eingangsgrösse und Entwicklungsstadium der Mulmhöhle notiert. Mit einem statistischen Modell wurden schlussendlich die Vergleiche zwischen Sihlwald und Uholka ermittelt.

Dabei kam heraus, dass die Anzahl Mulmhöhlen pro Hektare im Sihlwald bei 6 und im Buchenurwald Uholka bei 10 liegt. Des Weiteren sind die meisten Mulmhöhlen im Sihlwald (87 %) wie auch im Buchenurwald Uholka (94 %) an Buchen zu finden. Die Stammzahlverteilung in BHD-Klassen der Höhlenbäume im Sihlwald beginnt bereits bei 8 cm und endet bei 88 cm. Mit einem deutlichen Unterschied dazu fängt die Einteilung im Buchenurwald Uholka erst bei 18 cm an und läuft bei 118 cm Stammbreite aus. Der Grossteil der Mulmhöhlen im Sihlwald (64 %) und in Buchenurwald Uholka (71 %) haben eine Eingangsgrösse von > 20 cm. Dabei sind die Mehrheit der Höhlen (41 %) im Sihlwald in das Entwicklungsstadium 4 eingeteilt worden, wo der Mulm erstmals ersichtlich ist. Im Buchenurwald Uholka dagegen ist die Mehrheit der Mulmhöhlen (38 %) in das Entwicklungsstadium 6 kategorisiert worden, wo schon viel Mulm vorhanden ist.

Gemäss zugezogener Literatur wird darüber diskutiert, dass der Sihlwald vermutlich beim Wechsel vom bewirtschafteten Hochwald zum Naturwaldreservat kaum Mulmhöhlen beherbergte, was die heute noch tiefere Mulmhöhlendichte sowie die wenig fortgeschrittenen Entwicklungsstadien erklären. Des Weiteren wird darüber ausgetauscht, dass der Sihlwald noch deutlich jünger ist als der Buchenurwald Uholka. Beispielsweise wird aufgezeigt, dass in Wirtschaftswäldern – vor 20 Jahren auch im Sihlwald – Bäume bereits im Alter von ungefähr 90 bis 150 Jahren geerntet werden. Die *F. sylvatica* könnte jedoch bis zu 250 Jahre alt werden, was also im unberührten Buchenurwald Uholka möglich wäre. Allerdings kann in Zukunft sogar mit einer signifikanten Mulmhöhlen Zunahme gerechnet werden, je grösser die Stammdurchmesser zunehmen. Anhand schematischen Stammzahlverteilungen in BHD-Klassen kann die Struktur des Sihlwaldes verglichen werden. Der Sihlwald ähnelt noch immer einem Wirtschaftswald, da seine Höhlenbäume genau eine solche Stammzahlverteilung in BHD-Klassen aufweist wie in bewirtschafteten Hochwäldern. Weiter wird darüber diskutiert, dass die bereits grossen Eingänge der Mulmhöhlen im Sihlwald vermutlich auf den Sturm «Lothar» zurückzuführen sind. Der Sturm hat wahrscheinlich grosse Verletzungen bei überlebenden Bäumen hinterlassen, woraus sich von Anfang an grössere Mulmhöhlen entwickeln konnten.

Als Fazit dieser Studie kann gesagt werden, dass der Sihlwald noch heute starke Rückstände der vergangenen Forstwirtschaft mit sich trägt. Jedoch weist der Sihlwald gute Voraussetzungen auf, sich einst in einen ähnlichen Buchenurwaldzustand zu verwandeln. Bereits heute sind mehrere Ähnlichkeiten zu beobachten, wobei die Unterschiede noch deutlich überwiegen. Beispielsweise die Dichte, die Stammzahlverteilung in BHD-Klassen oder die Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen sind im Sihlwald noch bedeutend tiefer als im Buchenurwald Uholka.

Es wäre erfreulich, wenn diese Untersuchung in gleichmässigen Abständen wiederholt wird, um die Entwicklung und Entfaltung des Sihlwaldes in einen Buchenurwald zu verfolgen. Dabei wäre es praktisch, wenn beide Datensätze identische Aufnahmen enthalten, damit noch detailliertere Untersuchungen durchgeführt werden könnten.

Schlagwörter: Sihlwald, Uholka, Urwald, Naturwaldreservat, Biodiversität, Baummikrohabitat, Mulmhöhle

1 Einleitung

An Jahrhundertalten Baumriesen sind es unter anderem die Mulmhöhlen, welche die Artenvielfalt in den Wäldern bereichert. Meist vergehen allerdings 100 Jahre, bis sich eine Höhle mit Lockersubstrat – dem Mulm – entwickelt. Alte und dicke Bäume sind daher für die Biodiversität in Wäldern besonders wertvoll (Schauer et al. 2018). Vielerorts in Schweizer Wäldern wird jedoch die Holzbewirtschaftung bevorzugt, wodurch die Zerfallsphase und somit Alt- und Totholz in grosser Menge ausfällt (Imesch et al. 2015). Dies ist ein Grund, warum grosse und wichtige ökologische Mängel zur Erhaltung der Biodiversität bestehen (ebd.).

Auch der Sihlwald am Zürichsee wurde über Jahrhunderte für forstwirtschaftliche Tätigkeiten genutzt (Zürich Tourismus 2020). Im Jahre 2000 wurde die Holznutzung aber eingestellt und gilt mittlerweile als Naturwaldreservat und Naturerlebnispark (Brändli et al. 2020). Die Natur ist nun Herrscher über den Wald, so dass sich ein urwaldähnlicher Buchenwald entwickeln kann – wie es einst die Natur gedacht hat (Zürich Tourismus 2020).

Einer von nur noch wenigen bestehenden Urwälder ist der Buchenurwald von Uholka (Ukraine) (Brändli und Downhanytsch 2003). Auch er gilt als geschützt und zählt zum karpaten-Biosphärenreservat. Durch einen Kooperationsvertrag seit 1999 dienen unter anderem der Sihlwald und der Buchenurwald von Uholka als Forschungswald (ebd.).

Dies hat zum Ziel, einen Überblick zu erschaffen, wie nahe der Sihlwald in seiner Struktur wieder einem Urwald gleicht. Hierfür soll folgende Frage beantwortet werden: Welche Unterschiede und Ähnlichkeiten können von einem Vergleich über die Mulmhöhlen im Sihlwald und im Buchenurwald Uholka entzogen werden? Wie sind diese zu interpretieren? Dafür werden im Sihlwald auf einer Fläche von 10 ha Aufnahmen über die Höhlenbäume vorgenommen und mit den vorhandenen Daten des Buchenurwaldes Uholka verglichen.

2 Stand der Forschung

2.1 Waldarten

2.1.1 Urwald

Urwälder sind Wälder in denen nie Brennholz geschlagen oder gesammelt wurden, keine Nutztiere weideten und Wildbestände durch die Jagt nicht verändert wurden (Brändli und Downhanytsch 2003). Durch die Jahrhunderte Besiedlungsgeschichte und Bevölkerungsdichte gibt es deswegen in Europa genau genommen keine Urwälder mehr. Einzelne Waldgebiete gibt es allerdings noch in den Gebirgszügen Ost- und Südosteuropas, die von der Holznutzung ferngehalten wurden. Hingegen sind es oft ehemalige Jagdgebiete, in denen Vegetation, Baumartenzusammensetzung und Aufbau keinen ersichtlichen Einfluss durch Menschen erkennen lassen. Solche Wälder – zum Teil als sekundäre Urwälder bezeichnet – werden als Urwälder eingestuft. Der Buchenurwald in Uholka gehört zu einem dieser Urwälder (ebd.). Auch in der Schweiz gibt es an einzelnen und unzugänglichen Orten Urwaldreste, die seit mindestens 200 Jahren nicht mehr oder vermutlich noch nie genutzt wurden (Imesch et al. 2015).

2.1.2 Naturwald

Im Gegensatz dazu werden Naturwälder als ehemals bewirtschaftete Wälder bezeichnet (Brändli und Downhanytsch 2003). Sie weisen zwar natürliche – dem Standort entsprechende – Baumarten und Pflanzengesellschaften auf, allerdings sind Spuren von früheren Nutzungen sichtbar. Als Beispiel deutet die Altersstruktur der Bäume und die Verteilung und Häufigkeit einzelner Baumarten darauf hin. In der Schweiz werden Waldreservate dafür ausgeschieden, um wieder Naturwälder zu generieren (ebd.). Sie hat sogar zum Ziel, bis 2030 10 % der Waldfläche als Waldreservate auszuscheiden, in denen die Biodiversität Vorrang haben (BAFU 2020). Sie sollen den Wald als natürliches Ökosystem sichern und helfen die Biodiversität zu fördern. Es gibt verschiedene Naturreservate, wozu beispielsweise das Naturwaldreservat zählt. In solche Naturwaldreservate wird sogar auf jegliche forstliche Eingriffe verzichtet, so dass sich der Wald natürlich entwickeln kann (ebd.). Zudem sind sie wichtige Referenzflächen für das Monitoring von natürlichen Prozessen (Imesch et al. 2015).

2.2 Biodiversität

Die Biodiversität beinhaltet die Vielzahl der Ökosysteme, Arten, Gene und schafft eine Menge Ökosystemleistungen (Imesch et al. 2015). Sie bietet somit eine unverzichtbare Lebensgrundlage, auf der unser Wohlergehen beruht. Die Erhaltung und die Förderung der Biodiversität werden durch ethische und ökonomische Gründe als wichtig bewertet. In der Schweiz sind Fördermassnahmen für die Biodiversität zwingend notwendig, da im Vergleich zu anderen europäischen Ländern ein grösseres Defizit besteht. Grosse und wichtige ökologische Mängel für die Biodiversität in den Schweizer Wäldern ist das Fehlen von Zerfallsphasen durch die vorgezogene Holznutzung. Dadurch fehlt eine ausreichende Menge an Alt- und Totholz sowie deren Qualität (ebd.). Zusätzlich gehen durch die Hochwaldbewirtschaftung und der angrenzenden intensiven Landwirtschaft strukturreiche und lichte Übergangsbereiche zwischen Wald und Kulturlandschaft verloren. Des Weiteren verschwinden andere wertvolle Lebensräume und Strukturen wie beispielsweise feuchte Wälder, gut besonnte Felsen und Geröllhalden in den unteren Hanglagen, Kleingewässer, extensiv bewirtschaftete Wytweiden und Selven oder Auenwälder durch Begradigungen der Flüsse. Auch bleiben natürlich entwickelnde Wälder aufgrund stark genutzter Kulturlandschaft erheblich aus. Diese natürliche Waldentwicklungen hätten jedoch eine grosse Bedeutung für die Biodiversität (ebd.).

Nun gibt es drei Ansätze zur Biodiversitätsförderung im Wald, die komplementär angestrebt werden. Einerseits durch Segregation (v.a. Waldreservate), andererseits durch Integrationen in die Waldbewirtschaftung oder durch spezifische Fördermassnahmen für National Prioritäre Arten und Lebensräume in- und ausserhalb von Waldreservaten (ebd.).

2.3 Habitatbäume

Habitatbäume werden als stehende lebende oder tote Bäume bezeichnet, welche ökologische Nischen (Kleinlebensräume oder Mikrohabitate) bieten (Bütler et al. 2013). Dazu gehören Höhlenbäume, Rindentaschen, grosse Totholzkäste, Epiphyten, Risse, Spalten, Rindenverletzungen

oder Stammfäule. Baummikrohabitate (BMH) haben für die biologische Vielfalt der Wälder eine besonders grosse Bedeutung. Sie bieten zahlreichen stark gefährdeten, spezialisierten Tier- und Pflanzenarten Unterschlupf oder Lebensgrundlagen, zumindest für einen Teil ihres Lebenszyklus. Zudem sind mindestens 25 % der Waldarten von den BMH oder von Totholz abhängig (ebd.). Der ökologische Wert eines Baumes nimmt mit steigendem Alter zu. Alte Bäume haben deswegen seit jeher die Aufmerksamkeit der Menschen auf sich gezogen. Trotz dieser traditionellen Bedeutung werden BMH immer stärker bedroht, durch die Veränderung des kulturellen Wertewandels und der modernen Land- und Forstwirtschaft (ebd.).

