



Hochschule für Forstwirtschaft
Rottenburg

Hochschule für Angewandte Wissenschaften

BACHELORARBEIT

Im Studiengang

B.Sc. Forstwirtschaft

"Analyse der Baummikrohabitate in den Abteilungen Weisser Stein und Eichling im
Forstbetrieb Rothenbuch:

Ein exemplarischer Vergleich mit dem Naturwaldreservat Eichhall/Spessart/Bayern"

Melina Miedtke

Allgemeine Angaben

Verfasserin

Melina Miedtke

Schadenweilerstraße 11

D- 72108 Rottenburg am Neckar

Studiengang: B.Sc. Forstwirtschaft

Matrikelnummer: 201750

Erstprüfer

Prof. Dr. Sebastian Hein, Professor der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg
Professur für Waldbau, Waldbautechnik, Forstpflanzenzucht und Ertragskunde

Zweitprüfer

Ruth Morell

Anschrift der HFR

Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

Schadenweilerhof

72108 Rottenburg am Neckar

Copyright© 2024

D-72108 Rottenburg am Neckar

Das geistige Eigentum dieser Abschlussarbeit liegt ausschließlich bei der Verfasserin. Jegliche Reproduktion oder Verbreitung, auch über elektronische Systeme, ist ohne vorherige schriftliche Genehmigung untersagt. Erlaubnis zur Nutzung ist bei der HFR einzuholen. Werke, für die eine Sperre besteht, dürfen in keiner Form weiterverwendet werden.

Inhaltsverzeichnis

I	Abbildungsverzeichnis	IV
II	Formelverzeichnis	VI
III	Tabellenverzeichnis	VI
IV	Abkürzungsverzeichnis	VII
V	Abstract.....	IX
VI	Zusammenfassung.....	XI
1	Einleitung	1
1.1	Hintergrund	1
1.2	Problemstellung	2
1.3	Zielsetzung.....	2
1.4	Stand des Wissens	3
1.4.1	Definition der BMH	3
1.4.2	Biodiversität und BMH.....	4
1.4.3	BMH in der bisherigen Forschung.....	5
1.4.4	Waldbewirtschaftung und Naturschutz.....	6
2	Material	8
2.1	Naturraum, Geologie und Standort	9
2.2	Historische Einordnung und die Bedeutung der Eichensaat	10
2.3	Abteilung Weisser Stein	11
2.4	Abteilung Eichling.....	12
2.5	NWR Eichhall.....	12
3	Methoden	13
3.1	Angewandte Methoden	13
3.2	Literaturrecherche	13
3.3	Primäranalyse	14
3.3.1	Typologie der BMH nach Larrieu et al. (2018).....	14

3.3.2	Aufnahmeverfahren und Inventurdesign	16
3.3.3	Ablauf, Instrumente und Materialien.....	20
3.4	Auswertung	23
3.4.1	Deskriptive statistische Auswertung mit Excel	23
3.4.2	Binäre logistische Regression	23
3.4.3	Geoanalyse mit ArcGIS.....	25
4	Ergebnisse	25
4.1	Ergebnisse zu den Bestandesdaten.....	26
4.1.1	Baumartenverteilung	26
4.1.2	BHD-Klassen-Verteilung	27
4.1.3	Bestandeshöhenkurven	28
4.1.4	Vorrat	30
4.2	Ergebnisse zur Verteilung der BMH	32
4.2.1	Baumartenunabhängig.....	32
4.2.2	Baumartenabhängig.....	38
4.2.3	Anzahl der BMH nach Baumarten.....	42
4.3	Ergebnisse zur Verteilung der BMH über dem BHD	42
4.3.1	Anteil der BMH-Träger in den BHD-Klassen	42
4.3.2	Baumartenunabhängig.....	43
4.3.3	Baumartenabhängig.....	43
4.3.4	Anzahl der BMH nach BHD-Klassen.....	45
4.4	Binär logistische Regressionsanalyse.....	48
4.4.1	Wahrscheinlichkeit für das Auffinden von mindestens einem BMH.....	49
4.4.2	Wahrscheinlichkeit für das Auffinden der sieben BMH-Formen auf der Buche	50
4.4.3	Wahrscheinlichkeit für das Auffinden der sieben BMH-Formen auf der Eiche	53
4.5	Geoanalyse.....	54

4.5.1	Baumartenverteilung im räumlichen Kontext.....	55
4.5.2	Dichte der BMH im räumlichen Kontext	56
4.5.3	Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Bewirtschaftung und BMH	58
4.6	Vergleich der Abteilungen mit dem NWR Eichhall	60
4.6.1	Vergleich der Bestandesdaten	61
4.6.2	Vergleich der Verteilung der BMH.....	62
5	Diskussion.....	63
5.1	Material	63
5.2	Methoden.....	64
5.3	Ergebnisse	66
5.3.1	Bestandesdaten	66
5.3.2	Dichte der BMH.....	67
5.3.3	Vielfalt der BMH	68
5.3.4	Einflüsse der Baumart auf die BMH	69
5.3.5	Einflüsse des BHD auf das Vorkommen der BMH	70
5.3.6	Effekte des BHD auf die Anzahl der BMH.....	71
5.3.7	Effekte des BHD auf bestimmte BMH-Formen.....	71
5.3.8	Auswirkungen der Bewirtschaftung auf die BMH	72
5.4	Geoanalyse.....	74
6	Fazit und Ausblick.....	74
7	Literaturverzeichnis.....	77
8	Eidesstattliche Erklärung.....	85
9	Anhang.....	1

I Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Räumliche Einordnung der Untersuchungsgebiete	9
Abbildung 2	Karte mit bereits vorhandenen und erweiterten Inventurpunkten der Abteilung Weisser Stein (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)	19
Abbildung 3:	Karte mit bereits vorhandenen und erweiterten Inventurpunkten der Abteilung Eichling (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)	20
Abbildung 4:	Verwendete Materialien und Messinstrumente (Eigene Darstellung unter Verwendung des Bildmaterials von Schonstedt 2022; Grube 2024; Bütler et al. 2020a ; LWF 2021)	22
Abbildung 5:	Verhältnis der Stammzahl je ha zwischen Buche und Eiche	27
Abbildung 6:	BHD-Klassen-Verteilung der Baumarten. n = 467	28
Abbildung 7:	Bestandeshöhenkurven der Buchen und Eichen	30
Abbildung 8:	Bestandesvorrat je ha über den BHD-Klassen	31
Abbildung 9:	Anteil der Baumarten am Vorrat je ha	32
Abbildung 10:	Anteile der sieben BMH-Formen	33
Abbildung 11:	Anteile der 15 BMH-Gruppen	35
Abbildung 12:	Anzahl der 47 BMH-Typen	37
Abbildung 13:	Anteil der Baumarten, der die jeweilige BMH-Form aufwies	39
Abbildung 14:	Anteil der Baumart, der die jeweilige BMH-Gruppe aufwies.	40
Abbildung 15:	Anteil aller Bäume mit mindestens einem BMH	43
Abbildung 16:	Anteil der Buchen mit mindestens einem BMH	44
Abbildung 17:	Anteil der Eichen mit mindestens einem BMH	45
Abbildung 18:	Anzahl der BMH je BHD-Klasse und Summenkurve (Buche)	46
Abbildung 19:	Anzahl der BMH je BHD-Klasse und Summenkurve (Eiche)	46
Abbildung 20:	Mittelwert der BMH-Anzahl je Buche innerhalb der BHD-Klassen im Vergleich zum Mittelwert $\bar{\mu} = 0,4$ klassenunabhängig	47
Abbildung 21:	Mittelwert der BMH-Anzahl je Eiche innerhalb der BHD-Klassen im Vergleich zum Mittelwert $\bar{\mu} = 1,9$ klassenunabhängig	48
Abbildung 22:	Logistische Regressionskurve für den Sachverhalt "mindestens ein BMH" baumartenunabhängig	49
Abbildung 23:	Logistische Regressionskurve für den Sachverhalt "mindestens ein BMH" bei der Buche	50

Abbildung 24:	Logistische Regressionskurve für die Gruppe Höhlen bei der Buche	51
Abbildung 25:	Logistische Regressionskurve für die Gruppe Stammverletzungen bei der Buche	52
Abbildung 26:	Logistische Regressionskurve für die Gruppe Kronentotholz bei der Buche	52
Abbildung 27	Logistische Regressionskurve für die Gruppe Höhlen bei der Eiche	53
Abbildung 28:	Logistische Regressionskurve für die Gruppe Kronentotholz bei der Eiche	54
Abbildung 29:	Karte zur Stammzahlverteilung an den Stichprobenpunkten im Weissen Stein (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)	55
Abbildung 30:	Karte zur Stammzahlverteilung an den Stichprobenpunkten im Eichling (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)	56
Abbildung 31:	Karte zur Darstellung der Anzahl der vorgefundenen BMH je Inventurpunkt im Weissen Stein (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)	57
Abbildung 32:	Karte zur Darstellung der Anzahl der vorgefundenen BMH je Inventurpunkt im Eichling (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri) ..	57
Abbildung 33:	Bäume in räumlicher Nähe (zehn m) zu den Rückegassen und Wegen	58
Abbildung 34:	Vergleich der Anteile an BMH-Trägern in Bezug auf die räumliche Nähe zu Rückegassen und Wegen	59
Abbildung 35:	Vergleich der Anteile an BMH-Trägern in Bezug auf die räumliche Nähe zu Rückegassen und Wegen (Mulmhöhlen)	60
Abbildung 36:	Vergleich der Anteile an BMH-Trägern in Bezug auf die räumliche Nähe zu Rückegassen und Wegen (Holz ohne Rinde)	60
Abbildung 37:	Vergleich des Stammzahlverhältnisses der Baumarten zwischen dem NWR Eichhall und den Abteilungen Weisser Stein und Eichling	61
Abbildung 38:	Vergleich der Anteile der BMH-Träger zwischen dem NWR Eichhall und den Abteilungen Weisser Stein und Eichling (baumartenunabhängig)	62

- Abbildung 39: Vergleich der Anteile der BMH-Träger zwischen dem NWR Eichhall und den Abteilungen Weisser Stein und Eichling (Eiche) . 63
- Abbildung 40: Vergleich der Anteile der BMH-Träger zwischen dem NWR Eichhall und den Abteilungen Weisser Stein und Eichling (Buche) 63

II Formelverzeichnis

Formel 1:	Formel zur Berechnung der einfachen logistischen Regression (Scheuber 2024).....	23
Formel 2:	Formel zur Berechnung der Odds Ratio (Universität Zürich 2023) .	24
Formel 3:	Formel zur Berechnung der Effektstärke nach Cohen (Scheuber 2024)	25
Formel 4:	Regressionsgleichung der Höhenkurve für die Buche.....	29
Formel 5:	Regressionsgleichung der Höhenkurve für die Eiche	29
Formel 6:	Berechnung des Vorrates eines stehenden Baumes	30

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Hierarchische Gliederung der BMH.....	15
Tabelle 2:	Auflistung der bei der Feldaufnahme verwendeten Messinstrumente und Hilfsmaterialien.....	22
Tabelle 3:	Baumartenverteilung, n = 478	26
Tabelle 4:	Mittelwert (cm) und Median (cm) der Baumarten	28
Tabelle 5:	Vorrat insgesamt und je Baumart	32
Tabelle 6:	Zusammenfassung allgemeiner Kennzahlen.....	33
Tabelle 7:	Dichte der BMH-Formen je ha.....	34
Tabelle 8:	Dichte der 15 BMH-Gruppen je ha	36
Tabelle 9:	Anteil der Baumarten, der den jeweiligen BMH-Typ aufwies.....	41
Tabelle 10:	Anteil der Bäume mit unterschiedlicher Anzahl an BMH	42
Tabelle 11:	Modellgleichung und Signifikanz der Koeffizienten für den Sachverhalt „mindestens ein BMH“	49
Tabelle 12:	Modellgleichung und Signifikanz der Koeffizienten für die BMH-Formen auf der Buche.....	51

Tabelle 13:	Modellgleichung und Signifikanz der Koeffizienten für die BMH- Formen auf der Eiche	53
Tabelle 14:	Vergleich des Mittelwertes des BHD des NWR den Abteilungen Weisser Stein und Eichling	62

IV Abkürzungsverzeichnis

AöR:	Anstalt des öffentlichen Rechts
BaySF:	Bayerische Staatsforsten
BHD:	Brusthöhendurchmesser
BMH:	Baummikrohabitate
Buche:	Rot-Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)
cm:	Zentimeter
Eiche:	Trauben-Eiche (<i>Quercus petraea</i>)
ha:	Hektar
LWF:	Landesanstalt für Wald und Forst
m:	Meter
NSG:	Naturschutzgebiet
VFm:	Vorratsfestmeter

V Abstract

Biodiversity is essential for the stability and resilience of forest ecosystems. The loss of biodiversity is one of the greatest challenges of our time. Forests fulfill a variety of functions that are increasingly important in the context of global warming. Critics argue that forestry contributes to the loss of biodiversity and call for large-scale preservation of forest areas. Therefore, sustainable and climate-adapted forest management is indispensable for forestry. Tree microhabitats serve as indicators of biodiversity as they provide habitats for specialized species. An increase in Tree microhabitats presence is assumed to correlate with higher species diversity.

This study collected data in managed forests. A sample inventory was conducted in the Weisser Stein and Eichling departments. Additionally, the collected data were compared with existing data from an unmanaged forest. The Eichhall Nature Reserve (NWR) was chosen as a comparison object. The studied forest areas are located in the Bavarian Spessart and are part of the Rothenbuch Forest Enterprise.

The collected and existing data show a correlation between the presence of Tree microhabitats and the diameter at breast height. Both in the NWR and on managed land, trees with a diameter at breast height of 80 cm or more are likely to have at least one Tree microhabitats. The significance of management practices regarding the diversity and occurrence of Tree microhabitats was explored. In this context, the influence of management on tree species composition was also examined. In the managed areas, the proportion of sessile oak (*Quercus petraea*) is significantly higher than in the unmanaged areas of the NWR. Over time, European beech (*Fagus sylvatica*) has become dominant in the NWR due to its high competitiveness. The proportion of oaks in the managed areas was 59%, compared to only 19% in the unmanaged NWR. Both managed and unmanaged areas showed a correlation between the oak species and a higher occurrence of Tree microhabitats.

In the managed Weisser Stein and Eichling departments, a total of 480 Tree microhabitats were recorded on 456 beeches and oaks. This corresponds to a density of 213 Tree microhabitats per hectare. In the unmanaged NWR, this density was 240 Tree microhabitats per hectare. Consequently, the Tree microhabitats density in the managed areas is considered particularly high.

The critics' demand for the cessation of forestry operations appears undifferentiated and flawed. Inactivity and lack of management do not contribute to a higher occurrence

of Tree microhabitats. On the contrary, targeted management can significantly contribute to the preservation of biodiversity.

VI Zusammenfassung

Biodiversität ist essenziell für die Stabilität und Resilienz von Waldökosystemen. Der Verlust von Biodiversität zählt zu den größten Herausforderungen unserer Zeit. Wälder erfüllen vielfältige Aufgaben, die in Zeiten der globalen Erwärmung zunehmend an Bedeutung gewinnen. Kritiker sehen den Verlust von Biodiversität in der Forstwirtschaft begründet und fordern daher Wälder großflächig stillzulegen. Ein nachhaltiges und klimaangepasstes Waldmanagement ist daher für die Forstwirtschaft unumgänglich. Baummikrohabitate (BMH) dienen als Biodiversitätsindikatoren, da sie Lebensräume für spezialisierte Arten bergen. Bei einem erhöhten Aufkommen an BMH wird insofern zugleich ein erhöhtes Aufkommen an Artenvielfalt unterstellt.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden Daten in bewirtschafteten Wäldern erhoben. In den Abteilungen Weisser Stein und Eichling wurde eine Stichprobeninventur durchgeführt.

Darüber hinaus wurden die erhobenen Daten mit bereits bestehendem Datenmaterial eines unbewirtschafteten Waldes verglichen. Als Vergleichsobjekt wurde das Naturwaldreservat (NWR) Eichhall gewählt. Die untersuchten Waldflächen befinden sich im bayerischen Spessart und sind dem Forstbetrieb Rothenbuch zugeordnet.

Die erhobenen und bestehenden Daten zeigen einen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von BMH und dem Brusthöhendurchmesser (BHD). Sowohl im NWR als auch auf den bewirtschafteten Flächen ist ab einem BHD von 80 cm mindestens ein BMH vorhanden. Die Bedeutung der Bewirtschaftung im Hinblick auf die Vielfalt und das Vorkommen von BMH wurde herausgearbeitet. In diesem Zusammenhang wurde zudem der Einfluss der Bewirtschaftung auf die Baumartenzusammensetzung untersucht. In den bewirtschafteten Flächen ist der Anteil der Trauben-Eiche (Eiche) deutlich höher als in den unbewirtschafteten Flächen des NWR. Hier setzte sich die Rot-Buche (Buche) im Zeitablauf aufgrund ihrer hohen Konkurrenzfähigkeit durch. Der Anteil der Eichen betrug in den bewirtschafteten Flächen 59 %, im unbewirtschafteten NWR hingegen nur 19 %. Sowohl in den bewirtschafteten als auch in der unbewirtschafteten Fläche wurde ein Zusammenhang zwischen der Baumart Eiche und einem erhöhten Aufkommen an BMH festgestellt.

In den bewirtschafteten Abteilungen Weisser Stein und Eichling wurden insgesamt 480 BMH an 456 Buchen und Eichen erfasst. Dies entspricht einer Dichte von 213 BMH je Hektar (ha). Im unbewirtschafteten NWR betrug diese Dichte 240 BMH je ha.

Demzufolge ist die Dichte der BMH in den bewirtschafteten Flächen als besonders hoch einzustufen.

Die von den Kritikern geforderte Außerbetriebnahme der Forstwirtschaft erscheint daher undifferenziert und fehlerhaft. Stillstand und mangelnde Bewirtschaftung, tragen nicht zu einem höheren Aufkommen von BMH bei. Vielmehr kann eine gezielte Bewirtschaftung wesentlich zum Erhalt der Artenvielfalt beitragen.

1 Einleitung

1.1 Hintergrund

Wälder nehmen in der heutigen Gesellschaft immer mehr an Bedeutung zu. Sie sind unverzichtbar für den Klimaschutz und leisten zahlreiche Aufgaben. Hierzu zählen bspw. der Wasserschutz, der Bodenschutz und die natürliche Luftfilterung (BMEL 2021a). Mit einem Anteil von 32 % und somit 11,4 Mio. Hektar (ha), ist Deutschland eines der walddreichsten Länder Europas (BMEL 2021b): Darüber hinaus ist der Wald in Deutschland ein prägender Teil der Natur- und Kulturlandschaft. Nach der Landwirtschaft stellt die Forstwirtschaft die zweitgrößte Flächennutzung Deutschlands dar (Schmitz et al. 2014; BMEL 2022).

Die Ansprüche an den Wald werden aus ökonomischer, ökologischer und gesellschaftlicher Sicht immer anspruchsvoller. Eine nachhaltige Forstwirtschaft ist dabei von großer Bedeutung und somit Gegenstand wissenschaftlicher und politischer Diskussionen (BMEL 2021a). Neben der Bereitstellung zahlreicher Ökosystemleistungen ist das deutsche Forstwesen auch wirtschaftlich von großer Bedeutung. Volkswirtschaftlich betrachtet werden wichtige Rohstoffe in Form von Holz und anderen Naturmaterialien geliefert. Im Forstsektor sind über 1 Mio. Menschen beschäftigt (Schmitz et al. 2022). Die Erhaltung der Biodiversität und die Förderung ökologischer Stabilität sind zentrale Ziele des Waldmanagements. Die Forstwirtschaft in Deutschland basiert auf einem multifunktionalen System. Die Nutz-, die Schutz- und die Erholungsfunktion sind in Deutschland gesetzlich gleichgestellt. Die Akteure der Forstwirtschaft müssen stets alle Funktionen gleichermaßen berücksichtigen. Zunehmend verstärkt sich dabei die Forderung nach einer Stilllegung von Waldflächen. An dieser Stelle wird bezweifelt, dass die Forstwirtschaft zur Nachhaltigkeit, zum Erhalt der Artenvielfalt und zur Förderung von Biodiversität beiträgt. In einer fortwährenden Diskussion werden die positiven und negativen Auswirkungen gegenübergestellt. Für die Befürworter führt die Forstwirtschaft zu einer nachhaltigen und gewinnbringenden Bewirtschaftung. Die Kritiker unterstreichen den profitorientierten und zerstörerischen Charakter und sehen daher in der Stilllegung von Flächen den einzigen Ausweg (Nüßlein 2013). In diesem Zusammenhang gewinnen Untersuchungen zur Vielfalt und Qualität von Lebensräumen in Wäldern zunehmend an Bedeutung. Eine besonders wichtige Rolle spielen dabei BMH. Dies sind sehr kleine Lebensräume auf und um Bäume herum, welche eine Vielzahl von

Organismen beherbergen. Trotz ihrer geringen Größe tragen BMH entscheidend zur Biodiversität bei und fungieren als Indikatoren für die ökologische Gesundheit von Waldökosystemen (Larrieu et al. 2018). Eine Untersuchung der BMH kann Auskunft über die Qualität der Bewirtschaftung im Hinblick auf ihre Naturnähe geben. Um dies nachzuweisen werden empirische Untersuchungen durchgeführt. Innerhalb dieser detaillierten Untersuchungen wird zwischen bewirtschafteten und unbewirtschafteten Waldflächen verglichen. Somit kann das Potenzial der bewirtschafteten Wälder eingeordnet und bewertet werden.

1.2 Problemstellung

Die Untersuchung von BMH in Eichenwäldern, insbesondere der Vergleich von bewirtschafteten und unbewirtschafteten Waldflächen, ist in der wissenschaftlichen Literatur bisher wenig erforscht. Dieses Forschungsfeld kann jedoch zur Ermittlung und Quantifizierung der Biodiversität erheblich beitragen. Ob eine Bewirtschaftung von Flächen (inkl. einer Integration von Naturschutzmaßnahmen) oder eine Außerbetriebnahme von Flächen die Biodiversität fördert, ist schwer zu beurteilen. Diese Frage wird derzeit intensiv und kontrovers diskutiert; denn die aktive Bewirtschaftung kann zweifelsohne einen maßgeblichen Einfluss auf das Auftreten von BMH nehmen. Infolgedessen ist eine weitergehende Forschung in diesem Bereich geboten. So kann die Datenlage vertieft und verfeinert werden.

Die Abwägung von Vor- und Nachteilen sollte konstruktiv und fundiert erfolgen. Eine umfassende und gezielte Datenerhebung ist dabei unerlässlich; wobei eine einseitige Betrachtung ausgeschlossen werden sollte.

Der Vergleich von Daten der bewirtschafteten Abteilungen mit den Daten der unbewirtschafteten Fläche NWR Eichhall entspricht dieser Fragestellung. Die Analyse dieser Flächen und das Vorkommens an BMH liefert einen wertvollen Beitrag zu naturschutzfachlichen Diskussionen., Forschungsergebnisse dieser Art sollen waldbauliche Entscheidungsprozesse unterstützen und zur Lösung von Zielkonflikten in der Forstwirtschaft beitragen.

1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, die BMH der bewirtschafteten Abteilungen Weisser Stein und Eichling systematisch zu analysieren und anschließend einen Vergleich mit dem unbewirtschafteten NWR Eichhall zu ziehen. Dabei soll der Fokus auf die Verteilung der BMH in Bezug auf die Baumarten Buche und Eiche gelegt werden.

Darüber hinaus soll untersucht werden, welche weiteren Faktoren einen Einfluss auf das Vorkommen der BMH haben könnte. Die Analyse soll es ermöglichen Rückschlüsse auf die Auswirkungen der Bewirtschaftung auf die Biodiversität zu ziehen und an bereits erforschte und in der Literatur beschriebene Zusammenhänge anzuknüpfen. Zusätzlich wird untersucht, ob ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Vorkommen eines BMH und dem BHD besteht. Durch die Untersuchung soll ein besseres Verständnis für die naturschutzfachliche Bedeutung bewirtschafteter Waldflächen entwickelt und deren Potenzial zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität bewertet werden.

1.4 Stand des Wissens

1.4.1 Definition der BMH

Ein **Baum** ist eine verholzte langlebige, höhere Pflanze mit sekundärem Dickenwachstum. Darüber hinaus weisen Bäume, im Gegensatz zu Sträuchern Akrotonie auf. Der Gipfeltrieb wird gefördert und es bildet sich eine Leittriebknospe. Hierdurch erlangt der Baum sein typisches Aussehen (Ruge 2021). **Mikro** wird im Zusammenhang mit Adjektiven oder Substantiven verwendet und bedeutet so viel wie klein, fein oder gering (Dudenredaktion o. J.). Ein **Habitat** ist eine „Konzentrationsstelle einer Art, die sich innerhalb eines größeren Biotops scharf hervorhebt, von den Gesamtbedingungen desselben jedoch in seiner Artenzusammensetzung weitgehend abhängt (...)“ (Nehring und Albrecht 2000).

Als ein BMH wird eine klar abgegrenzte Habitatstruktur bezeichnet, die sowohl an lebenden als auch an toten Bäumen vorkommt. In ihrer Morphologie ähnliche Strukturen an liegendem Totholz zählen nicht zu den BMH. BMH können durch abiotische oder biotische Einflüsse entstehen. Ein Beispiel für ein abiotisches Ereignis wäre ein Steinschlag, der zu einer Stammverletzung führt, während ein biotisches Ereignis die Höhlenbildung durch Spechte darstellen könnte. BMH erfüllen wichtige Funktionen als Brutstätten, Überwinterungsplätze, Zufluchtsorte und Nahrungsquellen für zahlreiche, oft hochspezialisierte Arten oder Artengemeinschaften. Eine Struktur wird als BMH betrachtet, wenn ein direkter Zusammenhang mit mindestens einer assoziierten Art besteht, die das BMH zumindest zeitweise für einen Teil ihres Lebenszyklus nutzt. Diese Habitate sind vergänglich und nicht von dauerhafter Natur. Es wird zwischen saproxylichen und epixylichen BMH unterschieden. Saproxyliche BMH sind solche, die das Splint- und Kernholz des Baumes freilegen und dadurch

Holzfäule auslösen können. Epixylische BMH hingegen nutzen den Baum lediglich als Stütze und sind daher nur physisch mit dem Baum verbunden wie etwa Nester oder Moose. Obwohl BMH sehr weit verbreitet sind, sind diese nicht an jedem Baum zu finden. Baumartenspezifische Merkmale wie Wuchsform oder raue Borke werden in dieser Betrachtung ausgeschlossen. (Larrieu et al. 2018).

1.4.2 Biodiversität und BMH

Biodiversität wird laut dem Biodiversitätsabkommen folgend definiert: „Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft (...); dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und zwischen den Arten und die Vielfalt der Ökosysteme“ (Convention on Biological Diversity 2011). Dementsprechend beinhaltet die Biodiversität innerartliche genetische Vielfalt sowie die Lebensräume der Organismen und Ökosysteme (BMUB 2007). Somit ist das komplexe Ökosystem Wald ein entscheidender Faktor im Zusammenhang der globalen Biodiversität, da der Wald 80 % der weltweiten terrestrischen Artenvielfalt beherbergt (Convention on Biological Diversity 2024).

Seit den 1980er Jahren werden die Wälder in Deutschland zunehmend nach dem Prinzip der naturnahen Waldbewirtschaftung unterhalten. Dabei wird der Erhalt der biologischen Vielfalt in die Nutzung integriert. Die Diversität der deutschen Wälder wird durch viele Einflussfaktoren geprägt, darunter die Variabilität der Standortseigenschaften wie Geologie, Böden und Geländeausprägung. Ebenso spielen die gezielte Auswahl der Baumarten und die damit verbundene Bestandeshistorie eine bedeutende Rolle (BMEL 2021b).

Der Begriff Biodiversität ist ein fester Bestandteil zahlreicher politischer und wissenschaftlicher Diskussionen, da der Verlust der Biodiversität zu den größten ökologischen Katastrophen zählt. Hauptsächlich wird hierbei auf landwirtschaftlich genutzte Ökosysteme Bezug genommen, jedoch sind auch Waldökosysteme weit von ihrem Optimum entfernt (Großmann et al. 2024). Der stetige Rückgang der Biodiversität kann zur Destabilisierung der Waldökosysteme führen (Zollner et al. 2019).

Die zunehmende Bedeutung der Biodiversität erfordert eine qualifizierte Überwachung. Es ist jedoch nicht möglich, die absolute Biodiversität eines Ökosystems aufgrund seiner Komplexität zu messen. BMH bieten eine gute Möglichkeit, Informationen über die Biodiversität eines Waldes bereitzustellen und

gleichzeitig den Aufwand für das Monitoring in einem überschaubaren Rahmen zu halten (Larrieu et al. 2018)

Biodiversität steht in engem Zusammenhang mit BMH. Arten, die BMH nutzen, werden im Wesentlichen anhand von neun taxonomischen Gruppen beschrieben: Insekten, Spinnentiere, Gastropoden, Vögel, Säugetiere, Amphibien und Reptilien, Moose, Pilze und Flechten (Larrieu et al. 2018). Laut einer Studie von Winter (2008) profitieren 5882 saproxyliche Arten von BMH und 1701 Arten sind stark abhängig von BMH Strukturen. Das Vorkommen mancher Arten ist abhängig von dem Vorkommen spezieller BMH-Typen (Larrieu et al. 2018). BMH könnten somit als Indikatoren für die Biodiversität im Wald dienen (Paillet et al. 2018)

1.4.3 BMH in der bisherigen Forschung

Die Untersuchung von BMH eröffnete der Forschung zahlreiche neue Möglichkeiten. Weltweit werden Studien auf Waldflächen unterschiedlichster Charakteristik durchgeführt. Von besonders großem Interesse ist dabei, welche Faktoren einen Einfluss auf das Vorkommen von BMH besitzen. Zu diesen Faktoren zählen: Die Baumart, der BHD die Bewirtschaftung, sowie den Waldeigentümer. Im Folgenden wird ein Überblick über den aktuellen Stand der Forschung diesbezüglich verschafft.

In der vorliegenden Literatur sind sich Wissenschaftler einig, dass die Bewirtschaftung eine bedeutende Rolle spielt und grundsätzlich in bewirtschafteten Wäldern weniger BMH zu finden sind als in unbewirtschafteten Wäldern (Vuidot et al. 2011). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass insbesondere während der Alters- und Zerfallsphasen eine hohe Dichte an BMH auftritt (Larrieu et al. 2014). Diese Phasen sind jedoch in bewirtschafteten Wäldern selten anzutreffen (Kraus und Schuck 2016). Die Bewirtschaftung scheint verantwortlich für das Vorkommen von BMH auf Bestandesebene zu sein und nicht für die Dichte der BMH je Baum, da mit Bewirtschaftung eine Absenkung der Stammzahl einhergeht und die Bäume mit schlechter Qualität zuerst entnommen werden, vor allem betroffen sind BMH mit hoher naturschutzfachlicher Wertigkeit, wie Höhlen (Großmann und Pyttel 2019a; Sever und Nagel 2019). Als Konsequenz dessen sind weniger Bäume vorhanden, die das Potenzial haben BMH-Träger zu sein (Vuidot et al. 2011). Das bestätigt eine Studie von Mamadashvili et al. (2023), welche besagt, dass in alten Wäldern das Vorkommen seltener BMH höher ist als in bewirtschafteten Wäldern. Forscher sind demnach der Meinung, dass eine Bewirtschaftung zu einer quantitativen Abnahme an BMH führt,

jedoch kann die Bewirtschaftung auch potenziell BMH initiieren, beispielsweise durch Fäll- und Rückeschäden (Großmann und Pyttel 2019a).

Wenn die Dichte der BMH je Baum betrachtet wird, scheint die Baumart eine entscheidende Rolle zu spielen. Grundsätzlich weisen Laubbäume tendenziell mehr BMH auf als Nadelbäume (Großmann und Pyttel 2019a). Dies wird durch eine Studie von Larrieu und Cabanettes (2012) verdeutlicht. In dieser Studie wurden Buchen und Tannen untersucht, wobei die Anzahl an BMH je Baum bei der Buche höher lag.

Neben der Baumart sind individuelle Merkmale wie Alter und BHD ebenfalls auf Einzelbaumebene von Relevanz für das Vorkommen von BMH. Laut Winter et al. (2014) steigt mit zunehmendem BHD die Wahrscheinlichkeit, dass BMH vorkommen. Dies wurde auch in einer Untersuchung von Larrieu und Cabanettes (2012) festgestellt. Auch Winter und Möller (2008) konnten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Anzahl an BMH und dem BHD des jeweiligen Baumes finden. Ebenfalls kamen Großmann und Pyttel (2019a) zu dem Ergebnis, dass je höher der BHD, desto höher die Anzahl an BMH.

Johann und Schaich (2016) fokussierten sich auf die Unterschiede zwischen den Waldeigentumsarten. Sie verglichen die Dichte der BMH im Kleinprivatwald, Kommunalwald und Staatswald auf der Schwäbischen Alb. Die Ergebnisse zeigten, dass die Dichte der BMH im Kleinprivatwald doppelt so hoch ist wie im Kommunal- und Staatswald.