2.4 Mulmhöhlen

Mulmhöhlen gehören zu den Mikrohabitate und sind Höhlen die durch Astbrüche, Rindenverletzungen, Zwieselabrisse oder Spechthöhlen an verschiedenen lebenden Baumarten entstehen (Schauer et al. 2018). Diese Verletzungen geben den Bakterien, Pilzen und Insekten die Möglichkeit in den Baum einzudringen und Holz zu zersetzen. Daraus entwickeln sich mit der Zeit immer grösser werdende Höhlen. Durch die aktiven Bewohner bildet sich am Boden der Höhlen einen Mulm – ein Lockersubstrat aus zersetztem Holz, Ausscheidungen und Stoffwechselprodukte. Bevor sich jedoch eine Mulmhöhle bildet, vergehen meistens 100 Jahre. Anschliessend bestehen sie über mehrere Jahrzehnte und bieten Unterschlupf, Nahrung und Nistplätze für verschiedene Insektenarten, Wirbeltiere wie Vögel, Fledermäuse, Marder, Bilche und Amphibien an. Jede Art nutzt die Mulmhöhlen auf ganz individuelle Art und Weise, wodurch das Vorkommen von unterschiedlichen Mulmhöhlen für die Biodiversität im Wald eine grosse Bedeutung hat (ebd.). Mit der Anhäufung von Mulm wird die Höhle für immer spezialisiertere Arten von Bedeutung (Bütler et al. 2020). Als Beispiel sind weit fortgeschrittene Mulmhöhlen für den stark gefährdeten *Osmoderma eremita* lebensnotwendig. Dieser Käfer kann nur in diesen Mulmhöhle überleben, welche er während seines Lebens kaum verlässt (ebd.).

3 Methode und Material

3.1 Untersuchungsgebiete

3.1.1 Sihlwald

Der Sihlwald am Zürichsee gehört zu den grössten zusammenhängenden Buchenwälder im Schweizer Mittelland (Brändli et al. 2020). Er versorgte über Jahrhunderte die Stadt Zürich mit Brennholz. Nun aber wird seit dem Jahre 2000 kein Baum mehr für jegliche Nutzung gefällt (Zürich Tourismus 2020). Demgemäss ist die Natur im Sihlwald sich selbst überlassen, so dass sich wieder ein urwaldähnlicher Buchenwald etablieren kann, wie es einst ein Grossteil Europas war. Jahrhundertalte Baumriesen, Totholz und undurchdringliche Dichtung dürfte das zukünftige Waldbild sein, welches eine Vielzahl an Lebewesen beherbergen wird (ebd.).

Im Jahre 2007 wurde im Sihlwald eine Fläche von 1098 ha als ein Naturwaldreservat ausgeschieden und seit 2008 gilt er als kantonales Natur- und Landschaftsschutzgebiet (Brändli et al. 2020). Zudem wurde er 2010 vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) mit dem Label «Naturerlebnispark» ausgezeichnet und gilt seither als Park von nationaler Bedeutung (ebd.).

3.1.2 Buchenurwald Uholka

Der Buchenurwald in Uholka befindet sich in der Ukraine (Brändli und Downhanytsch 2003). Er liegt ca. 1200 km weiter östlich als der Sihlwald in der Region Transkarpatien, im Grenzgebiet zu Rumänien, Ungarn, Polen und Slowakei. Durch das Grenzgebiet, welches über Jahrhunderte immer wieder verschoben wurde, setzte die Industrialisierung und die forstliche Nutzung erst spät ein. Infolgedessen blieben vermutlich bis heute Urwälder erhalten. Heute liegt dieser Urwald unter Schutz und zeigt sich als ein Erbe von europäischer Bedeutung. Mittlerweile zählt er zum karpaten-Biosphärenreservat. Dabei geht es darum, die Urwaldreste zu schützen und Besucherinnen und Besuchern einen beschränkten Zugang zu ermöglichen, um die Schönheit dieser Wälder auch zu erkundigen (ebd.).

Durch einen Kooperationsvertrag seit 1999 wurden zwischen der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) und der ukrainischen Karpaten-Biosphärenreservat (CBR) eine gemeinsame Forschung der transkarpatischen Naturwälder und den naturnahen Buchenwälder der Schweiz gefestigt und gilt als verbindlich (ebd.).

3.2 Methode

Bei der vorliegenden Arbeit handelt es sich vorwiegend um eine empirische Arbeit. Dafür wurden im Sihlwald auf der Forschungsfläche in «Biriboden» von 10 ha jeden Baum auf Mulmhöhlen untersucht. Die 10 ha sind in 1000 m² Teilflächen unterteilt. Dies ergibt insgesamt 40 Teilflächen. Auf jeder Teilfläche wurde jeder Baum mit einem Brusthöhendurchmesser (BHD) ≥ 6 cm vom Stammfuss bis auf eine Höhe von 2 m auf Mulmhöhlen überprüft. Die Mulmhöhlen mussten einen Einstiegsdurchmesser ≥ 3 cm in der Breite oder Höhe aufweisen. Bei jedem Fund einer Mulmhöhle wurden die Koordinaten des Standortes sowie Fotos der Höhle aufgenommen. Zudem wurden die Höhleneingänge und Höhlengrössen gemessen sowie das Entwicklungsstadium der Mulmhöhlen anhand einer Skala definiert. Dazu wurde die Baumart und deren Vitalität beurteilt. Alle erhobenen Daten wurden in einem vorbereiteten Aufnahmeformular festgehalten. Für die Feldaufnahme wurde mit einem Aufnahmeprotokoll gearbeitet (Tab. 1.)

Für die Informationen über den Sihlwald, den Buchenurwald und über den Stand der Forschung wurde vor allem mit Hilfe der Suchmaschine Google Scholar, web of science und Nebis gesucht. Alle Suchen erfolgten mit den Stichworten «Biodiversität», «Baummikrohabitate», «Mulmhöhlen», «Sihlwald», «Buchenurwald Uholka», «Urwald», «Naturwaldreservat», «Wirtschaftswald». In den Literaturverzeichnissen der beschafften Literatur wurden per Schneeballsystem weitere nützliche Literatur gefunden.

Als Grundlage über den Buchenurwald Uholka, dem Urwald und Naturwald wurde das Dokument «Urwälder im Zentrum Europas – Ein Naturführer durch das Karpaten-Biosphärenreservat in der Uholka» verwendet. Den Beschrieb der Biodiversität basiert auf die Vollzugshilfe zur Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt im Schweizer Wald «Biodiversität im Wald: Ziele und Massnahmen» des Bundesamt für Umwelt (BAFU). Zudem wurde auf der Webseite des BAFU zum Thema «Waldreservate» Informationen zur Beschreibung des Naturwaldreservates entnommen. Zur

Ausführung der Habitatbäume wurde im Dokument «Habitat trees: key elements for forest biodiversity» auf Informationen zugegriffen. Die Definition der Mulmhöhle sowie deren Bedeutung und Wichtigkeit wurden dem Merkblatt «Mulmhöhlen – für die Artenvielfalt im Wald» der bayerischen Forstverwaltung entnommen. Für Informationen über den Sihlwald wurde auf der Webseite «Sihlwald Zürich – Ein Naturerlebnis für die ganze Familie» sowie in einem Forschungsbericht der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL Angaben gefunden.

Den Datensatz über die Mulmhöhlen im Buchenurwald Uholka wurde im Jahre 2016 von Larrieu, Lachat und Courbaud aufgenommen und von ihnen zur Verfügung gestellt.

Tab. 1: Aufnahmeprotokoll Sihlwald

Parameter	Beschreibung
Baumnummer	Baumnummer, welche auf dem Baum notiert ist
Baumart	Abkürzung
X- und Y-Koordinationen	Swissgrid und die Genauigkeit in Metern
Nummer der Mulmhöhle	Aufgenommene Mulmhöhlen werden zur Kennzeichnung nummeriert
Höhlenbaumdurchmesser (BHD)	In cm, mit der Kluppe oder dem Durchmesserband
Baumvitalität	tot / lebend
Baumkrone	Nur bis zum Verfall 3, für abgestorbene Bäume mit / ohne, bei abgestorbenen Bäumen
Höhe der Mulmhöhlenöffnung über dem Boden	In cm, vom Boden bis zur unteren Grenze der Öffnung
Bodenkontakt der Mulmhöhlenöffnung	Ja / Nein
Höhe der Mulmhöhlenöffnung	In cm
Breite der Mulmhöhlenöffnung	In cm
Höhe der Mulmhöhle im Innern	In cm
Entwicklungsstadien der Mulmhöhle	von 4-7
Bemerkungen	Frassspuren von Insekten / Spechten
Entwicklungsstadien von Mulmhöhlen	

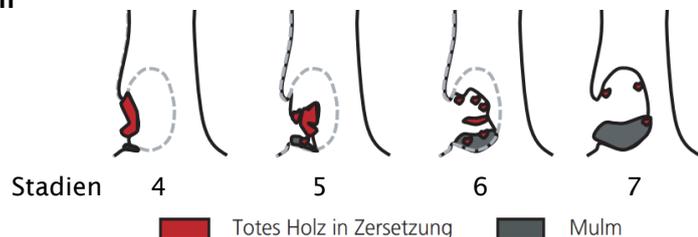


Abb. 1: Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen
4: wenig Mulm; 5: mässig Mulm; 6: viel Mulm; 7: sehr viel Mulm
(Quelle: nach Bütler et al. 2020, verändert)

3.3 Material

Für die Feldaufnahmen im Sihlwald wurden verschiedenen Materialien benötigt (Tab. 2). Einerseits wurde anhand einer Karte und des GPS die Aufnahmefläche sowie die Teilflächen geortet. Auch wurde mit dem GPS die Koordinaten der gefundenen Mulmhöhlen aufgenommen. Zur Beurteilung einer Mulmhöhle wurde teilweise die Taschenlampe zu Hilfe genommen, um auf anwesenden Mulm zu prüfen. Anhand der Kluppe oder des Durchmesserbandes ist der BHD gemessen worden. Mit dem Stahl Rollband wurden die Grösse der Mulmhöhle bemessen. Mit dem Sackmesser wurde bei Mulmhöhlen auf toten Bäume das Totholzstadium beurteilt. Die Kamera diente für Photographien jeder Mulmhöhle.

Tab 2: Material für die Feldaufnahme der Mulmhöhlen im Sihlwald

Material	Beschreibung
Aufnahmeprotokoll	Arbeitsbeschreibung zur Feldaufnahme
Karte	Zur Orientierung
GPS	Mit dem Rega-App wurden auf dem Handy die Koordinaten definiert
Taschenlampe	Zur Untersuchung der Mulmhöhle
Kluppe und Durchmesserband	Für BDH Messung
Stahl Rollbandmass	Ausmessung der Mulmhöhlen
Sackmesser	Um Mulm zu definieren und Totholzstadium
Kamera	Jede Mulmhöhle wurde fotografiert und mit der Mulmhöhlennummer beschriftet
Schreibzeug	Zur Ausfüllung des Aufnahmeformulars

3.4 Auswertung

Mit Hilfe des Statistikprogrammes R wurden die aufgenommenen Daten ausgewertet, um diverse Vergleiche zwischen dem Sihlwald und dem Buchenurwald Uholka durchzuführen und auf mögliche Signifikanz zu testen. Dazu wurden alle Rohdaten in Exceltabellen übertragen und so organisiert, dass sie ins Statistikprogramm R importiert und direkt verwendet werden konnten.