1.4.4 Waldbewirtschaftung und Naturschutz

In Deutschland sind 98 % der Waldfläche begehbar und stehen theoretisch der forstwirtschaftlichen Nutzung zur Verfügung (Schütze et al. 2021). Die Wälder in Deutschland sind überwiegend Wirtschaftswälder und ein fester Bestandteil der Kulturlandschaft. Sie wurden über Jahrhunderte durch verschiedene Nutzungsformen geprägt, was die Waldbewirtschaftung zu einem entscheidenden Faktor für die Vielfalt der Waldökosysteme macht (BMEL 2021a). Dies gilt insbesondere für Bayern. Aus diesem Grund ist die Frage nach der Bewirtschaftung dieser Flächen von großer Bedeutung.

In Deutschland wird das Konzept des naturnahen Waldbaus verfolgt, welches die Multifunktionalität der Wälder berücksichtigt und die Belange der Biodiversität integriert. Neben dem Konzept der Nachhaltigkeit gewinnt die Berücksichtigung der

ökologischen Funktion der Wälder zunehmend an Bedeutung (WSL 2011). Die Erhaltung des Waldes und die Förderung der Forstwirtschaft sind in Deutschland durch das Bundeswaldgesetz geregelt. Die Waldbewirtschaftung steht in engem Zusammenhang mit der Biodiversität und hat nachweislich negative Effekte auf zahlreiche Arten (Johann und Schaich 2016). Gleichzeitig werden durch die Bewirtschaftung der Wälder zahlreiche Leistungen und Produkte bereitgestellt, darunter der nachwachsende und kohlenstoffspeichernde Rohstoff Holz sowie die Abmilderung des Klimawandels (BMEL 2021a). Die Frage nach der Bewirtschaftung oder Nichtbewirtschaftung ist daher aktueller denn je und nicht einfach zu beantworten (Luick et al. 2021). Letztendlich hängt es von der Zielsetzung ab und davon, welcher Funktion des Waldes Priorität eingeräumt wird.

Es gibt unterschiedliche Ansätze, naturschutzfachliche und wirtschaftliche Ziele im Wald zu verbinden. Die Bayerischen Staatsforsten verfolgen ein Waldbiotopverbundsystem, das aus Naturwäldern (Klasse 1), Trittsteinen mit besonderem Management für die Biodiversität sowie naturnahen Waldbeständen (Klasse 2 und 3) besteht. Waldbestände der Klasse 2 sind Bestände ab 140 Jahren, und Klasse 3 umfasst Waldbestände bis 139 Jahren. Alle übrigen Waldbestände fallen unter die Klasse 4. Naturwälder sind nach Art. 12a BayWaldG rechtskräftig ausgewiesene Flächen, die dauerhaft der natürlichen Waldentwicklung überlassen werden (BaySF 2023). Dazu zählen unter anderem die Naturwaldreservate. Die ersten Naturwaldreservate wurden in Bayern im Jahr 1978 eingerichtet, und ihre Zahl ist bis heute auf 160 gestiegen. Von ihnen wird eine Fläche von 7.006 ha abgedeckt. Zweck der Naturwaldreservate ist es unter anderem, natürliche Dynamiken zu erforschen und als Erkenntnisquelle für optimale Waldbehandlung zu dienen. Anhand der Naturwaldreservate sollen statische Eigenschaften wie die natürliche Zusammensetzung, Holzqualität und Ertragsleistung ermittelt werden. Sie werden seit 1978 von Forschern untersucht und sollen somit einen Vergleich zu bewirtschafteten Wäldern ermöglichen (Blaschke et al. 2013).

Nachdem eine Einordnung der Eigenschaften des Wirtschaftswaldes sowie des Naturwaldreservates gegeben wurde, soll nun ein Blick darauf geworfen werden, was in der Literatur bezüglich der Bewirtschaftung und Nichtbewirtschaftung in Wäldern zu finden ist. Eine Untersuchung der WSL (2011) stellte die Beziehung der Nutzungsintensität zur biologischen Vielfalt im Wald dar. Das Ergebnis dieser

Untersuchung zeigt, dass die biologische Vielfalt der Naturwaldreservate stark variieren kann, von geringem bis mittlerem Niveau, während die biologische Vielfalt in naturnah bewirtschafteten Wäldern sich konstant auf mittlerem Niveau befindet. Dieler et al. (2017) verglichen 49 Studien miteinander, die sich mit der Biodiversität bewirtschafteter und unbewirtschafteter Wälder beschäftigten. Darüber hinaus wurde berücksichtigt, wie lange die unbewirtschafteten Wälder aus der Nutzung genommen wurden. Das Ergebnis dieses Vergleichs war, dass weder für den Artenreichtum noch für die Artenvielfalt signifikante Bewirtschaftungseffekte festgestellt werden konnten. Auch die Zeit seit Aufgabe der Bewirtschaftung hatte keinen signifikanten Einfluss.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Bedeutung der Forstwirtschaft von zu großer Bedeutung ist, um Bewirtschaftung und Naturschutz zu segregieren. Aus diesem Grund ist ein integriertes der Biodiversität zugutekommendes Waldmanagement gefordert (Winter et al. 2014). Die Ausweisung von Biotopbäumen ist als integrative Naturschutzmaßnahme zu bewerten. Hierdurch können biodiversitätsrelevante Strukturen auch in bewirtschafteten Wäldern erhalten werden (Großmann und Pyttel 2019b).

2 Material

Im Folgenden werden die Untersuchungsgebiete dieser Bachelorarbeit vorgestellt: die Abteilungen Eichling und Weisser Stein als bewirtschaftete Flächen und das NWR Eichhall als unbewirtschaftete Fläche. Abbildung 1 zeigt die räumliche Einordnung der Gebiete im Hochspessart, Nordwesten Bayerns, die dem bayerischen Staatswald und dem Forstbetrieb Rothenbuch. Demnach werden sie von den Bayerischen Staatsforsten (BaySF) einer Anstalt öffentlichen Rechts (AöR) bewirtschaftet. Zunächst wird ein Überblick über die geologischen, standörtlichen und klimatischen Bedingungen des Forstbetriebs Rothenbuch gegeben, um die Wuchsbedingungen der Flächen zu verstehen. Anschließend werden die Flächen und ihre individuellen Merkmale beschrieben.

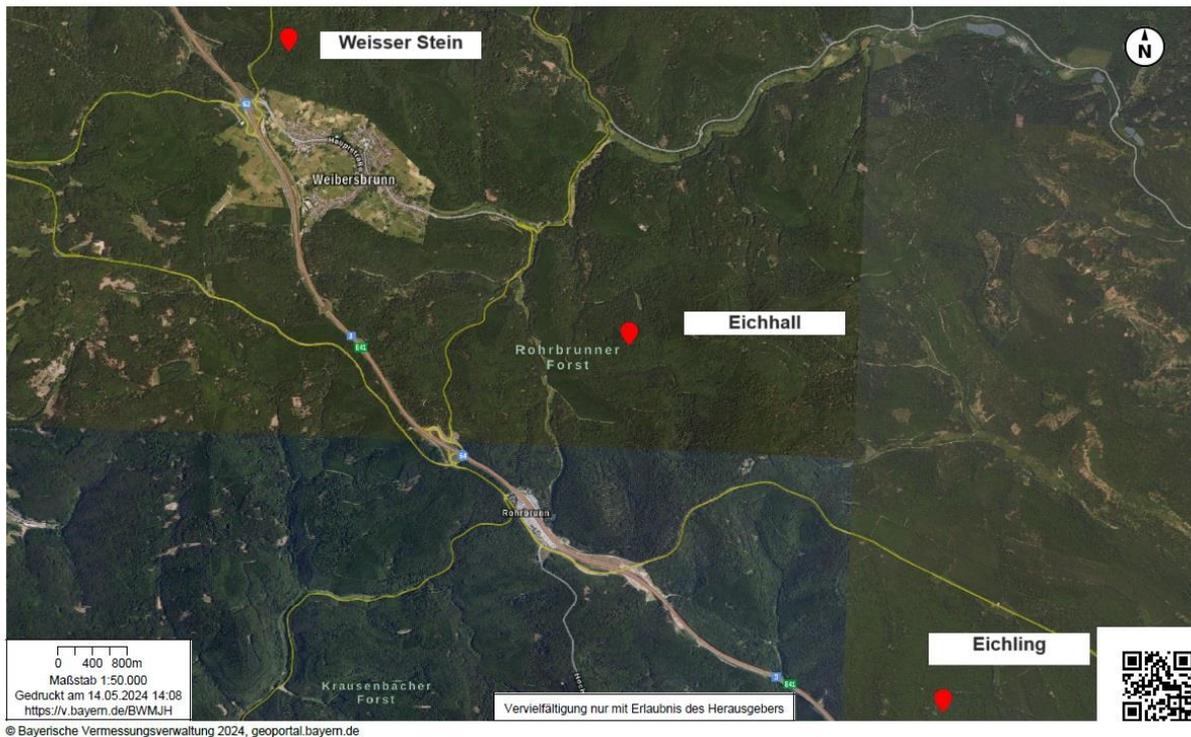


Abbildung 1: Räumliche Einordnung der Untersuchungsgebiete

2.1 Naturraum, Geologie und Standort

Der Hochspessart und der Forstbetrieb sind nahezu deckungsgleich. Eine kompakte, fast völlig geschlossene Waldfläche wird vom Forstbetrieb Rothenbuch umfasst, wobei der Laubholzanteil bei 75 % liegt. Hiervon fallen 50 % auf die Buche und 25 % auf die Eiche (BaySF 2013).

Der Hochspessart ist eine geologische Formation mit Mittelgebirgscharakter. Der Untergrund besteht aus etwa 251 bis 243 Millionen Jahre alten Grundgesteinen, hauptsächlich Buntsandstein. Dementsprechend gehört der Hochspessart zum jüngeren Deckgebirge (LfU 2020).

Dem Forstbetrieb sind ausschließlich Flächen des Wuchsgebietes „Spessart-Odenwald“ zuzuordnen. Die nächste Ebene der forstlichen Wuchsgebietgliederung ist die des Wuchsbezirks. Hier liegt der Schwerpunkt des Forstbetriebs im Wuchsbezirk „Buntsandsteinspessart“. Die Standorte sind gleichförmig, denn es handelt sich um schwach bis mittel steinige, schwach lehmig-sandige bis sandig-lehmige Braunerden. Sande dominieren jedoch mit 75 % (BaySF 2013).

Die Böden des Forstbetriebs zeichnen sich durch einen geringen Nährstoffvorrat, niedrige Basensättigung und geringe Austauschkapazität aus, was zu niedrigen pH-Werten führt. Die Wasserversorgung ist hingegen günstig. Der Forstbetrieb ist geprägt von einem kühlen, atlantisch geprägten Mittelgebirgsklima mit mittleren Jahresniederschlägen von 1.000 mm und einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 7°C (BaySF 2013).

2.2 Historische Einordnung und die Bedeutung der Eichensaat

Die Ausdehnung der Waldfläche im Hochspessart hat sich seit dem Mittelalter nicht wesentlich verändert. Die Flächen, die den Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit bilden, dienten zu Zeiten des Kurfürstentums Mainz als herrschaftliches Jagdgebiet. Dies ist ein weiterer Grund, weshalb die Flächen größtenteils unbesiedelt blieben und die Landschaftsform Wald dominiert. Um die Wildbestände hochzuhalten, wurde die Eiche seit dem 15. Jahrhundert im Gegensatz zur Buche von der Bewirtschaftung ausgeschlossen, was zu einem starken Anstieg des Vorrats an masttragenden Alteichen führte. Durch die hohe Wilddichte und den daraus resultierenden Verbissdruck wurde die Verjüngung der Eiche verhindert (Mölder et al. 2017).

Eine Ausnahme stellt der sogenannte „Heisterblock“ dar. Hier entstand vermutlich während des Dreißigjährigen Krieges eine natürliche Eichenverjüngung. Laut Bussler und Schmidl (2009) könnten vorherige Brandrodungen und Waldfeldbau durch Kriegsflüchtlinge die Entstehung der Eichenwälder im Heisterblock begünstigt haben. Nach 1774 flachte die Jagdleidenschaft der Mainzer Kurfürsten ab, und gleichzeitig wurde der ökonomische Wert der Eiche erkannt. Die Eichen wurden vor allem für den Schiffsbau verwendet und erzielten dort hohe Preise. Um diese Einkünfte langfristig zu sichern, wurden erste waldbauliche Maßnahmen an der Eiche getroffen, und das erste kurmainzische Forsteinrichtungswerk trat 1770 in Kraft. Die Nutzung der Alteichen nahm eine zunehmend geregelte Form an (Mölder et al. 2017).

Im Jahr 1814 übernahm die königlich Bayerische Forstverwaltung die Waldbewirtschaftung des Spessarts und stand vor der Herausforderung, das beste Verjüngungsverfahren für die Eiche zu finden. Die 1819 in Aschaffenburg gegründete Königlich-Bayerische National-Forstlehranstalt sollte dabei Unterstützung bieten und der Spessart fungierte als Musterbetrieb für die Erprobung neuer waldbaulicher Methoden (Mölder et al. 2017).

Dieser historische Rückblick soll die Bedeutung der Spessarteiche sowie der Eichensaat im Spessart hervorheben. Es handelt sich hierbei um eine seit dem 18. Jahrhundert praktizierte Tradition, bei der die Bevölkerung stark involviert ist. Familien und ortsansässige Personen beteiligen sich in den Mastjahren am Sammeln des Eichensaatguts. Aus diesem Grund wurden die Eichensaat und die Eichenbewirtschaftung im Spessart im Jahr 2020 als immaterielles Kulturerbe in das Bayerische Landesverzeichnis aufgenommen (Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat 2024).

2.3 Abteilung Weisser Stein

Die Abteilung befindet sich nördlich der Gemeinde Weibersbrunn und liegt unmittelbar an der Staatsstraße 2308. Sie ist dem Revier Weibersbrunn zugeordnet und befindet sich im gemeindefreien Gebiet Rothenbucher Forst.

Dieser Bestand ist aus mehreren Gründen von besonderem Interesse. Er gehört zu den bekanntesten Waldabteilungen im Spessart, da er zu den ersten großflächigen und planmäßigen Eichenverjüngungen zählt, die im späten 18. Jahrhundert durch Saat entstanden sind. Bereits 1792 wurden in diesem Bestand nachweislich die ersten Eichensaatungen durchgeführt. Daher ist der Bestand über Generationen hinweg Gegenstand zahlreicher forstwissenschaftlicher Untersuchungen und waldbaulicher Diskussionen gewesen. Hier wurde der Grundstein für die Eichenbewirtschaftung, wie wir sie heute kennen, sowie für die berühmten „Spessart-Eichen“ gelegt (BaySF 2024c)

Die Abteilung erstreckt sich über eine Fläche von 39,1 ha und besteht aus einem geschlossenen Eichenbestand von sehr guter Qualität mit einem gut entwickelten Nebenbestand aus Buche. Der Bestand zeigt eine gewisse Inhomogenität: Im nördlichen Teil ist die Zielstärke teilweise erreicht, während der südliche Teil des Bestandes buchenreicher und jünger ist. Die Eichen sind 220 Jahre alt, die Buchen 165 Jahre. Sowohl stehendes als auch liegendes Totholz ist auf der Fläche vorhanden, was auf einen älteren naturnahen Waldbestand der Klasse 2 hinweist (BaySF 2024a).

Die letzte Inventur wurde 2011 an zwölf permanenten Stichprobenpunkten durchgeführt und lieferte folgende Ergebnisse: Der Vorrat der Eiche beträgt 296 Vorratsfestmeter (VFm), der der Buche 153 VFm. Der Gesamtvorrat beträgt somit 449 VFm, wobei die Eiche mit einem Anteil von 66 % und die Buche mit 34 % beteiligt sind (BaySF 2024a).

2.4 Abteilung Eichling

Die Abteilung Eichling befindet sich etwa zwei Kilometer (km) westlich der Gemeinde Bischbrunn und einen km nördlich der Autobahn A3. Die Abteilung gehört somit zum gemeindefreien Gebiet Bischbrunner Forst. Auch diese Abteilung ist Bestandteil des Forstbetriebs Rothenbuch und liegt im Revier Bischbrunn.

Bei der Abteilung Eichling handelt es sich um einen Eichenbestand überwiegend guter Qualität. Die drei am häufigsten vorkommenden Baumarten sind Eiche, Buche und Fichte, wobei die Buche einen dichten Nebenbestand bildet. Die Fläche dieser Abteilung beträgt 38,2 ha. Vereinzelt kommen auch Hainbuchen, Lärchen und Birken vor. Das Alter der Eichen beträgt 208 Jahre, das der Buchen 108 Jahre und die Fichten sind etwa 100 Jahre alt. Es handelt sich um einen Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum) als Lebensraumtyp. Und auch bei diesem Bestand handelt es sich um einen älteren naturnahen Waldbestand der Klasse 2 (BaySF 2024a).

Die letzte Inventur erfolgte im Jahr 2011 an neun permanenten Stichprobenpunkten und lieferte folgende Ergebnisse: Die Eiche ist mit einem Anteil von 78 % am Vorrat beteiligt, wobei der Vorrat 380 Vfm beträgt. Die R ist mit 21 % beteiligt, was 111 Vfm entspricht. Die Fichte ist mit einem Anteil von 1 % am Vorrat beteiligt, was 7 Vfm entspricht (BaySF 2024a).

2.5 NWR Eichhall

Im Jahr 2003 wurde Eichhall als NWR ausgewiesen. Das Reservat gehört zum „Rohrbrunner Forst“, einem gemeindefreien Waldgebiet in der Region Unterfranken. Eichhall erstreckt sich über eine Fläche von 67 ha und ist Teil des sogenannten „Heisterblocks“ (BaySF 2024b). Die Abteilung liegt etwa sechs km südöstlich der Gemeinde Weibersbrunn und grenzt an den Geiersberg, die höchste Erhebung des Spessarts. Das Gebiet befindet sich auf einer Höhe von 400 bis 500 Metern (m) über NN.

Eichhall weist eine hohe Dichte an Alteichen im Alter von 400 Jahren auf. Bei der natürlichen Waldgesellschaft handelt es sich um einen Hainsimsen-Buchenwald, in dem normalerweise die Buche die dominierende Baumart ist (Stallegger und Thauront 2008). In Eichhall ist jedoch die Eiche in untypisch hoher Anzahl vertreten (BaySF 2013).

Aus ökologischer Sicht ist Eichhall von großer Besonderheit und kann als Hotspot der Biodiversität betrachtet werden. Die Alteichen und -Buchen bieten Brutstätten für Bunt-, Mittel-, Klein- und Schwarzspecht. Zahner und Loy stellten bereits im Jahr 2000 eine Untersuchung zu den Höhlen und Höhlenbäumen an und konnten eine Dichte von elf Höhlen und sieben Höhlenbäumen feststellen.

Weitere Arten, welche ihren Brutraum im NWR finden, sind der Mauersegler und der Halsbandschnäpper (BaySF 2024b)

Neben Vögeln bietet Eichhall auch zahlreichen Insekten, insbesondere xylobionten Käferarten, einen Lebensraum. In einer Untersuchung wurden sechs Eichen ausgewählt und untersucht, wobei 110 xylobionte Arten nachgewiesen wurden, darunter 48 Arten der Roten Liste gefährdeter Tiere Bayerns (Bussler und Schmidl 2009).

Es handelt sich um einen Laubmischwald, der aus Buche und Eiche besteht. Die Buche fungiert als Unter- und Zwischenstand, was dem NWR eine partielle Mehrschichtigkeit verleiht. Das Alter der dominierenden Eichen beträgt 425 Jahre, während das der dominierenden Buchen 200 Jahre beträgt. Bei der letzten Inventur im Jahr 2011 wurde ein Holzvorrat von 557 VFm je ha ermittelt. Dabei entfielen 55 % auf die Buche und 45 % auf die Eiche (BaySF 2024b).

3 Methoden

3.1 Angewandte Methoden

Die vorliegende Arbeit ist größtenteils eine Primäranalyse, die darauf abzielt, bisher nicht vorhandene Daten gemäß einem zuvor festgelegten Schema zu sammeln und zu analysieren. Im theoretischen Teil der Arbeit wurde der aktuelle Stand der Forschung durch eine gründliche Literaturrecherche berücksichtigt.

3.2 Literaturrecherche

Die Literaturrecherche bildet das Fundament jeder wissenschaftlichen Arbeit und ist entscheidend für die Entwicklung eines fundierten Forschungsansatzes. Sie umfasst die systematische Suche, Auswahl und Bewertung relevanter Quellen, um den aktuellen Kenntnisstand zu erfassen. Ein effektiver Prozess beginnt mit klar definierten Suchbegriffen und -strategien, wie "Baummikrohabitate" und "Biodiversität". Es werden verschiedene Quellen genutzt, darunter Fachbücher, wissenschaftliche Artikel und Online-Datenbanken wie ResearchGate und ScienceDirect. Die ausgewählten

Quellen werden kritisch bewertet hinsichtlich ihrer Relevanz, Glaubwürdigkeit und Qualität. Eine sorgfältige Dokumentation der Literatur sichert die Nachvollziehbarkeit und Transparenz des Forschungsprozesses.

3.3 Primäranalyse

Unter einer Primäranalyse versteht man das selbstorganisierte erstmalige Aufnehmen von Daten. Dies geschieht mithilfe einer empirischen Methode. In dieser Bachelorarbeit erfolgt die Erhebung der Primärdaten anhand einer Aufnahme der BMH in den Abteilungen Weisser Stein und Eichling. Um eine Vergleichbarkeit mit anderen Erhebungen zu gewährleisten, wird eine standardisierte Methode verwendet, die Definitionen, Kriterien und Schwellenwerte für BMH vorgibt. In diesem Fall handelt es sich um die von Larrieu et al. (2018) entwickelte Methodik und standardisierte Typologie von BMH. Diese wurde von Experten aus ganz Europa entwickelt und ist allgemeingültig in sämtlichen gemäßigten und mediterranen Wäldern Europas anwendbar (Bütler et al. 2020a).

3.3.1 Typologie der BMH nach Larrieu et al. (2018)

Im Folgenden wird die Typologie der BMH genauer erläutert. Zur Erfassung und Einteilung der BMH, werden diese hierarchisch gegliedert. Die BMH werden in sieben Formen, 15 Gruppen und 47 Typen unterteilt. Diese Gliederung ist in Tabelle 1 aufgeführt und ist wie folgt zu verstehen: Entscheidend für die Einteilung ist das äußere Erscheinungsbild, sowie die Charakteristik und kann nach gegebener Struktur Relevanz für die Artenvielfalt weiter unterteilt werden. In der ersten hierarchischen Ebene werden übergeordnete Mikrohabitate, die gleiche äußere Erscheinung und Charakteristika aufweisen, unter der Kategorie "Formen" zusammengefasst. Anschließend werden zum Beispiel alle Habitate mit der äußeren Erscheinung einer Höhle unter der Form "Höhlen" zusammengefasst. Die Unterteilung nach "Gruppen" ermöglicht eine detaillierte Klassifizierung nach spezifischen Merkmalen. Die Gruppe "Spechthöhlen" fasst beispielsweise alle Höhlen zusammen, die nur von Spechten angelegt wurden. Diese Gruppen werden weiter in 47 "Typen" unterteilt, die sich durch ihre genaue Morphologie unterscheiden lassen. Innerhalb der Gruppe der Spechthöhlen gibt es unter anderem die Typen "kleine Spechthöhle", "mittlere Spechthöhle", "große Spechthöhle" und "Höhlenetage".

Tabelle 1: Hierarchische Gliederung der BMH

Formen	Gruppen	Typen
7	15	47
Höhlen	Spechthöhlen	kleine Bruthöhle
		mittelgroße Bruthöhle
		Große Bruthöhle
		Höhlenetage, Spechtlöcher
	Mulmhöhlen	Mulmhöhle mit Bodenkontakt
		Mulmhöhle ohne Bodenkontakt
		halboffene Mulmhöhle
		kaminartiger, hohler Stamm mit Bodenkontakt
		kaminartiger, hohler Stamm ohne Bodenkontakt
	Asthöhle	
Insektengänge u. Frasslöcher	Insektengänge und Bohrlöcher	
Vertiefung u. Stammfußhöhlen	Dendrotelm/wassergefüllte Baumhöhlung	
	Frasslöcher von Spechten	
	rindenbedeckte Einbuchtung am Stamm	
	Stammfußhöhle	
Stammverletzungen und freiliegendes Holz	freiliegendes Splintholz	Holz ohne Rinde
		Brandnarbe
		Rindentasche (unten offen)
		Rindentasche (oben offen)
	freiliegendes Splint- u. Kernholz	Stammbruch
		Starkastbruch mit freiliegendem Kernholz
		Riss, Spalte
		Blitzrinne
		Riss bei Zwiesel
Kronentotholz	Kronentotholz	tote Äste
		abgestorbene Kronenspitze
		abgebrochener Starkast
Wucherungen	Hexenbesen u. Wasserreiser	Hexenbesen
		Wasserreiser
	Maserknollen u. Krebse	Maserknolle
		Krebs
feste und schleimige Pilzfruchtkörper	mehrfährige Pilzfruchtkörper	mehrfährige Porlinge
	kurzlebige Pilzfruchtkörper	einjährige Porlinge
		Ständer Pilze
		große Ascomyceten
		Myxomyceten (Schleimpilze)
epiphytische, epixylische u. parasitische Strukturen	Pflanzen und Flechten	Moose oder Lebermoose
		Blatt- oder Strauchflechten
		Efeu oder Lianen
		Farne
		Misteln
	Nester	Nester von Wirbeltrieren
		Nester von Wirbellosen
	Mikroböden	Mikroboden Rinde
		Mikroboden Krone
	Ausflüsse	Saft- u. Harzflüsse
aktiver Harzfluss		

Es besteht eine Notwendigkeit genaue Schwellenwerte für die Aufnahmen von BMH zu definieren, um eine Vergleichbarkeit mit anderen Aufnahmen zu ermöglichen (Bütler et al. 2020b). Diese Schwellenwerte wurden von Larrieu et al. (2018) für jeden Typ definiert. Es gibt zwei unterschiedliche Ansätze diese Schwellenwerte zu definieren. Wann immer möglich werden biologische Eigenschaften herangezogen, so bedarf eine Rindentasche einer gewissen Größe, um Schutz für eine Fledermaus zu gewährleisten. Falls diese artspezifischen Schwellenwerte nicht bekannt sind, werden sie von Fachleuten festgelegt (Bütler et al. 2020b). Hierfür werden meist pragmatische Kenngrößen herangezogen. So muss für den Typ Holz ohne Rinde eine Größe von 300 m² vorhanden sein, was den Maßen eines DIN A5 Blattes entspricht (Larrieu et al. 2018).

Dank dieser standardisierten Typologie können Unterschiede zwischen verschiedenen Beobachtern weitestgehend ausgeschlossen und die Aufnahmezeit somit reduziert werden (Larrieu et al. 2018). Darüber hinaus ermöglicht die hierarchische Gliederung eine differenzierte Verwendung je nach Ziel des Anwenders, Die Ebene der Formen ist somit ausreichend für das Auszeichnen von Habitatbäumen, während die nächsten Ebenen Gruppen und Typ für eine detaillierteres Monitoring herangezogen werden kann (Larrieu et al. 2018). Im Anhang dieser Arbeit befinden sich die genauen Definitionen und Schwellenwerte der BMH.

Als Orientierung und Nachschlagewerk während der Feldaufnahmen diene der von (Bütler et al. 2020a) entwickelte "Taschenführer der Baummikrohabitate". Der Taschenführer enthält eine deutsche Übersetzung der Definitionen und erweitert die Beschreibung der BMH, um Informationen zur Entstehungsgeschwindigkeit und Häufigkeit im Naturwald, basierend auf einer europaweiten Datenbank.

3.3.2 Aufnahmeverfahren und Inventurdesign

Eine BMH-Inventur zielt darauf ab Bäume innerhalb eines Bestandes auf das Vorkommen von BMH zu untersuchen. Um dies zu tun, muss zunächst ein BHD-Schwellenwert festgelegt werden. Laut Larrieu et al. (2018) gibt es zur Zeit keine Vorgaben des BHD-Schwellenwertes. Dieser soll je nach Zielsetzung und den örtlichen Gegebenheiten, sowie Zeit- und Arbeitskapazität festgelegt werden. Bei der Wahl eines hohen Schwellenwertes sinkt zwar der Aufwand, allerdings verkleinert sich der Datensatz und daraus resultierend, die Vergleichbarkeit mit anderen Untersuchungen. Auch muss berücksichtigt werden, dass Bäume mit mittlerem BHD

von großer Bedeutung für den Anteil gewisser BMH-Typen ist. Aus diesem Grund empfiehlt Larrieu et al. (2018) einen BHD-Schwellenwert von 30 cm nicht zu überschreiten und bestenfalls einen Schwellenwert von 10 cm zu wählen. Für diese Arbeit wurde ein unterer Schwellenwert von 20 cm gewählt.

Für die Feldaufnahme der BMH wird der Baum zunächst visuell betrachtet. Larrieu et al. (2018) empfiehlt es, den Baum in zwei Durchgängen von beiden Seiten zu betrachten. Demzufolge soll der Baum im ersten Durchgang an der Stammbasis und dem unteren Stammbereich betrachtet werden und beim zweiten Durchgang die Krone und der obere Stammbereich.

Bei den Aufnahmen ist es nur von Relevanz, ob ein BMH vorkommt oder nicht, auch wenn das BMH zweimal an einem Baum vorkommt wird es nur einmal aufgenommen (Larrieu et al. 2018).

Der Zeitpunkt der Feldaufnahmen ist ebenfalls von Bedeutung. Demnach sollten sich die Bäume in einem unbelaubten Zustand befinden. Es empfiehlt sich die Erfassung von BMH zwischen dem Laubabfall und dem Laubaustrieb durchzuführen. Nur in diesem Zeitraum kann sichergestellt werden, dass alle BMH visuell identifiziert werden können. Die Belaubung der Baumkrone kann einerseits die Sichtbarkeit einiger BMH-Typen in der Krone beeinträchtigen, andererseits kann auch ein belaubter Unter- und Zwischenstand die Erkennung von BMH am gesamten Baum erschweren. Darüber hinaus sollte das Wetter trocken sein, um Regen-, Schnee- und Nebelfreiheit zu gewährleisten, da diese Witterungsbedingungen die visuelle Erkennung von BMH beeinträchtigen können. Es gibt jedoch Ausnahmen für den Zeitpunkt der Erfassung, wie etwa in Gebirgswäldern, wo Inventuren aufgrund der Wetterbedingungen im Sommer durchgeführt werden müssen, sowie in immergrünen Laub- oder Nadelwäldern (Larrieu et al. 2018). In selten Fällen kann die Aufnahme auch abweichend der Empfehlung, im belaubten Zustand getätigt werden, wo Schnee beispielsweise das Begehen des Geländes nicht ermöglicht (Mamadashvili et al. 2023). Das trifft auf die Flächen dieser Bachelorarbeit nicht zu, weshalb die Datenerhebung Ende Dezember 2023 erfolgte.

Hinsichtlich des Inventurdesigns gibt es in der Literatur keine einheitlichen Vorgaben für BMH-Inventuren. Auch hier hängt das Design stark von dem zu untersuchenden Objekt, den spezifischen Forschungszielen und den verfügbaren Arbeits- und Zeitressourcen ab. Jedoch lassen sich grundsätzlich zwischen Vollaufnahmen und

Stichprobenverfahren unterscheiden, wobei sich Vollaufnahmen für kleine, klar abgegrenzte Waldflächen eignen, während Stichprobenverfahren bei großflächigen Inventuren angewendet werden können. Die Abteilungen decken eine Fläche von 77,3 ha ab, weshalb das Stichprobenverfahren gewählt wurde. Darüber hinaus ist ein permanentes Stichprobenraster vorhanden, sowie die dazugehörigen geografischen Informationen, welche vom Forstamt Rothenbuch zur Verfügung gestellt wurden. Das Inventurnetz besteht aus einem 200x200 m Raster. Im Bestand Weisser Stein waren bereits 14 Stichprobenpunkte vorhanden und im Eichling handelt es sich um 9 bereits vorhandene Stichprobenpunkte. Da der Datensatzumfang von insgesamt 23 Stichprobenpunkten zu gering ist, um einen qualitativen Vergleich mit dem NWR Eichhall zu ziehen, welcher insgesamt 61 Stichprobenpunkte besitzt, wurde das bereits vorhandene Stichprobennetz während der Feldaufnahmen erweitert. Hierbei wurde darauf geachtet, dass regelmäßige Abstände eingehalten werden. Die Stichprobennetze der beiden Abteilungen wurden jeweils um elf Stichprobenpunkte erweitert, wodurch schlussendlich eine Datenerhebung an 45 Stichprobenpunkten erfolgte. Das Inventurdesign der beiden Abteilungen, mit bereits vorhandenen und erweiterten Stichprobenpunkten ist in Abbildung 2 und Abbildung 3 einzusehen. Vor Ort wurden die ergänzten Stichproben durch einen mit Forstmarkierfarbe gekennzeichneten Ast versehen. Jeder Stichprobenpunkt wird durch einen einheitlichen Probekreis repräsentiert. Der Radius beträgt 12,62 m und wurde durch bisherige Waldinventuren festgelegt. Somit ergibt sich eine Grundfläche von 500 Quadratmetern pro Probekreis. Insgesamt ergibt sich somit eine Stichprobenfläche von insgesamt 22500 m². Im Gegensatz zum Design der bisherigen Waldinventuren, bei dem die Bäume mit Hilfe konzentrischer Kreisradien und unterschiedlicher BHD-Schwellen erfasst wurden, wurde für den gesamten Inventurkreis die oben genannte BHD-Schwelle von 20 Zentimetern (cm) verwendet.