4 Ergebnis

Tab. 3: Ergebnisse der Datenerhebungen vom Sihlwald und Buchenurwald Uholka
 BHD-Klassen [cm]: 5 cm Schritte (8: 5-10 cm; 13: 11-15 cm; 18: 16-20 cm; 23:...)
 Mulmhöhlengrösse: 1: 3-10 cm; 11-20 cm; 3: > 20 cm
 Entwicklungsstadien: 4: wenig Mulm; 5: mässig Mulm; 6: viel Mulm; 7: sehr viel Mulm

	Sihlwald			Uholka				
Fläche [ha]	10			9				
Teilflächen von 0.25 ha	40			36				
Mulmhöhlen / ha	6			10				
Mulmhöhlen / Teilfläche	Mittelwert	Median		Mittelwert	Median			
	3,0	3		3,6	3			
BHD [cm]	Mittelwert	Minimum	Maximum	Mittelwert	Minimum	Maximum		
	47	10	90	69	16	120		
Bäume mit Mulmhöhlen in BHD-Klassen (5 cm)	Mittelwert	Minimum	Maximum	Mittelwert	Minimum	Maximal		
	9	1	17	4	1	7		
BHD-Klassen [cm]	8 - 88			18 - 118				
Mulmhöhlengrösse in 3 Kategorien [%]	1	2	3	1	2	3		
	13	23	64	8	21	71		
Mulmhöhlen in 4 Entwicklungsstadien [%]	4	5	6	7	4	5	6	7
	41	25	16	18	19	15	38	28
Baumarten [%]	<i>F. sylvatica</i>	<i>P. abies</i>	<i>F. excelsior</i>	<i>F. sylvatica</i>	<i>A. pseudo-platanus</i>	<i>F. excelsior</i>		
	87	11	2	94	4	2		
Vitalität des Baumes mit einer Mulmhöhle [%]	lebend		tot	lebend		tot		
	95		5	99		1		

4.1 Dichte der Mulmhöhlen

Die Ergebnisse zeigen, dass im Sihlwald auf einer Fläche von 10 ha und im Buchenurwald Uholka auf 9 ha Untersuchungen über Bäume mit Mulmhöhlen vorgenommen worden sind (Tab. 3). Daraus ergaben sich auf 10 ha 40 und auf 9 ha 36 Teilflächen. Im Durchschnitt sind im Sihlwald auf einer Hektare 6 Mulmhöhlen gefunden worden und im Buchenurwald Uholka 10. Auf einer Teilfläche sind dies im Sihlwald 3,0 Höhlenbäume und im Buchenurwald Uholka 3,6. Mit einer Boxplot Darstellung über die Anzahl Mulmhöhlen pro Teilfläche ist zu sehen, dass im Sihlwald sowie im Buchenurwald Uholka die Mediane bei 3 Bäume pro Teilfläche liegt (Abb. 2). Mit einem Wilcoxon Rangsummentest ist die Dichte der Höhlenbäume im Sihlwald trotzdem signifikant tiefer ($W=1940.5$, $p\text{-Wert}=0.0473$) bewertet worden. Im Buchenurwald Uholka gibt es Teilflächen, in denen 7 Mulmhöhlen zu finden sind. Dieser Wert ist im Sihlwald nicht erreicht worden. Da liegt der höchste Fund bei 6 Höhlen.

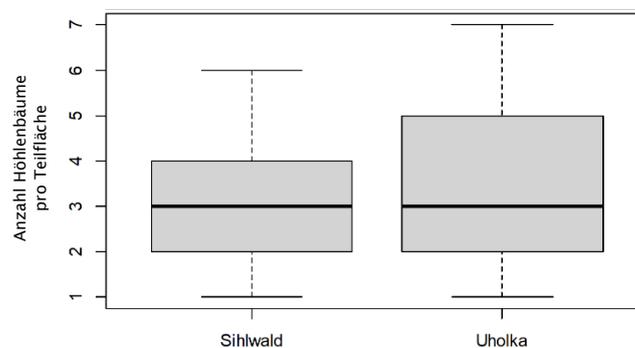


Abb. 2: Anzahl Höhlenbäume pro Teilfläche im Sihlwald und im Buchenurwald Uholka
 $W = 1940.5$, $p\text{-Wert} = 0.0473$ (Wilcoxon Rangsummentest)

4.2 Grösse der Höhlenbäume

Weiter zeigen die Ergebnisse, dass der tiefste BHD eines Höhlenbaumes im Sihlwald bei 10 cm und der mächtigste bei 90 cm liegt (Tab. 3). Dies ergibt einen Mittelwert von 47 cm, welcher wesentlich tiefer liegt als jener des Buchenurwaldes Uholka. Hier ist der kleinste Stamm nämlich 16 cm mächtig und der dickste sogar 120 cm, was einen Mittelwert von 69 cm ergibt. Eine Darstellung über den BHD der Höhlenbäume im Sihlwald und vom Buchenurwald Uholka zeigt, dass der Median der BHD im Sihlwald bei rund 55 cm liegt und im Buchenurwald Uholka bereits bei rund 65 cm (Abb. 3). Dies wurde auf die Signifikanz anhand des Wilcoxon-Rangsummentest getestet, womit der Sihlwald einen signifikant tieferen BHD ($W=1100$, $p\text{-Wert}=0.0005$) erzielte als der Buchenurwald Uholka.

Zudem sind die Stammzahlen der Höhlenbäume in BHD-Klassen eingeteilt worden (Abb. 4). Die BHD-Klassen sind mit einem Abstand von 5 cm zueinander versehen. Das Resultat zeigt, dass im Sihlwald die Zuteilung der Stammzahlverteilung bereits bei einer Mächtigkeit von 8 cm beginnt und bei 88 cm endet. Dabei sind in jeder BHD-Klasse Höhlenbäume präsent ausser in der BHD-Klasse 63 cm und 68 cm. Weiter fällt auf, dass im Sihlwald die Anzahl Höhlenbäume in der BHD-Klasse 13 cm stärker vertreten ist als die vorherige BHD-Klasse (8 cm) sowie die nachfolgenden 6 BHD-Klassen. Auch ist im Sihlwald ein starker Buckel bei den BHD-Klassen 53-58 cm zu sehen. Im Gegensatz dazu fängt die Einteilung der Stammzahlverteilung im Buchenurwald Uholka erst bei 18 cm an und hört bei der Dimension von 118 cm auf. Dazwischen sind auf jeder BHD-Klasse Höhlenbäume anwesend. Dabei gibt es im Buchenurwald Uholka einzelne BHD-Klassen, welche etwas stärker mit Höhlenbäume vertreten sind, ansonsten ist aber die Verteilung über die ganzen BHD-Klassen mehr oder weniger ähnlich.



Abb. 3: BHD der Höhlenbäume im Sihlwald und im Buchenurwald Uholka
 $W = 1100$, $p\text{-Wert} = 0.0005$ (Wilcoxon-Rangsummentest)

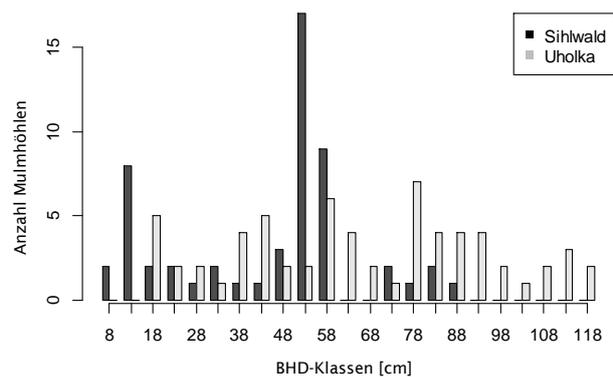


Abb. 4: Anzahl Höhlenbäume pro BHD - Klasse vom Sihlwald und Buchenurwald Uholka
BHD-Klassen [cm]: 5 cm Schritte (8: 5-10 cm; 13: 11-15 cm; 18: 16-20 cm;...)

4.3 Art der Mulmhöhlen

4.3.1 Eingangsgrösse der Mulmhöhlen

Die Eingangsgrössen der Mulmhöhlen sind in Kategorien eingeteilt worden. Kategorie 1 (3-10 cm), Kategorie 2 (11-20 cm) und Kategorie 3 (> 20 cm). Daraus ergab sich, dass der Grossteil der Mulmhöhlen im Sihlwald (64 %) und im Buchenurwald Uholka (71 %) in die Kategorie 3 eingeordnet wurde – also in die grösste Kategorie (Tab. 3). Die Kategorie 1 ist im Sihlwald mit 13 % Mulmhöhlen vertreten und im Buchenurwald Uholka mit 8 %, was in beiden Buchenwäldern die Minderheit ist. Mulmhöhlen in der Kategorie 2 haben im Sihlwald 23 % und im Buchenurwald Uholka 21 %.

Mit den Eingangsgrössen in den 3 Kategorien des Sihlwaldes und des Buchenurwaldes Uholka wurde ein Bezug zu deren BHD gemacht und in Boxplot-Diagramme dargestellt (Abb. 5). Hierbei ist ersichtlich, dass die Mediane der BHD der Kategorie 1 und 2 im Sihlwald sowie im Buchenurwald Uholka sehr ähnlich sind. Des Weiteren ist zu sehen, dass die Höchstwerte im Sihlwald unabhängig der Eingangsgrösse bei rund 80 cm liegen. Hingegen sind die Höchstwerte im Buchenurwald Uholka in der Kategorie 3 bei etwa 120 cm gemessen worden.

Innerhalb aller Kategorien der Eingangsgrößen sind anhand des Wilcoxon-Rangsummentests die BHD vom Sihlwald und vom Buchenurwald Uholka auf die Signifikanz geprüft worden. Einzig die Kategorie 3 weist eine Signifikanz auf. Hier liegt der BHD des Sihlwaldes signifikant tiefer ($W = 431$, $p\text{-Wert} = 6.45e-07$).

4.3.2 Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen

Zusätzlich sind die Mulmhöhlen in 4 Entwicklungsstadien eingestuft worden. Die Entwicklungsstadien weisen folgende Unterschiede auf: Entwicklungsstadium 4: wenig Mulm, 5: mässig Mulm, 6: viel Mulm und 7: sehr viel Mulm. Im Sihlwald ist die Mehrheit der Mulmhöhlen (41 %) in das Entwicklungsstadium 4 eingeteilt worden (Tab. 3). Der Mulm ist in diesem Höhlenstadium erstmals ersichtlich. Weiter ist im Sihlwald das Entwicklungsstadium 5 mit 25 %, das Entwicklungsstadium 6 mit 16 % und das Entwicklungsstadium 7 mit 18 % vertreten. Im Buchenurwald Uholka ist das Entwicklungsstadium 4 nur mit 19 % aller Mulmhöhlen vertreten. Weiter ist das Entwicklungsstadium 5 mit 15%, das Entwicklungsstadium 6 mit 38 % und das Entwicklungsstadium 7 bereits mit 28 % vertreten.

Mit den verschiedenen Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen im Sihlwaldes und im Buchenurwald Uholka wurde auch hier ein Bezug zu deren BHD gemacht und in Boxplot-Diagramme dargestellt (Abb. 6). Es ist ersichtlich, dass die Mediane der BHD innerhalb der Entwicklungsstadien im Buchenurwald Uholka – ausgenommen Entwicklungsstadium 5 – wesentlich höher liegen als im Sihlwald. Des Weiteren ist zu sehen, dass die Höchstwerte im Sihlwald unabhängig des Entwicklungsstadiums bei rund 80 cm gemessen wurden. Im Buchenurwald Uholka dagegen sind die Höchstwerte in mehreren Entwicklungsstadium bei rund 120 cm gemessen worden. Innerhalb aller Entwicklungsstadien sind anhand des Wilcoxon-Rangsummentests die BHD vom Sihlwald und vom Buchenurwald Uholka auf Signifikanz geprüft worden. Ausser dem Entwicklungsstadium 5 haben die Höhlenbäume in ihren BHD keinen signifikanten Wert erzielt. Der Buchenurwald Uholka enthält in Entwicklungsstadium 5 wesentlich signifikant mächtigere Baumstämme als der Sihlwald (5: $W = 80$, $p\text{-Wert} = 0.6103$).

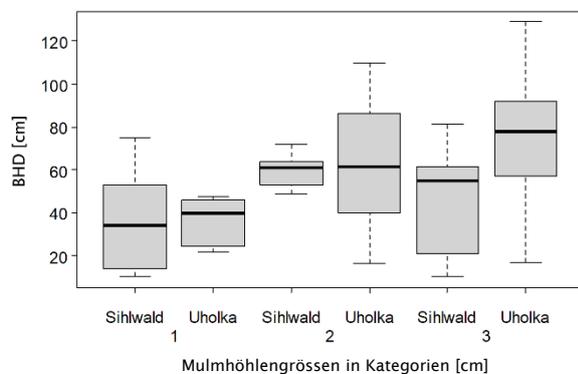


Abb. 6: BHD der Höhlenbäume in ihre Mulmhöhleneingangsgrösse kategorisiert (Sihlwald und Buchenurwald Uholka)
 Kategorie der Mulmhöhlengrösse [cm]: 1: 3-10 cm; 11-20 cm; 3: > 20 cm
 1: $W = 21$, $p\text{-Wert} = 0.7009$; 2: $W = 104$, $p\text{-Wert} = 0.6168$; 3: $W = 431$, $p\text{-Wert} = 6.45e-07$ (Wilcoxon-Rangsummentest)

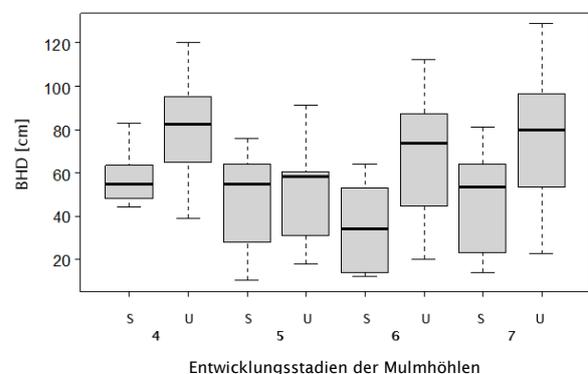


Abb. 5: BHD der Höhlenbäume eingeteilt in ihre Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen (Sihlwald und Buchenurwald Uholka)
 S: Sihlwald; U: Uholka
 Entwicklungsstadien: 4: wenig Mulm; 5: mässig Mulm; 6: viel Mulm; 7: sehr viel Mulm
 4: $W = 78$, $p\text{-Wert} = 0.0026$; 5: $W = 80$, $p\text{-Wert} = 0.6103$; 6: $W = 53$, $p\text{-Wert} = 0.0036$; 7: $W = 49$, $p\text{-Wert} = 0.0062$ (Wilcoxon-Rangsummentest)

4.4 Baumarten und Vitalität der Höhlenbäume

Die meisten Mulmhöhlen sind im Sihlwald und im Buchenurwald Uholka auf *F. sylvatica* zu beobachten (Tab. 3). Im Sihlwald sind es 87 % und im Buchenurwald Uholka sogar 94 % *F. sylvatica*. Die restlichen Mulmhöhlen befinden sich im Sihlwald entweder auf *P. abies* (11 %) oder auf *F. excelsoir* (2 %). Im Buchenurwald Uholka sind die übrigen Mulmhöhlen auf andere Laubbaumarten – *A. pseudoplatanus* (4 %) und *F. excelsoir* (2 %) – zu finden. All diese Höhlenbäume sind im Sihlwald sowie im Buchenurwald Uholka mit über 90 % lebende Bäume. Dies bedeutet, dass nur selten einen toten Baum anzutreffen ist, welcher eine Mulmhöhle besitzt.

5 Diskussion

5.1 Dichte der Mulmhöhlen

Auf den untersuchten Flächen ist zu beobachten, dass im Sihlwald im Schnitt 6 Mulmhöhlen pro Hektare zu finden sind und im Buchenurwald Ukraine sogar 10. Im Gegensatz zum erzielten Wert von 6 Höhlenbäume im Sihlwald wurde im selben Wald in der Studie von Brändli et al. (2020) ein Resultat von 1,2 Höhlenbäume pro Hektare gezählt. Im Unterschied zu dieser Studie haben sie die Mulmhöhlen jedoch nur bis auf eine maximale Höhe von 1,5 m ab Boden untersucht. Zudem mass die Mindestgrösse des Höhleneinganges im Minimum eine Faustgrösse (ebd.). Umgerechnet ergibt dies etwa die erste Mulmhöhlegrösse (3-10 cm), welche sie nicht berücksichtigten. Offensichtlich kann aber gesagt werden, dass der Sihlwald im Moment noch deutlich weniger Mulmhöhlen enthält als der Buchenurwald Uholka.

Einen weiteren möglichen Hinweis für die tiefere Dichte im Sihlwald, erklären Bütler et al. (2020) so, dass Mulmhöhlen in Wirtschaftswälder – wie es einst der Sihlwald war – zu den seltensten BMH gehören. In Larrieu et al. (2018) wird sogar erklärt, dass in der Forstwirtschaft seit langer Zeit BMH, unter anderem auch die Mulmhöhlen, als einen Schaden oder Mangel am Baum gelten. Besonders dort, wo hochwertiges Baumholz als Hauptprodukt gilt, hat dies negative Auswirkung auf den Holzabsatz (ebd.). Kommen diesbezüglich Bäume mit gegabelten, schiefen oder eigenartig geformten Bäumen vor, werden sie aus dem Bestand entnommen. An diesen unerwünschten Bäumen würden sich allerdings vielversprechende BMH mit idealen Voraussetzungen entfalten (ebd.). Somit sind vermutlich im Sihlwald beim Wechsel vom bewirtschafteten Hochwald zum Naturwaldreservat keine oder nur selten Mulmhöhlen vorhanden gewesen und deswegen noch nicht viele Mulmhöhlen entstehen konnten. Die heute noch tiefere Dichte kann also auch so erklärt werden. Mit dieser Annahme hat in der Zwischenzeit im Sihlwald bereits eine Veränderung stattgefunden, da heute immerhin 6 Höhlenbäume pro Hektare gezählt werden.

Weiter kann durch das Wissen, dass im Sihlwald vor 20 Jahren noch ein Nutzwald herrschte, abgeleitet werden, dass damals die Bäume frühzeitig und in gewünschten Normen dem Wald entnommen wurden. Die Burgergemeinde Bern beispielsweise arbeitet mit einem Durchforstungskonzept worauf ersichtlich ist, dass sie die *F. sylvatica* idealerweise bei 60 cm BHD ernten (Burgergemeinde Bern und Rosset 2017, persönliche Mitteilung). Zudem erklärt Larrieu et al. (2018), dass alte Bäume sowie Baumstümpfe aus einem Nutzwald entfernt werden, da sie als eine Gefährdung für Arbeiter und der Öffentlichkeit gelten. Dicke und somit auch alte Bäume können heute im Sihlwald daher noch kaum vorhanden sein. Die Felbermeier und Mosandl (2011) sagen nämlich, dass die höchst gemessenen BHD der *F. sylvatica* bei 2,9 Meter liegen. Solche Durchmesser sind in dem Falle aber nur erreichbar, wenn den Bäumen Zeit und Raum gegeben wird. Dies ist somit nur in unberührter Natur möglich, wie etwa im Buchenurwald Uholka. Weil also laut Stand der Forschung Mulmhöhlen vorwiegend auf älteren Bäumen gebildet werden, kann der tiefere Wert an vorkommenden Höhlenbäume im Sihlwald zusätzlich begründet werden (Schauer et al. 2018).

5.2 Grösse der Höhlenbäume

5.2.1 Brusthöhendurchmesser der Höhlenbäume

Auf dieselbe Weise wie die Mulmhöhledichte kann auch der signifikant tiefere BHD-Mittelwert der tragenden Mulmhöhlen im Sihlwald erklärt werden. Bäume haben nämlich bekanntlich, je älter sie werden, grössere Stammdurchmesser. Im Gegensatz zeigt Brändli und Dowhanytsch (2003), dass grosse, dicke und einen hohen Anteil an toten Bäumen sowie vermoderndes Holz typische Eigenschaften von Urwäldern sind. Diese Bäume wachsen so lange, bis sie ihre natürliche Altersgrenze erreicht haben. Im Buchenurwald Uholka betrifft dies hauptsächlich die *F. sylvatica*, welche eine Altersgrenze bei rund 250 Jahren erreicht (ebd.). Der abgestorbene Laubbaum bleibt häufig noch mehrere Jahrzehnte stehen oder liegen, bis er vollständig zersetzt wird. In Wirtschaftswäldern – wie es einst auch der Sihlwald war – werden die Bäume dagegen in einem Alter von ungefähr 90 bis 150 Jahren geerntet. In diesem Alter ist das Holz noch gesund und nicht von Pilzen befallen, was für eine Weiterverarbeitung in der Holzindustrie ein Idealzustand ist (ebd.). Wiederum abgelesen auf dem Durchforstungskonzept der Burgergemeinde Bern wird die *F. sylvatica* im Alter von rund 100 Jahre genutzt (Burgergemeinde Bern und Rosset 2017, persönliche

Mitteilung). Hiermit wird nochmals deutlich, dass der Sihlwald derzeit definitiv wesentlich jünger ist und die tiefen BHD-Werte noch deutlich heranwachsen können.

Brändli und Dowhanytsch (2003) bestätigen des Weiteren tiefe BHD-Werte im Sihlwald mit einer bereits vorgenommenen Untersuchung beider Wälder. Dabei kam heraus, dass im Buchenurwald Uholka pro Hektare 21 Bäume mit einem Stammdurchmesser von mehr als 80 cm stehen. Davon haben 3 Bäume einen BHD von über einem Meter. Im Sihlwald wurde ein einziger Baum mit einem Stammdurchmesser grösser als 80 cm gemessen (ebd.). Da diese Studie im Jahre 2001 veröffentlicht wurde, ist die seitherige Weiterentwicklung des Zuwachses im Sihlwald gut zu beobachten. Bereits 20 Jahren später sind auch im Sihlwald Stammdimensionen von 90 cm zu finden. Weil die untersuchten Bäume Höhlenbäume sind, sind mit grosser Wahrscheinlichkeit noch mehrere Bäume in diesen Dimensionen auffindbar. Noch vor 20 Jahren war ein Stammdurchmesser von über 80 cm die Ausnahme. Brändli et al. (2020) bestätigen diese Zunahme auch. Im Jahre 2017 führen sie im Sihlwald eine Waldinventur durch und massen pro Hektare 4,4 Baumriesen (≥ 80 cm) (ebd.). Trotz dieser Veränderung sind Mulmhöhlen an Stammdimensionen wie im Buchenurwald Uholka im Moment noch nicht möglich, da Baumriesen bis zu 120 cm kaum existieren. Zudem beweisen Brändli et al. (2020), dass die Dichte der Baumriesen noch bedeutend unter derjenigen in Urwälder liegt.

In den Studien von Vuidot et al. (2011) und Paillet et al. (2017) wird sogar bewiesen, dass es eine signifikante Höhlenbaum Zunahme gibt, je grösser die Baumdurchmesser werden. In Zukunft kann im Sihlwald also – solange die Bäume ihre Wachstumsgrenze noch nicht erreicht haben – sogar mit einem signifikanten Zuwachs an Höhlen gerechnet werden. Zugleich beweisen diese Aussagen von Vuidot et al. (2011) und Paillet et al. (2017), dass der Sihlwald je länger desto schneller eine Höhlenbaumdichte, wie der Buchenurwald Uholka erreicht.

5.2.2 Stammzahlverteilung der Höhlenbäume in BHD-Klassen

Durch das Resultat der Stammzahlverteilung der Höhlenbäume in BHD-Klassen wird die Struktur der Wälder sichtbar. Schütz (2003) erklärt, dass je älter ein Bestand ist, je höher die BHD-Klassen werden. Zudem verteilen sich die Bäume in älter werdenden Wäldern immer regelmässiger in den vorhandenen BHD-Klassen. Wird der Wald regelmässig durchforstet, ist die Stammzahlverteilung auf kleinen BHD-Klassen begrenzt und weist zudem eine stark vertretene Stammzahl in den mittleren BHD-Klassen auf. Diese Erhebung drückt ein gleichaltrigen Bestand aus (ebd.). Solche Strukturen sind im Sihlwald sowie im Buchenurwald Uholka, obwohl nur Höhlenbäume aufgenommen wurden, trotzdem gut ersichtlich. Die Stammzahlverteilung vom Buchenurwald Uholka ist rechts verschoben und befindet sich daher auf höheren BHD-Klassen. Zudem enthält er auf den meisten BHD-Klassen ähnliche Stammzahlen – ein Zeichen für alte Bestände. Im Gegensatz endet im Sihlwald die Stammzahlverteilung bereits bei 88 cm. Die ganze Verteilung befindet sich somit auf tieferen BHD-Klassen. Des Weiteren weist er einen starken Buckel in der mittleren BHD-Klasse «53 cm» auf. Diese Struktur prägt den Wald noch immer stark durch den damaligen Wirtschaftswald und beweist das junge Naturwaldreservat. In der BHD-Klasse «53 cm» sind also deswegen viele Mulmhöhlen aufgefunden worden, da es in dieser Stammgrösse am meisten Bäume im Wald gibt.

Des Weiteren zeigt diese Stammzahlverteilung der Höhlenbäume, dass Mulmhöhlen auch in jungen und dünnen Bäume vorhanden sind. Einerseits deutet die relativ hohe Anzahl an Mulmhöhlen zu Beginn der BHD-Klassen beider Wälder darauf hin, dass eine dichte Unterschicht vorhanden ist. Diese sind vermutlich durch ihre Konkurrenz anfällig auf Verletzungen, wodurch Mulmhöhlen entstehen können. Diese hohe Dichte weist jedoch auf ein positives Zeichen hin, nämlich dass die Naturverjüngung gut funktioniert und die nächste Baumgeneration gesichert ist. Auch garantiert es die Langlebigkeit der Wälder. Andererseits zeigt es, dass eine gewisse Dichte an Schalenwildpopulationen anwesend sind, sodass ihre bekannten Schäden an jungen Bäumen sogar auffallen. Laut Kupferschmid und Brang (2010) wählen nämlich Rehböcke bis zu 10 cm grosse Stämmchen zum Fegen und Hirsche sogar bis zu armdicken Stammdurchmessern aus. Durch das Fegen löst sich die Rinde bis zu 40 cm Länge ab, welche danach meistens mit Pilzen infiziert werden. Ähnliche Folgen sind beim Schlagen und Schälen zu beobachten (ebd.). Solche Wunden und Pilzinfektionen an offenem Splintholz sind ideale Voraussetzungen für die Bildung von Mulmhöhlen.