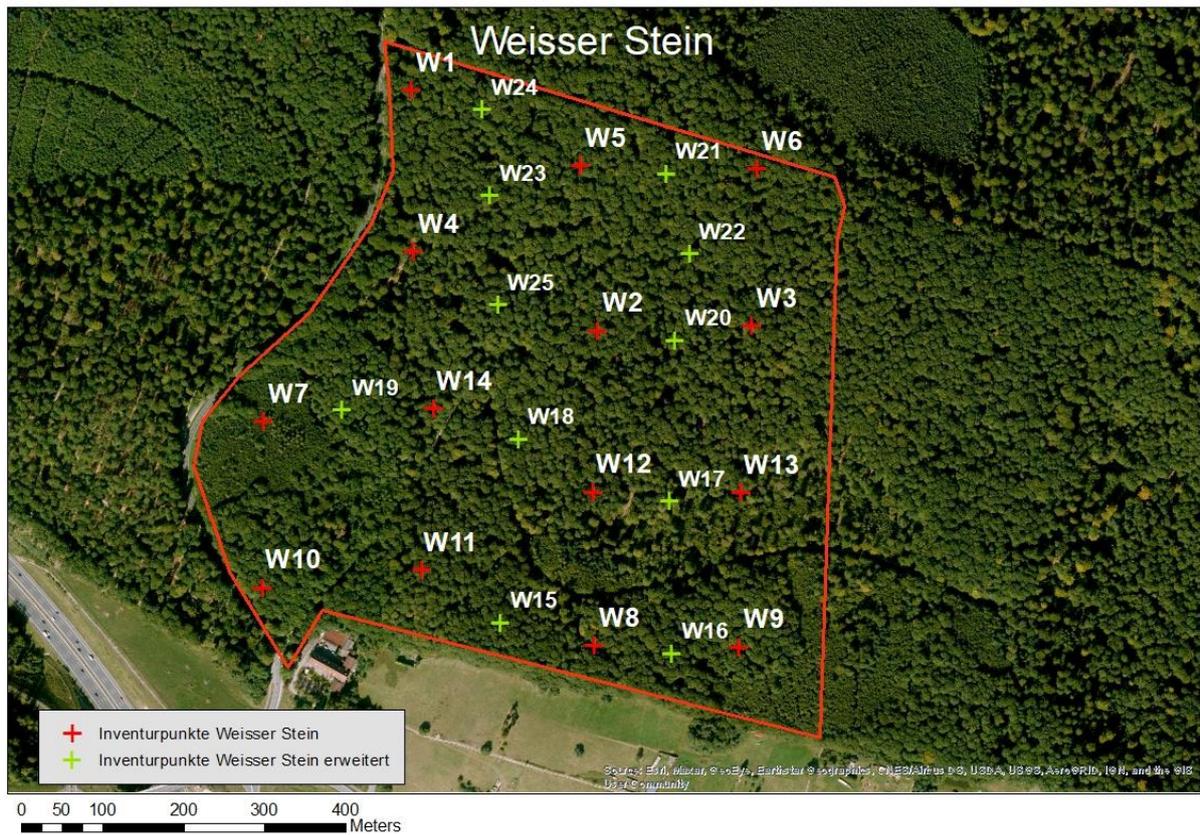


Abbildung 2 Karte mit bereits vorhandenen und erweiterten Inventurpunkten der Abteilung Weisser Stein (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)

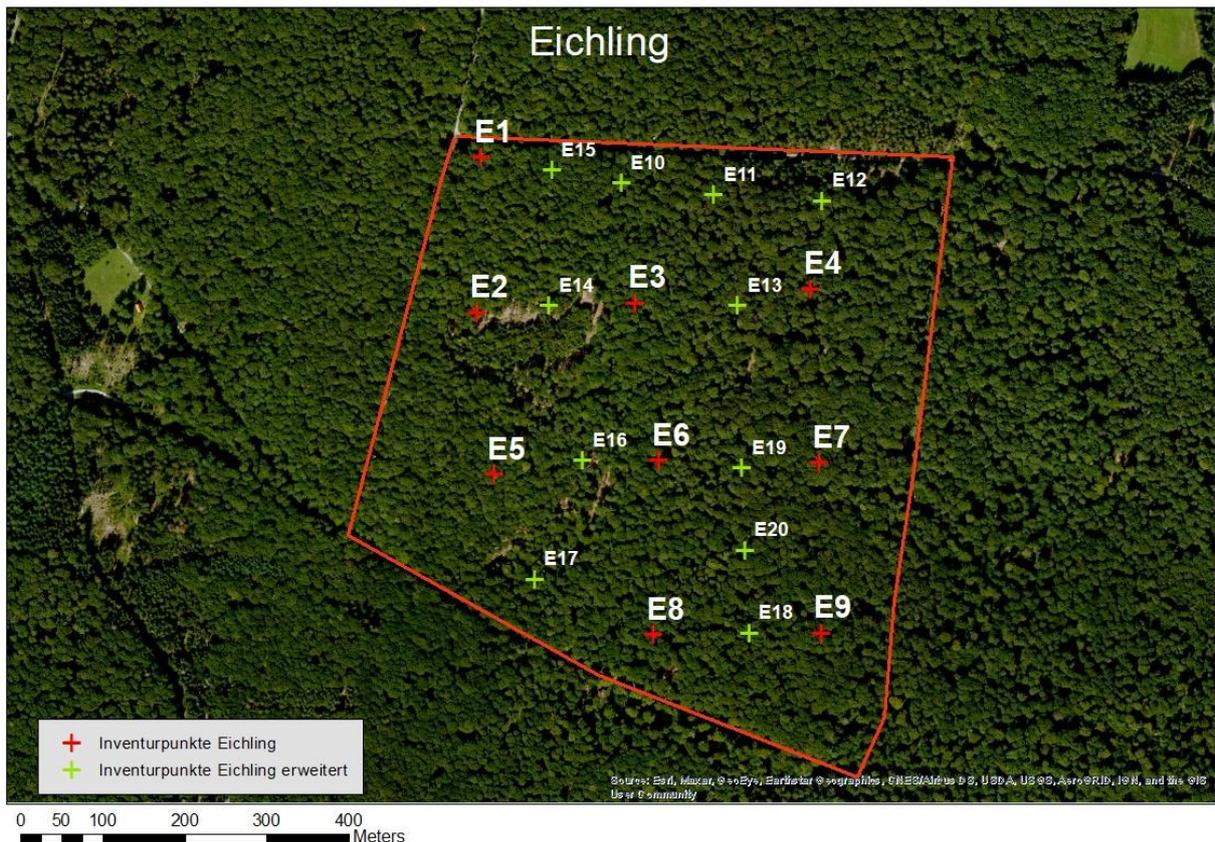


Abbildung 3: Karte mit bereits vorhandenen und erweiterten Inventurpunkten der Abteilung Eichling (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)

3.3.3 Ablauf, Instrumente und Materialien

Verschiedene Instrumente waren erforderlich, um die Daten aufzunehmen. Diese wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten eingesetzt (siehe Tabelle 2).

Zunächst mussten im Gelände die Inventurpunkte aufgesucht werden. Hierfür wurde das Tablet (Samsung Tab Active4) verwendet, das bereits vor den Feldaufnahmen mit einer Hintergrundkarte und einem Layer mit den entsprechenden Koordinaten der Stichprobenpunkte versehen wurde. Zur Sicherheit wurde ein zweites GPS-Gerät (Garmin etrex 20) verwendet, welches ebenfalls mit den Koordinaten der Stichprobenpunkte ausgestattet war. Die GPS-Geräte ermöglichten es, die Inventurpunkte bis auf wenige m genau anzusteuern. Die Genauigkeit dieser Geräte variierte jedoch stark, da die Satelliten des GPS-Systems in einer geostationären Umlaufbahn um die Erde kreisen und verschiedene Fehler technisch ausgeglichen werden müssen. Darüber hinaus können Fehler durch Empfängerrauschen oder durch Hindernisse wie Gebäude entstehen (Schrödter 1994).

Um den exakten Inventurmittelpunkt zu bestimmen, wurden die Stammfußplots der letzten Waldinventur herangezogen, die eine gute Orientierung boten und die Suche effektiver gestalteten. Anschließend wurde der genaue Inventurmittelpunkt mithilfe des Magnetsuchgerätes (Schonstedt GA-72CD) lokalisiert. Das dauerhafte Inventurnetz ist mit vergrabenen Ringmagneten versehen, die über ein akustisches Signal mit einem Magnetsuchgerät aufgefunden werden können.

Es musste zudem sichergestellt werden, dass die Probefläche genau eingehalten wird. Hierfür dienten ebenfalls die Stammfußplots als Orientierung, da diese zeigten, welche Bäume sich im Probekreis befinden. Für Bäume, die nicht eindeutig als Bestandteil des Probekreises identifiziert werden konnten, wurde das „Haglöf Vertex 5“ verwendet. Dieses Gerät nutzt Ultraschalltechnologie, um horizontale Entfernungen zu messen. Um die genaue Entfernung vom Inventurmittelpunkt zur Grenze des Probekreises zu bestimmen, wurde der „Transponder T3“ exakt über dem Ringmagnet des Stichprobennetzes montiert und diente somit als Referenzpunkt.

Die Höhe der Bäume wurde mithilfe des "Nikon Forestry Pro 2" gemessen, ein Lasermessgerät, das es ermöglicht, die Höhen der Inventurbäume mittels Zweipunktmessungen zu erfassen. Um die BMH des oberen Stammabschnitts und der Krone genau bestimmen zu können, wurde ein Fernglas (Zeiss 8x57 TP) verwendet.

Für die Datenerfassung diente das bereits erwähnte Tablet. Hierfür wurde die „Locus GIS“-Anwendung verwendet, die es ermöglichte, im Voraus einen Kartenlayer für die digitale Aufnahme zu erstellen und eine Aufnahmemaske zu programmieren. Die digitale Datenerhebung ermöglichte es, alle zu erfassenden Merkmale als Eingabefelder zu speichern und jeden Baum mit seinen zugehörigen Informationen als Geoobjekt zu erfassen.

Tabelle 2: Auflistung der bei der Feldaufnahme verwendeten Messinstrumente und Hilfsmaterialien

Instrumente/ Materialien	Zweck
Tablet „Samsung Tab Active4“	Auffinden der Inventurpunkte & digitale Datenerfassung
Garmin GPS-Gerät „etrex 20“	Auffinden der Inventurpunkte
Magnetsuchgerät „Schonstedt GA-72CD“	Auffinden des Ringmagneten
Nikon-Lasermessgerät „Forestry Pro 2“	Messen der Baumhöhe
Haglöß „Vertex 5“ und „Transponder T3“	Messen des Inventurradius
Stammfußplots	Auffinden des Inventurpunktes
Kluppe	Messen des BHD
BHD-Maßband	Messen des BHD bei starken Bäumen
Fernglas „Zeiss 8x56TP“	Erkennen von BMH in großer Baumhöhe
Taschenführer der BMH	Nachschlagewerk
Forstmarkierfarbe	Markierung der erweiterten Stichprobenpunkte

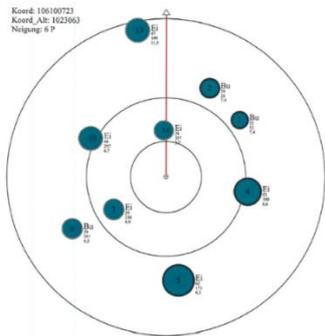
		
Magnetsuchgerät Schonstedt GA-72CD	Garmin etrex 20	Nikon Forestry Pro 2
		
Haglöß Vertex 5 und Transponder T3	Taschenführer der BMH	Stammfußplots

Abbildung 4: Verwendete Materialien und Messinstrumente (Eigene Darstellung unter Verwendung des Bildmaterials von Schonstedt 2022; Grube 2024; Bütler et al. 2020a ; LWF 2021)

3.4 Auswertung

3.4.1 Deskriptive statistische Auswertung mit Excel

Die Auswertung der erhobenen Daten wurde zunächst mit dem Programm Microsoft Excel durchgeführt. Als erster Schritt mussten die Rohdaten der Aufnahme-Shapefiles in eine Excel-Arbeitsmappe transformiert werden, um sie in einem geeigneten Format vorliegen zu haben. Nachdem diese Daten auf Fehler überprüft worden waren, konnten sie verwendet werden. Die Daten NWR wurden bereits in einer Excel-Mappe zur Verfügung gestellt.

Anschließend wurden die Daten je nach Bedarf kategorisiert, zusammengefasst und berechnet. Dabei wurden die Daten vor allem gemäß der Typologie von Larrieu et al. (2018) zu den BMH-Formen, -Gruppen und -Typen sortiert. Des Weiteren wurden BHD-Klassen gebildet und Analysen durch Berechnungen der deskriptiven Statistik durchgeführt. Hierzu zählen unter anderem die Berechnung von Median und Mittelwert.

Die ausgewerteten Daten wurden schließlich durch Abbildungen veranschaulicht.

3.4.2 Binäre logistische Regression

Die binäre logistische Regressionsanalyse wurde angewendet, um den Zusammenhang zwischen BMH und dem BHD genauer zu untersuchen. Hierfür wurde das Programm SPSS“ von IBM-Statistics verwendet.

Das Ziel einer binären logistischen Regression besteht darin, die Wahrscheinlichkeit zu modellieren, dass ein bestimmtes Ereignis eintritt oder nicht, hier kommt ein BMH vor, oder nicht. Es wird demnach die Abhängigkeit einer dichotomen (binäre) Variablen von anderen unabhängigen Variablen untersucht (Scheuber 2024). Im Falle dieser Arbeit ist die dichotome Variable das Vorkommen eines BMH, welche kategorial skaliert ist, und die unabhängige Variable der BHD, welche einer metrischen Skalierung unterliegt.

Für die Berechnung wurde eine einfache logistische Regression verwendet.

Formel 1: Formel zur Berechnung der einfachen logistischen Regression (Scheuber 2024).

$$\ln = \frac{p(y = 1)}{(1 - p(y = 1))} = \beta_0 + \beta_1 x$$

Mit der logistischen Regressionsanalyse wird versucht eine Funktionskurve zu finden, die möglichst gut zu den Daten passt. Die Kurve ist idealerweise s-förmig und verläuft asymptotisch, und zwar gegen $y = 0$ und $y = 1$, demnach kann die die logistische Funktion nur Werte zwischen 0 und 1 annehmen (Universität Zürich 2023).

Der Algorithmus der Maximum-Likelihood-Schätzung schätzt die Regressionskoeffizienten. Hier gilt, wenn $y = 1$ werden möglichst hohe Wahrscheinlichkeiten für den Algorithmus vorausgesagt: Gleiches gilt umgekehrt, wenn $y = 0$ werden möglichst niedrige Werte vorausgesagt. Das bedeutet, dass die durch die Maximum-Likelihood-Schätzung maximierte „Likelihood-Funktion“, aussagt, wie wahrscheinlich es ist, dass der Wert einer abhängigen Variablen durch die unabhängigen Variablen vorausgesagt werden kann (Universität Zürich 2023).

Der Omnibus-Test dient dem Zweck das Modell auf Signifikanz zu überprüfen. Hierbei wird das aktuelle Modell mit dem Null Modell verglichen. Als Ergebnis dient ein Signifikanzwert, welcher aussagt, ob das aktuelle Modell geeignet ist (IBM Deutschland GmbH 2024)

Eine weitere Interpretation der Regressionskoeffizienten wurde mithilfe der sogenannten „Odds Ratio“ durchgeführt. Diese kann folgendermaßen interpretiert werden: Die „Odds Ratio“ der unabhängigen Variable gibt die Veränderung der relativen Wahrscheinlichkeit von $y = 1$ an, wenn die unabhängige Variable um eins steigt. Eine Odds Ratio > 1 deutet auf eine Zunahme hin, während eine Odds Ratio < 1 auf eine Abnahme der Wahrscheinlichkeit des Eintretens des Ereignisses hinweist (Universität Zürich 2023). Die Odds Ratio werden wie folgt berechnet:

Formel 2: Formel zur Berechnung der Odds Ratio (Universität Zürich 2023)

$$\text{Odds Ratio} = \text{Exp}(B) = e^{\beta} = \frac{\text{Odds nach dem Anstieg von } x \text{ um eine Einheit}}{\text{Odds vor dem Anstieg von } x \text{ um eine Einheit}} = \frac{\text{Odds}_{\text{nach}}}{\text{Odds}_{\text{vor}}}$$

Zur genaueren Beurteilung der Modellgüte und zur Berechnung der Effektstärke nach Cohen wurde das Pseudo-Bestimmtheitsmaß Nagelkerke- R^2 herangezogen. Die Effektstärke nach Cohen wird verwendet, um die Signifikanz eines Ergebnisses zu bewerten (Universität Zürich 2023). Die Berechnung erfolgt folgendermaßen:

Formel 3: Formel zur Berechnung der Effektstärke nach Cohen (Scheuber 2024)

$$f = \sqrt{\frac{R^2}{1 - R^2}}$$

Durch die binäre logistische Regressionsanalyse wurden Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten des Ereignisses „BMH kommt vor“ oder „BMH kommt nicht vor“ berechnet. Diese Ergebnisse sind in Kapitel 4.4 in einem Streudiagramm dargestellt, wobei eine Bezugslinie die Regressionskurve abbildet.

3.4.3 Geoanalyse mit ArcGIS

Wie bereits in Kapitel 3.3.3 erwähnt, wurde aufgrund des digitalen Aufnahmeverfahrens jeder einzelne Baum als Geoobjekt erfasst. Das bedeutet, dass die Daten der BMH-Inventur mit geographischen Informationen verknüpft wurde. Das ermöglichte eine geoanalytische Auswertung, wofür das Programm ArcMap verwendet wurde.

Jeder Baum ist einem Inventurpunkt eindeutig zuzuordnen, da bereits bei der Feldaufnahme diese Verknüpfung erfolgte. Für die Aufbereitung der Daten wurde erneut das Programm Excel verwendet. Hier wurden durch einfache Abfragen das Vorkommen der BMH an den einzelnen Inventurpunkten in numerische Werte umgewandelt. Diese konnten somit über die ID der Inventurpunkte verknüpft werden und anschließend mit verschiedenen Tools von ArcMap weiterbearbeitet werden. Das ermöglichte die Visualisierung durch sinnvolle und anschauliche Karten

4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der vorliegenden Bachelorarbeit präsentiert. Bei der Primäranalyse wurden eine Vielzahl von Daten erhoben. Nun sollen diese im Hinblick auf die Problemstellung ausgewertet werden. Dabei werden relevante Trends, Muster und Zusammenhänge herausgearbeitet und kritisch betrachtet. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für die Diskussion im nächsten Abschnitt und sind wie folgt gegliedert:

Zunächst wird der Fokus auf die Ergebnisse der bewirtschafteten Wälder gelegt. Hier wird zunächst ein Blick auf allgemeine Bestandesdaten geworfen. Im zweiten Teil wird der Fokus auf die BMH der Abteilungen Weisser Stein und Eichling gelegt.

Anschließend werden die Ergebnisse der Geoanalyse aufgeführt, und abschließend findet ein Vergleich der Abteilungen mit dem NWR Eichhall statt.

4.1 Ergebnisse zu den Bestandesdaten

4.1.1 Baumartenverteilung

Bei der Datenerhebung im Weissen Stein und im Eichling wurden insgesamt 478 Bäume, auf 45 Stichprobenpunkten verteilt, aufgenommen. Ein Stichprobenpunkt mit einem Radius von 12,62 m repräsentiert somit eine Fläche von 500 m². Auf die gesamte Fläche gerechnet entspricht das einer repräsentativen Stichprobenfläche von 2,25 ha. Die tatsächliche Größe des Bestandes Weisser Stein beträgt 39,1 ha und die des Eichling 38,2 ha.

Es wurden insgesamt fünf Baumarten aufgenommen: Buche, Eiche, Hainbuche (*Carpinus betulus*), Europäische Lärche (*Larix decidua*) und die Gemeine Fichte (*Picea abies*).

Die Baumartenverteilung ist in Tabelle 3 nach absteigender Häufigkeit aufgelistet, wobei die Buche mit 55 % den größten Anteil annimmt, gefolgt von der Eiche mit 44 %. Auf der gesamten Aufnahme­fläche befanden sich zwei Europäische Lärchen und neun Gemeine Fichten, welche aufgrund zu geringer Relevanz nicht berücksichtigt werden. Des Weiteren soll der Fokus dieser Arbeit auf die Laubbäume gerichtet werden. Die vier Hainbuchen werden zur Simplifizierung, für die weiteren Auswertungen den Buchen zugeteilt. Stehendes Totholz war mit einem Anteil von 2 % auf der Fläche vorhanden. Dieser Anteil wurde ausschließlich von der Buche gebildet.

Tabelle 3: Baumartenverteilung, n = 478

	Zustand	Anzahl n	Anteil [%]
Buche	lebend	262	55%
	tot	9	2%
Eiche	lebend	190	40%
	tot	2	0%
Fichte	lebend	9	2%
	tot	0	0%
Hainbuche	lebend	4	1%
	tot	0	0%
Lärche	lebend	2	0%
	tot	0	0%
Summe		478	100%

Wird ausschließlich das Stammzahlverhältnis der Buchen und Eichen betrachtet, fällt auf, dass der größere Anteil durch die Buche gebildet wird. die Buche mit 59 % den größeren Anteil

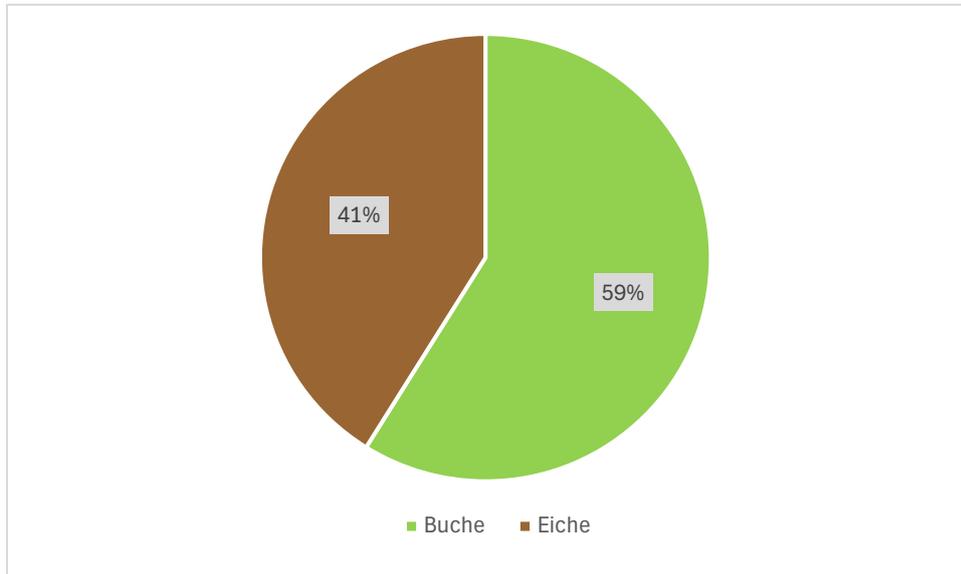


Abbildung 5: Verhältnis der Stammzahl je ha zwischen Buche und Eiche

4.1.2 BHD-Klassen-Verteilung

In Abbildung 6 werden die Buchen und Eichen der Abteilungen entsprechend ihrer jeweiligen BHD-Klasse dargestellt. Jede Klasse repräsentiert einen BHD-Umfang von 10 cm, beginnend bei Klasse 1 mit 20 bis 29 cm. Die Prozentzahl über den Säulen zeigt den Anteil der jeweiligen Baumart (lebend und tot) in der entsprechenden Klasse an.

Zwischen den beiden Baumarten sind deutliche Unterschiede, in Bezug auf die Verteilung der BHD-Klassen, erkennbar. Insgesamt erstreckt sich die Verteilung über 10 BHD-Klassen, wobei die Buche in den Klassen 1-7 vertreten ist. Die BHD-Spreitung verteilt sich von 20 bis 82 cm. Hingegen ist die Eiche in den Klassen 2-10 repräsentiert. Die Eiche trat mit einem BHD von 31 bis maximal 113 cm auf. Darüber hinaus sind 73 % des Buchen Anteils auf die Klasse 1 und 2 aufgeteilt. Der größte Anteil befindet sich in der Klasse 2 mit 37 %. Des Weiteren nimmt der Anteil der Buche ab der Klasse 2 stetig weiter ab. Anders sieht das bei der Eiche aus, hier nimmt der Anteil bis zur Klasse 4 zu, dort erreicht sie einen Anteil von 38 %, ab hier nimmt auch die Eiche bis Klasse 10 ab. Diese Trends werden in den Mittelwerten der BHD widergespiegelt.

Stehendes Totholz ist nur in geringem Maß, bei der Buche in den BHD-Klassen 1-4, vertreten. Bei der Eiche gibt es insgesamt nur zwei Vertreter, mit einem BHD von 43 cm und 73 cm. Dieser Anteil ist jedoch so gering, dass er in Abbildung 6 kaum zu erkennen ist.

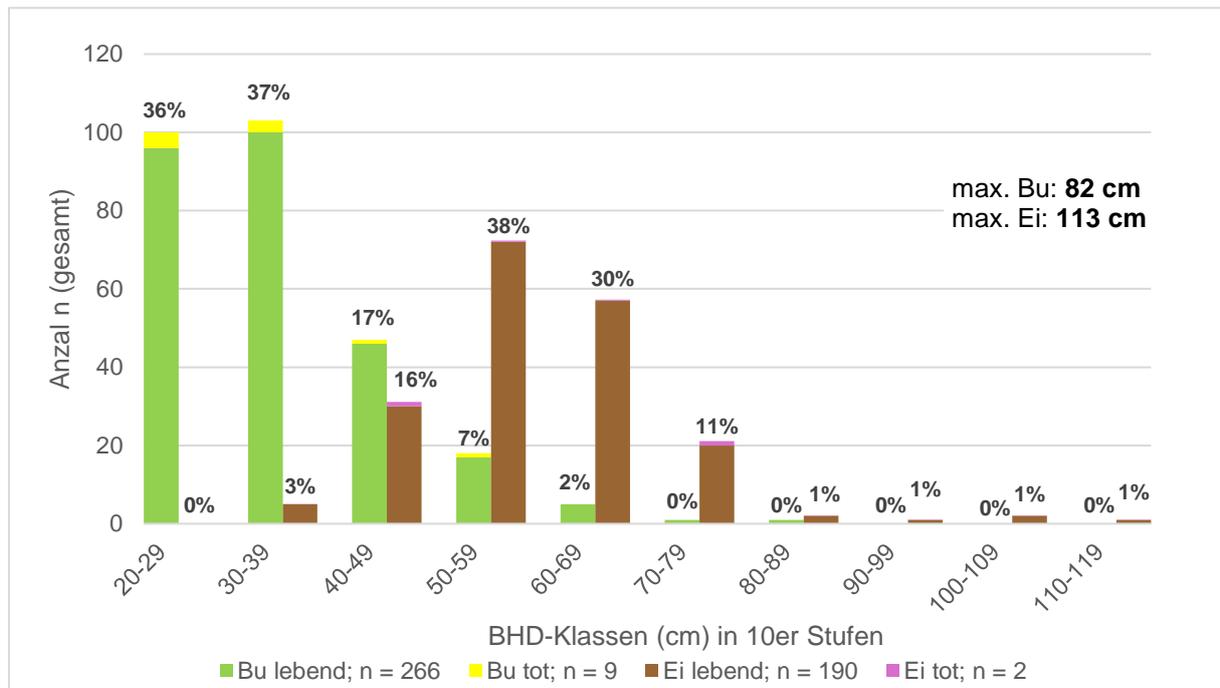


Abbildung 6: BHD-Klassen-Verteilung der Baumarten. n = 467

Tabelle 4: Mittelwert (cm) und Median (cm) der Baumarten

	Zustand	Mittelwert BHD (cm)	Median BHD (cm)
Buche	lebend	35	32
	tot	34	36
Eiche	lebend	59	58
	tot	58	58

4.1.3 Bestandeshöhenkurven

Während der Datenaufnahmen wurden in den Abteilungen gleichmäßig über die Inventurpunkt verteilt paarweise Messungen von Höhe und BHD durchgeführt, was es ermöglichte, aussagekräftige Bestandeshöhenkurven bilden zu können. Bei der Eiche wurden 49 Höhenmessungen und bei der Buche 59, durchgeführt. Dabei wurde beachtet, dass die gesamte Durchmesserstreuung der jeweiligen Baumarten mit

Höhenmessungen abgedeckt waren. In Abbildung 7 sind die Bestandeshöhenkurven der beiden Baumarten zu sehen. Es ist zu erkennen, dass der Verlauf der Eiche deutlich flacher ist als der Buche. Bei der Buche ist eine deutliche Veränderung der Höhe mit zunehmendem BHD zu vernehmen. Das trifft bei der Eiche wiederum nicht zu.

Die Regressionskurve der Buche errechnet sich durch die Formel:

Formel 4: Regressionsgleichung der Höhenkurve für die Buche

$$y = 11,878 \ln(x) - 16,409$$

Mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,6908$ liegt eine gute Gesamtgenauigkeit der Modellierung vor.

Die Regressionskurve der Eiche errechnete sich durch die Formel:

Formel 5: Regressionsgleichung der Höhenkurve für die Eiche

$$y = 6,8526 \ln(x) + 4,1082$$

Mit $R^2 = 0,3505$ als Bestimmtheitsmaß ist die Gesamtgenauigkeit dieser Modellierung als moderat bis schwach zu bewerten.

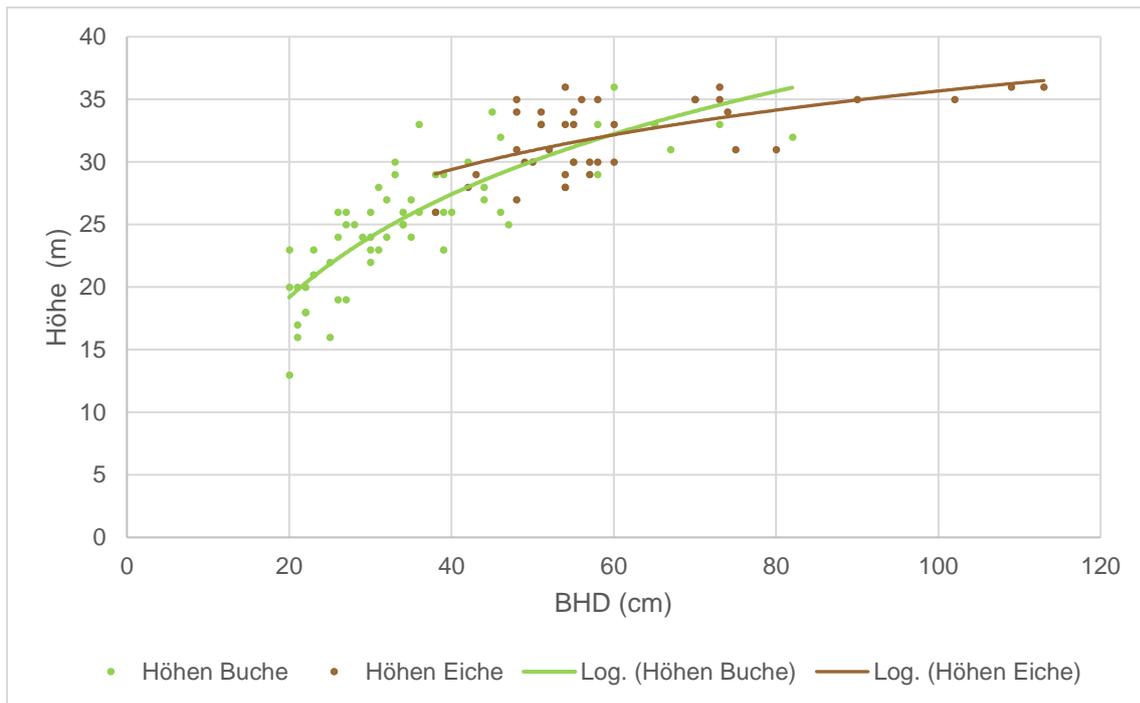


Abbildung 7: Bestandeshöhenkurven der Buchen und Eichen

4.1.4 Vorrat

Während der Datenerhebung wurde der BHD jedes Baumes erfasst, der einen Durchmesser von über 20 cm aufwies und sich innerhalb des Probekreises befand. Darüber hinaus wurden für jede Baumart, über die gesamte BHD-Verteilung hinweg, Baumhöhen notiert (siehe Kapitel 4.1.3). Für die Berechnung des Vorrats mussten zunächst fehlenden Höhen ergänzt werden. Hierfür wurden logarithmische Funktionen verwendet, die die Höhen der verschiedenen Baumarten repräsentieren.