Commmarmot et al. (2009) erhielten mit ihrer Studie über einen Vergleich zwischen dem Sihlwald und dem Buchenurwald Uholka ein sehr ähnliches Resultat. Auch da wurde eine Graphik erstellt mit der Anzahl Bäume pro Durchmesserstufe. Die Kurve vom Buchenurwald Uholka ist zu Beginn stark fallend, verläuft anschliessend über einen weiten Bereich mehr oder weniger flach und nimmt beim BHD von circa 80 cm wieder ab. Diese Verteilung weist auf eine starke Altersdurchmischung hin. Im Vergleich dazu ist die Kurve vom Sihlwald mit einem wesentlichen Buckel bei 54 cm Stammdurchmesser versehen. Dieser Buckel charakterisiert einen gleichaltrigen, hochdurchforsteten Bestand. Die jüngere Unterschicht mit 8-20 cm dicken Bäume ist auch im Sihlwald stark vertreten (ebd.). Interessant ist also zu sehen, dass die Höhlenbäume beider Wälder ihre Waldstrukturen gut darstellen.

5.3 Art der Mulmhöhlen

5.3.1 Eingangsgrösse der Mulmhöhlen

Der Sihlwald und der Buchenurwald Uholka weisen am meisten Mulmhöhlen in der höchsten Eingangsgrössen-Kategorie (>20 cm) auf. Für den Sihlwald ist dies erstaunlich. Eine mögliche Begründung dazu wäre, dass es im Sihlwald zur Zeit der Bewirtschaftung zu starken und grossflächigen Stammverletzungen kam. Dies könnte mit dem Sturm «Lothar» erklärt werden, welcher bestimmt Schäden an überlebenden Bäumen hinterlassen hat. In Lässig (2019) wird diese Vermutung verstärkt indem dokumentiert ist, dass im Jahre 1999 der Orkan «Lothar» über die Schweizer Wälder fegte und 12.7 Millionen Kubikmeter Holz umwarf. Zudem folgte nach 3 Jahren einen Hitzesommer. Die Wälder erlitten durch diese Naturereignisse in Qualität und Vitalität enorme Einbussen (ebd.). Hiermit hätten sich die entstandenen und grossflächigen Verletzungen bis heute in Mulmhöhlen verwandeln können. Nicht überraschend ist hingegen, dass es innerhalb dieser Kategorie zu einem signifikanten BHD-Wert kam. Wie auf der Abbildung 7 ersichtlich ist, fehlen im Sihlwald die grossen BHD-Klassen. Somit sind Mulmhöhlen an mächtigen Bäumen nicht möglich. Dagegen kam es vermutlich zu keinen signifikanten Unterschieden der BHD-Werte innerhalb der Kategorie 1 (3-10 cm) und 2 (11-20cm), da die Breite der Höhleneingänge auf die BHD beschränkt sind. Dies betätigt Gürlich (2009), mit der Beschreibung, dass durch den Stammdurchmesser auch die mögliche Grösse einer in ihm vorhandenen Höhle wächst.

5.3.2 Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen

Die Einteilung der Entwicklungsstadien zeigt, dass die Mulmhöhlen im Buchenurwald Uholka deutlich fortgeschrittener sind, da die Mehrheit der Höhlenbäume in die höheren Entwicklungsstadien (6 und 7) eingeteilt wurden. Im Sihlwald ist genau das Gegenteil der Fall. Die meisten Höhlen sind in den Entwicklungsstadien 4 und 5. Wie bereits anhand von Larrieu et al. (2018) und Vuidot et al. (2011) diskutiert wurde, sind Bäume mit einer Verletzung in der Forstwirtschaft nicht angebracht und werden entfernt. Somit haben die Mulmhöhlen im Sihlwald erst ab der Einstellung der Holzbewirtschaftung eine Überlebenschance und sind also in ihren Entwicklungen automatisch wesentlich jünger sowie auf kleineren BHD. Interessant ist weiter zu beobachten, dass wesentlich unterschiedliche Baumdimensionen in allen Entwicklungsstadien enthalten sind. Bunnell et al. (2002) erklärt dies so, dass kaum eine Beziehung zwischen dem Grad der Fäulnis und der Grösse der Laubbäume zu machen ist. Somit lassen sich auf jeder BHD-Dimension Höhlen bilden (ebd.). Dazu sagt Möller (2006) aber, dass eine ausschlaggebende Voraussetzung für ausdehnende und langlebige Höhlensysteme grosse BHD ist. Somit kann abgeleitet werden, dass Höhlenbäume, welche noch tiefe BHD aufweisen, vermutlich kein hohes Alter erreichen werden. Wahrscheinlich deshalb, weil sie durch ihre tragenden Höhlen verhindert sind, die optimale Wachstumsleistung zu erbringen und mit der Zeit durch die Nachbarsbäume überschattet und eingehen werden.

5.4 Baumarten der Höhlenbäume

Die Baumart *F. sylvatica* trägt bedeutend am meisten Mulmhöhlen. Im Sihlwald ist trotz dieser Mehrheit von 87 % dennoch ca. jeder 10. Höhlenbaum eine *P. abies*. Der Grund, warum es im Sihlwald einen solch hohen Anteil an *P. abies* gibt, lässt sich durch die vergangene Waldbewirtschaftung erklären. Allgaier Leuch et al. (2018) erklärt, dass die *P. Abies* in der Schweiz natürlicherweise in den höheren Lagen vorkommt. Allerdings gehört sie mittlerweile im Mittelland zur Baumart mit dem grössten Vorrat. Diese Lageerweiterung wurde in der Vergangenheit durch die Forstbewirtschaftung stark gefördert, da das Fichtenholz eine enorme Nachfrage hatte. Heute

geht der Trend jedoch wieder stark zurück. Gründe dafür sind beispielsweise Anfälligkeiten auf Stürme, Trockenperioden und Borkenkäfer (ebd.). Die *P. abies* wurde demgemäss im Sihlwald durch menschliche Hilfe zur natürlich vorkommenden *F. sylvatica* beigemischt. Mit grosser Wahrscheinlichkeit wird sie im Zürcher Naturwaldreservat mit der Zeit selbstständig verschwinden und sich in höhere Lagen zurückziehen. Dies weil ihre Anfälligkeiten mit den klimatischen Veränderungen verstärkt auftreten werden. Allgaier Leuch et al. (2018) bestätigen sogar, dass schon heute die Holzvorräte im Mittelland bedeutend abgenommen haben.

Weiter zeigt die Studie von Bunnell et al. (2002), dass es bei Nadelbäumen länger dauert und die Bäume eine gewisse Dimension erreichen, bis sich Herzfäule bildet und Mängel für Höhlenbildungen aufweisen. Zudem beweisen Paillet et al. (2019) mit ihrer Studie, dass wesentlich mehr tote Äste an grossen *F. sylvatica* und Eichen gibt als bei Koniferen. Sie weisen nämlich mehr und auch grössere Äste auf, die wahrscheinlich durch Konkurrenz mit Nachbarbäume absterben. Koniferen hingegen haben kaum grosse tote Äste (ebd.). Diese abgestorbenen Äste geben laut Schauer et al. (2018) die Möglichkeit, Höhlen zu bilden. Es könnten in diesem Falle zahlreiche weitere *P. abies* im Sihlwald vertreten sein, die noch keine Mängel und Schwachstellen aufweisen, um Mulmhöhlen bilden zu können. Jedoch wurden in diesen Studien die Anfälligkeiten der *P. abies* gegenüber den klimatischen Veränderungen nicht berücksichtigt, wodurch die *P. abies* vielleicht trotzdem bereits einen Grossteil Mängel aufweisen.

Im Buchenurwald Uholka sind nur vereinzelt Höhlen auf anderen Laubbaumarten anzutreffen. Dieser Unterschied zum Sihlwald erklärt sich so, dass der Buchenurwald Uholka ein reiner Buchenurwald ist und nicht zu den Mischwäldern gehört (Brändli und Dowhanytsch 2003).

5.5 Vitalität der Höhlenbäume

In der Studie von Brändli et al. (2020) über die Waldinventur im Naturerlebnispark Sihlwald wurden bei den Aufnahmen über die Mulmhöhlen auch auf die Vitalität des Baumes acht gegeben. Von 1,2 Mulmhöhlen pro Hektare sind 0,2 davon tote Bäume. Umgerechnet ergibt dies eine relative Häufigkeit von 83 % lebender und 17 % toter Bäume (ebd.). Wieder einen deutlich tiefen Wert von toten Bäumen. Wahrscheinlich ist dem so, weil die BMH sich stets in ihren Strukturen verändern. Laut Larrieu et al. (2018) werden die BMH gerade deswegen in bestimmbar Typen mit Schwellenwerten gegliedert. (ebd.). Somit wandeln sich Mulmhöhlen vermutlich besonders dann in andere Mikrohabitate um, sobald sie absterben. Beispielsweise weil sie in einem toten Zustand anfälliger auf starken Wind sind, was ein Stammbruch auf der Höhe einer Mulmhöhle vorfallen könnte. Die Mulmhöhle würde auf der Stelle in einen *kaminartigen hohlen Stamm mit oder ohne Bodenkontakt* kategorisiert werden. Kozák et al. (2018) unterstreichen dies. Sie beschreiben, dass es die Zerfallprozesse fördert, sobald ein Baum abstirbt. Dabei beeinflusst es das Auftreten anderer BMH-Typen (ebd.). Des Weiteren schreibt Gürlich (2009), dass die Höhlen an lebenden Bäumen eine ausgebildete und gegen die Aussenwelt abgepufferte Temperatur- sowie Feuchteregulierer besitzen. Dieses System ist in abgestorbenen Bäumen nicht mehr intakt (ebd.). Die typische Höhlen- und somit auch Mulmhöhlenstruktur zerfällt somit automatisch.

6 Schlussfolgerung

Anhand dieser Studie wird immer wieder sichtbar gemacht, dass der Sihlwald noch immer starke Rückstände der vergangenen Forstwirtschaft zeigt. Mehrere Unterschiede lassen sich dadurch zwischen dem Sihlwald und dem Buchenurwald Uholka zusammenfassend festhalten: Die Dichte der Mulmhöhlen fällt im Sihlwald noch immer bedeutend tiefer aus als im Buchenurwald Uholka. Des Weiteren ist die Stammzahlverteilung der tragenden Mulmhöhlen im Sihlwald bedeutend auf tiefere BHD-Klassen zugeteilt worden und weist noch immer eine ähnliche BHD-Verteilung wie in gleichaltrigen Wirtschaftswäldern auf. Im Buchenurwald Uholka sind dagegen wesentlich höhere BHD mit Mulmhöhlen anwesend und beweisen anhand der Stammzahlverteilung in BHD-Klassen eine Struktur eines alten Waldes auf. Mit diesen unterschiedlichen Waldstrukturen wird klar, dass der Sihlwald noch immer ein junges Waldreservat ist, da grosse BHD-Klassen und somit Baumriesen kaum anwesend sind. Weiter stellte sich heraus, dass die Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen im Sihlwald deutlich weniger fortgeschritten sind als im Buchenurwald Uholka. Auch wird ersichtlich, dass die Höhlenbäume im Sihlwald nebst auf *F. sylvatica* auch auf *P. abies* zu beobachten sind. Die Studie zeigt, dass die *P. abies* vermutlich durch die ehemalige Forstwirtschaft gepflanzt wurden und er so zu einem Mischwald wurde. Hingegen sind die Mulmhöhlen im Buchenurwald Uholka fast ausschliesslich auf *F. sylvatica*, was den reinen Buchenurwald repräsentiert.

Erstaunlicherweise sind bereits Ähnlichkeiten der Wälder erzielt worden. Die Grösse der Mulmhöhleneingänge sind im Sihlwald, genau wie im Buchenurwald Uholka, am meisten in die grösste Kategorie (> 20 cm) zugewiesen worden. Weiter sind viele Mulmhöhlen beider Wälder in tiefen BHD-Klassen anwesend, was mit einer hohen Präsenz an Schalenwild erklärt wird. Auch wird gezeigt, dass dadurch die nächste Baumgeneration mit hoher Dichte anwesend ist und somit eine Langlebigkeit der Wälder gesichert ist.

Anhand dieser Auswertung und den zugezogenen Studien können im Sihlwald bereits erste Veränderungen Richtung Zustand eines Buchenurwald beobachtet werden. Einerseits haben nämlich die Baumdimensionen in den letzten 20 Jahren zugenommen und andererseits wird vermutet, dass mittlerweile mehr Mulmhöhlen vorhanden sind.

Als Fazit dieser Studie kann gesagt werden, dass der Sihlwald gute Voraussetzungen aufweist sich einst in einen ähnlichen Urwaldzustand zu verwandeln. Dafür benötigt er allerdings weiterhin viel Zeit und Geduld. Durch die bereits anwesenden Mulmhöhlen trägt der Sihlwald doch heute schon einen wesentlichen Beitrag zur Biodiversitätserhaltung und Förderung bei. Es wäre erfreulich, wenn diese Untersuchung in gleichmässigen Abständen wiederholt werden könnte, um die Entwicklung und Entfaltung des Sihlwaldes in einen buchenurwaldähnlichen Zustand zu verfolgen. Zudem wäre es praktisch, wenn die Aufnahmeprotokolle beider Wälder identisch aufgebaut werden, damit noch detailliertere Untersuchungen durchgeführt werden können.

Literaturverzeichnis

- Allgaier Leuch B, Streit K, Stillhard J, Cioldi F, Brang P, 2018. Zukunft der Fichte im Schweizer Mittelland. Wald und Holz, 3, 31-34.
- Brändli K, Stillhard J, Hobi M, Brang P, 2020. Waldinventur 2017 im Naturerlebnispark Sihlwald. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL). Abgerufen am 18.08.2021, https://www.researchgate.net/publication/349105165_Waldinventur_2017_im_Naturerlebnispark_Sihlwald
- Brändli U, Dowhanytsch J, 2003. Urwälder im Zentrum Europas. Haupt, Bern, 192 S.
- Bütler R, Lachat T, Krumm F, Kraus D, Larrieu L, 2020. Habitatbäume kennen, schützen und fördern. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 12 S.
- Bütler R, Lachat T, Larrieu L, Paillet Y, 2013. Habitat trees: key elements for forest biodiversity. In: Kraus D, Krumm F (Hrsg.). Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity. European Forest Institute, Germany, S. 86-94.
- Bunnell F, Wind E, Boyland M, Houde I, 2002. Diameters and heights of trees with cavities: their implication to management. General Technical Reports – USDA Forest Service, 1 (181), 717 – 737.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2020. Waldreservate. Abgerufen am 20.08.2021, <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/biodiversitaet/fachinformationen/massnahmen-zur-erhaltung-und-foerderung-der-biodiversitaet/oekologische-infrastruktur/waldreservate.html>
- Burgergemeinde Bern, 2017. Baumart Buche – Transitionskonzept (definiert mit Ch. Rosset, 21.06.2017). Unterricht Waldbau 1, HAFL von 2020.
- Commarmot B, Shparyk Y, Sukharyuk D, Bürgi A, Zingg A, 2009. Entwicklung zum Urwald? Ein Vergleich zwischen dem Zürcher Sihlwald und dem Buchenurwald Uholka in der Westukraine. Mitteilung der Hessischen Landesforstverwaltung, 47, 42-48.
- Felbermeier B, Mosandl R, 2011. Die Buche. Zentrum Wald Forst Holz, 44, 25-27.
- Gürlich S, 2009. Die Bedeutung alter Bäume für den Naturschutz – Alt- und Totholz als Lebensraum für bedrohte Artengemeinschaften. In: Dirk Dujesiefken (Hrsg.). Jahrbuch der Baumpflege 2009. Haymarket Media, Deutschland, S. 189-198.
- Imesch N, Stadler B, Bolliger M, Schneider O, 2015. Biodiversität im Wald: Ziele und Massnahmen. Vollzugshilfe zur Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt im Schweizer Wald. Bundesamt für Umwelt, Bern, 186 S.
- Kozák D, Mikoláš M, Svítok M, Bače R, Paillet Y, Larrieu L, Nagel T, Begovic K, Čada V, Diku A, Frankovič M, Janda P, Kameniar O, Keren S, Kjučukov P, Lábusová J, Langbehn T, Málek J, Mikac S, Morrissey R, Nováková M, Schurrman J, Svobodová K, Synek M, Teodosiu M, Toromani E, Trotsiuk V, Vítková L, Svoboda M, 2018. Profile of tree-related microhabitats in European primary beech-dominated forests. Forest Ecology and Management, 429, 363-374.
- Kupferschmid A, Brang P, 2010. Praxisrelevante Grundlagen: Zusammenspiel zwischen Wild und Wald. Umwelt-Wissen, 1013, 9-39.
- Lässig R, 2019. 20 Jahre nach «Lothar»: Durchzug im Wald. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, 17.12.2019. Abgerufen am 22.08.2021, <https://www.wsl.ch/de/newsseiten/2019/12/20-jahre-nach-lothar-durchzug-im-wald.html>
- Möller G, 2006. Großhöhlen als Zentren der Biodiversität. Abgerufen am 28.08.21, http://biotopholz.de/media/download_gallery/Grosshoehlen_-_Biodiversitaet.pdf (weitere Angaben fehlen)
- Larrieu L, Paillet Y, Winter S, Bütler R, Kraus D, Krumm F, Lachat T, Michel A. K, Regnery B, Vandekerckhove K, 2018. Baumbezogene Mikrohabitate in gemässigten und mediterranen europäischen Wäldern: Eine hierarchische Typologie zur Bestandsstandardisierung. Ökologische Indikatoren, 84, 194-207. Abgerufen am 18.08.2021, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X17305411>
- Paillet Y, Archaux F, Boulanger V, Debaive N, Fuhr M, Gilig O, Grosselin F, Guilbert E, 2017. Waldökologie und Management, 389, 176-186.
- Paillet Y, Debaive N, Archaux F, Cateau E, Gilg O, Guilbert E, 2019. Nothing else matters? Tree diameter and living status have more effects than biogeoclimatic context on microhabitat number and occurrence: An analysis in French forest reserves. PLoS ONE, 14(5), 1-18.
- Schauer B, Feldhaar H, Kanold A, Obermaier E, 2018. Mulmhöhlen – für die Artenvielfalt im Wald. Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 42, Bayern, 4 S.

- Schütz J.-Ph., 2003. Waldbau 1: Die Prinzipien der Waldnutzung und der Waldbehandlung. Professur Waldbau, ETHZ, 8092 Zürich, 191 S. Abgerufen am 19.08.2021, <https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/usys/ites/waldmgmt-waldbau-dam/documents/Lehrmaterialien/Skripte/Waldbau/waldbau1-03>
- Vandekerkhove K, Vanhellefont M, Vrška T, Meyer P, Tabaku V, Thomaes A, Leyman A, De Keersmaeker L, Verheyen K, 2018. Very large trees in a lowland old-growth beech (*Fagus sylvatica* L.) forest: Density, size, growth and spatial patterns in comparison to reference sites in Europe. *For. Ecol. Manage.*, 417, 1-17.
- Vuidot A, Paillet Y, Archaux F, Gosselin F, 2011. Influence of tree characteristics and forest management on tree microhabitats. *Biological Conservation*, 144 (1), 441-450.
- Zürich Tourismus, 2020. Sihlwald Zürich – Ein Naturerlebnis für die ganze Familie. Abgerufen am 20.08.2021, <https://www.zuerich.com/de/besuchen/natur/sihlwald-zuerich>

Dank

Hiermit geht ein besonders grosser Dank an Dr. Thibault Lachat, der mich während der Arbeit betreut hat. Seine hilfsbereite, flexible und stets freundliche Art schätzte ich sehr. Es machte die Zusammenarbeit sehr angenehm.

Ein nächster Dank möchte ich an das Team des Wildnisparks Zürich richten, die mir die Möglichkeit gaben, die Felddaten durchzuführen. Des Weiteren danke ich Jonas Stillhard und Laurent Larrieu, die mir meine Fragen über die Rohdaten vom Buchenurwald Uholka geduldig beantworteten. Zudem bedanke ich mich bei Nicolas Roth, der mir bei Fragen der Statistikauswertungen zur Verfügung stand. Zu guter Letzt bedanke ich mich bei Jennifer Gurtner, die mir bei den Felddaten fleissig mithalf.

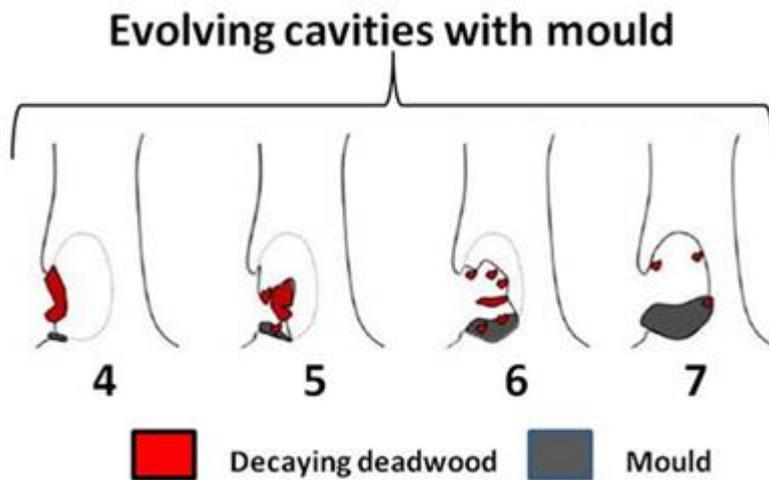
Anhang

1 Aufnahmeprotokoll	23
2 Rohdaten vom Sihlwald	25
3 Daten für R-Studio.....	27
4 R-Skript.....	32

1 Aufnahmeprotokoll

Inventary of tree cavities in Sihlwald (managed and unmanaged forest).

1. Check every tree with DBH ≥ 6 cm for cavities on the 10 ha
2. Only base rot-holes up to 2 m above soil (distance ground \rightarrow -lower border of the cavity)
3. Consider all rot-holes with an entry-diameter ≥ 3 cm (height or width)
4. TreM types: rot-hole with and without ground contact
5. Evolving stages from 4 to 7 (see drawing below)



Parameters	Definition
Tree number	Tree number written on the sample tree
Subplot	if available Subplot 1-40
X-Coord	X-coordinates (Swissgrid)
Y-Coord	Y-coordinates (Swissgrid)
DBH	in cm, with caliper or diameter tape
Tree species	latin name
Vitality	Dead/Alive. Only up to decay =3 for dead trees
Height of cavity opening above ground	Distance Ground \rightarrow lower border of the cavity in cm
Ground contact	Yes/No, evtl. test if the bottom of the cavity is soft or hard. If any doubt, compare the internal height of the cavity measured between the lower limit of the entrance and the cavity floor (with e.g. a rigid iron wire) and the distance from the lower limit of the entrance to the soil measured along the trunk
Cavity opening max.height	in cm
Cavity opening max. width	in cm
Cavity depth inside	Inside Depth from entrance to backwall in cm
Cavity height inside	Inside height from bottom to roof of the cavity cm, if possible

Material: Map of the stands GPS, protocol, caliper or diameter tape, measuring tape or folding meter knife, iron stick, small torch.

Remark 1: Take photographs of cavities if any question occurs.