Nachdem die fehlenden Höhen ergänzt worden waren, konnte der Vorrat jedes einzelnen Baumes berechnet und anschließend aufsummiert werden, um den Gesamtvorrat zu ermitteln. Für die Vorratsberechnung wurden ausschließlich lebende Bäume berücksichtigt. Die Berechnung erfolgte mit der folgenden Formel:

Formel 6: Berechnung des Vorrates eines stehenden Baumes

$$V = \frac{\pi}{4} * d^2 * h * 0,5$$

Da jeder Baum, aufgrund von natürlichem Wuchsverhalten, eine gewisse Abholzigkeit aufweist, wurde ein Korrekturfaktor von 0,5 gewählt.

Der errechnete Vorrat ist in Tabelle 5 aufgeführt. Der Bestandesvorrat der Abteilungen beträgt 551 VFm pro ha. Wobei der größte Anteil des Vorrates von der Eiche gebildet wurde. Der Vorrat der Buche beträgt 167 VFm je ha, während der Vorrat der Eiche 385 VFm je ha beträgt. Der durchschnittliche Vorrat pro Baum betrug bei der Eiche 5 VFm und bei der Buche 1 VFm. Im gewichteten Mittel entspricht das 3 VFm pro Baum.

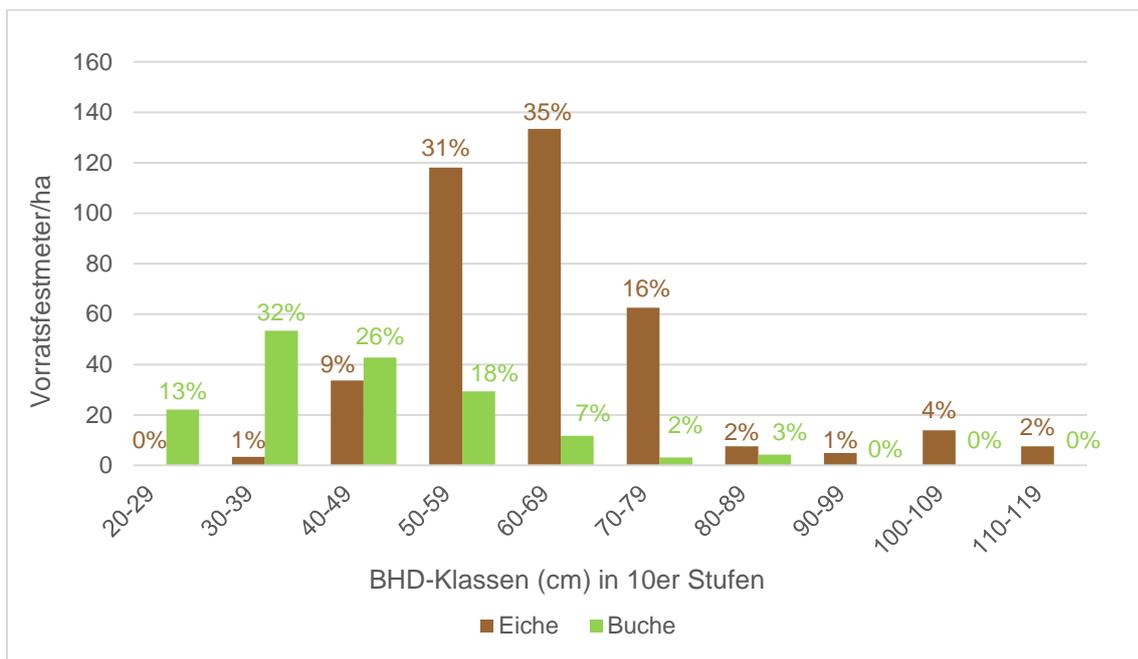


Abbildung 8: Bestandesvorrat je ha über den BHD-Klassen

In Abbildung 9 sind die Anteile der Baumarten am Bestandesvorrat je ha aufgeführt. Hiervon nimmt die Eiche einen Anteil von 70 % ein.

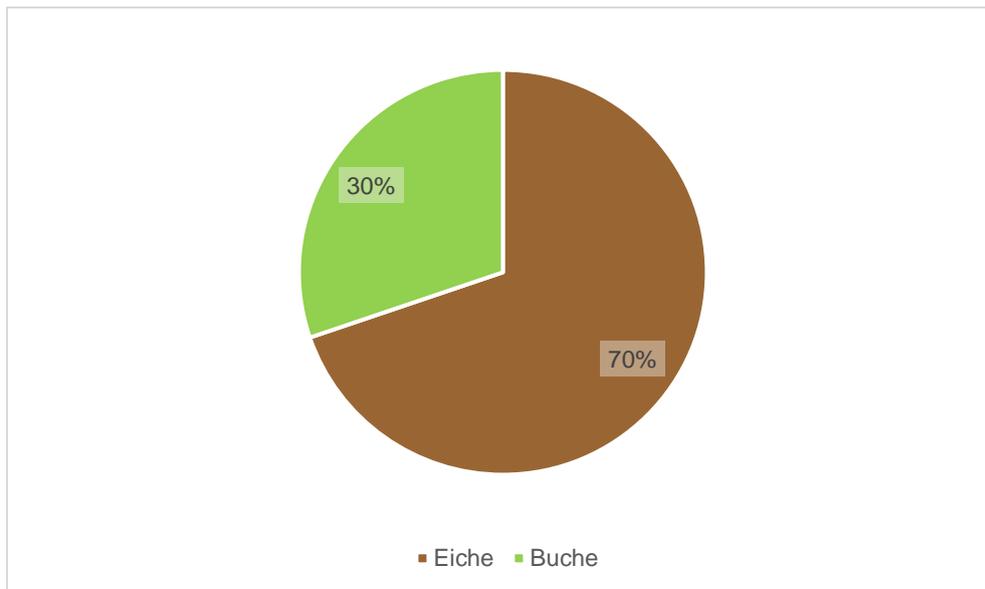


Abbildung 9: Anteil der Baumarten am Vorrat je ha

Tabelle 5: Vorrat insgesamt und je Baumart

	VFm gesamt	VFm/ha	Ø VFm/Baum
Eiche	866	385	5
Buche	375	167	1
Summe	1241	551	3

4.2 Ergebnisse zur Verteilung der BMH

Im Folgenden werden allgemeine Ergebnisse zu den BMH unabhängig von der Baumart betrachtet. Die Detailgenauigkeit wird dabei schrittweise erhöht. Zunächst werden die BMH-Formen untersucht, anschließend die Gruppen und schließlich die einzelnen BMH-Typen, um einen umfassenden Überblick zu ermöglichen.

Dabei werden nur die lebenden Bäume berücksichtigt. In den nachfolgenden Analysen erfolgt keine differenzierte Betrachtung zwischen lebenden Bäumen und stehendem Totholz, da der Anteil des stehenden Totholzes mit lediglich neun Exemplaren als zu gering erachtet wird, um daraus sinnvolle Schlussfolgerungen ziehen zu können.

4.2.1 Baumartenunabhängig

Insgesamt wurden 480 BMH an 45 Stichprobenpunkten und an 456 lebenden Bäumen erhoben. Angesichts der Tatsache, dass die durch die Stichprobenpunkte repräsentierte Fläche eine Größe von 2,25 ha umfasst, liegt die Dichte der BMH bei

213 je ha. Von den 456 aufgenommenen lebenden Bäumen wiesen 252 mindestens ein BMH auf, was 55 % entspricht. Darüber hinaus beträgt die durchschnittliche Anzahl an BMH 1,1 pro Baum. In Tabelle 6 sind diese Angaben noch einmal übersichtlich dargestellt.

Tabelle 6: Zusammenfassung allgemeiner Kennzahlen

	Stichprobenpunkte	je ha
Fläche (ha)	2,25	1
Anzahl Bäume	456	203
Anzahl Bäume mit BMH	252	112
Dichte der BMH	480	213

In Abbildung 10 sind die Anteile der gefundenen BMH-Formen dargestellt. In den Abteilungen konnten alle sieben Formen nachgewiesen werden, jedoch zeigt sich ein erheblicher Unterschied in deren anteiligem Vorkommen. Das Kronentotholz stellt mit 43 % den größten Anteil, während die Form der festen und schleimigen Pilzfruchtkörper mit lediglich 1 % den geringsten Anteil ausmacht.

Die Höhlen sind mit 24 % die zweithäufigste Form, gefolgt von Stammverletzungen und freiliegendem Holz, die am dritthäufigsten vertreten sind. Ebenfalls einen geringen Anteil machen epiphytische, epixylische und parasitische Strukturen aus, die 4 % der BMH-Formen ausmachen.

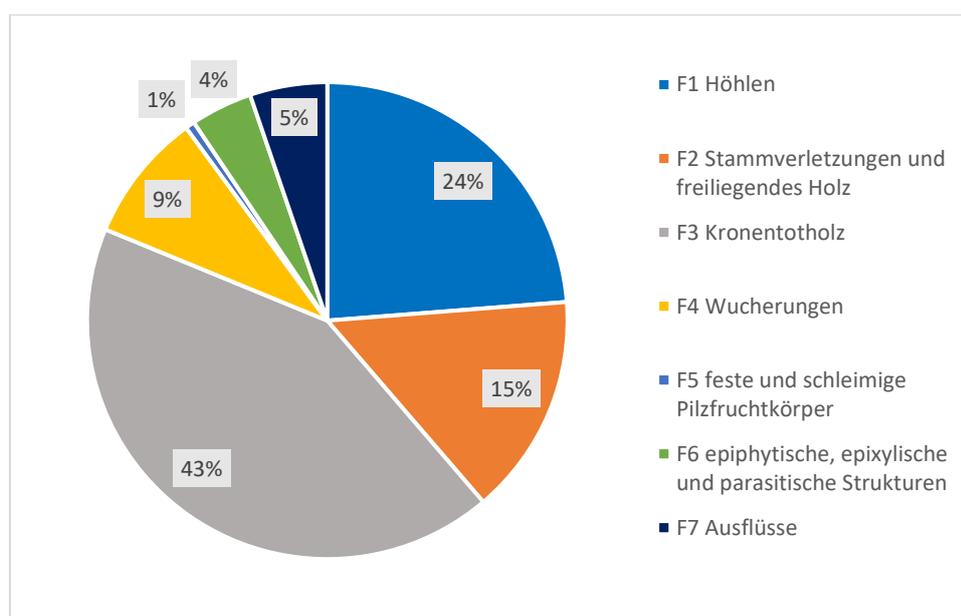


Abbildung 10: Anteile der sieben BMH-Formen

In Tabelle 7 sind die Anzahlen der BMH-Formen je ha aufgeführt. Auch hier sind die Formen eins, zwei und drei am häufigsten vertreten. Diese sind zur besseren Veranschaulichung rot markiert. Die Form Kronentotholz konnte 91-mal je ha erfasst werden. Die geringste Dichte wies die Form fünf auf mit nur einem BMH je ha.

Tabelle 7: Dichte der BMH-Formen je ha

Form	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Dichte n/ha	51	32	91	19	1	9	11

Bei der Betrachtung der BMH-Formen muss berücksichtigt werden, dass jede Form aus mehreren Gruppen besteht, wodurch bei einer rein formbasierten Analyse Informationen verloren gehen. Um eine detailliertere Betrachtung zu ermöglichen, sollen im nächsten Schritt die prozentualen Anteile der jeweiligen Gruppen und deren Dichte, angegeben durch die Anzahl der BMH je ha, aufgeführt werden.

In den Abteilungen waren alle 15 BMH-Gruppen vertreten. Innerhalb der ersten Form trat die Gruppe "Vertiefungen und Stammfußhöhlen" mit 14 % am häufigsten auf. In der zweiten Form lag der Anteil der Gruppe fünf bei 14,2 %. Am häufigsten war jedoch die Gruppe "Kronentotholz" mit 42,5 % vertreten. Die Gruppe acht machte einen Anteil von 8,2 % aus, während die Anteile der restlichen Gruppen unter 5 % lagen.

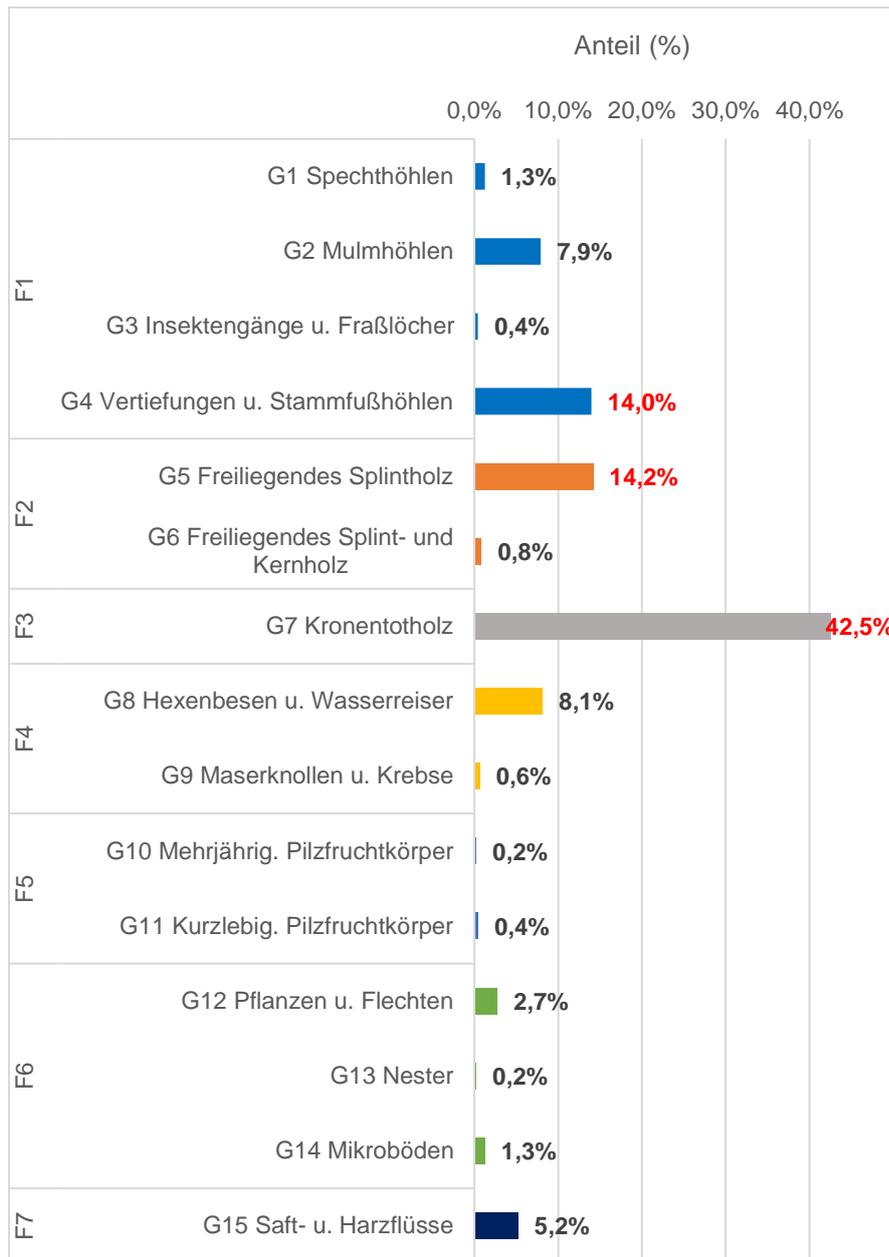


Abbildung 11: Anteile der 15 BMH-Gruppen

Betrachtet man die Dichte der BMH je ha, wird deutlich, dass diese stark variiert. Die Gruppen der mehrjährigen Pilzfruchtkörper und der Nester waren zwar auf der gesamten Fläche anzutreffen, jedoch betrug ihre Dichte weniger als 1 je ha. Die drei am häufigsten auftretenden Gruppen sind rot markiert. Dabei handelt es sich um das Kronentotholz (G7) mit einer Dichte von 91 je ha. Die Gruppen vier und fünf hatten eine identische Dichte, von insgesamt 30 BMH je ha. Ebenfalls mit gleicher Dichte vorkommend sind Mulmhöhlen (G2), Hexenbesen und Wasserreiser (G8) mit 17 je ha.

Tabelle 8: Dichte der 15 BMH-Gruppen je ha

Gruppe	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15
Dichte n/ha	3	17	1	30	30	2	91	17	1	0	1	6	0	3	11

Auch bei der Betrachtung nach Gruppen gehen Details verloren, da die hierarchische Gliederung um eine weitere Ebene erweitert werden kann. Hierbei handelt es sich um die einzelnen BMH-Typen, die sich durch ihre individuelle Morphologie unterscheiden lassen. In Abbildung 12 ist die Anzahl aller in den Abteilungen Weisser Stein und Eichling vorkommenden BMH-Typen aufgeführt. Auf die Angabe einer Dichte je ha wird an dieser Stelle verzichtet, da sonst BMH-Typen nicht aufgeführt würden, die insgesamt nur ein- oder zweimal angetroffen wurden. Das würde die Ergebnisse verfälschen. Auf eine Abbildung der prozentualen Anteile wurde aufgrund der geringen Werte verzichtet.

Von insgesamt 47 BMH-Typen konnten 29 in den Abteilungen aufgefunden werden, was 62 % aller Typen entspricht. Dementsprechend konnten 18 BMH-Typen nicht nachgewiesen werden. Diese sind: „große Bruthöhle“, „kaminartiger, hohler Stamm mit Bodenkontakt“, „Brandnarbe“, „Riss, Spalte“, „Blitzrinne“, „Riss bei Zwiesel“, „abgestorbene Kronenspitze“, „Hexenbesen“, „Krebs“, „Ständer Pilze“, „große Ascomyceten“, „Myxomyceten (Schleimpilze)“, „Blatt- oder Strauchflechten“, „Efeu oder Lianen“, „Farne“, „Nester von Wirbellosen“, „Mikroboden Krone“ und „aktiver Harzfluss“.

Am häufigsten trat der Typ „tote Äste“ auf, mit einer Gesamtanzahl von 164. Bei den am zweithäufigsten auftretenden Typen handelt es sich um „abgebrochener Starkast“ und „Holz ohne Rinde“, mit einer Gesamtanzahl von jeweils 40.

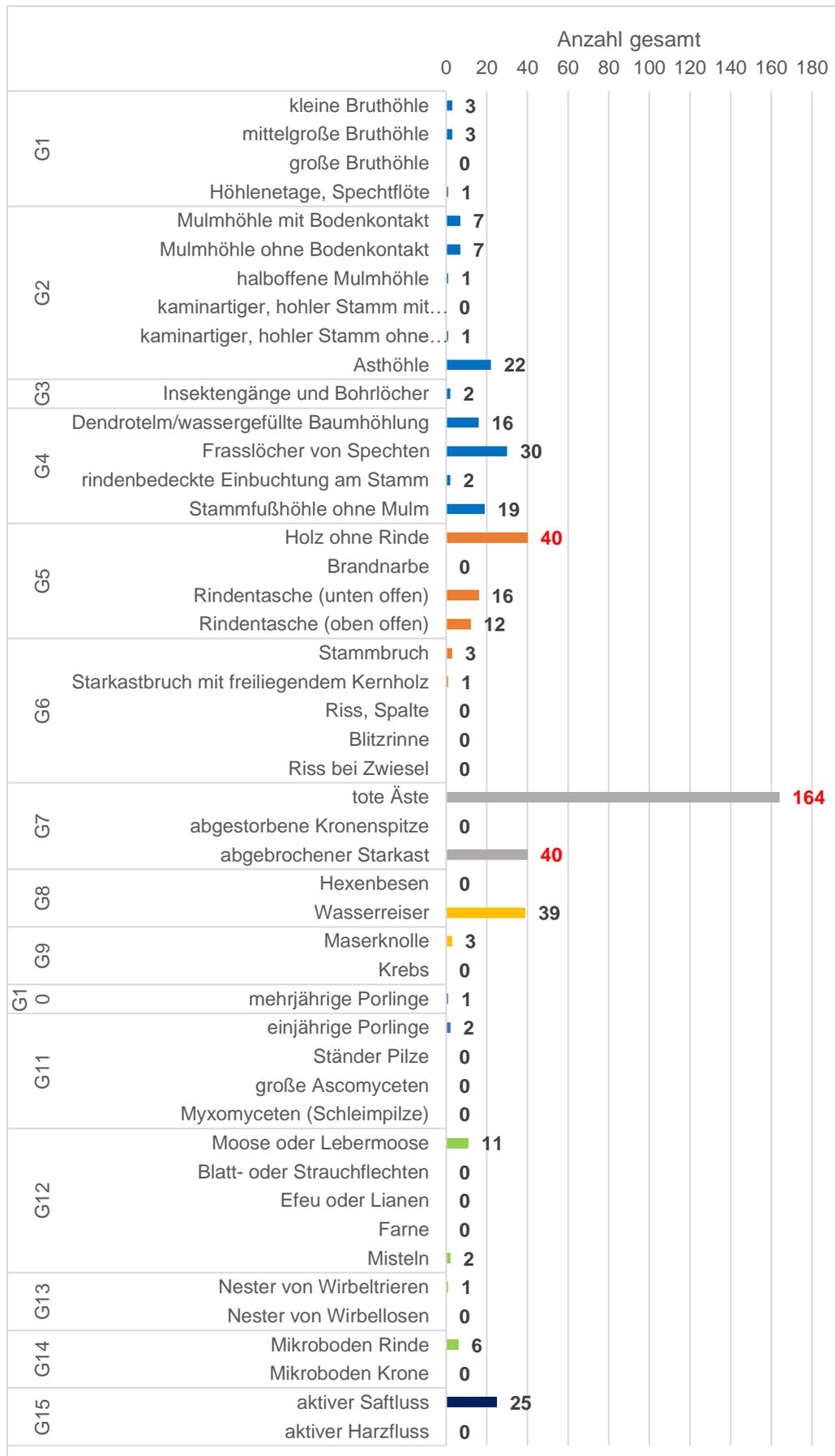


Abbildung 12: Anzahl der 47 BMH-Typen

4.2.2 Baumartenabhängig

Insgesamt wurden 190 lebende Eichen und 266 lebende Buchen erhoben, was einem Stammzahlverhältnis von 58 % Buche zu 42 % Eiche entspricht. Die Eichen trugen 76 % der erfassten BMH, während die Buchen nur 24 % der BMH aufwiesen.

Um genauere Unterschiede zwischen den Baumarten Buche und Eiche zu ermitteln, wurden diese im Folgenden anteilig gegenübergestellt. Dabei wurde erneut eine Differenzierung der hierarchischen Gliederung vorgenommen. Es ist zu berücksichtigen, dass ein Baum Träger mehrerer BMH sein kann, wodurch die Aufsummierung der Anteile zu mehr als 100 % führen kann.

In Abbildung 13 sind die Anteile der Bäume aufgeführt, die die jeweilige BMH-Form aufweisen. Es muss betont werden, dass die Formen untereinander nicht direkt vergleichbar sind, da sie unterschiedliche Anteile an Typen beinhalten. Deutliche Unterschiede zwischen den beiden Baumarten sind erkennbar. Der Anteil der Eichen ist bei allen Formen deutlich höher, mit Ausnahme der Form „andere Strukturen“. Hier liegt der Anteil der Buchen bei 5 % und der der Eichen bei 4 %.

Am häufigsten vertreten war bei den Eichen die BMH-Form „Kronentotholz“: 78 % aller vorkommenden Eichen wiesen mindestens einen BMH-Typ dieser Form auf. Bei den Buchen war die am häufigsten vertretene Form die „Höhlen“: 18 % aller Buchen wiesen diese Form auf. Grundsätzlich liegt der Anteil der Buchen signifikant unter dem der Eichen. Besonders bei der Form „Kronentotholz“ ist dieser Unterschied am deutlichsten, da hier der Anteil der Buchen 70 % unter dem der Eichen liegt. Darüber hinaus sind zwei Formen bei der Buche zwar vertreten, allerdings liegt ihr Anteil unter 1 %. Diese Formen sind „Wucherungen“ und „Pilzfruchtkörper“.

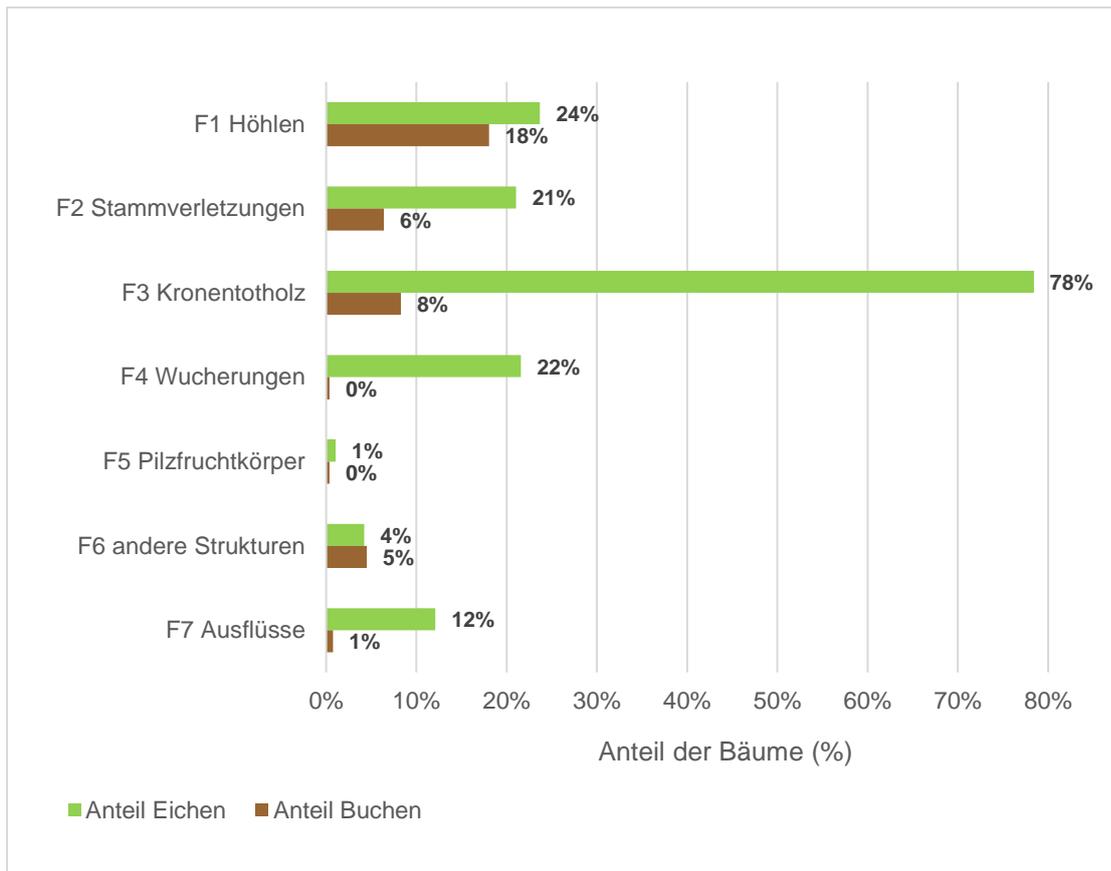


Abbildung 13: Anteil der Baumarten, der die jeweilige BMH-Form aufwies.

Auch hier soll eine Betrachtung der BMH-Gruppen einen genaueren Einblick gewähren. Der Anteil der Eichen mit den jeweiligen BMH-Gruppen überwiegt ebenfalls. Ausnahmen bilden die BMH-Gruppen „freiliegendes Splint- und Kernholz“ (G6) sowie „Pflanzen und Flechten“ (G12), bei denen die Buchen einen höheren Anteil aufweisen. Nur die Gruppe „Kronentotholz“ (G7) wies bei den Eichen einen Anteil von über 50 % auf. Somit hatte mehr als jede zweite Eiche ein BMH dieser Gruppe.

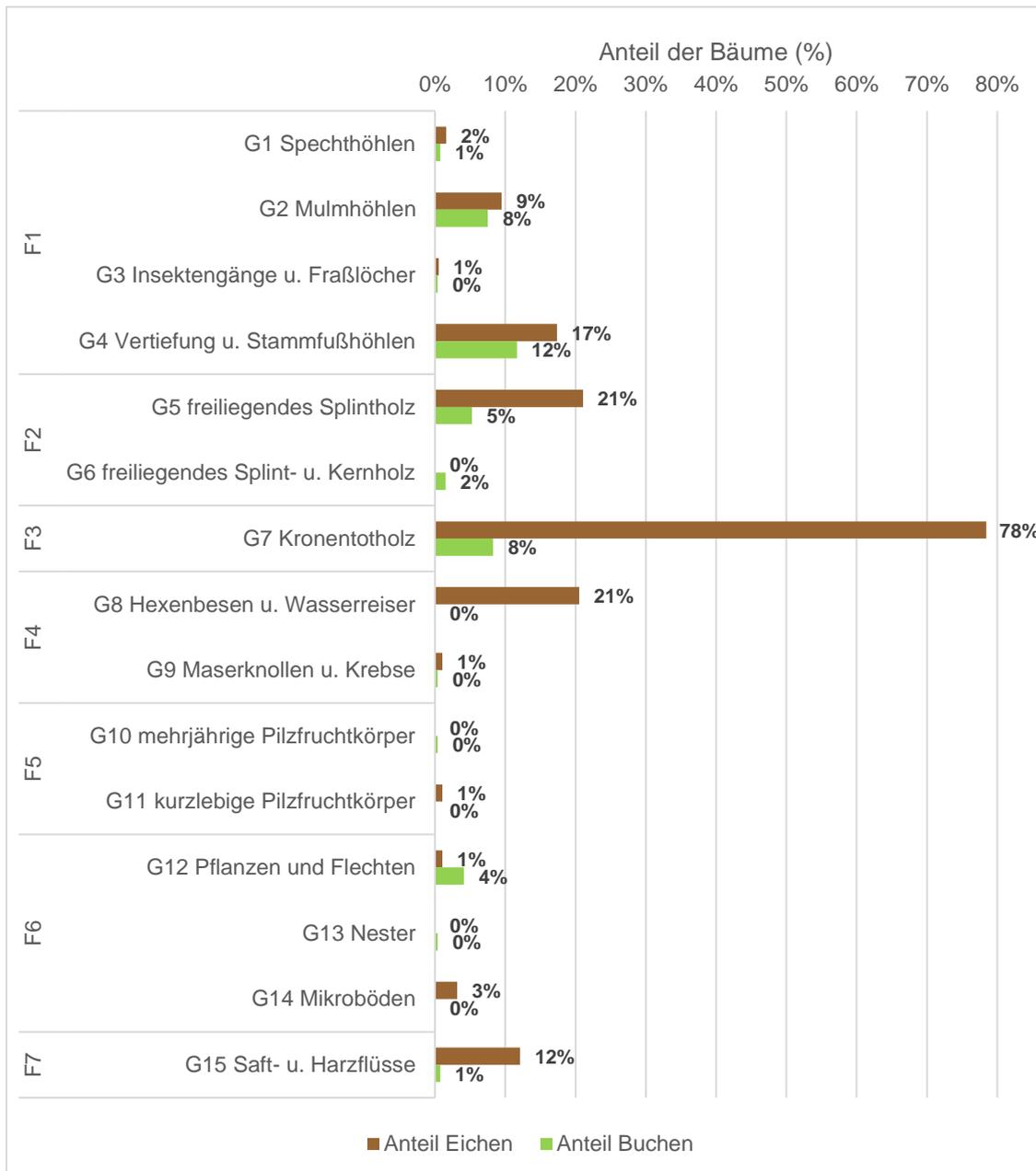


Abbildung 14: Anteil der Baumart, der die jeweilige BMH-Gruppe aufwies.

Abschließend ist in Tabelle 9 eine Auflistung der letzten hierarchischen Ebene zu sehen. Hier wird der Anteil der Bäume mit den jeweiligen BMH-Typen dargestellt. Alle 29 BMH-Typen, die in den Abteilungen vorkamen, sind aufgeführt. Es kann vorkommen, dass in der Tabelle 0 % aufgelistet ist, obwohl der tatsächliche Anteil über 0 % liegt. Auf eine Nachkommastelle wird jedoch zugunsten der Übersichtlichkeit verzichtet. Die Reihenfolge der Typen ist absteigend nach den Häufigkeiten der Typen bei der Eiche sortiert.

Auch hier ist der Anteil der Eichen mit BMH grundsätzlich höher. Die Typen, bei denen die BMH-Typen bei den Buchen mit einem höheren Anteil vertreten sind, sind in der Tabelle gelb hinterlegt. Es handelt sich um die Typen „Stammfußhöhle“, „Dendrotelm/wassergefüllte Baumhöhlung“, „Stammbruch“ und „Moose oder Lebermoose“. Die drei BMH-Typen, die bei den einzelnen Baumarten am häufigsten erhoben wurden, sind rot markiert. Der Anteil der Eichen mit dem Typ „Kronentotholz“ ist hierbei ebenfalls am häufigsten.