Remark 2: Don't mixt rot-holes with root buttress concavities (no decay, walls covered by bark)

Forest Type: Managed/Unmanaged				Date:		Observers:									
Cavity Nr	Tree Nr	Subplot	X-Coord	Y-Coord	DBH (in cm)	Tree species	Tree vitality (dead/alive)	Height in cm above ground	Ground Contact (Y/N)	Cavity opening Height in cm	Cavity opening Width in cm	Cavity inside Depth in cm	Cavity inside Height in cm	Remark	
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															

2 Rohdaten vom Sihlwald

Tabelle Teil 1 von 2

M H Nr.	BNR	TF	X-Coord	Y-Coord	BHD (cm)	Art	Baumvitalität (tot/lebend)	Höhe Lochanfang oberirdisch (cm)	BK Ja/Nein	Hohlraumöffnung Höhe (cm)	Hohlraumöffnung Breite (cm)	Hohlraum Tiefe (cm)	Hohlraum im Innern, Höhe (cm)	Entwicklungsstufe (4-7)	sonstiges
1	35	41	2684718	1233731	12	Buche	lebend	250	Nein	150	6	5	150	5	über 2m über Boden
2	40	42	2684648	1233804	44	Buche	lebend	0	Ja	57	31	4	5	4	
3	-	43	2684626	1233795	49	Fichte	tot	20	Nein	13	8	10	13	Frass	
4	-	44	2684612	1233856	64	Buche	tot	50	Nein	6	6	5	6	Frass	
5	-	38	2684667	1233838	24	Buche	tot	27	Nein	17	13	9	17	Frass	
6	44	38	2684674	1233858	48	Buche	lebend	130	Nein	800	20	20	NA	6	V3
7	34	38	2684671	1233847	63	Buche	tot	100	Nein	10	3	3	10	Frass	
8	60	38	2684655	1233857	61	Buche	lebend	15	Nein	20	4	10	23	4	
9	-	38	2684645	1233838	51	Buche	tot	75	Nein	22	4	7	22	Frass	
10	10	38	2684709	1233890	37	Buche	lebend	0	Ja	60	10	10	NA	5	V5
11	-	39	2684705	1233818	72	Buche	tot	0	Ja	40	52	20	40	Frass	
12	-	39	2684697	1233824	61	Buche	tot	0	Ja	48	32	40	48	Frass	
13	11	39	2684721	1233818	15	Buche	lebend	100	Nein	51	10	3	51	4	
14	-	40	2684703	1233767	59	Buche	tot	0	Ja	27	18	20	27	Frass	
15	29	40	2684716	1233811	66	Buche	tot	10	Nein	10	8	3	8	Frass	
16	8	40	2684762	1233763	57	Buche	lebend	60	Nein	107	22	4	107	3 oder 4	
18	31	34	2684734	1233884	55	Buche	lebend	0	Ja	160	58	9	160	4	
19	-	34	2684734	1233842	16	unbekannt	tot	55	Nein	40	21	4	40	Frass	
20	28	34	2684723	1233847	64	Buche	lebend	0	Ja	23	11	30	34	5	
21	26	34	2684722	1233862	11	Buche	lebend	0	Ja	120	7	20	120	4	
22	54	35	2684694	1233871	66	Buche	tot	100	Nein	200	66	30	200	4	
23	2564	36	2684697	1233898	17	Buche	lebend	0	Ja	27	16	11	57	7	
24	56	36	2684656	1233925	49	Buche	lebend	17	Nein	17	5	14	31	7	
25	51	36	2684640	1233917	58	Buche	lebend	0	Ja	96	12	27	162	7	
26	24	36	2684666	1233937	44	Fichte	tot	130	Nein	41	9	17	41	Frass	
27	-	36	2684702	1233922	54	Fichte	tot	41	Nein		offen	24	47	Loch	
28	2	35	2684725	1233879	14	Buche	lebend	59	Nein	45	3	4	50	6	
29	1	35	2684725	1233879	64	Buche	lebend	34	Nein	23	5	15	23	5	
30	17	34	2684774	1233825	75	Fichte	lebend	0	Ja	11	6	58	11	5	
31	-	34	2684778	1233819	56	Fichte	tot	0	Ja	46	39	10	46	Frass	
32	34	32	2684801	1233824	64	Buche	lebend	20	Ja	60	18	30	NA	6	V8
33	35	31	2684779	1233853	10	Buche	lebend	30	Nein	12	4	4	12	4	
34	8	31	2684767	1233860	51	Buche	lebend	0	Ja	32	20	4	32	3 oder 4	
35	6	31	2684788	1233868	12	Buche	lebend	0	Ja	64	3	5	64	6	
36	591	31	2684747	1233885	53	Buche	lebend	22	Nein	11	3	7	11	6	
37	102	30	2684742	1233913	56	Buche	tot	0	Ja	31	10	12	31	Frass	
38	390	30	2684737	1233901	56	Buche	lebend	0	Ja	41	16	30	41	4	
39	1663	30	2684736	1233922	71	Buche	tot	50	Nein	3	3	5	3	Frass	
40	1819	29	2684705	1233938	77	Buche	tot	0	Ja	80	20	5	80	Frass	
41	34	29	2684690	1233955	55	Buche	lebend	0	Ja	20	16	12	20	4	
42	28	29	2684682	1233960	62	Fichte	tot	0	Ja	8	6	2	8	Frass	
43	64	30	2684770	1233921	53	Buche	lebend	10	Ja	25	5	20	NA	6	V 10/F24
45	63	26	2684790	1233906	61	Buche	tot	34	Nein	12	4	5	4	Frass	
46	-	26	2684793	1233923	49	Fichte	tot	14	Nein	18	9	3	18	Frass	
47	4	31	2684792	1233876	64	Buche	lebend	0	Ja	33	10	20	53	7	
48	19	32	2684802	1233862	51	Buche	tot	0	Ja	43	22	10	43	Frass	
49	2	32	2684836	1233856	77	Lärche	lebend	70	Nein	4	4	4	4	Frass	
50	3	32	2684838	1233845	67	Fichte	lebend	0	Ja	25	24	20	25	4	
51	45	25	2684828	1233864	65	Fichte	tot	100	Nein	7	6	43	140	7	
52	19	25	2684923	1233923	45	Buche	lebend	10	Nein	30	3	15	30	6	
53	20	25	2684844	1233902	80	Fichte	tot	100	Nein	5	3	4	5	Frass	
54	21	25	2684831	1233888	11	Buche	lebend	30	Nein	14	3	4	14	5	
55	-	26	2684844	1233932	70	unbekannt	tot	0	Ja	250	60	50	250	Frass	
56	12	26	2684809	1233919	90	Fichte	lebend	0	Ja	20	23	80	200	7	
57	12	27	2684789	1233971	31	Buche	lebend	40	Nein	12	8	7	12	6	

Tabelle Teil 2 von 2

58	2	28	2684758	1234013	59	Buche	lebend	40	Nein	5	5	5	6	5	
59	-	28	2684754	1234018	13	Fichte	tot	0	Ja	30	20	5	30	Frass	
60	111	21	2684754	1234015	18	Fichte	tot	0	Ja	26	20	5	26	Frass	
61	214	21	2684774	1234004	34	Buche	lebend	0	Ja	10	10	14	21	6	
62	671	21	2684772	1233983	35	Buche	lebend	20	Nein	36	10	7	36	5	
63	1131	21	2684762	1233997	55	Buche	lebend	10	Nein	100	15	10	100	5	
63	1131	21	2684762	1233997	55	Buche	lebend	11	Nein	100	15	10	100	5	
64	37	23	2684837	1233951	11	Buche	lebend	10	Nein	72	8	5	72	5	
65	24	23	2684846	1233966	90	Fichte	lebend	0	Ja	15	15	14	15	4	
66	27	23	2684846	1233940	57	Buche	tot	100	Nein	35	7	2	35	Frass	
67	32	23	2684864	1233934	62	Fichte	lebend	80	Nein	16	10	19	30	7	
68	40	24	2684864	1233918	62	Buche	lebend	120	Nein	700	15	14	700	6	
69	-	24	2684877	1233900	70	Fichte	tot	60	Nein	20	15	30	20	Frass	
70	32	24	2684882	1233902	76	Buche	lebend	0	Ja	120	12	30	67	5	
71	19	24	2684881	1233923	18	Buche	lebend	45	Nein	10	4	10	15	6	
72	40	17	2684922	1233921	67	Buche	lebend	0	Ja	30	15	15	60	7	
73	-	19	2684877	1234006	69	Buche	tot	0	Ja	250	40	20	250	Frass	
74	18	20	2684822	1234085	14	Buche	lebend	90	Nein	90	4	7	105	6	
75	4	20	2684835	1234088	23	Buche	lebend	0	Ja	28	10	13	150	7	
76	53	37	2684639	1233876	68	Buche	lebend	200	Nein	250	50	20	250	4	
77	-	44	2684616	1233842	64	Buche	tot	50	Nein	7	7	5	7	Frass	
78	50	13	2684845	1234089	28	Buche	lebend	0	Ja	37	6	5	38	5	
79	411	14	2684872	1234052	56	Esche	tot	70	Nein	38	10	7	38	Frass	
80	442	14	2684894	1234056	46	Buche	tot	50	Nein	23	10	25	23	Frass	
81	361	14	2684880	1234055	25	Buche	lebend	0	Ja	27	22	30	100	7	
82	241	14	2684887	1234080	56	Buche	lebend	150	Nein	200	10	4	200	5	
83	272	13	2684870	1234092	14	Buche	lebend	0	Ja	29	5	9	80	7	
84	10	15	2684948	1234019	72	Buche	lebend	20	Nein	28	4	4	28	4	
85	32	15	2684929	1234007	61	Fichte	lebend	0	Ja	51	9	16	51	5	
86	34	16	2684957	1233974	81	Buche	lebend	0	Ja	66	8	40	130	7	
87	93	10	2684925	1234062	59	Buche	lebend	8	Nein	24	5	3	24	4	
88	35	11	2684925	1234085	61	Buche	lebend	20	Nein	44	5	10	44		
89	-	5	2684927	1234158	20	Buche	tot	0	Ja	17	27	5	17	Frass	
90	99	6	2684974	1234161	10	Fichte	tot	0	Ja	18	15	4	18	Frass	
91	12	5	2684953	1234187	23	Fichte	tot	0	Ja	7	30	5	7	Frass	
92	-	7	2684975	1234091	64	Fichte	tot	0	Ja	71	50	15	71	Frass	
93	59	7	2684981	1234069	83	Fichte	tot	50	Nein	31	4	6	31		
94	32	8	2685030	1234040	46	Esche	lebend	0	Ja	52	5	7	52	4	
95	8	8	2685047	1234079	10	Buche	lebend	0	Ja	123	10	6	123	5	
95	8	8	2685047	1234079	10	Buche	lebend	1	Ja	123	10	6	123	5	

3 Daten für R-Studio

3.1 Daten auf Ebene der Höhlenbäume

Tabelle fortlaufend von oben nach unten

Wald	TF	M/TF	BHD	BHD-Klasse
Sihlwald	8	2	10	8
Sihlwald	31	5	10	8
Sihlwald	23	3	11	13
Sihlwald	34	5	11	13
Sihlwald	31	5	12	13
Sihlwald	41	1	12	13
Sihlwald	13	2	14	13
Sihlwald	20	2	14	13
Sihlwald	35	3	14	13
Sihlwald	39	1	15	13
Sihlwald	36	4	17	18
Sihlwald	24	3	18	18
Sihlwald	20	2	23	23
Sihlwald	14	2	25	23
Sihlwald	13	2	28	28
Sihlwald	21	3	34	33
Sihlwald	21	3	35	33
Sihlwald	38	3	37	38
Sihlwald	42	1	44	43
Sihlwald	8	2	46	48
Sihlwald	38	3	48	48
Sihlwald	36	4	49	48
Sihlwald	31	5	51	53
Sihlwald	30	2	53	53
Sihlwald	31	5	53	53
Sihlwald	36	4	54	53
Sihlwald	21	3	55	53
Sihlwald	29	1	55	53
Sihlwald	34	5	55	53
Sihlwald	34	5	55	53
Sihlwald	14	2	56	58
Sihlwald	30	2	56	58
Sihlwald	40	1	57	58
Sihlwald	36	4	58	58
Sihlwald	10	1	59	58
Sihlwald	11	1	61	53
Sihlwald	15	2	61	53
Sihlwald	38	3	61	53
Sihlwald	23	3	62	53
Sihlwald	24	3	62	53
Sihlwald	31	5	64	53
Sihlwald	32	2	64	53
Sihlwald	34	5	64	53
Sihlwald	35	3	64	53

Sihlwald	35	3	66	58
Sihlwald	17	1	67	58
Sihlwald	32	2	67	58
Sihlwald	37	1	68	58
Sihlwald	15	2	72	73
Sihlwald	34	5	75	73
Sihlwald	24	3	76	78
Sihlwald	16	1	81	83
Sihlwald	7	1	83	83
Sihlwald	23	3	90	88
Uholka	9	1	16.4	18
Uholka	2	4	16.6	18
Uholka	16	3	17.85	18
Uholka	24	4	19.9	18
Uholka	8	5	20.3	18
Uholka	1	2	21.3	23
Uholka	29	1	21.85	23
Uholka	5	3	27.05	28
Uholka	24	4	27.8	28
Uholka	34	4	31	33
Uholka	23	2	38.85	38
Uholka	30	5	39	38
Uholka	32	5	39.6	38
Uholka	2	4	39.8	38
Uholka	22	2	41.3	43
Uholka	8	5	41.35	43
Uholka	30	5	44.4	43
Uholka	7	2	45.1	43
Uholka	16	3	45.35	43
Uholka	23	2	47.2	48
Uholka	10	2	48.95	48
Uholka	2	4	52.05	53
Uholka	34	4	54.2	53
Uholka	31	4	56.2	58
Uholka	32	5	57.2	58
Uholka	6	3	57.95	58
Uholka	21	1	58.3	58
Uholka	5	3	58.65	58
Uholka	3	1	60.2	58
Uholka	8	5	60.6	63
Uholka	32	5	62.2	63
Uholka	32	5	63.05	63
Uholka	26	1	64.6	63
Uholka	5	3	65.95	68
Uholka	7	2	69.8	68