Tabelle 9: Anteil der Baumarten, der den jeweiligen BMH-Typ aufwies

BMH-Typ	% der Bäume mit dem jeweiligen BMH	
	Eiche	Buche
tote Äste	76%	7%
Wasserreiser	21%	0%
abgebrochener Starkast	17%	3%
Frasslöcher von Spechten	15%	0%
Holz ohne Rinde	15%	5%
aktiver Saftfluss	12%	1%
Asthöhle	7%	3%
Rindentasche (unten offen)	7%	1%
Rindentasche (oben offen)	5%	1%
Mikroboden Rinde	3%	0%
Mulmhöhle ohne Bodenkontakt	2%	1%
mittelgroße Bruthöhle	2%	0%
Stammfußhöhle	2%	6%
kleine Bruthöhle	1%	0%
Dendrotelm/wassergefüllte Baumhöhlung	1%	5%
Maserknolle	1%	0%
einjährige Porlinge	1%	0%
Misteln	1%	0%
Insektengänge und Bohrlöcher	1%	0%
rindenbedeckte Einbuchtung am Stamm	1%	0%
Höhlenetage, Spechtflöte	0%	0%
Mulmhöhle mit Bodenkontakt	0%	3%
halboffene Mulmhöhle	0%	0%
kaminartiger, hohler Stamm ohne Bodenkontakt	0%	0%
Stammbruch	0%	1%
Starkastbruch mit freiliegendem Kernholz	0%	0%
mehrfährige Porlinge	0%	0%
Moose oder Lebermoose	0%	4%
Nester von Wirbeltrieren	0%	0%

4.2.3 Anzahl der BMH nach Baumarten

Um einen weiteren Vergleich zwischen den Baumarten zu ermöglichen, kann die Anzahl der BMH-Typen pro Baum herangezogen werden. In Tabelle 10 ist dargestellt, wie viel Prozent der Bäume welche Anzahl an BMH aufwiesen.

Bei der Eiche hatten 63 % der Bäume ein bis zwei BMH und 22 % wiesen drei bis vier BMH auf. Zudem zeigte die Eiche die höchste Anzahl an BMH mit sieben bis acht BMH pro Baum. Bei der Buche hatten 70 % der Bäume keine BMH und 27 % wiesen ein bis zwei BMH auf. Über beide Baumarten hinweg betrachtet, lag der größte Anteil bei 45 % ohne BMH.

Tabelle 10: Anteil der Bäume mit unterschiedlicher Anzahl an BMH

	0	1-2	3-4	5-6	7-8
Eiche	9%	63%	22%	6%	1%
Buche	70%	27%	2%	1%	0%
gesamt	45%	42%	10%	3%	0%

4.3 Ergebnisse zur Verteilung der BMH über dem BHD

Im Folgenden werden die BMH über verschiedene BHD-Klassen hinweg dargestellt. Jede Klasse hat eine Breite von 10 cm. Die erste Klasse beginnt bei einem BHD von 20 cm, und die letzte Klasse, Klasse 10, umfasst Bäume mit einem BHD von 110 bis 119 cm. Stärkere Bäume wurden nicht erfasst. Es muss berücksichtigt werden, dass nicht jede Baumart in jeder Klasse vertreten ist. Der Bereich der Eichen beginnt erst bei Klasse 2, während der Bereich der Buchen bereits bei Klasse 7 endet.

4.3.1 Anteil der BMH-Träger in den BHD-Klassen

Im nächsten Abschnitt wird der Anteil der Bäume mit mindestens einem BMH über die verschiedenen BHD-Klassen hinweg dargestellt, unabhängig davon, um welches BMH es sich handelt. Die Darstellungen sind wie folgt gegliedert: Zunächst erfolgt eine Betrachtung der Anteile baumartenunabhängig, anschließend findet eine Differenzierung der Baumarten Buche und Eiche statt. In den Darstellungen werden alle an den Inventurpunkten aufgenommenen Bäume berücksichtigt. Eine Berechnung je ha wird an dieser Stelle nicht vorgenommen, da Klassen mit geringer Anzahl an Bäumen nicht sichtbar wären und somit ein Informationsverlust die Folge wäre.

4.3.2 Baumartenunabhängig

In Abbildung 15 ist der Anteil der Bäume der Abteilungen dargestellt, die mindestens ein BMH aufweisen, aufgeschlüsselt nach den BHD-Klassen. Der Anteil der BMH-Träger wird durch den grauen Balken repräsentiert, während die absolute Anzahl der Bäume, innerhalb der BHD-Klassen, durch den gestrichelten Balken dargestellt wird. Der Großteil der Bäume ist im ersten Drittel der BHD-Klassen zu finden. Bereits über 60 % der gesamten Bäume verteilen sich auf die BHD-Klassen eins und zwei, jedoch ist der Anteil an BMH-Trägern in diesen Klassen am geringsten. In der ersten BHD-Klasse sind nur 15 % aller Bäume dieser Klasse BMH-Träger. Die Anteile steigen stetig mit zunehmendem BHD, und ab einem BHD von 40 cm weisen mehr als die Hälfte der Bäume BMH auf. Ab Klasse sechs weisen alle Bäume mindestens ein BMH auf.

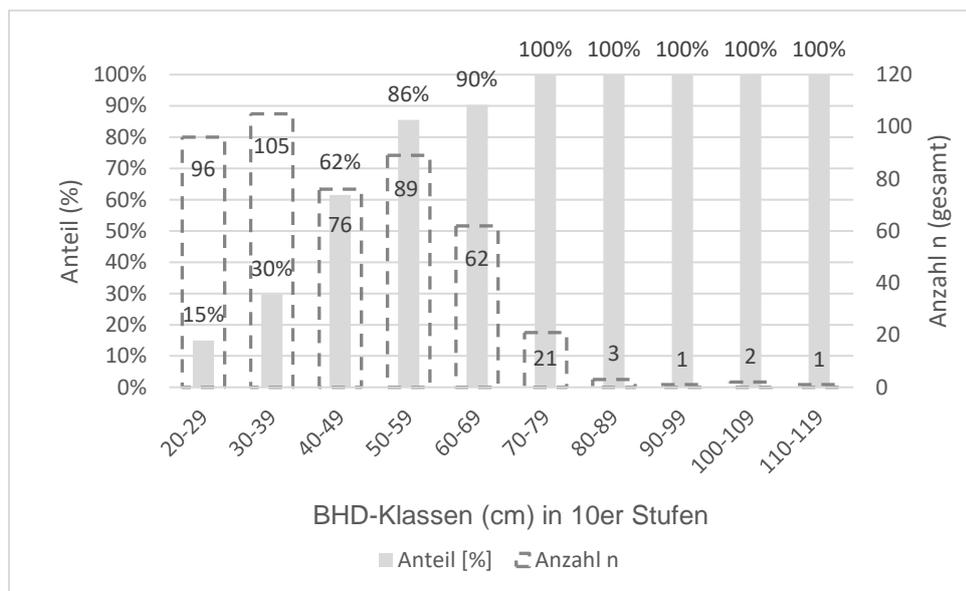


Abbildung 15: Anteil aller Bäume mit mindestens einem BMH

4.3.3 Baumartenabhängig

In Abbildung 16 ist der Anteil der Buchen mit mindestens einem BMH über die BHD-Klassen dargestellt. Der Anteil der BMH-Träger wird durch grüne Balken repräsentiert, während die absolute Anzahl der Buchen innerhalb der BHD-Klassen durch gestrichelte Balken dargestellt wird. In Abbildung 17 wird der Anteil der BMH-Träger bei Eichen durch braune Balken dargestellt. Auch hier ist die absolute Anzahl der Eichen gestrichelt dargestellt.

Im direkten Vergleich der beiden Baumarten wird deutlich, dass sich bereits 70 % aller Buchen in den ersten beiden BHD-Klassen befinden, jedoch nur ein geringer Anteil dieser Bäume BMH-Träger ist. Der Anstieg des Anteils der BMH-Träger erfolgt bei der Buche kontinuierlich und gleichmäßig. Bei der Eiche ist dies nicht der Fall. Hier ist der Großteil der Bäume auf die BHD-Klassen vier und fünf verteilt, und der Anteil der BMH-Träger liegt in allen BHD-Klassen, in denen die Eiche vertreten ist, deutlich über 50 %. Somit ist mehr als jede zweite Eiche Träger mindestens eines BMH. Ab einem BHD von 70 cm weist bereits jede Eiche mindestens ein BMH auf, was auch für die Buche zutrifft.

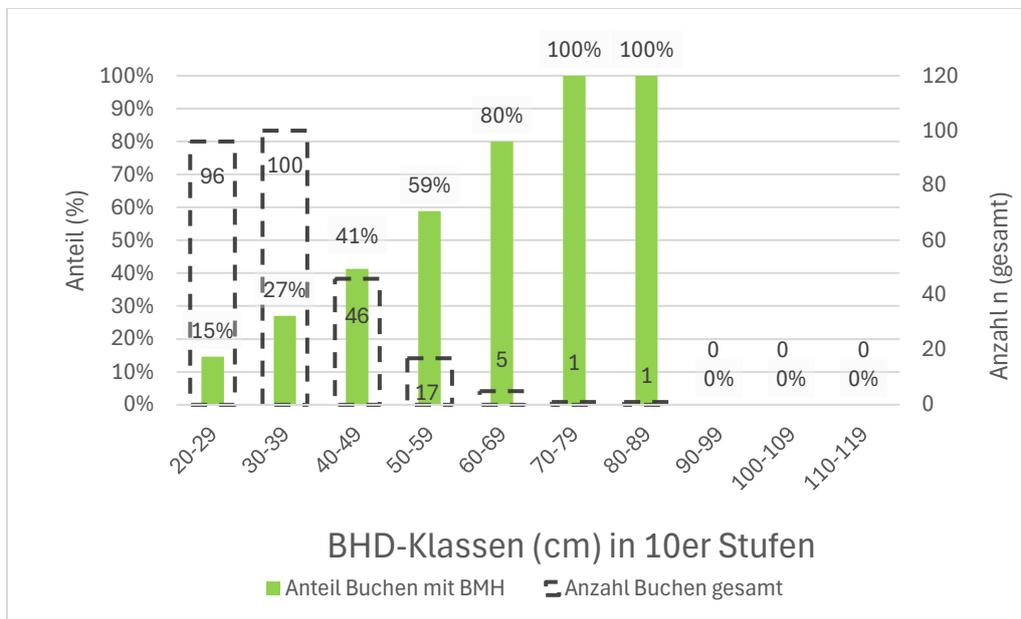


Abbildung 16: Anteil der Buchen mit mindestens einem BMH

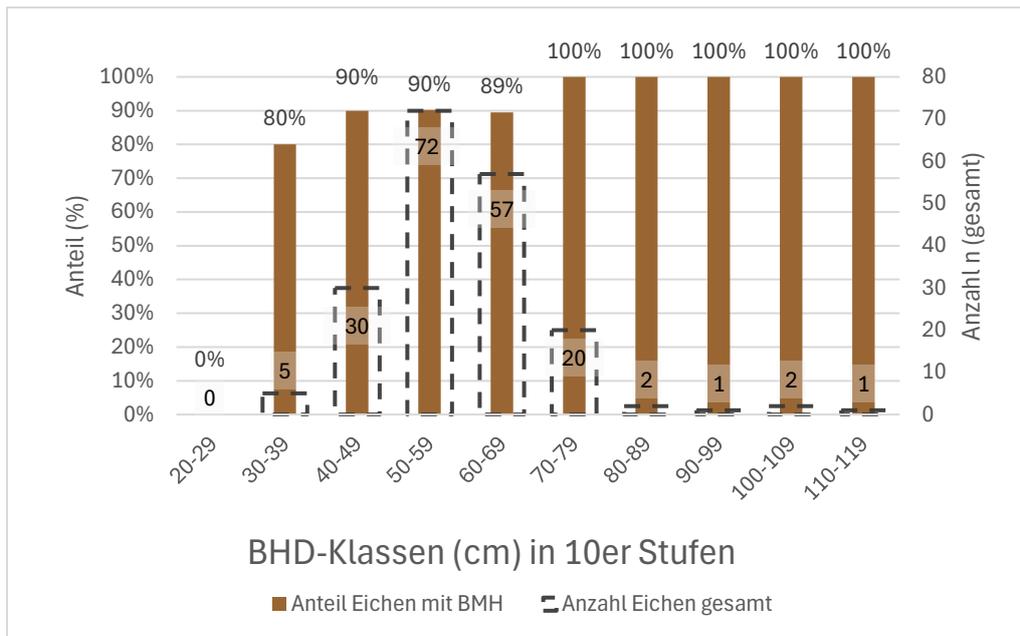


Abbildung 17: Anteil der Eichen mit mindestens einem BMH

4.3.4 Anzahl der BMH nach BHD-Klassen

In den folgenden Abbildungen werden die absoluten Zahlen der aufgenommenen BMH nach Baumarten getrennt aufgeführt. Die Anzahl der BMH bei der Buche (Abbildung 18) wird durch grüne Balken und bei der Eiche (Abbildung 19) durch braune Balken dargestellt. Zusätzlich erfolgt eine Aufsummierung der BMH über die BHD-Klassen hinweg, ebenfalls getrennt nach Baumarten. Die Aufsummierung wird durch die graue Linie dargestellt.

In den Abteilungen Weisser Stein und Eichling wurden insgesamt 117 BMH an Buchen erhoben. Die höchste Anzahl an BMH bei der Buche befindet sich in der zweiten BHD-Klasse mit insgesamt 36 BMH. In dieser Klasse hat die Buche bereits über 50 % der gesamten BMH-Anzahl erreicht. Die Eiche hingegen erreicht 50 % der gesamten BMH erst in der BHD-Klasse fünf. In dieser Klasse ist auch die höchste Anzahl der BMH bei der Eiche nachzuweisen, mit insgesamt 133 BMH. Insgesamt konnten 363 BMH der Eiche zugeordnet werden, was 76 % aller BMH entspricht. Dementsprechend entfallen 24 % der gesamten BMH-Anzahl auf die Buche.

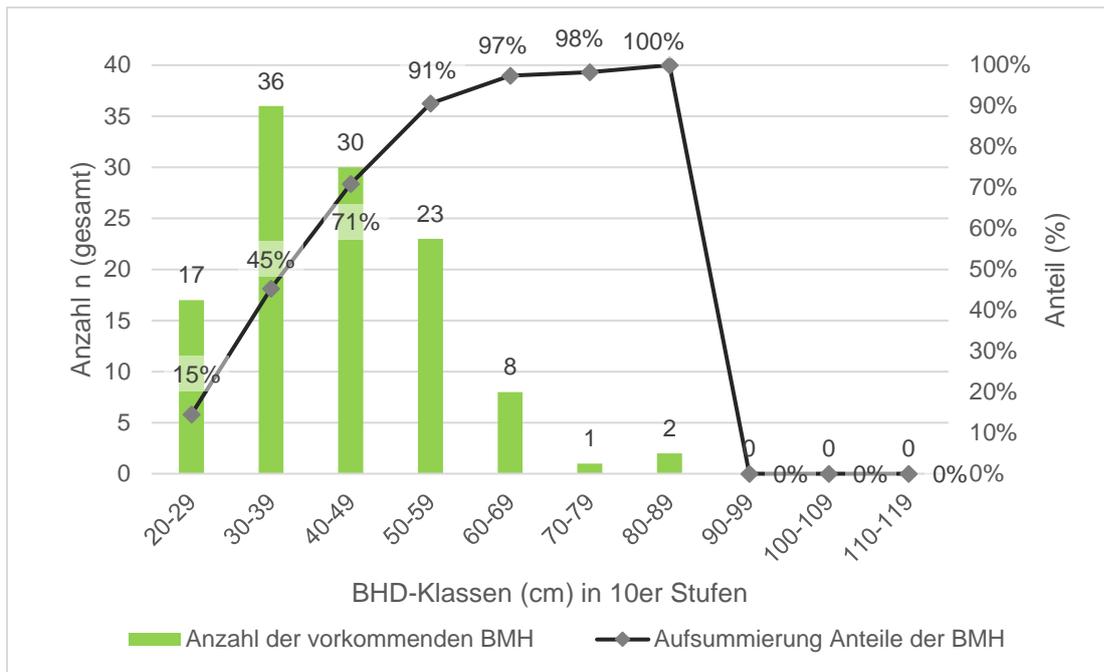


Abbildung 18: Anzahl der BMH je BHD-Klasse und Summenkurve (Buche)

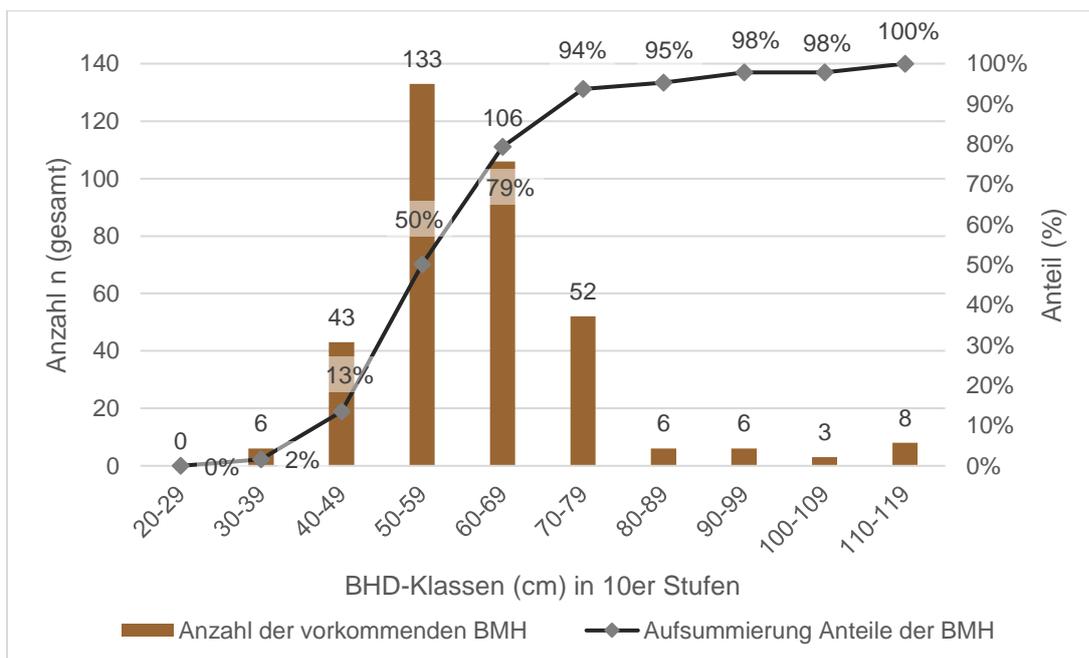


Abbildung 19: Anzahl der BMH je BHD-Klasse und Summenkurve (Eiche)

Die Abbildung 20 und Abbildung 21 dienen als Ergänzung. Hier wird die absolute Anzahl der gefundenen BMH je BHD-Klasse ins Verhältnis zur Stammzahl der Buche und Eiche gesetzt. Das Ergebnis ist die durchschnittliche Anzahl an BMH je BHD-

Klasse. Zudem wurde ein Durchschnitt für die gesamte BHD-Spreitung berechnet, welcher durch die schwarze horizontale Linie dargestellt wird.

In diesem Zusammenhang unterscheiden sich Buche und Eiche deutlich. Die höchste durchschnittliche Anzahl an BMH bei der Buche lag bei zwei pro Baum, während die Eiche in der BHD-Klasse zehn eine Anzahl von acht BMH erreichte. Darüber hinaus fällt die Eiche in keiner BHD-Klasse unter einen Durchschnitt von einem BMH pro Baum, während die Buche in vier von sieben vorkommenden BHD-Klassen bei einem Durchschnitt von eins oder darunter liegt.

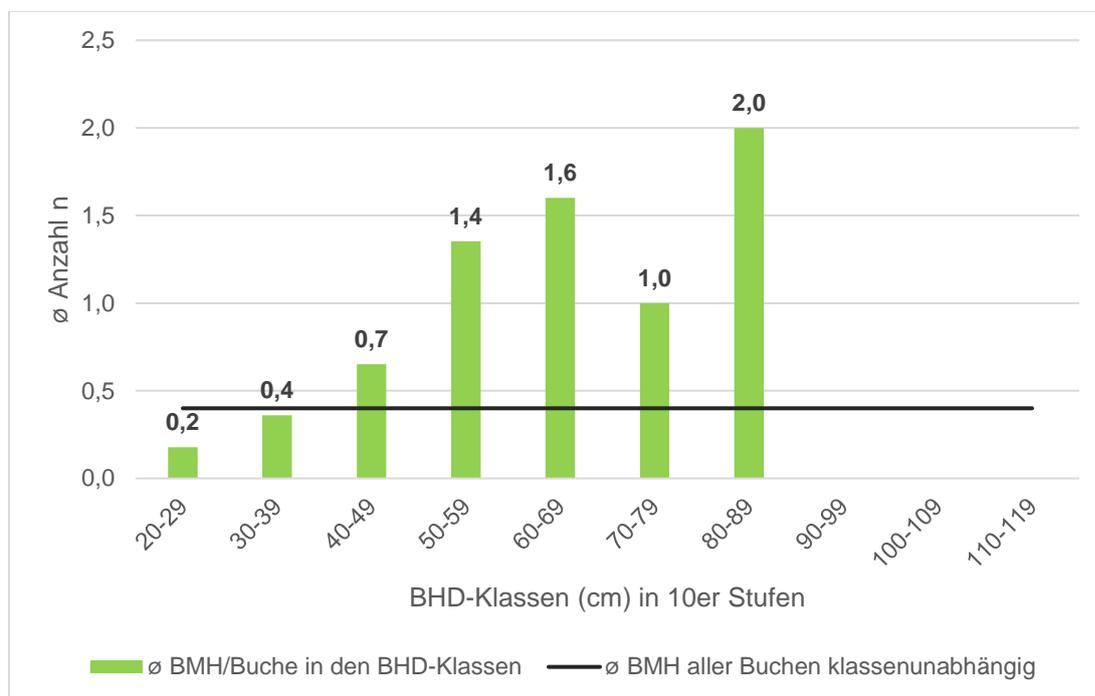


Abbildung 20: Mittelwert der BMH-Anzahl je Buche innerhalb der BHD-Klassen im Vergleich zum Mittelwert $\bar{x} = 0,4$ klassenunabhängig

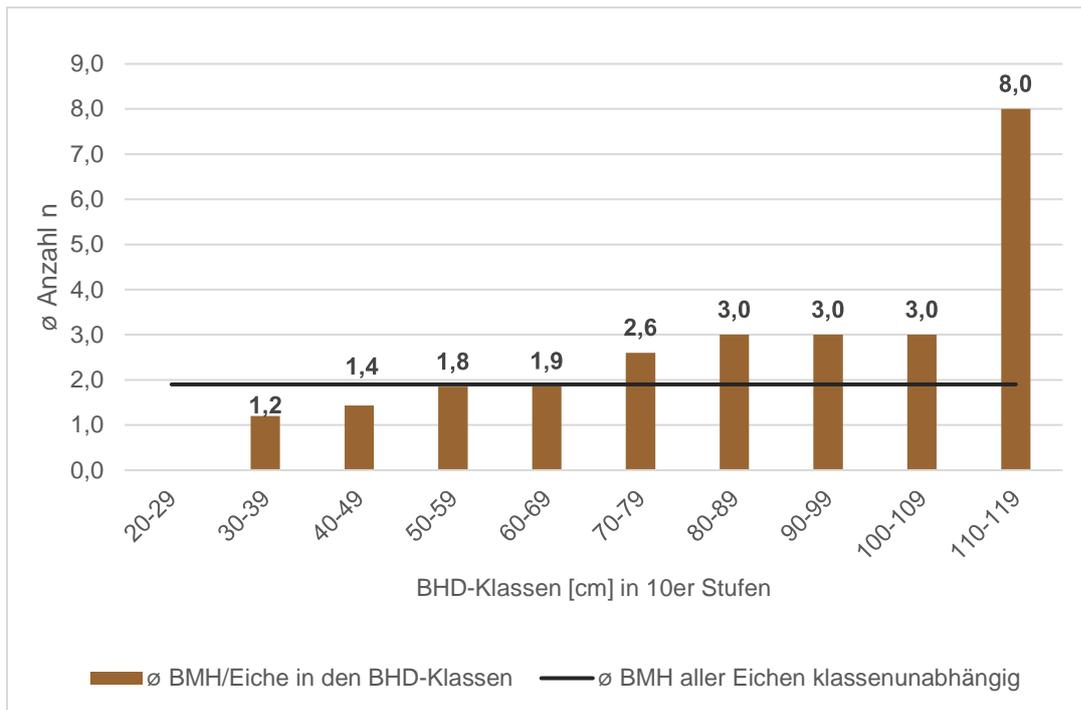


Abbildung 21: Mittelwert der BMH-Anzahl je Eiche innerhalb der BHD-Klassen im Vergleich zum Mittelwert $\bar{x} = 1,9$ klassenunabhängig

4.4 Binär logistische Regressionsanalyse

In Kapitel 3.4.2 wurde die Berechnung der logistischen Regression detailliert beschrieben. Im Folgenden wird eine logistische Regressionsanalyse für verschiedene Sachverhalte angewendet. Zunächst wurde überprüft, ob das Modell signifikant ist. Hierfür wurde der Omnibus-Test verwendet. Bei einer Signifikanz des Omnibus-Tests von $\leq 0,05$ wird die Nullhypothese abgelehnt. Dies bedeutet, dass die Annahme, der Zusammenhang in der Grundgesamtheit sei zufällig, nicht zutrifft. Zur weiteren Überprüfung des Modells wurden Kenngrößen wie das Nagelkerke- R^2 , die Effektstärke nach Cohen und die Odds Ratio herangezogen, deren Berechnung in Kapitel 3.4.2 erläutert wird.

Im Folgenden werden die als signifikant bewerteten Modelle präsentiert. Eine grafische Darstellung der Regressionsgeraden erfolgt, wobei die x-Achse den BHD (unabhängige Variable) und die y-Achse die geschätzte Wahrscheinlichkeit des Eintretens der abhängigen Variable repräsentiert. Neben der grafischen Darstellung werden die Modellgleichungen sowie die Signifikanz der Koeffizienten aufgeführt.

Es wird folgende Unterteilung vorgenommen: Zunächst wird die Wahrscheinlichkeit für das Auffinden von mindestens einem BMH untersucht. Anschließend erfolgt eine

detailliertere Betrachtung, die sich erneut an der hierarchischen Gliederung von (Larrieu et al. 2018) orientiert.

4.4.1 Wahrscheinlichkeit für das Auffinden von mindestens einem BMH

Zunächst gilt es auch hier zu überprüfen, ob das Vorkommen von mindestens einem BMH in einem signifikanten Zusammenhang mit dem BHD steht. Bei der Buche sowie baumartenunabhängig war dies der Fall, da die Signifikanz des Omnibus-Tests $< 0,05$ lag. Bei der Eiche konnte jedoch kein signifikanter Zusammenhang zwischen der abhängigen Variable (Vorkommen eines BMH) und der unabhängigen Variable (BHD) festgestellt werden. In Tabelle 11 sind die Signifikanzen der Koeffizienten, sowie die jeweiligen Modellgleichungen aufgeführt. Im Anhang sind Tabellen zu genaueren statistischen Angaben aufgeführt.

Tabelle 11: Modellgleichung und Signifikanz der Koeffizienten für den Sachverhalt „mindestens ein BMH“

	Modellgleichung	Sig. Der Koeffizienten	
		BHD	Konstante
baumartenunabhängig	$y = -4,581 + 0,112 * BHD$	$< 0,001$	$< 0,001$
Buche	$y = -3,665 + 0,078 * BHD$	$< 0,001$	$< 0,001$

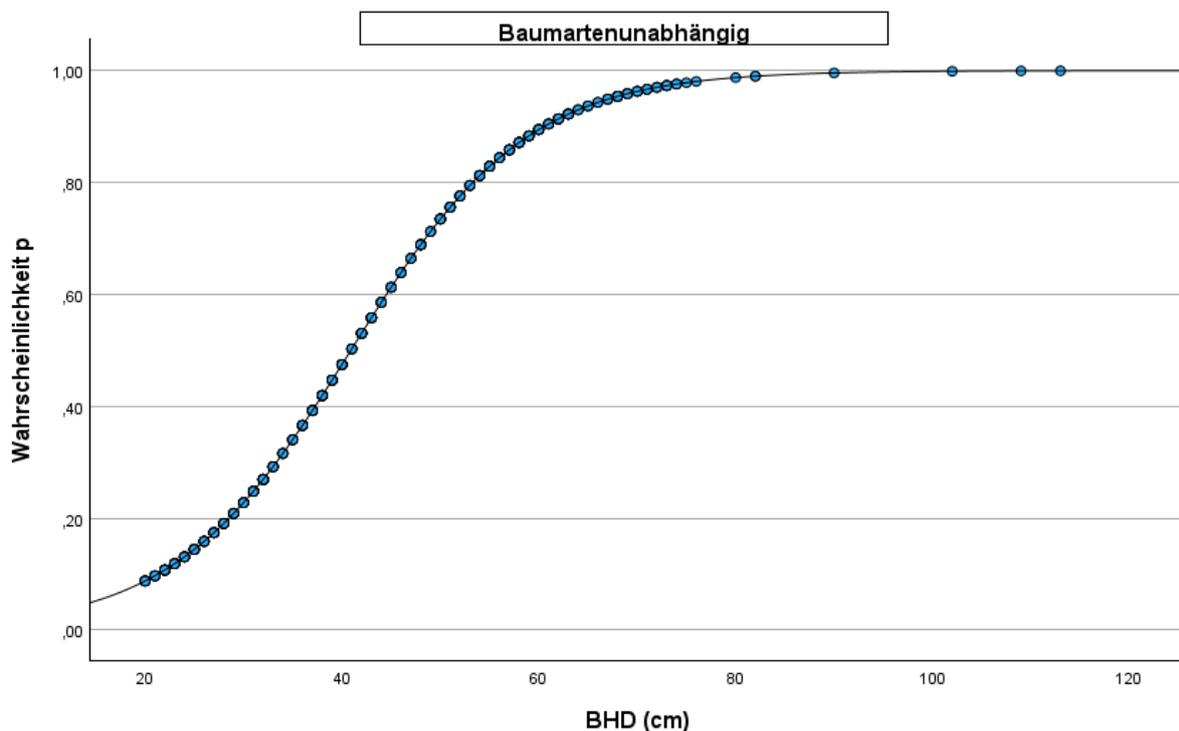


Abbildung 22: Logistische Regressionskurve für den Sachverhalt "mindestens ein BMH" baumartenunabhängig

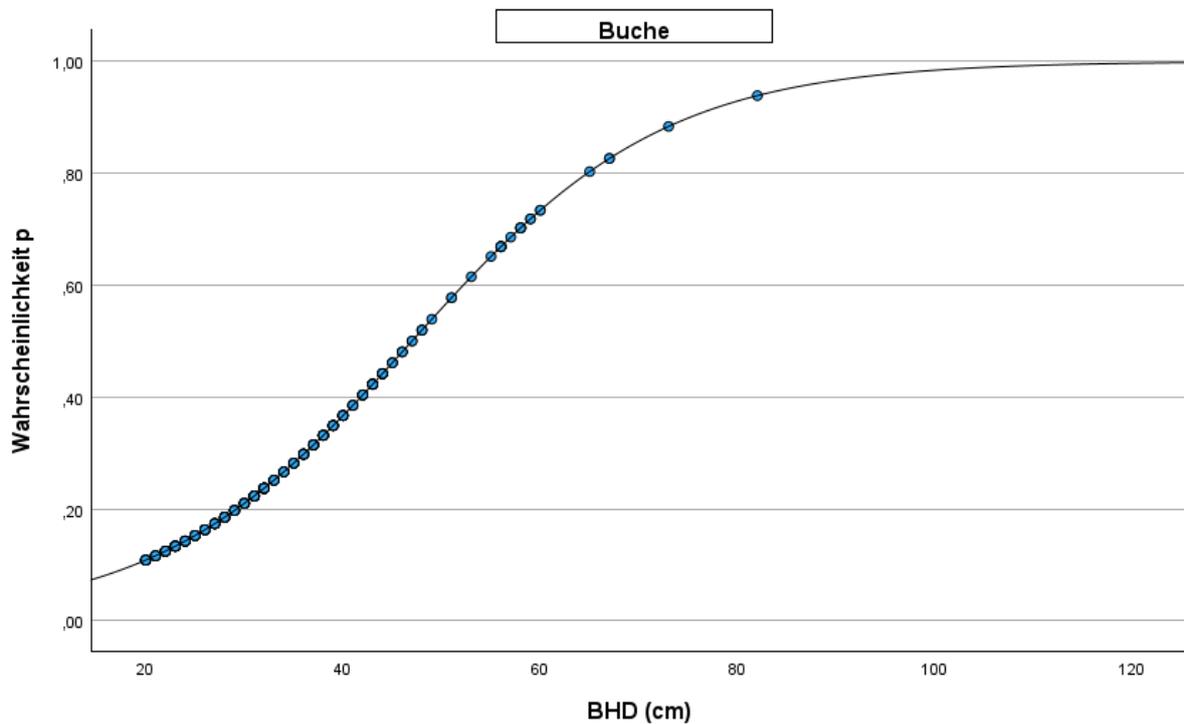


Abbildung 23: Logistische Regressionskurve für den Sachverhalt "mindestens ein BMH" bei der Buche

4.4.2 Wahrscheinlichkeit für das Auffinden der sieben BMH-Formen auf der Buche

Auch für die verschiedenen BMH-Formen wurde eine logistische Regression durchgeführt, um zu untersuchen, ob ein Zusammenhang zwischen der abhängigen Variable (Vorkommen der BMH-Form) und der unabhängigen Variable (BHD) besteht. Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem BHD und der BMH-Form konnte bei den Höhlen, den Stammverletzungen und dem Kronentotholz festgestellt werden. Für diese Formen werden die Regressionskurven in den Abbildung 24, Abbildung 25 und Abbildung 26 dargestellt, sowie die entsprechenden Modellgleichungen und die Signifikanz der Koeffizienten in Tabelle 12 dargestellt.

Die Regressionskurven können wie folgt interpretiert werden: Die Wahrscheinlichkeit, dass die BMH-Form "Höhlen" bei der Buche auftritt, liegt bei einem BHD von 20 cm unter 20 %, während sie bei einem BHD von 80 cm über 80 % beträgt. Diese Interpretation ist auf die anderen Regressionskurven der BMH-Formen übertragbar.

Tabelle 12: Modellgleichung und Signifikanz der Koeffizienten für die BMH-Formen auf der Buche

	Modellgleichung	Sig. Der Koeffizienten	
		BHD	Konstante
Höhlen	$y = -4,233 + 0,074 * \text{BHD}$	< 0,001	< 0,001
Stammverletzungen	$y = -4,286 + 0,061 * \text{BHD}$	< 0,001	< 0,001
Kronentotholz	$y = -6,778 + 0,109 * \text{BHD}$	< 0,001	< 0,001

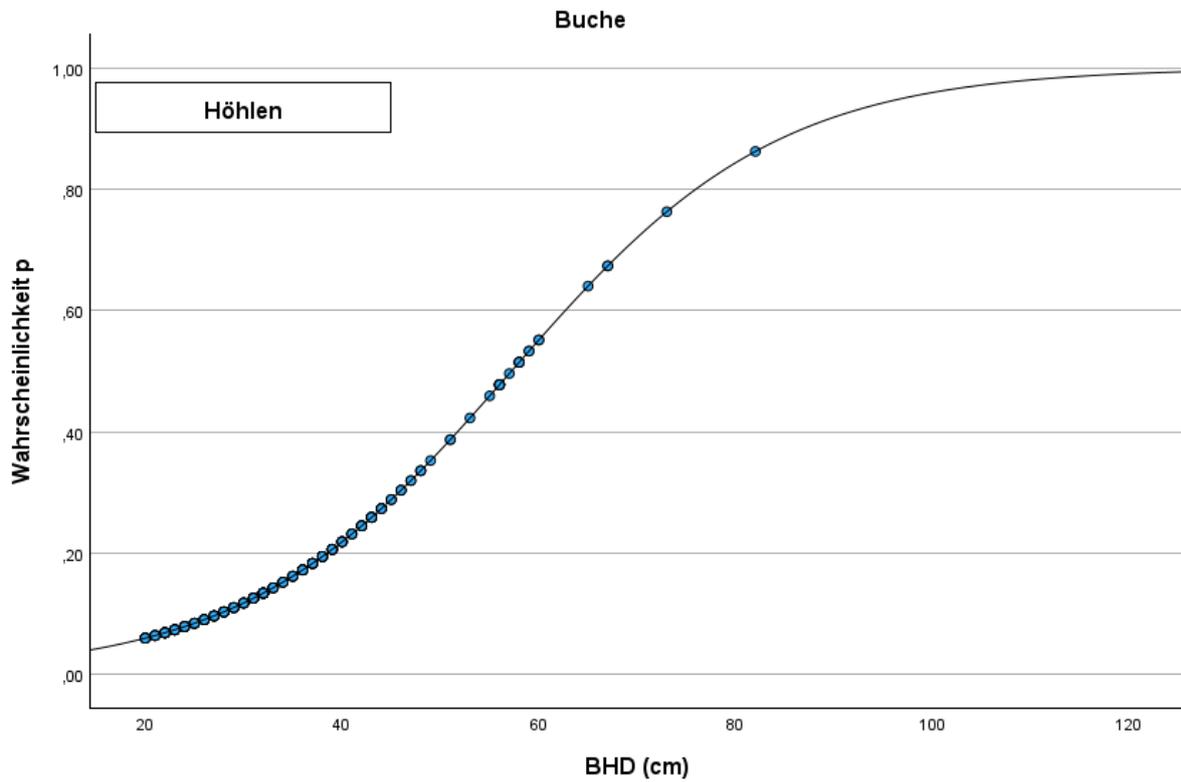


Abbildung 24: Logistische Regressionskurve für die Gruppe Höhlen bei der Buche

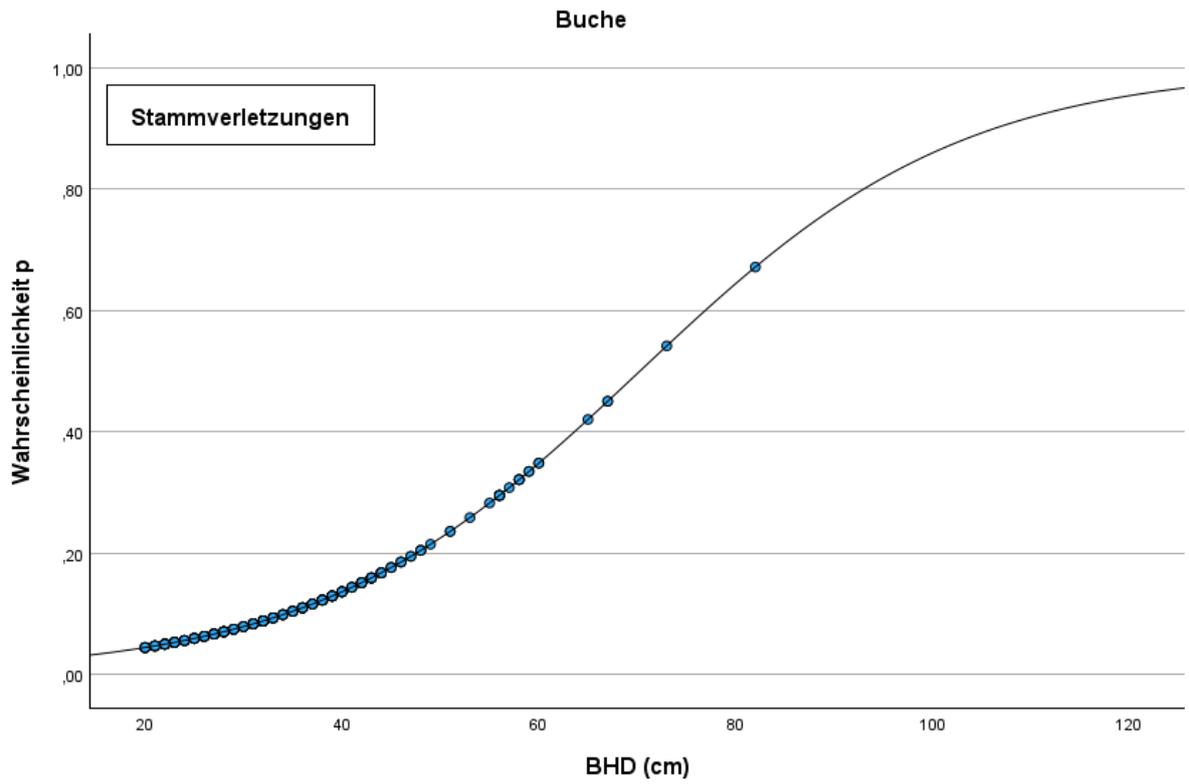


Abbildung 25: Logistische Regressionskurve für die Gruppe Stammverletzungen bei der Buche

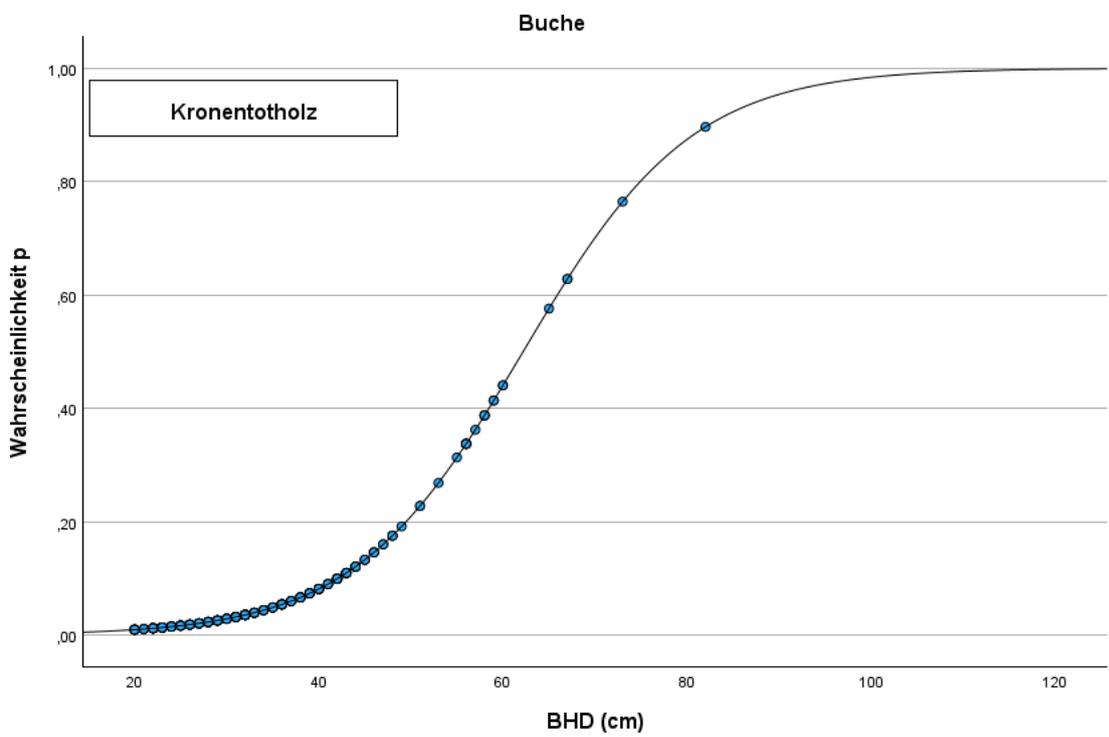


Abbildung 26: Logistische Regressionskurve für die Gruppe Kronentotholz bei der Buche

4.4.3 Wahrscheinlichkeit für das Auffinden der sieben BMH-Formen auf der Eiche

Bei der Eiche wurden ebenfalls alle BMH-Formen mit einer binären logistischen Regression untersucht. Für die Formen "Höhlen" und "Kronentotholz" konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der abhängigen Variable (Vorkommen der BMH-Form) und der unabhängigen Variable (BHD) festgestellt werden.

Die folgenden Regressionskurven können wie folgt interpretiert werden: Bei einem BHD von 40 cm liegt die Wahrscheinlichkeit, dass die BMH-Form "Höhle" vorkommt, unter 20 %. Bei einem BHD von 100 cm hingegen beträgt die Wahrscheinlichkeit über 60 %.

Tabelle 13: Modellgleichung und Signifikanz der Koeffizienten für die BMH-Formen auf der Eiche

	Modellgleichung	Sig. Der Koeffizienten	
		BHD	Konstante
Höhlen	$y = -4,320 + 0,052 * \text{BHD}$	0,001	< 0,001
Kronentotholz	$y = -1,132 + 0,042 * \text{BHD}$	0,22	0,281

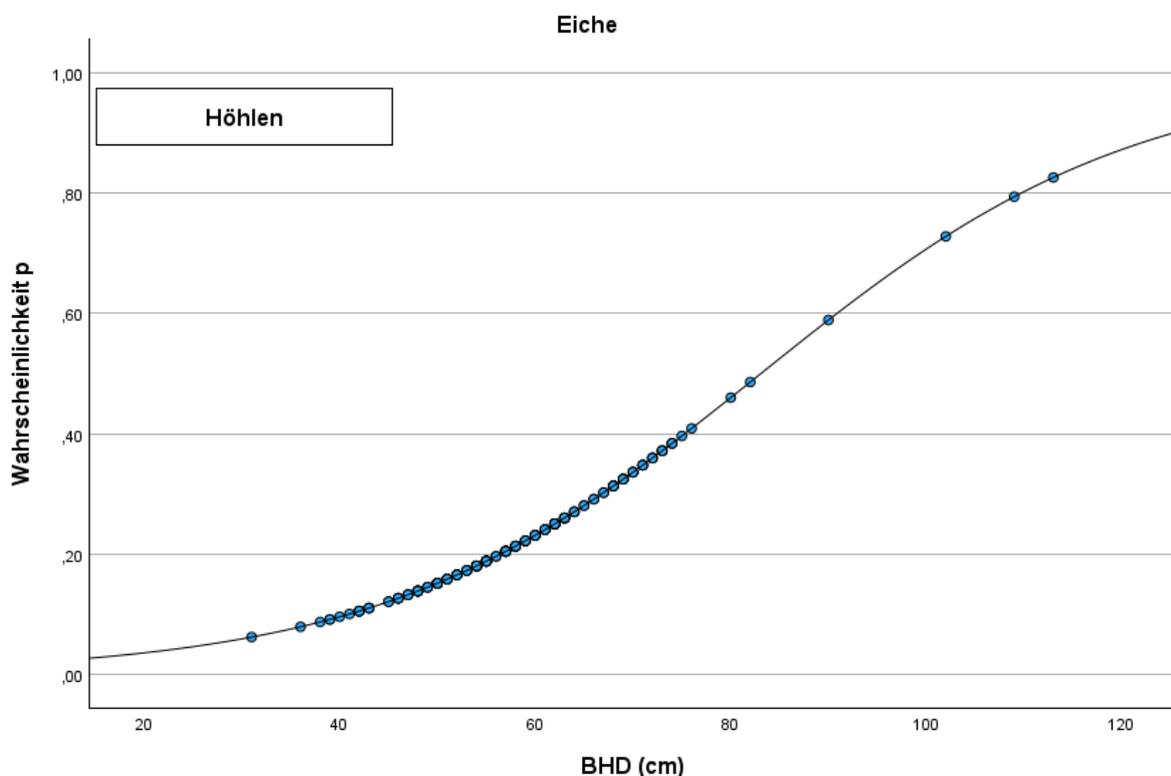


Abbildung 27 Logistische Regressionskurve für die Gruppe Höhlen bei der Eiche

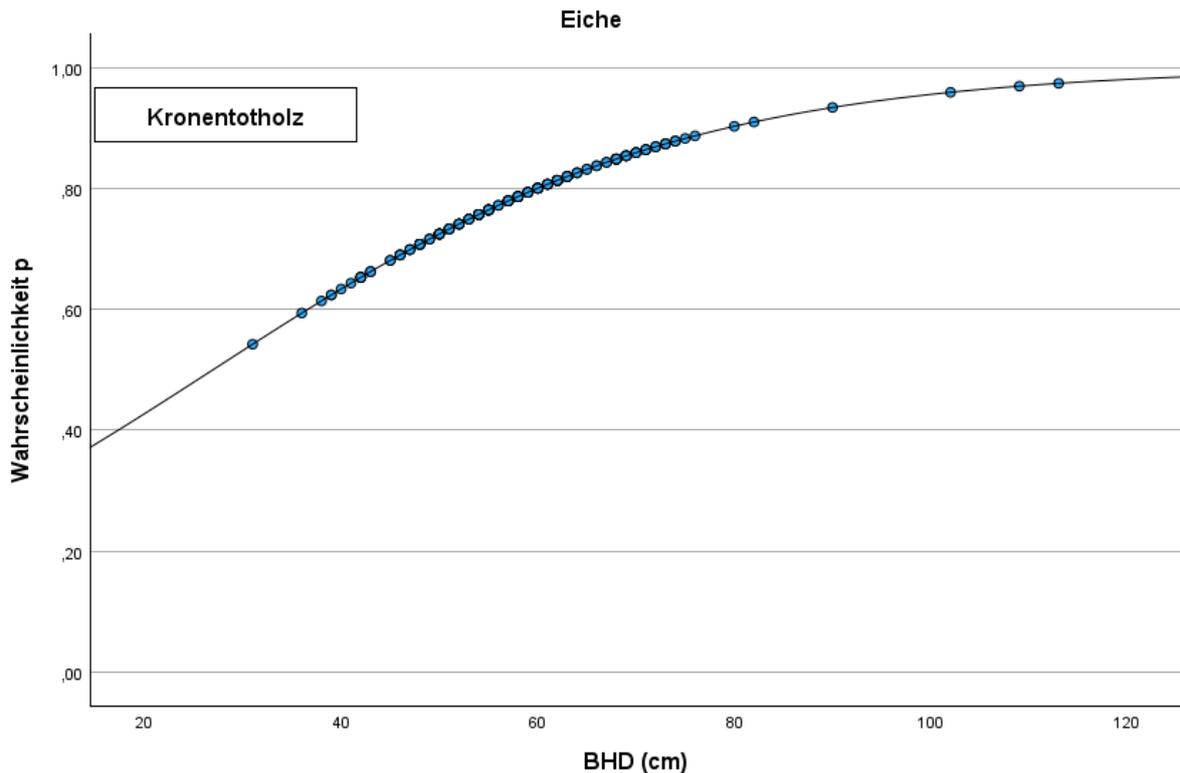


Abbildung 28: Logistische Regressionskurve für die Gruppe Kronentotholz bei der Eiche

4.5 Geoanalyse

Als nächstes erfolgt eine geoanalytische Auswertung der erhobenen Daten. Diese wird wie folgt gegliedert: Zunächst werden allgemeine Bestandesbeschreibungen dargestellt. Anschließend erfolgt eine Visualisierung Stammzahlverteilung und der Anzahl der BMH je Stichprobenpunkt. Abschließend wurde eine Analyse der BMH in räumlicher Nähe zu den Rückegassen und Wegen angestellt. Die Ergebnisse werden anhand von Abbildungen in Form von Karten präsentiert, wobei die Abteilungen jeweils einzeln aufgeführt werden.

Durch diese Form der Ergebnisauswertung sollen räumliche Zusammenhänge identifiziert werden. Die detaillierte Darstellung der Bestandesstruktur und die Analyse der Verteilung der BMH ermöglichen es, Muster zu erkennen und mögliche Einflüsse der forstlichen Bewirtschaftung auf die Verteilung der BMH nachzuvollziehen. Dies liefert wertvolle Erkenntnisse für die nachhaltige Waldbewirtschaftung und die gezielte Förderung von Biotopbäumen.

4.5.1 Baumartenverteilung im räumlichen Kontext

Im Folgenden wird eine Betrachtung der Baumartenanteile an den Stichprobenpunkten vorgenommen. Diese Betrachtung bezieht sich auf die Stammzahl der Baumarten, wobei alle Bäume mit einem Durchmesser von über 20 cm einbezogen wurden, gemäß der in Kapitel 0 beschriebenen Methodik. Eine Betrachtung des Vorrats würde zu einem anderen Ergebnis führen, jedoch ist in Bezug auf die Verteilung der BMH jeder einzelne Baum von Relevanz, weshalb eine Visualisierung der Stammzahl gewählt wurde.

In Abbildung 29 und Abbildung 30 sind die Anteile der Baumarten Buche und Eiche durch ein Kreisdiagramm dargestellt. Bei genauerer Betrachtung fällt auf, dass das Verhältnis der Baumarten über alle Stichprobenpunkte hinweg ausgeglichen ist. An jedem Stichprobenpunkt wurden sowohl Buchen als auch Eichen erfasst, und bei insgesamt 13 Stichprobenpunkten lag der Anteil der Eichen bei 50 % oder höher. Das durchschnittliche Verhältnis liegt bei vier Eichen zu sechs Buchen.

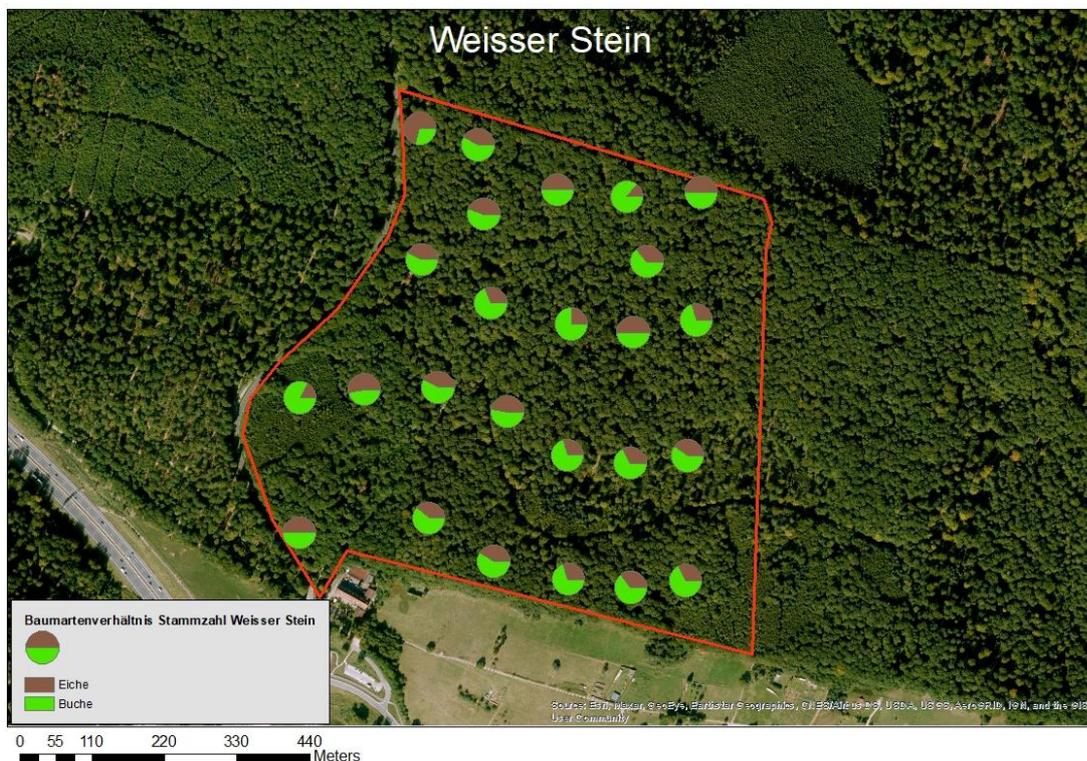


Abbildung 29: Karte zur Stammzahlverteilung an den Stichprobenpunkten im Weissen Stein (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)

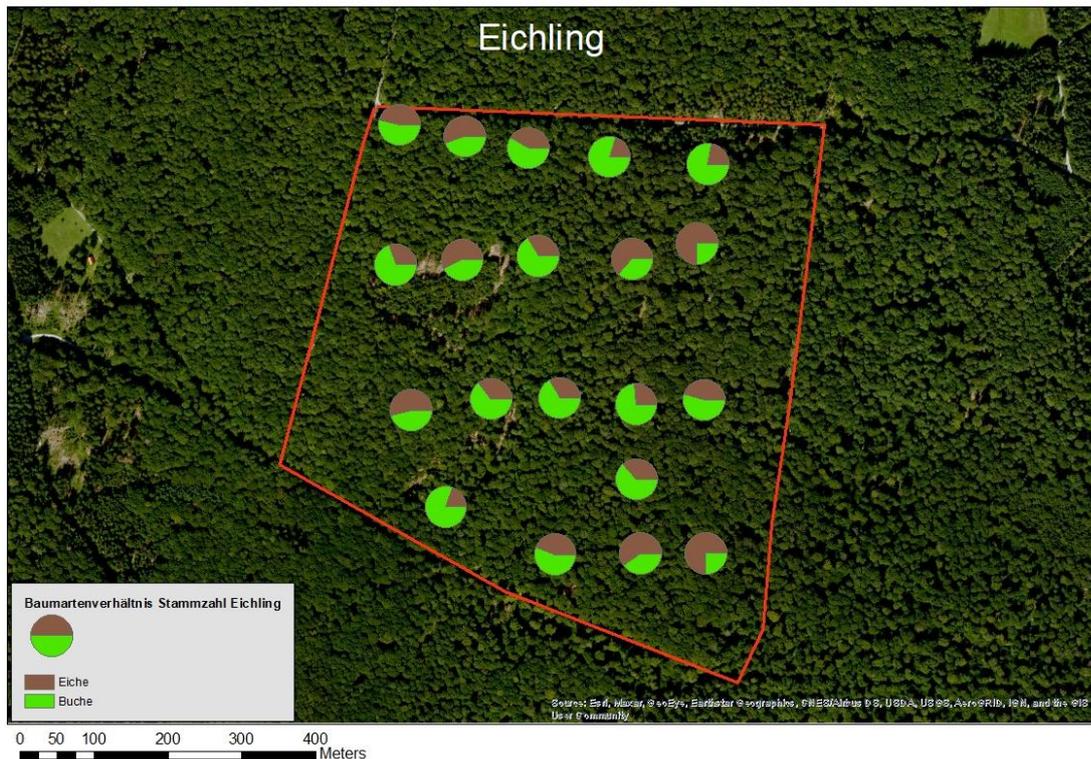


Abbildung 30: Karte zur Stammzahlverteilung an den Stichprobenpunkten im Eichling (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)

4.5.2 Dichte der BMH im räumlichen Kontext

In den Abteilungen Weißer Stein und Eichling wurden verteilt auf insgesamt 45 Stichprobenpunkten 456 BMH an lebenden Bäumen erfasst. Mithilfe einer Karte kann die Verteilung der BMH im räumlichen Kontext analysiert werden. Die geringste Anzahl der BMH pro Stichprobenpunkt beträgt 2, die höchste Anzahl elf. Im Mittel entspricht dies 5,6 BMH pro Stichprobenpunkt. In Abbildung 31 und Abbildung 32 ist die jeweilige Anzahl der BMH pro Stichprobenpunkt mit abgestufter Symbolik dargestellt. Diese Visualisierung soll dazu dienen, die räumliche Verteilung der BMH zu überprüfen, um festzustellen, ob sie regelmäßig, clusterartig oder nach einem bestimmten Muster verteilt sind.

Die Anzahl der BMH wurde in drei Klassen unterteilt: Die erste Klasse umfasst alle Stichprobenpunkte mit 2 bis 4 BMH. Die zweite Klasse umfasst alle Stichprobenpunkte mit fünf bis sieben BMH und die dritte Klasse umfasst alle Stichprobenpunkte mit acht bis elf BMH. Die erste Klasse entspricht somit einer geringen Dichte an BMH, während die dritte Klasse eine hohe Dichte repräsentiert.

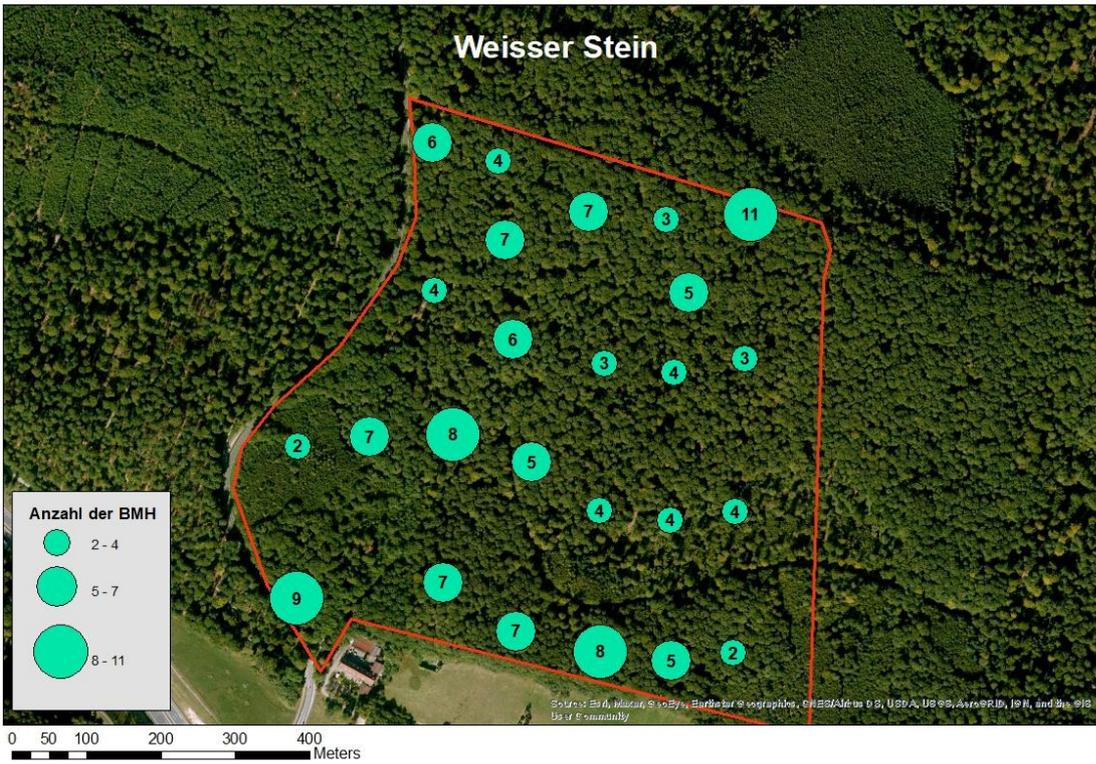


Abbildung 31: Karte zur Darstellung der Anzahl der vorgefundenen BMH je Inventurpunkt im Weissen Stein (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)

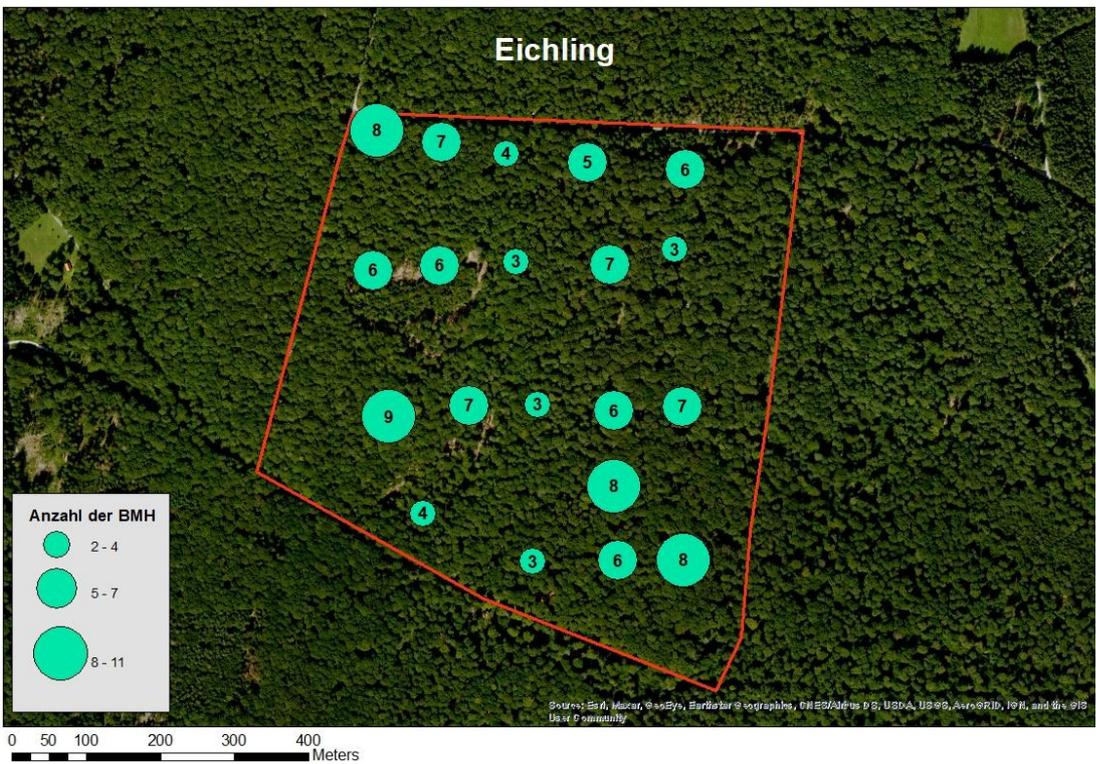


Abbildung 32: Karte zur Darstellung der Anzahl der vorgefundenen BMH je Inventurpunkt im Eichling (Eigene Darstellung; Grundkarte: Esri)

4.5.3 Untersuchung des Zusammenhanges zwischen Bewirtschaftung und BMH

Während der Feldaufnahmen wurde jeder Baum als Geoobjekt erfasst, wodurch für jeden Baum ein Raumbezug vorliegt. Dies eröffnete zahlreiche Möglichkeiten für weitere Analysen. Diese Vorgehensweise erwies sich als vorteilhaft, um zu untersuchen, ob ein Zusammenhang zwischen der Bewirtschaftung der Abteilungen und dem Vorkommen von BMH besteht.

Um herauszufinden, ob die Bewirtschaftung der Flächen einen Einfluss auf das Vorkommen der BMH hat, wurden die Rückegassen und Wege georeferenziert und anschließend ein Puffer mit einem Radius von zehn m erstellt. Im nächsten Schritt wurde ermittelt, welche Bäume sich innerhalb dieses Abstands zu den Rückegassen und Wegen befinden. In Abbildung 33 sind die Rückegassen und die entsprechenden Bäume für den Bestand Eichling dargestellt. Auf eine Abbildung des Weissen Steins wurde an dieser Stelle verzichtet, jedoch wurde dort nach dem gleichen Verfahren vorgegangen. Bei der Präsentation der Ergebnisse wird jedoch keine Unterscheidung der Abteilungen durchgeführt.