Uholka	30	5	73.3	73
Uholka	34	4	77.2	78
Uholka	15	1	78	78
Uholka	11	1	78.2	78
Uholka	30	5	79.4	78
Uholka	31	4	79.5	78
Uholka	22	2	79.7	78
Uholka	31	4	79.7	78
Uholka	6	3	80.5	83
Uholka	10	2	80.9	83
Uholka	17	1	82.5	83
Uholka	33	1	84.1	83
Uholka	28	3	85.5	88
Uholka	32	5	86.3	88
Uholka	18	2	86.8	88

Uholka	16	3	87.1	88
Uholka	30	5	91.1	93
Uholka	6	3	92.1	93
Uholka	31	4	93.1	93
Uholka	35	1	94.2	93
Uholka	28	3	96.6	98
Uholka	1	2	97.5	98
Uholka	2	4	104.5	103
Uholka	8	5	109.3	108
Uholka	34	4	110	108
Uholka	28	3	111.8	113
Uholka	24	4	112.2	113
Uholka	24	4	115.2	113
Uholka	18	2	116	118
Uholka	8	5	120.4	118

3.2 Daten auf Ebene der Mulmhöhlen

Tabelle fortlaufend von oben nach unten

Wald	TF	M/TF	goesse	stadium	BHD	groesse/TF	stadium/TF
Sihlwald	31	6	1	4	10	6	23
Sihlwald	8	3	3	4	10	8	23
Sihlwald	34	5	3	4	11	7	23
Sihlwald	39	1	3	4	15	3	23
Sihlwald	42	1	3	4	44	1	23
Sihlwald	8	3	3	4	46	8	23
Sihlwald	31	6	3	4	51	6	23
Sihlwald	31	6	1	4	53	6	23
Sihlwald	31	6	1	4	53	6	23
Sihlwald	29	1	2	4	55	3	23
Sihlwald	34	5	3	4	55	7	23
Sihlwald	34	5	3	4	55	7	23
Sihlwald	30	2	3	4	56	4	23
Sihlwald	40	1	3	4	57	3	23
Sihlwald	10	1	2	4	59	1	23
Sihlwald	38	3	2	4	61	6	23
Sihlwald	11	1	3	4	61	1	23
Sihlwald	35	3	3	4	66	3	23
Sihlwald	32	2	3	4	67	4	23
Sihlwald	37	1	3	4	68	1	23
Sihlwald	15	2	2	4	72	2	23
Sihlwald	7	1	2	4	83	2	23
Sihlwald	23	3	2	4	90	4	23
Sihlwald	8	3	1	5	10	8	14
Sihlwald	23	3	3	5	11	4	14
Sihlwald	41	1	3	5	12	1	14
Sihlwald	13	2	3	5	28	2	14
Sihlwald	21	4	3	5	35	5	14

Sihlwald	38	3	3	5	37	6	14
Sihlwald	21	4	3	5	55	5	14
Sihlwald	21	4	3	5	55	5	14
Sihlwald	14	2	3	5	56	4	14
Sihlwald	15	2	3	5	61	2	14
Sihlwald	34	5	2	5	64	7	14
Sihlwald	35	3	2	5	64	3	14
Sihlwald	34	5	1	5	75	7	14
Sihlwald	24	3	3	5	76	4	14
Sihlwald	31	6	3	6	12	6	9
Sihlwald	20	2	3	6	14	2	9
Sihlwald	35	3	3	6	14	3	9
Sihlwald	24	3	1	6	18	4	9
Sihlwald	21	4	1	6	34	5	9
Sihlwald	38	3	3	6	48	6	9
Sihlwald	30	2	2	6	53	4	9
Sihlwald	24	3	3	6	62	4	9
Sihlwald	32	2	3	6	64	4	9
Sihlwald	13	2	2	7	14	2	10
Sihlwald	36	3	3	7	17	4	10
Sihlwald	20	2	2	7	23	2	10
Sihlwald	14	2	3	7	25	4	10
Sihlwald	36	3	2	7	49	4	10
Sihlwald	36	3	3	7	58	4	10
Sihlwald	23	3	2	7	62	4	10
Sihlwald	31	6	3	7	64	6	10
Sihlwald	17	1	3	7	67	1	10
Sihlwald	16	1	3	7	81	1	10
Uholka	9	2	2	4	16.4	6	16
Uholka	2	5	3	4	16.6	5	16
Uholka	30	5	3	4	39	6	16
Uholka	31	5	3	4	56.2	7	16
Uholka	30	5	3	4	73.3	6	16
Uholka	31	5	3	4	79.7	7	16
Uholka	6	3	3	4	80.5	3	16
Uholka	10	3	3	4	80.9	4	16
Uholka	33	1	3	4	84.1	1	16
Uholka	28	4	2	4	85.5	5	16
Uholka	18	2	3	4	86.8	2	16
Uholka	35	2	3	4	94.2	3	16
Uholka	12	3	3	4	96.5	6	16
Uholka	28	4	3	4	111.8	5	16
Uholka	18	2	3	4	116	2	16
Uholka	8	7	3	4	120.4	9	16
Uholka	16	4	3	5	17.85	6	13
Uholka	29	1	1	5	21.85	4	13
Uholka	5	3	1	5	27.05	3	13
Uholka	34	4	2	5	31	6	13

Uholka	7	3	1	5	45.1	4	13
Uholka	32	6	3	5	57.2	8	13
Uholka	21	1	2	5	58.3	3	13
Uholka	5	3	2	5	58.65	3	13
Uholka	3	1	3	5	60.2	3	13
Uholka	8	7	3	5	60.6	9	13
Uholka	32	6	3	5	63.05	8	13
Uholka	32	6	2	5	86.3	8	13
Uholka	30	5	2	5	91.1	6	13
Uholka	24	1	3	6	19.9	4	33
Uholka	8	7	2	6	20.3	9	33
Uholka	1	2	1	6	21.3	4	33
Uholka	24	1	3	6	27.8	4	33
Uholka	23	2	2	6	38.85	2	33
Uholka	32	6	3	6	39.6	8	33
Uholka	2	5	1	6	39.8	5	33
Uholka	8	7	2	6	41.35	9	33
Uholka	30	5	3	6	44.4	6	33
Uholka	16	4	3	6	45.35	6	33
Uholka	36	3	3	6	51.75	7	33
Uholka	2	5	3	6	52.05	5	33
Uholka	34	4	3	6	54.2	6	33
Uholka	32	6	3	6	62.2	8	33
Uholka	26	2	2	6	64.6	4	33
Uholka	5	3	3	6	65.95	3	33
Uholka	36	3	3	6	73.8	7	33
Uholka	34	4	3	6	77.2	6	33
Uholka	15	1	3	6	78	1	33
Uholka	11	2	3	6	78.2	7	33
Uholka	30	5	2	6	79.4	6	33
Uholka	31	5	3	6	79.5	7	33
Uholka	36	3	3	6	79.6	7	33
Uholka	22	2	2	6	79.7	4	33
Uholka	16	4	3	6	87.1	6	33
Uholka	8	7	3	6	87.8	9	33
Uholka	6	3	3	6	92.1	3	33
Uholka	28	4	3	6	96.6	5	33
Uholka	8	7	2	6	102.3	9	33
Uholka	2	5	3	6	104.5	5	33
Uholka	8	7	1	6	109.3	9	33
Uholka	34	4	2	6	110	6	33
Uholka	24	1	3	6	112.2	4	33
Uholka	28	4	3	7	22.55	5	24
Uholka	2	5	2	7	39.8	5	24
Uholka	22	2	3	7	41.3	4	24
Uholka	23	2	1	7	47.2	2	24
Uholka	14	2	3	7	48.55	4	24
Uholka	10	3	2	7	48.95	4	24

Uholka	6	3	3	7	57.95	3	24
Uholka	16	4	3	7	65.55	6	24
Uholka	7	3	3	7	69.8	4	24
Uholka	9	2	3	7	72.5	6	24
Uholka	31	5	3	7	74.5	7	24
Uholka	7	3	3	7	77.05	4	24
Uholka	17	1	3	7	82.5	2	24
Uholka	11	2	3	7	83.5	7	24
Uholka	10	3	3	7	83.6	4	24
Uholka	35	2	3	7	91.9	3	24
Uholka	31	5	3	7	93.1	7	24
Uholka	12	3	3	7	96.5	6	24
Uholka	26	2	3	7	96.7	4	24
Uholka	1	2	2	7	97.5	4	24
Uholka	14	2	3	7	102.2	4	24
Uholka	12	3	3	7	104.7	6	24
Uholka	24	1	3	7	115.2	4	24
Uholka	32	6	3	7	129	8	24

4 R-Skript

```
install.packages("readxl")  
library(readxl)
```

```
data_s_u_Höhlenbäume <- read_excel(file.choose(), na="NA")
```

```
data_s_u_Höhlen <- read_excel(file.choose(), na="NA", sheet = 2)
```

```
#####
```

Ebene Höhlenbäume

Anzahl Höhlenbäume pro Teilfläche Sihlwald und Uholka

```
boxplot(data_s_u_Höhlenbäume$`M/TF`~data_s_u_Höhlenbäume$Wald)
```

```
wilcox.test(`M/TF`~Wald, data_s_u_Höhlenbäume, exact=FALSE,  
ylab = "Anzahl Höhlenbäume pro Teilfläche")
```

BHD der Höhlenbäume Sihlwald und Uholka

```
boxplot(data_s_u_Höhlenbäume$BHD~data_s_u_Höhlenbäume$Wald,  
xlab = "", ylab = "BHD [cm]")
```

```
wilcox.test(BHD~Wald, data_s_u_Höhlenbäume, exact=FALSE)
```

Anzahl Höhlenbäume pro BHD-Klasse Sihlwald Uholka

```
barplot(table(data_s_u_Höhlenbäume$Wald, data_s_u_$`BHD-Klasse`), beside = TRUE,  
axis.lty = 1,  
ylab = "Anzahl Mulmhöhlen", xlab = "BHD-Klassen (4cm)",  
main = "Bäume mit Mulmhöhlen pro BHD-Klasse",  
legend("topright", c("Sihlwald", "Uholka"), pch = 15, col = c("black", "grey")))
```

```
#####
```

Ebene Mulmhöhlen

Eingangsrößen der Mulmhöhlen mit BHD im Sihlwald und Uholka

```
boxplot(data_s_u_Höhlen$BHD~data_s_u_Höhlen$Wald+data_s_u_Höhlen$groesse, outline=F,  
axes=F, xlab="Mulmhöhlengröße (1=3-10cm; 2=11-20cm; 3=>20cm)", ylab="", main="Größe der  
Mulmhöhlen in Häufigkeit pro BHD")
```

```
#axes
```

```
axis(1, mpg=c(0,0.5,0), tck=-0.02, at=c(1:6), labels = rep(c("Sihlwald", "Uholka"), 3))
```

```
axis(2, mpg=c(0,0.5,0), tck=-0.02, las=2)
```

```
box()
```

```
mtext("BHD", 2,2)
```

```
mtext(c("1", "2", "3"), 1,2, at=c(1.5, 3.5,5.5))
```

```
wilcox.test(data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$groesse=="1", "BHD"]~data_s_u_Höhlen[data_s_u_H  
öhlen$groesse=="1", "Wald"])
```

```
wilcox.test(data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$groesse=="2","BHD"]~data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$groesse=="2","Wald"])
wilcox.test(data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$groesse=="3","BHD"]~data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$groesse=="3","Wald"])
```

Entwicklungsstadium der Mulmhöhlen mit BHD im Sihlwald und Uholka

```
boxplot(data_s_u_Höhlen$BHD~data_s_u_Höhlen$Wald+data_s_u_Höhlen$stadium, outline=F, axes=F, xlab="Entwicklungsstadien", ylab="",main="Entwicklungsstadien der Mulmhöhlen")
```

```
#axes
axis(1,mpg=c(0,0.5,0), tck=-0.02, at=c(1:8), labels = rep(c("Sihl.", "Uholk."), 4))
axis(2,mpg=c(0,0.5,0), tck=-0.02, las=2)
box()
mtext("BHD", 2,2)
mtext(c("4","5","6","7"),1,2, at=c(1.5, 3.5, 5.5, 7.5))
```

```
wilcox.test(data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$stadium=="4","BHD"]~data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$stadium=="4","Wald"])
wilcox.test(data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$stadium=="5","BHD"]~data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$stadium=="5","Wald"])
wilcox.test(data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$stadium=="6","BHD"]~data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$stadium=="6","Wald"])
wilcox.test(data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$stadium=="7","BHD"]~data_s_u_Höhlen[data_s_u_Höhlen$stadium=="7","Wald"])
```