Abbildung 33: Bäume in räumlicher Nähe (zehn m) zu den Rückegassen und Wegen

Nachdem durch die Analyse der Geodaten identifiziert werden konnte, welche Bäume sich in räumlicher Nähe zu den Rückegassen befinden und welche sich im Bestand befinden, konnten diese genauer untersucht werden. Eine gute Möglichkeit, um Differenzen zu detektieren, besteht darin, die Anteile der BMH-Träger zu ermitteln. In Abbildung 34 ist ein Vergleich der beiden Szenarien dargestellt. Hierbei wurde die Anzahl der BMH-Träger ins Verhältnis zur Anzahl der Bäume der jeweiligen Szenarien gesetzt. Das Ergebnis zeigt keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Szenarien. Tatsächlich liegt der Anteil BMH-Träger ohne räumliche Nähe zu den Rückegassen um vier Prozent höher, nämlich bei 36 %, während der Anteil der BMH-Träger in der Nähe der Rückegassen und Wege bei 32 % liegt.

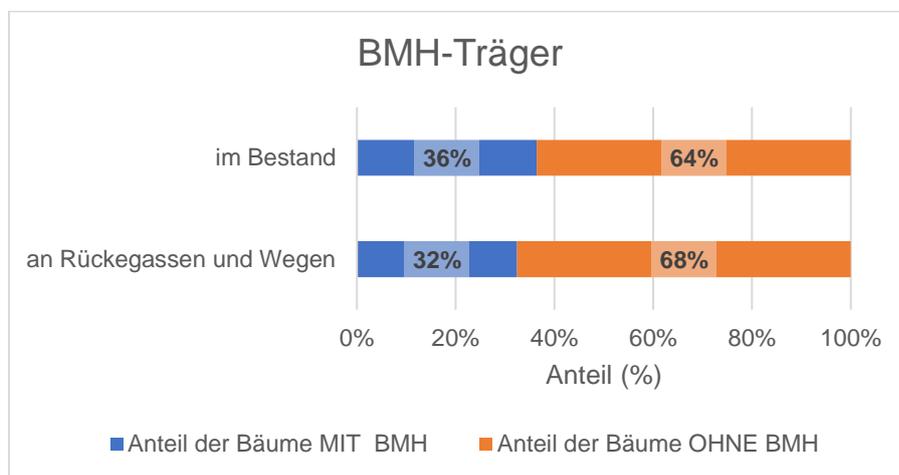


Abbildung 34: Vergleich der Anteile an BMH-Trägern in Bezug auf die räumliche Nähe zu Rückegassen und Wegen

Im nächsten Schritt soll eine genauere Betrachtung der nächsten hierarchischen Ebene der BMH vorgenommen werden. Hierbei wird die Gruppe der Mulmhöhlen untersucht, da vermutet wird, dass ein Zusammenhang zwischen dem Vorkommen der BMH innerhalb dieser Gruppe und der Bewirtschaftung von Wäldern besteht. Es wird eine Analyse der Anteile der BMH-Träger durchgeführt, indem die Anzahl der Bäume mit mindestens einem BMH der Gruppe Mulmhöhlen ins Verhältnis zur Gesamtanzahl der Bäume der jeweiligen Szenarien (an den Rückegassen und Wegen/im Bestand) gesetzt wird. In Abbildung 35 sind die Ergebnisse dieser Untersuchung dargestellt. Der Anteil der BMH-Träger im Bestand liegt bei 92 %, während der Anteil bei Bäumen nahe der Rückegassen und Wege bei 88 % liegt.

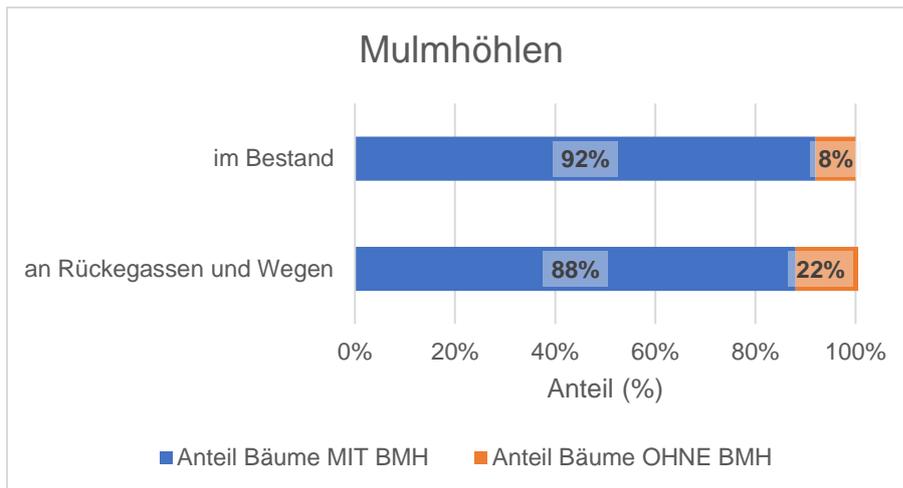


Abbildung 35: Vergleich der Anteile an BMH-Trägern in Bezug auf die räumliche Nähe zu Rückegassen und Wegen (Mulmhöhlen)

Abschließend wird die letzte hierarchische Ebene der BMH-Typen betrachtet. Hierbei wurde der Typ „Holz ohne Rinde“ ausgewählt. In Abbildung 36 ist zu erkennen, dass der Anteil der BMH-Träger in der Nähe der Rückegassen über dem Anteil der Bäume ohne BMH liegt.

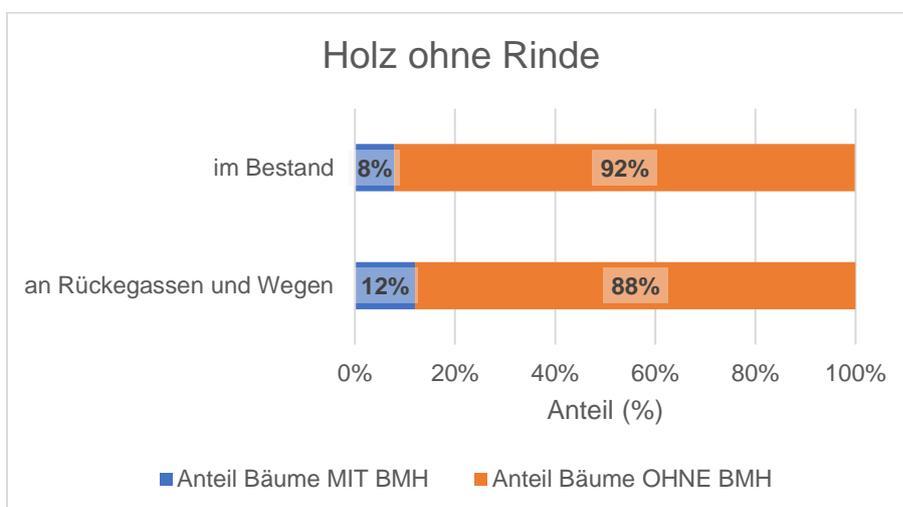


Abbildung 36: Vergleich der Anteile an BMH-Trägern in Bezug auf die räumliche Nähe zu Rückegassen und Wegen (Holz ohne Rinde)

4.6 Vergleich der Abteilungen mit dem NWR Eichhall

Im Folgenden wird ein exemplarischer Vergleich der Abteilungen Weisser Stein und Eichling mit dem NWR Eichhall durchgeführt. Zunächst erfolgt ein Vergleich der allgemeinen Bestandesdaten, gefolgt von einer Analyse der Verteilung der BMH.

Zur Erklärung der folgenden Abbildungen: Die Abteilungen Weisser Stein und Eichling sind gelb dargestellt, während das NWR Eichhall in lila dargestellt ist.

4.6.1 Vergleich der Bestandesdaten

Im Eichhall wurde eine Gesamtheit von 590 lebenden Bäumen, verteilt auf 61 Stichprobenpunkte, erhoben: Das entspricht einer Dichte der Stammzahl von 193 Bäumen je ha, wovon 157 Bäume je ha durch die Buche und 36 Bäume je ha durch die Eiche gebildet wurden. Auf eine Auflistung der Bestandesdaten für die Abteilungen Weisser Stein und Eichling wird im Folgenden verzichtet, um eine Redundanz zu vermeiden, da diese in den vorherigen Kapiteln bereits aufgeführt wurden.

In Abbildung 37 wird deutlich, dass die Buche einen deutlich höheren Anteil im Eichhall einnimmt als die Eiche. 4 von 5 Bäumen sind demnach Buchen und nur ein Baum von 5 ist eine Eiche.

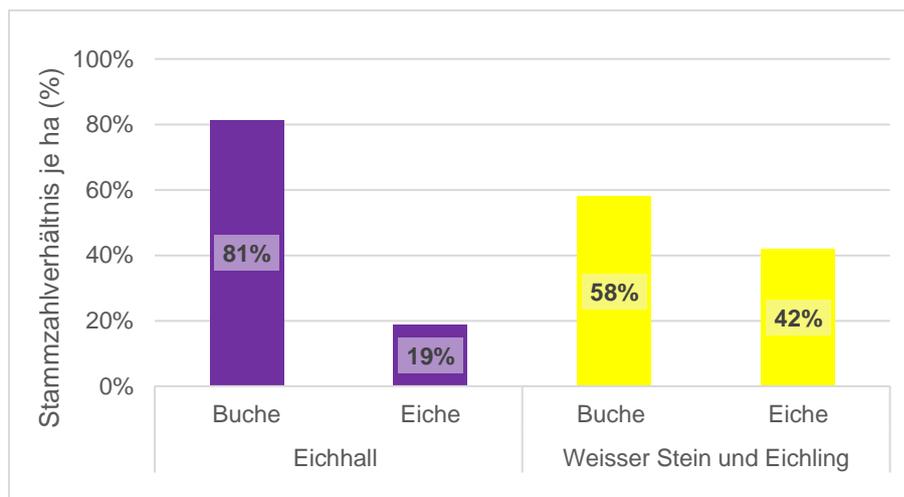


Abbildung 37: Vergleich des Stammzahlverhältnisses der Baumarten zwischen dem NWR Eichhall und den Abteilungen Weisser Stein und Eichling.

In Tabelle 14 wird ein Vergleich der BHD-Mittelwerte dargestellt. Es zeigt sich deutlich, dass die Werte im Eichhall signifikant höher sind als die Werte im Weissen Stein und im Eichling.

Tabelle 14: Vergleich des Mittelwertes des BHD des NWR den Abteilungen Weisser Stein und Eichling.

	Mittelwert BHD (cm)	
	Buche	Eiche
Eichhall	40	75
Weisser Stein und Eichling	35	59

4.6.2 Vergleich der Verteilung der BMH

In der folgenden Analyse werden die Unterschiede in der Verteilung der BMH zwischen den bewirtschafteten Abteilungen Weisser Stein und Eichling sowie dem NWR Eichhall herausgearbeitet. Zunächst werden baumartenunabhängige Ergebnisse dargestellt, gefolgt von den spezifischen Ergebnissen für die jeweiligen Baumarten.

In Abbildung 38 ist zu erkennen, dass der Anteil der BMH-Träger aller Bäume sich um 5 % unterscheidet. Der Anteil der BMH-Träger in den bewirtschafteten Abteilungen Weisser Stein und Eichling lag bei 55 %, während der Anteil im NWR bei 50 % lag. Dies bedeutet, dass in beiden Fällen etwa jeder zweite Baum ein BMH-Träger war.

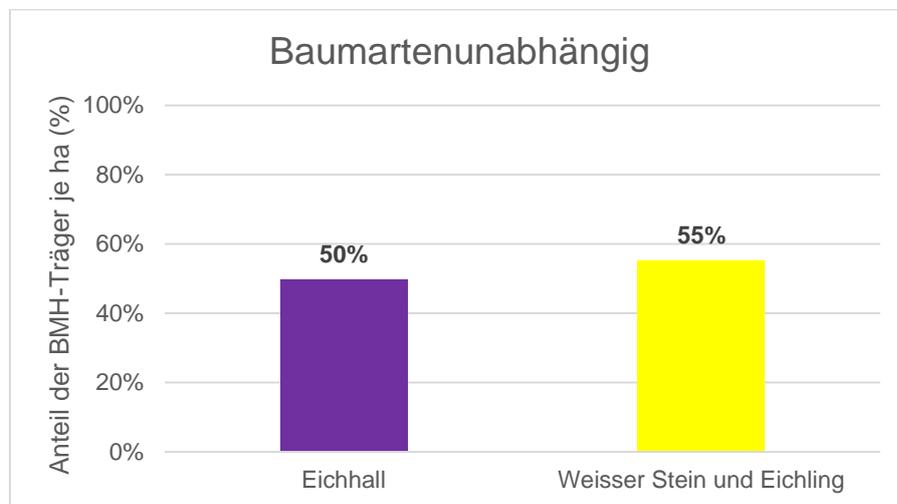


Abbildung 38: Vergleich der Anteile der BMH-Träger zwischen dem NWR Eichhall und den Abteilungen Weisser Stein und Eichling (baumartenunabhängig)

In Abbildung 39 ist die Untersuchung der BMH-Träger bei der Eiche dargestellt. Hier zeigt sich ein Unterschied von nur zwei Prozent. Der Anteil der BMH-Träger im NWR lag mit 50 % nur minimal über dem Anteil in den bewirtschafteten Flächen, der bei 48 % lag.

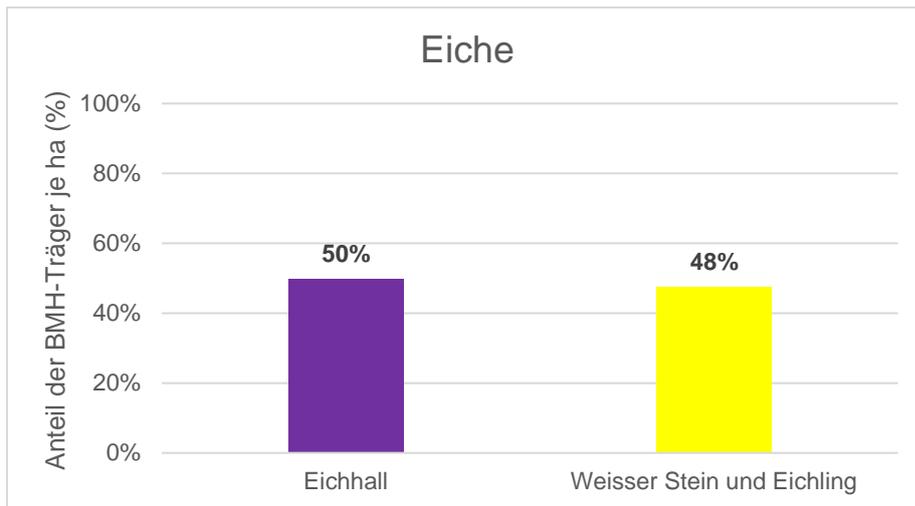


Abbildung 39: Vergleich der Anteile der BMH-Träger zwischen dem NWR Eichhall und den Abteilungen Weisser Stein und Eichling (Eiche)

Bei der Buche ist der signifikanteste Unterschied mit einer Differenz von 9 % festzustellen. Auch hier liegt das NWR mit einem Anteil von 38 % über dem der bewirtschafteten Flächen, deren Anteil bei 29 % liegt.

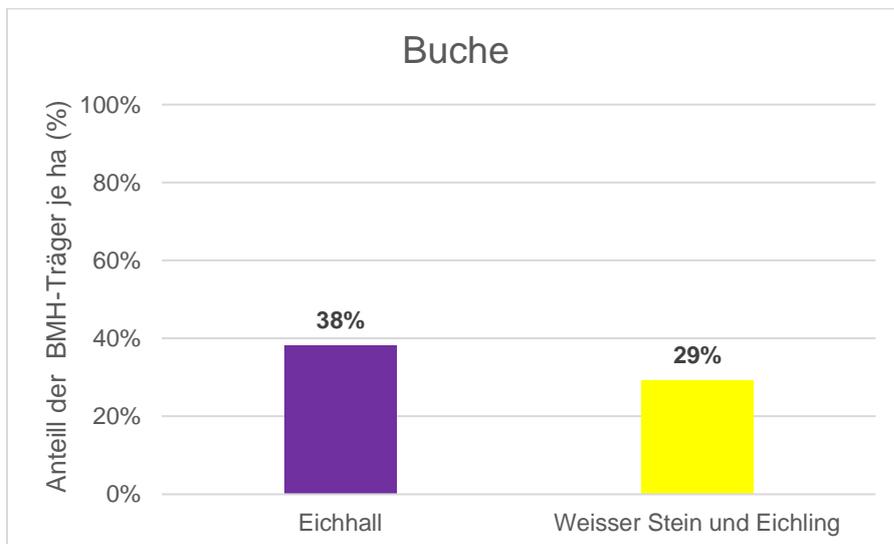


Abbildung 40: Vergleich der Anteile der BMH-Träger zwischen dem NWR Eichhall und den Abteilungen Weisser Stein und Eichling (Buche)

5 Diskussion

5.1 Material

Die Abteilungen Weisser Stein und Eichling sind aus verschiedenen Gründen besonders geeignet für eine BMH-Inventur in bewirtschafteten Waldflächen. Der Anteil

an alten Eichen ist hoch, was in bewirtschafteten Wäldern selten anzutreffen ist. Dies ist auf die traditionelle Bewirtschaftung dieser Flächen in dieser Umgebung zurückzuführen. Ebenfalls positiv zu bewerten ist, dass Informationen über bisherige waldbauliche Eingriffe vorliegen. Diese Informationen ermöglichen die Nachvollziehbarkeit einiger mit den BMH im Zusammenhang stehender Faktoren, wie Baumart und BHD, wodurch komplexe Zusammenhänge erklärt werden können.

Unter Berücksichtigung der genannten Aspekte bietet die Datenerhebung in diesen Abteilungen eine gute Grundlage für den Vergleich von bewirtschafteten und unbewirtschafteten Flächen. Eine besonders gute Vergleichbarkeit mit den Daten des Naturwaldreservates Eichhall und dem Naturschutzgebiet Rohrberg wird ermöglicht, da sich alle Flächen im Hochspessart befinden und somit sehr ähnlichen Wuchsbedingungen unterliegen. Des Weiteren sind die Abteilungen klar abgegrenzt und gut auffindbar, was Fehlerquellen bei der Datenerhebung minimiert und die Nachvollziehbarkeit der erhobenen Daten erleichtert.

Es ist jedoch zu hinterfragen, inwiefern die Abteilungen Weisser Stein und Eichling geeignet sind, zusammengefasst betrachtet zu werden, da sich einige Faktoren, beispielsweise das Alter, unterscheiden. Eine differenzierte Betrachtung wäre womöglich besser gewesen.

5.2 Methoden

Die Verwendung der Typologie der BMH nach Larrieu et al. (2018) ist positiv zu bewerten. Es handelt sich hierbei um eine allgemein anerkannte, standardisierte Methodik, die für gemäßigte europäische Wälder gültig ist und daher ohne Weiteres für die analysierten Flächen verwendet werden konnte. Darüber hinaus lagen eindeutige Definitionen und Schwellenwerte vor, an die sich bei den Feldaufnahmen gehalten wurde. Demzufolge ist eine Vergleichbarkeit mit anderen Datenerhebungen zu BMH möglich.

Der „Taschenführer der Baummikrohabitate“ nach Bütler et al. (2020a) diente bei den Feldaufnahmen als Nachschlagewerk. Die Verwendung des Taschenführers ist ebenfalls positiv zu bewerten, da er die Einhaltung der Schwellenwerte erheblich vereinfachte. Der Taschenführer ist mit anschaulichen Illustrationen und konkreten Schwellenwerten ausgestattet und somit gut verständlich. Darüber hinaus ist er handlich und gut organisiert, wodurch die Feldaufnahmen bei notwendigem Nachschlagen kaum beeinträchtigt wurden.

Nachdem man sich mit der Typologie vertraut gemacht hatte, wurden die notwendigen Schwellenwerte für die Flächen definiert. Anschließend wurde die Methodik im NWR erprobt, unter Anwesenheit einer Person, die bereits Erfahrung mit der Erhebung der BMH besaß. Dadurch konnten Fehler bei der Datenerhebung identifiziert und gemeinsam ein Konsens gefunden werden. Die Datenerhebung im NWR Eichhall fand zudem parallel zur Datenerhebung der Abteilungen Weisser Stein und Eichling statt. Die Datenerhebung wurde jedoch ausschließlich allein durchgeführt, was laut (Paillet et al. 2015) nicht zu empfehlen ist.

Kritisch zu betrachten ist, dass das Aufnahmeverfahren der BMH nach Larrieu et al. (2018) nur vorsieht, ob ein BMH eines bestimmten Typs an einem Baum vorkommt oder nicht, sobald das BMH den definierten Schwellenwert überschreitet. Es fehlen Aussagen über die Qualität und Quantität des vorkommenden BMH. Beispielsweise kann ein Baum mehrere Spechthöhlen aufweisen, aber es wird nur notiert, dass dieser BMH-Typ vorkommt.

Für die Bestimmung der BMH im oberen Stammbereich wurde, wie von Larrieu et al. (2018) empfohlen, ein Fernglas verwendet. Dennoch ist nicht auszuschließen, dass Schwellenwerte nicht exakt eingehalten wurden. Zudem war die Witterung zum Aufnahmezeitpunkt regnerisch und stürmisch, was nicht empfehlenswert ist und die Verzerrung der Ergebnisse somit nicht ausgeschlossen ist.

Die Datenaufnahme erfolgte an Stichprobenpunkten, wobei grundsätzlich eine Vollaufnahme diesem Inventurdesign stets vorzuziehen ist. Eine Datenaufnahme im Stichprobenverfahren kann zwar repräsentativ sein, jedoch ist ein Informationsverlust nicht ausgeschlossen. Aufgrund der Großflächigkeit der Abteilungen Weisser Stein und Eichling war eine Vollaufnahme nicht realisierbar. Zudem sollte eine Vergleichbarkeit mit dem NWR Eichhall ermöglicht werden, wo das gleiche Inventurdesign verwendet wurde. Das Vorhandensein dauerhafter Inventurpunkte ist jedoch als positiv zu bewerten, da dies viele Analyse- und Interpretationsmöglichkeiten bietet. Beim Erweitern der Stichprobepunkte wurde zwar versucht, regelmäßige Abstände einzuhalten, jedoch kann ein „Rosinenpicken“ bei der Auswahl dieser nicht ausgeschlossen werden. Zusätzlich wurden diese nicht dauerhaft markiert, was die Nachvollziehbarkeit der Datenerhebung erheblich erschwert, jedoch war eine dauerhafte Markierung nicht erwünscht.

Ein digitales Aufnahmeverfahren wurde gewählt, was sowohl eine Zeitersparnis als auch eine qualitativ hochwertige Weiterverarbeitung der Daten ermöglichte. Die Daten mussten nicht manuell erneut eingegeben werden, was bei einer Datenerhebung in analoger Form der Fall gewesen wäre. Somit wurde eine potenzielle Fehlerquelle vermieden. Zusätzlich erhielt jeder Baum eine eindeutige Geoposition, was einige Auswertungsmöglichkeiten bot und das Auffinden der erweiterten Stichprobenpunkte trotz fehlender Markierung ermöglichte.

5.3 Ergebnisse

5.3.1 Bestandesdaten

Für die Abteilungen Weisser Stein und Eichling lagen Bestandesdaten aus vorherigen Waldinventuren vor, die vom Forstamt zur Verfügung gestellt wurden. Die letzte Inventur wurde 2011 durchgeführt und liegt somit bereits 13 Jahre zurück. Die Bestandesdaten der Abteilungen Weisser Stein und Eichling wurden im Rahmen dieser Arbeit zusammengefasst betrachtet. Hierzu zählen Informationen wie der Bestandesvorrat und die Anteile der Baumarten an der Stammzahl sowie am Vorrat. Aus diesem Grund ist ein genauer Vergleich mit den Ergebnissen der letzten Inventur nur eingeschränkt möglich. Eine separate Betrachtung der Abteilungen wäre in diesem Zusammenhang empfehlenswerter gewesen.

Dennoch soll im Rahmen des Möglichen ein Vergleich gezogen werden, wobei der Fokus vor allem auf die Anteile der Baumarten am Vorrat, sowie den Vorrat selbst gelegt werden. Die Ergebnisse der letzten Inventuren ergaben, dass der Anteil der Eiche am Vorrat in der Abteilung Eichling 78 % und in der Abteilung Weisser Stein 66 % betrug. Die Ergebnisse dieser Bachelorarbeit zeigen, dass der Anteil der Eiche bei 70 % liegt, was demnach schlüssig ist. Bei der Buche zeigt sich ein ähnliches Bild: In der Abteilung Eichling betrug der Anteil 21 %, und in der Abteilung Weisser Stein lag der Anteil bei 34 %. Die Ergebnisse der Datenerhebung im Rahmen dieser Bachelorarbeit weisen einen Buchenanteil am Vorrat von 30 % aus, was eine geringfügige Abweichung darstellt.

Zum Vorrat lässt sich sagen, dass dieser unter den Werten der letzten Inventur liegt. Für die Abteilung Eichling wurde während der letzten Waldinventur ein Vorrat von insgesamt 498 VFm je ha ermittelt, und in der Abteilung Weisser Stein lag dieser bei 449 VFm je ha. Der in dieser Arbeit ermittelte Vorrat beträgt 551 VFm je ha. Es gibt sowohl bei den Anteilen der Stammzahl als auch bei den Vorräten Differenzen

zwischen den erhobenen Daten und den Daten der Inventur von 2011. Beim Vorrat ist dies auf den Zuwachs zurückzuführen. Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, dass für die Datenerhebung der Bachelorarbeit eine Kluppschwelle von 20 cm über den gesamten Probekreis verwendet wurde, während bei den bisherigen Waldinventuren mit konzentrischen Probekreisen gearbeitet wurde. Zusätzlich können Messungenauigkeiten nie vollständig ausgeschlossen werden. Darüber hinaus müssen unterschiedliche Berechnungsmethoden ebenfalls als Grund der Differenzen berücksichtigt werden.

5.3.2 Dichte der BMH

In den Abteilungen Weisser Stein und Eichling wurde eine Dichte von 112 BMH-Trägern je ha festgestellt, während im NWR eine Dichte von 100 BMH-Trägern je ha ermittelt wurde. Demnach ist die Dichte der BMH-Träger in den bewirtschafteten Flächen höher als im NWR. Ein Grund hierfür könnte die höhere Baumanzahl in den bewirtschafteten Wäldern sein, die 203 Bäume je ha beträgt, im Vergleich zu 200 Bäumen je ha im NWR. Dies widerspricht den Untersuchungen von Regnery et al. (2013) und Paillet et al. (2017), die besagen, dass die Dichte der Habitatbäume je ha mit der Dauer der Nicht-Bewirtschaftung zunimmt. Regnery et al. (2013) geben jedoch an, dass die Dichte an BMH in Flächen, die seit 90 Jahren nicht bewirtschaftet werden, 13-mal höher ist als in Flächen, die seit 30 Jahren nicht bewirtschaftet werden. Da das NWR erst seit 2003 aus der Nutzung genommen wurde, also seit nur 21 Jahren nicht mehr bewirtschaftet wird, sind Rückschlüsse darauf zu hinterfragen. Eine Studie von Dieler et al. (2017) bestätigt, dass der Zeitraum nach Aufgabe der Bewirtschaftung keinen signifikanten Einfluss auf den Reichtum der BMH hat. Ein weiterer Grund könnte der höhere Anteil an Eichen in den bewirtschafteten Flächen sein. In Kapitel 5.3.4 wird näher erläutert, inwiefern die Baumart eine Rolle im Zusammenhang mit den BMH spielt. Da der Anteil der Buche im NWR höher ist, lässt sich erklären, warum die Dichte der BMH-Träger und die Stammzahl allgemein geringer sind. Sowohl die bewirtschafteten als auch die unbewirtschafteten Flächen gehören zur natürlichen Waldgesellschaft des Hainsimsen-Buchenwaldes. Die Buche befindet sich hier in ihrem Optimum und setzt sich bei ausbleibenden Maßnahmen zur aktiven Förderung der Eiche langfristig als bestandesbildende Baumart durch. Aufgrund ihrer ausgeprägten Kronenplastizität bis ins hohe Alter führt dies zu einer geringeren Stammzahl (LWF 2019). Abschließend kann festgehalten werden, dass die Anzahl der

Bäume mit BMH in den bewirtschafteten Flächen höher ist als im NWR. Demnach ist das Ziel der BaySF (2023), mindestens 10 Biotopbäume je ha in den Waldbeständen der Klasse 2 zu erreichen, erfüllt.

Weitere Aussagen über die Dichte der BMH können über die Anzahl der BMH je ha getroffen werden. Hier liegt der Wert in den bewirtschafteten Flächen bei 213 BMH und im NWR bei 240 je ha. Somit ist die Anzahl der BMH in den unbewirtschafteten Flächen höher als in den bewirtschafteten Flächen. Dies ist womöglich auf die Altersdifferenz der Bäume zurückzuführen, welche bei circa. 200 Jahren liegt. Während die Eichen im NWR ein Alter von 400 Jahren aufweisen, beträgt das Alter der Eichen in den bewirtschafteten Flächen 200 Jahre. Die Aussage von Paillet et al. (2019), welche besagt, dass Bäume mit höheren Alter mehr Habitat verursachende Ereignisse erlebt haben, würde hierfür eine Erklärung bieten.

An dieser Stelle muss jedoch erwähnt werden, dass für die Ergebnisse im NWR von (Kösel 2024) keine differenzierte Betrachtung von lebenden Bäumen und stehendem Totholz vorgenommen wurde. Allerdings ist die Dichte der BMH an toten Bäumen tendenziell höher, wie einige Studien belegen (Sever und Nagel 2019; Larrieu und Cabanettes 2012). In den bewirtschafteten Flächen wurde das stehende Totholz von der Datenauswertung ausgeschlossen. Aus diesem Grund ist die direkte Vergleichbarkeit in gewissem Maße eingeschränkt. Die Anzahl der der toten Bäume beschränkt sich im NWR auf 20 Bäume, weshalb eine Repräsentativität als gegeben erachtet wurde.

5.3.3 Vielfalt der BMH

Betrachtet man die Anteile der BMH auf den von Larrieu et al. (2018) definierten hierarchischen Ebenen, können Rückschlüsse auf die Vielfalt der BMH gezogen werden. In den Abteilungen Weisser Stein und Eichling waren alle BMH-Formen vertreten, jedoch in unterschiedlichen Anteilen. "Kronentotholz" war mit 43 % am häufigsten, gefolgt von "Höhlen" und "Stammverletzungen und freiliegendes Holz". Diese drei Formen deckten bereits drei Viertel des gesamten Vorkommens ab. Im NWR lag der Anteil des Kronentholzes bei 30 % (Kösel 2024). Der höhere Anteil an Kronentotholz auf den bewirtschafteten Flächen ist vermutlich auf die zeitliche Verzögerung der Datenerhebung durch einen Sturm zurückzuführen.

Prozentuale Anteile ändern sich, sobald andere BMH-Formen häufiger auftreten. Im NWR lag der Anteil "epiphytische, epixyliche und parasitische Strukturen" bei 12 %, in den bewirtschafteten Flächen bei nur 4 %. Ähnliche Ergebnisse zeigte Schwaiger (2023) im Naturschutzgebiet (NSG) Rohrberg. Die Formen "Kronentotholz", "Höhlen" und "Stammverletzungen und freiliegendes Holz" machten auch dort über drei Viertel der BMH aus.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die BMH-Vielfalt der bewirtschafteten Flächen mit der der unbewirtschafteten Flächen vergleichbar ist. (Großmann und Pyttel 2019a) bestätigen, dass Bewirtschaftung nicht zu einem Fehlen der BMH führt.

5.3.4 Einflüsse der Baumart auf die BMH

Die Baumart spielt eine bedeutende Rolle für das Vorkommen von BMH in den Abteilungen. Obwohl die Buche 58 % der Stammzahl ausmacht, stellt sie nur 24 % der BMH. Im Gegensatz dazu macht die Eiche 42 % der Stammzahl aus und stellt 76 % der BMH. Ähnliche Ergebnisse zeigen sich im NWR Eichhall: Die Eiche, mit einem Stammzahlanteil von 19 %, stellt 60 % der BMH, während die Buche mit 81 % der Stammzahl nur 40 % der BMH stellt (Kösel 2024). Dies zeigt, dass die Eiche sowohl im Wirtschaftswald als auch im NWR überproportional viele BMH stellt.

Hinsichtlich der BMH-Diversität, also der Anzahl der unterschiedlichen BMH-Formen, -Gruppen und -Typen, lässt sich festhalten, dass jede BMH-Form sowohl bei Eichen als auch bei Buchen vertreten ist. Bei den Gruppen sind 12 von 15 Gruppen bei beiden Baumarten vorhanden. Bei den BMH-Typen gibt es Unterschiede: Bei der Eiche sind 20 von 47 Typen vorhanden, bei der Buche 24 von 47. Im NWR sind alle Formen und Gruppen vertreten, mit 35 BMH-Typen auf Eichen und 36 auf Buchen (Kösel 2024). Die Buche beherbergt mehr BMH-Typen als die Eiche, was auch in einer Studie von Sommer et al. (2024) bestätigt wurde.

Die Anzahl der BMH je Baum wird ebenfalls von der Baumart beeinflusst. In den bewirtschafteten Flächen liegt die durchschnittliche Anzahl bei 0,4 für Buchen und 1,9 für Eichen. Im NWR sind diese Werte höher: 0,6 für Buchen und 3,7 für Eichen (Kösel 2024). Studien von Sommer et al. (2024) und Schwaiger (2023) bestätigen, dass die Anzahl der BMH je Eiche höher ist als bei Buchen. Vuidot et al. (2011) belegten ebenfalls, dass Eichen mehr BMH als andere Bäume haben.

Baumartenspezifische Merkmale, wie die Wuchsform, beeinflussen die Anzahl der BMH-Typen. Buchen zeigen sowohl in bewirtschafteten Wäldern als auch im NWR mehr Dendrotelme als Eichen. Larrieu und Cabanettes (2012) bestätigten, dass Dendrotelme bei Buchen häufiger auftreten. Stammfußhöhlen sind bei Buchen ebenfalls häufiger, was auf baumartenspezifische Merkmale zurückzuführen ist.

5.3.5 Einflüsse des BHD auf das Vorkommen der BMH

Zahlreiche Forschungen belegen, dass der BHD eine bedeutende Rolle im Zusammenhang mit dem Vorkommen der BMH spielt (Larrieu und Cabanettes 2012; Winter et al. 2014; Winter und Möller 2008). In dieser Arbeit wurde diese Tatsache untersucht, indem der Anteil der Bäume mit mindestens einem BMH über die BHD-Klassen betrachtet wurde. Dabei zeigte sich, dass der Anteil an BMH-Trägern mit zunehmendem BHD kontinuierlich steigt. Unabhängig von der Baumart tragen 100 % aller Bäume über einem BHD von 70 cm mindestens ein BMH. Besonders bei Buchen ist die Zunahme der BMH mit steigendem BHD deutlich erkennbar. Bei Eichen hingegen sind die Anteile an BMH-Trägern durchgehend hoch, bereits in der zweiten BHD-Klasse trugen 80 % aller Bäume mindestens ein BMH.

Vergleichbare Ergebnisse zeigten sich im NWR, wo ebenfalls ein kontinuierlicher Anstieg bei Buchen sowie dauerhaft hohe Anteile bei Eichen zu beobachten sind. Der Anteil der Eichen mit mindestens einem BMH lag dort nie unter 97 %. Ein Unterschied zwischen den bewirtschafteten Flächen und dem NWR ist, dass im NWR erst ab einem BHD von 80 cm 100 % der Bäume mindestens ein BMH tragen (Kösel 2024). Mögliche Gründe hierfür sind, dass die Bäume in bewirtschafteten Wäldern aufgrund von Holzerntemaßnahmen früher BMH aufweisen (Großmann und Pyttel 2019a; Großmann et al. 2024).

Um den Zusammenhang zwischen dem Vorkommen der BMH und dem BHD statistisch zu überprüfen, wurde eine binär logistische Regressionsanalyse, unabhängig der Baumart, durchgeführt. Diese Analyse bestätigte, dass mit steigendem BHD ein Anstieg der BMH auftritt. Bei einer Erhöhung des BHD um einen cm steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein BMH vorkommt, um 11,9 %. Dieser Wert liegt über dem des NWR, wo die Wahrscheinlichkeit bei einer Zunahme von einem cm nur um 7,1 % steigt (Kösel 2024). Eine separate binär logistische Regressionsanalyse für beide Baumarten ergab, dass bei Buchen mit zunehmendem BHD eine Erhöhung der Wahrscheinlichkeit um 8,1 % besteht. Diese Werte liegen über den Angaben von

Kösel (2024) und Winter et al. (2014). Bei Eichen konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem BHD und dem Vorkommen der BMH nachgewiesen werden, was auf den geringen Anteil an Eichen ohne BMH zurückzuführen ist. Dieses Phänomen zeigte sich auch im NWR (Kösel 2024).

5.3.6 Effekte des BHD auf die Anzahl der BMH

In zahlreichen Studien wurde festgestellt, dass Bäume mit großem BHD eine höhere Anzahl an BMH-Typen aufweisen als Bäume mit geringem BHD (Bütler und Lachat 2009; Paillet et al. 2017; Vuidot et al. 2011; Larrieu und Cabanettes 2012; Paillet et al. 2019). Diese Erkenntnis konnte sowohl durch die Daten aus den Abteilungen Weisser Stein und Eichling als auch durch die Daten des NWR bestätigt werden. In den bewirtschafteten Flächen war sowohl bei der Buche als auch bei der Eiche mit steigendem BHD ein Anstieg der durchschnittlichen Anzahl an BMH je Baum zu verzeichnen. Im NWR konnte dieses Phänomen nur bei der Buche beobachtet werden. Die Eiche hingegen zeigte über alle Durchmesser hinweg eine hohe durchschnittliche Anzahl an BMH (Kösel 2024).

Der Vergleich der höchsten durchschnittlichen Anzahl an BMH je Baum ist besonders interessant. Bei der Eiche liegt dieser Wert in den bewirtschafteten Flächen bei acht und im NWR bei sechs (Kösel 2024). Diese Werte wurden bei Bäumen mit einem Durchmesser von über 100 cm ermittelt.

5.3.7 Effekte des BHD auf bestimmte BMH-Formen

Um festzustellen, ob ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem BHD und dem Vorkommen der nach Larrieu et al. (2018) definierten BMH-Formen besteht, wurde sowohl für die Eiche, als auch für die Buche, für jede der sieben Formen eine binär logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Die Ergebnisse der beiden Baumarten unterschieden sich wie folgt: bei der Buche steigt, mit größer werdendem BHD, die Wahrscheinlichkeit, dass ein BMH vorkommt oder nicht bei den Formen „Höhlen“, „Stammverletzungen“ und „Kronentotholz“. Bei der Eiche wiederum traf dies auf die BMH-Formen „Höhlen“ und „Kronentotholz“ zu. Der BHD ist ein Indikator für das Alter des Baumes und wie bereits erwähnt steigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von BMH mit zunehmendem BHD. Darüber hinaus benötigen einige BMH-Typen längere Zeiträume für deren Entstehung, hiervon vor allem betroffen sind Typen die den Formen „Kronentotholz“, sowie „Höhlen“ zuzuordnen (Bütler et al. 2020b). Das würde

die Ergebnisse der binären logistischen Regression, sowohl für die Buche als auch für die Eiche bestätigen.

Um genauere Zusammenhänge zwischen dem BHD und den BMH herauszufinden, wäre es von Interesse gewesen für die Ebenen der Gruppen und Typen eine binäre logistische Regression durchzuführen, da ein Informationsverlust mit der Zusammenfassung der BMH-Typen zu den jeweiligen Gruppen und Formen einhergeht. Darüber hinaus ist die Vergleichbarkeit der Formen untereinander nur beschränkt möglich, da diese eine unterschiedliche Anzahl an Gruppen und Typen beinhalten (siehe Tabelle 1). Die Durchführung der binär logistischen Regressionen für die BMH-Gruppen und Typen hätte jedoch den Rahmen dieser Arbeit gesprengt.

5.3.8 Auswirkungen der Bewirtschaftung auf die BMH

Mehrere Studien bestätigen, dass die Bewirtschaftung einen Einfluss auf die BMH hat (Großmann et al., 2018; Großmann und Pyttel, 2019a). Wie bereits erwähnt, besteht ein Zusammenhang zwischen dem Brusthöhendurchmesser (BHD) und dem Vorkommen von BMH. Bäume mit höherem BHD tendieren dazu, mehr BMH aufzuweisen als Bäume mit geringerem BHD (Larrieu et al., 2014). Daher ist der Erhalt einer gewissen Anzahl von Biotopbäumen über die gesamte Fläche von großer Bedeutung für die Förderung und Sicherung der Biodiversität (Kozák et al., 2023). Allerdings ist die Nicht-Bewirtschaftung von Flächen nicht automatisch mit einer höheren Biodiversität und einem höheren Vorkommen von BMH gleichzusetzen. Dieses Thema ist komplexer.

Die Eiche ist dazu prädestiniert, eine hohe Dichte an BMH auf sich zu akkumulieren und ist dabei der Buche deutlich überlegen (Sommer et al., 2024). Betrachtet man jedoch die Entwicklung der Baumartenzusammensetzung bei einer Stilllegung der Flächen, wird deutlich, dass die Buche aufgrund ihrer Arteigenschaften der Eiche überlegen ist. Die Buche hat die Eigenschaft, in der Jugend viel Schatten zu ertragen und im höheren Alter viel Schatten zu werfen (LWF, 2019). Dieses Phänomen ist im NWR zu beobachten, was durch Endres und Förster (2014) bestätigt werden konnte.

In Zeiten des anthropogenen Klimawandels nimmt die Bedeutung des aktiven Waldumbaus zu. Insbesondere Mischwälder bieten zahlreiche Vorzüge. Das Risiko durch Schäden wird durch eine höhere Anzahl an Baumarten gemindert, und die Produktivität der Wälder nimmt zu. Die Umsetzung erfordert jedoch waldbauliche

Maßnahmen (Tretter, 2017). Neben der Produktivität weisen Mischbestände auch eine höhere Vielfalt an BMH auf (Bütler et al., 2020b). Die Eiche gilt als Hoffnungsträger im Klimawandel, was ihrer Toleranz gegenüber Trockenheit und Wärme zuzuschreiben ist (LWF, 2019).

Einige BMH-Gruppen verdienen besondere Beachtung. Sever und Nagel (2019) untersuchten die Unterschiede zwischen bewirtschafteten und unbewirtschafteten Flächen und kamen zu dem Ergebnis, dass die Bewirtschaftung keinen Einfluss auf die Dichte der BMH je Baum hat. Dies wird durch die Daten der bewirtschafteten Flächen und des NWR bestätigt. Im NWR lag die Dichte bei 2,2 BMH je BMH-Träger und auf den bewirtschafteten Flächen bei 1,9 BMH je BMH-Träger. Demnach ist nur eine geringfügige Differenz vorhanden. Bei genauerer Betrachtung der BMH-Formen und -Gruppen zeigt sich jedoch ein anderes Bild. Besonders die Gruppe der Mulmhöhlen, die einen hohen naturschutzfachlichen Wert aufweist, tritt im NWR mit einer höheren Dichte auf (25 je ha) als auf den bewirtschafteten Flächen (17 je ha). Die Entstehung von Mulmhöhlen kann sich über mehrere Jahrzehnte erstrecken (Bütler et al., 2020b). Darüber hinaus werden in Wirtschaftswäldern Bäume mit qualitätsmindernden Eigenschaften häufig entnommen, weshalb die Entstehung von Mulmhöhlen meist nicht ermöglicht wird. Einige BMH werden jedoch auch durch die Bewirtschaftung initiiert (Großmann und Pyttel, 2019a). Ein Beispiel hierfür ist der BMH-Typ "Holz ohne Rinde". Im NWR beträgt die Dichte dieses Typs 14 BMH je ha, während auf den bewirtschafteten Flächen ein höherer Wert von 19 BMH je ha festgestellt wurde, was die Aussagen von Großmann und Pyttel (2019a) bestätigt.

Berücksichtigt man die Erkenntnis, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von BMH mit zunehmendem BHD steigt, sind einige waldbauliche Konzepte kritisch zu betrachten. Waldbauliche Modelle, die das Ziel der Wertholzproduktion verfolgen, setzen einen Zieldurchmesser von 60 cm sowohl für die Buche als auch für die Eiche an (Hein 2009). Betrachtet man die Ergebnisse der binären logistischen Regressionsanalyse der BMH-Form "Höhlen", wird deutlich, dass bei der Buche die Wahrscheinlichkeit, bei einem BHD von 60 cm ein BMH dieser Form zu tragen, unter 60 % liegt. Bei der Eiche ist dieser Wert noch niedriger und liegt knapp über 20 %. Dementsprechend sind Alternative Konzepte zum Erhalt und der Förderung der Biodiversität in Erwägung zu ziehen.

5.4 Geoanalyse

Die Verknüpfung jedes Baumes mit einem Raumbezug ist als positiv zu bewerten. Hierdurch wurden zahlreiche Möglichkeiten der Analyse der BMH geboten. Darüber hinaus bietet die Veranschaulichung durch Karten die Option, komplexe Sachverhalte gut verständlich zu simplifizieren.

Ein negativer Aspekt ist die Schwankung der GPS-Genauigkeit, die zwischen einigen m variiert hat. An dieser Stelle ist daher zu hinterfragen, wie repräsentativ die Analyse des Einflusses der Bewirtschaftung an den Rückegassen und Wegen ist. Es wurde untersucht, welche Bäume sich innerhalb eines Abstandes von 10 m zu den Rückegassen und Wegen befinden, wobei die GPS-Genauigkeit Abweichungen von bis zu 15 m unterlag. Diese Schwankungen variierten in ihrer Intensität, was auf verschiedene Gründe zurückzuführen ist (siehe Kapitel 3.3.3). Durch längeres Warten konnte die Ungenauigkeit teilweise reduziert werden, jedoch wurde dies aufgrund der begrenzten Zeit nicht immer konsequent umgesetzt.

Im NWR wurde die Geoanalyse ebenfalls durchgeführt, wodurch ein direkter Vergleich mit den bewirtschafteten Flächen möglich ist. Vergleicht man das Baumartenverhältnis des NWR mit dem der bewirtschafteten Flächen, wird deutlich, dass der Anteil der Buche am Stammzahlverhältnis im NWR, gleichmäßig über die Fläche verteilt, deutlich über dem der bewirtschafteten Flächen liegt. Das Verhältnis je Stichprobenpunkt liegt in Eichhall bei acht Buchen zu zwei Eichen (Kösel 2024). In den bewirtschafteten Flächen liegt dieses Verhältnis bei 4 Eichen zu 6 Buchen je Stichprobenpunkt.

Die Anzahl der BMH je Stichprobenpunkt wurde ebenfalls im NWR, sowie in den Abteilungen Weisser Stein und Eichling untersucht. Hier sind deutliche Differenzen zu vernehmen. Die höchste Anzahl an BMH je Stichprobenpunkt liegt im NWR deutlich über den bewirtschafteten Flächen, nämlich bei 26 BMH (Kösel 2024). In den bewirtschafteten Flächen lag das Maximum an BMH je Stichprobenpunkt bei 11 BMH. Eine Erklärung hierfür könnte das höhere Alter, sowie der höhere durchschnittliche BHD der Bäume im NWR sein.

6 Fazit und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war es, durch eine umfassende Analyse der bewirtschafteten Abteilungen Weisser Stein und Eichling im Vergleich mit dem unbewirtschafteten NWR Eichhall, Erkenntnisse über das Vorkommen von BMH zu gewinnen. In diesem

Zusammenhang wurde der Einfluss der Faktoren BHD, Alter, Bewirtschaftung und Baumart untersucht. Die Ergebnisse ermöglichten es, einige wichtige Schlussfolgerungen zu ziehen.

In den bewirtschafteten Abteilungen Weisser Stein und Eichling wurden auf 45 Stichprobenpunkten insgesamt 480 BMH erfasst, was einer Dichte von 213 BMH je Hektar entspricht. Im unbewirtschafteten NWR Eichhall lag die Dichte bei 240 BMH je Hektar. Somit besteht bezüglich der absoluten Anzahl an BMH je Hektar keine bedeutende Differenz zwischen den bewirtschafteten und unbewirtschafteten Flächen. Die Ergebnisse dieser Arbeit bestätigen die bereits in der Literatur beschriebenen Erkenntnisse. Die Bewirtschaftung hat keinen Einfluss auf die BMH-Dichte je Baum, jedoch auf das Vorkommen spezifischer BMH-Typen. Im NWR beträgt die Dichte der BMH je BMH-Träger 2,2, während sie in den bewirtschafteten Flächen bei 1,9 liegt. Die Baumart spielt hier eine entscheidende Rolle. Sowohl im NWR als auch im Weissen Stein tragen die Eichen überproportional zum BMH-Vorkommen bei. In den bewirtschafteten Flächen tragen die Eichen 76 % der BMH, innerhalb des NWR 60 %. BMH-Typen wie "Holz ohne Rinde" weisen in den bewirtschafteten Flächen eine höhere Dichte je Hektar auf, während die Gruppe der Mulmhöhlen im NWR eine höhere Dichte aufweist. Diese Komplexität verdeutlicht, dass eine einseitige Betrachtung nicht ausreichend ist und an dieser Stelle noch weitere Untersuchungen notwendig sind.

Der BHD konnte, wie bereits in der Literatur beschrieben, als besonders relevante Einflussgröße bestätigt werden. Mit zunehmendem BHD steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Baum ein BMH aufweist. Sowohl im unbewirtschafteten NWR als auch in den bewirtschafteten Flächen konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem BHD und den BMH statistisch nachgewiesen werden. Ab einem BHD von 80 cm beträgt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Baum mindestens ein BMH trägt, in beiden Gebieten 100 %. Darüber hinaus tragen sowohl die Buche als auch die Eiche ab einem BHD von 70 cm mindestens ein BMH. Im unbewirtschafteten NWR tragen die Bäume ab einem BHD von 80 cm ein BMH. Diese Erkenntnisse sollten in waldbauliche Planungen einfließen. Es ist ratsam, den Zieldurchmesser der Bäume zu erhöhen. Folglich kann eine dauerhafte Bestockung der Bäume mit hohem BHD gewährleistet werden. Integrierte Naturschutzmaßnahmen (z.B. die Ausweisung von Biotopbäumen über die gesamte Fläche) sollten daher konsequent umgesetzt und gefördert werden.

Der Vergleich zwischen bewirtschafteten Flächen und dem unbewirtschafteten NWR Eichhall zeigt, dass langfristig gesehen eine Verdrängung der Eiche durch die Buche zu erwarten ist. Dies ist problematisch, da Eichen im Vergleich zu Buchen eine deutlich höhere Dichte an BMH aufweisen und somit maßgeblich zur Biodiversität beitragen. Zusätzlich ist die Buche aufgrund des Klimawandels vermutlich stärker gefährdet, während die Eiche derzeit einem geringeren Risiko ausgesetzt ist. Eine naturnahe und klimatisch angepasste Waldbewirtschaftung bevorzugt den Anteil der Eiche und den Anteil anderer beigemischter Baumarten gegenüber dem Anteil der Buche. In diesem Zusammenhang wird das Vorkommen an BMH und der damit einhergehend zunehmenden Biodiversität positiv zu bewertet.

Ist eine Bewirtschaftung oder eine Stilllegung der Flächen vorzuziehen? Dies bleibt eine Frage der Prioritäten und kann nicht abschließend beantwortet werden. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die vorliegende Abhandlung einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Auswirkungen der Bewirtschaftung auf BMH in Eichenwäldern leistet. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit weiterer Forschung und die Entwicklung nachhaltiger Bewirtschaftungsstrategien, um die Biodiversität in unseren Wäldern zu erhalten und zu fördern. Es wird empfohlen, die BMH-Inventur zukünftig in Waldinventuren zu integrieren. So können neben den quantitativen Bestandskennzahlen (Bestandesvorrat und Baumartenanteile) erfasst werden und Aussagen über die Biodiversität und den naturschutzfachlichen Wert der Flächen getroffen werden. Dadurch wird die Datengrundlage kontinuierlich erweitert und eine fundierte Entscheidungsgrundlage für das Ausweisen von Biotopbäumen gewährleistet.

7 Literaturverzeichnis

Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat (2024): Eichensaat und Eichenwirtschaft im Spessart. Hg. v. Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat. Online verfügbar unter <https://www.ike.bayern.de/verzeichnis/000329/index.html>, zuletzt aktualisiert am 29.05.2024, zuletzt geprüft am 29.05.2024.

BaySF (2013): Naturschutzkonzept für den Forstbetrieb Rothenbuch. Hg. v. Bayerische Staatsforsten AöR. Online verfügbar unter https://www.baysf.de/fileadmin/user_upload/01-ueber_uns/05-standorte/FB_Rothenbuch/Naturschutzkonzept_Rothenbuch.pdf, zuletzt geprüft am 26.05.2024.

BaySF (2023): Naturschutzkonzept der Bayerischen Staatsforsten. Hg. v. Bayerische Staatsforsten AöR.

BaySF (2024a): Bestandesinformationen. Hg. v. Bayerische Staatsforsten AöR. Forstbetrieb Rothenbuch.

BaySF (2024b): Naturwaldreservat Eichhall. Hg. v. Bayerische Staatsforsten AöR. Online verfügbar unter <https://www.baysf.de/de/wald-schuetzen/bayerns-wilde-waelder/naturwaldreservate/naturwaldreservat-eichhall.html>, zuletzt aktualisiert am 31.05.2024, zuletzt geprüft am 31.05.2024.

BaySF (2024c): Wald im Spessart. Hg. v. Bayerische Staatsforsten AöR. Online verfügbar unter <https://www.wald-im-spessart.de/impressum>, zuletzt aktualisiert am 14.05.2024, zuletzt geprüft am 14.05.2024.

Blaschke, Markus; Endres, Udo; Bußler, Heinz (2013): Naturwaldforschung in Bayern. Seit 35 Jahren messen und analysieren Forscher für Wissenschaft und Praxis in bayerischen Naturwaldreservaten. In: *LWF aktuell* 95, S. 32–36. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/biodiversitaet/dateien/a95_naturwaldforschung_in_bayern_bf_gesch.pdf, zuletzt geprüft am 03.06.2024.

BMEL (Hg.) (2021a): Waldbericht der Bundesregierung 2021. Unter Mitarbeit von Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Online verfügbar unter

- https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/waldbericht2021.pdf?__blob=publicationFile&v=7, zuletzt geprüft am 11.05.2024.
- BMEL (Hg.) (2021b): Waldstrategie 2050. Nachhaltige Waldbewirtschaftung - Herausforderungen und Chancen für Mensch, Natur und Klima. Unter Mitarbeit von Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/Waldstrategie2050.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 11.05.2024.
- BMEL (Hg.) (2022): Ergebnisse der Waldzustanderhebung 2022. Unter Mitarbeit von Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/waldzustandserhebung-2022.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 11.05.2024.
- BMUB (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Kabinettsbeschluss vom 7. November 2007. 4. Auflage. Berlin: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB). Online verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/nationale_strategie_biologische_vielfalt_2015_bf.pdf, zuletzt geprüft am 11.05.2024.
- Bussler, Heinz; Schmid, Jürgen (2009): Die xylobionte Käferfauna von sechs Eichen im Naturwaldreservat Eichhall im bayerischen Hochspessart (Coleoptera). In: *Entomologische Zeitschrift* 119 (3), S. 115–123. Online verfügbar unter <https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/biodiversitaet/dateien/xylobionte-kaefer-eichhall.pdf>, zuletzt geprüft am 26.05.2024.
- Bütler, R.; Lachat, T.; Krumm, F.; Kraus, D.; Larrieu, L. (2020a): Taschenführer der Baummikrohabitate. Beschreibung und Schwellenwerte für Feldaufnahmen. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Bütler, Rita; Lachat, Thibault (2009): Wälder ohne Bewirtschaftung: eine Chance für die saproxyliche Biodiversität | Forests without harvesting: an opportunity for the saproxylic biodiversity. In: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 160 (11), S. 324–333. DOI: 10.3188/szf.2009.0324.
- Bütler, Rita; Lachat, Thibault; Krumm, Frank; Kraus, Daniel; Larrieu, Laurent (2020b): Habitatbäume kennen, schützen und fördern. In: *Merkbl. Prax.* 64.

Convention on Biological Diversity (2011): Convention on Biological Diversity. Secretariat of the Convention on Biological Diversity Montreal. Montreal, Quebec, Canada. Online verfügbar unter <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>, zuletzt geprüft am 15.05.2024.

Convention on Biological Diversity (2024): Statement by David Cooper Acting executive Secretary of the Convention on Biological Diversity International day of Forests 21 March 2024. Forest and Innovation. Online verfügbar unter <https://www.cbd.int/doc/speech/2024/sp-2024-03-20-forest-en.pdf>, zuletzt geprüft am 15.05.2024.

Dieler, Jochen; Uhl, Enno; Biber, Peter; Müller, Jörg; Rötzer, Thomas; Pretzsch, Hans (2017): Effect of forest stand management on species composition, structural diversity, and productivity in the temperate zone of Europe. In: *Eur J Forest Res* 136 (4), S. 739–766. DOI: 10.1007/s10342-017-1056-1.

Dudenredaktion (o. J.): "mikro". Online verfügbar unter https://www.duden.de/rechtschreibung/mikro_, zuletzt geprüft am 29.05.2024.

Großmann, Josef; Pyttel, Patrick (2019a): Auswirkungen der Waldbewirtschaftung auf Baummikrohabitate. In: *AFZ-DerWald* 20, S. 17–21.

Großmann, Josef; Pyttel, Patrick (2019b): Mikrohabitate und Baumdimension als Grundlage der Habitatbaum-Auswahl im Bergmischwald. In: *0028-0615* 94 (12), S. 531–541. DOI: 10.17433/12.2019.50153759.531-541.

Großmann, Josef; Schoof, Nicolas; Pyttel, Patrick (2024): Potenziale und Wirkungen künstlich angelegter Baummikrohabitate. In: *Natur und Landschaft* 99 (5), S. 236–249.

Hein, Sebastian (2009): Wertholzproduktion mit Buche, Eiche, Esche und Ahorn. In: *AFZ-DerWald* 5, S. 240–2412.

IBM Deutschland GmbH (2024): SPSS Statistics 29.0.0. Omnibus-Test. Online verfügbar unter <https://www.ibm.com/docs/de/spss-statistics/29.0.0?topic=models-omnibus-test>, zuletzt aktualisiert am 26.05.2024, zuletzt geprüft am 26.05.2024.

- Johann, Franz; Schaich, Harald (2016): Land ownership affects diversity and abundance of tree microhabitats in deciduous temperate forests. In: *Forest Ecology and Management* 380, S. 70–81. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.08.037.
- Kösel, Ludwig (2024): Analyse der Baummikrohabitate im Naturwaldreservat Eichhall (Spessart, Bayern). Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.
- Kraus, Daniel; Schuck, Andreas (2016): Mikrohabitatstrukturen im Wald: Ein Schlüssel zur Erhaltung von gefährdeten Arten. In: *Anliegen Natur* 38 (1). Online verfügbar unter www.anl.bayern.de/publikationen.
- Larrieu, L.; Cabanettes, A.; Gonin, P.; Lachat, T.; Paillet, Y.; Winter, S. et al. (2014): Deadwood and tree microhabitat dynamics in unharvested temperate mountain mixed forests: A life-cycle approach to biodiversity monitoring. In: *Forest Ecology and Management* 334, S. 163–173. DOI: 10.1016/j.foreco.2014.09.007.
- Larrieu, Laurent; Cabanettes, Alain (2012): Species, live status, and diameter are important tree features for diversity and abundance of tree microhabitats in subnatural montane beech–fir forests. In: *Can. J. For. Res.* 42 (8), S. 1433–1445. DOI: 10.1139/x2012-077.
- Larrieu, Laurent; Paillet, Yoan; Winter, Susanne; Bütler, Rita; Kraus, Daniel; Krumm, Frank et al. (2018): Tree related microhabitats in temperate and Mediterranean European forests: A hierarchical typology for inventory standardization. In: *Ecological Indicators* 84, S. 194–207. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.08.051.
- LfU (2020): Spessart und Odenwald. Hg. v. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Online verfügbar unter https://www.lfu.bayern.de/boden/bodenreise/02_br/index.htm, zuletzt aktualisiert am 26.05.2024, zuletzt geprüft am 26.05.2024.
- Luick, Rainer; Hennenberg, Klaus; Leuschner, Christoph; Grossmann, Manfred; Jedicke, Eckhard; Schoof, Nicolas; Waldenspuhl, Thomas (2021): Urwälder, Natur- und Wirtschaftswälder im Kontext von Biodiversitäts- und Klimaschutz - Teil 1: Funktionen für die biologische Vielfalt und als Kohlenstoffsенke und -speicher. In: *Naturschutz und Landschaftsplanung (NuL)* 53 (12), S. 12–25. DOI: 10.1399/NuL.2021.12.01.

- LWF (2019): Praxishilfe: Klima – Boden – Baumartenwahl, Band 1. Unter Mitarbeit von Manuela Forster, Wolfgang Falk und Birgit Reger. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF). Online verfügbar unter https://lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/praxishilfe_baumarten_bf.pdf, zuletzt geprüft am 06.06.2024.
- Mamadashvili, Giorgi; Brin, Antoine; Bässler, Claus; Chumak, Vasyli; Chumak, Maksym; Deidus, Valeriia et al. (2023): Drivers of tree-related microhabitat profiles in European and Oriental beech forests. In: *Biological Conservation* 285, S. 110–245. DOI: 10.1016/j.biocon.2023.110245.
- Mölder, Andreas; Nagel, Ralf-Volker; Meyer, Peter; Schmidt, Markus; Rumpf, Hendrik; Spellmann, Hermann (2017): Historischer Rückblick auf die Verjüngung von Eichen im Spessart des 19. Jahrhunderts - Bedeutung der angewandten Verfahren für die heutige Eichenwirtschaft. In: *forstarchiv* 88, S. 67–78. Online verfügbar unter https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Waldbau/Sektionstagung_201609/MOELDER_et_al.pdf, zuletzt geprüft am 26.05.2024.
- Nehring, Stefan; Albrecht, Ute (2000): Biotop, Habitat, Mikrohabitat - Ein Diskussionsbeitrag zur Begriffsdefinition. In: *Lauterbornia* 38, S. 75–84.
- Nüßlein, Stefan (2013): Waldbewirtschaftung versus großflächige Stilllegung. In: *LWF Wissen* 72, Artikel 143, S. 139. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbesitz_forstpolitik/dateien/w72_waldbewirtschaftung_versus_grossflaechige_stilllegung_bf_gesch.pdf, zuletzt geprüft am 11.05.2024.
- Paillet, Yoan; Archaux, Frédéric; Boulanger, Vincent; Debaive, Nicolas; Fuhr, Marc; Gilg, Olivier et al. (2017): Snags and large trees drive higher tree microhabitat densities in strict forest reserves. In: *Forest Ecology and Management* 389, S. 176–186. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.12.014.
- Paillet, Yoan; Archaux, Frédéric; Du Puy, Solène; Bouget, Christophe; Boulanger, Vincent; Debaive, Nicolas et al. (2018): The indicator side of tree microhabitats: A multi-taxon approach based on bats, birds and saproxylic beetles. In: *Journal of Applied Ecology* 55 (5), S. 2147–2159. DOI: 10.1111/1365-2664.13181.

- Paillet, Yoan; Coutadeur, Pauline; Vuidot, Aurélie; Archaux, Frédéric; Gosselin, Frédéric (2015): Strong observer effect on tree microhabitats inventories: A case study in a French lowland forest. In: *Ecological Indicators* 49, S. 14–23. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.08.023.
- Paillet, Yoan; Debaive, Nicolas; Archaux, Frédéric; Cateau, Eugénie; Gilg, Olivier; Guilbert, Eric (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. In: *PloS one* 14 (5), e0216500. DOI: 10.1371/journal.pone.0216500.
- Regnery, Baptiste; Paillet, Yoan; Couvet, Denis; Kerbiriou, Christian (2013): Which factors influence the occurrence and density of tree microhabitats in Mediterranean oak forests? In: *Forest Ecology and Management* 295, S. 118–125. DOI: 10.1016/j.foreco.2013.01.009.
- Ruge, Stefan (2021): Botanik und Einführung in die Ökologie. Skript. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.
- Scheuber, Matthias (2024): Statistik II. Skript. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Rottenburg. Angewandte Datenverarbeitung in der Forstwirtschaft.
- Schmitz, Friedrich; Heino, Polley; Henning, Petrus; Krohner, Franz; Marks, Alexander; Riedel, Thomas et al. (2014): Der Wald in Deutschland. Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). Online verfügbar unter https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/bundeswaldinventur3.pdf?__blob=publicationFile&v=6, zuletzt geprüft am 11.05.2024.
- Schmitz, N; Iost, S; Jochem, D; Polley, H; Rüter, S; Weimar, H et al. (2022): Charta für Holz 2.0. Kennzahlenbericht 2021 Forst & Holz. Online verfügbar unter https://www.charta-fuer-holz.de/fileadmin/charta-fuer-holz/dateien/service/mediathek/Web_Kennzahlenbericht_2021.pdf, zuletzt geprüft am 11.05.2024.
- Schrödter, Frank (1994): GPS-Satelliten-Navigation. Technik, Systeme, Geräte, Funktionen und praktischer Einsatz. Poing: Franzis.

- Schwaiger, Ruth (2023): Analyse der Baummikrohabitate im Naturschutzgebiet Rohrberg/Spessart/Bayern. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg.
- Sever, Kristina; Nagel, Thomas A. (2019): Patterns of tree microhabitats across a gradient of managed to old-growth conditions. In: *Acta Silvae et Ligni* 118, S. 29–40. DOI: 10.20315/ASetL.118.3.
- Sommer, Robert S.; Schneider, Johannes; Ertzinger, Pascal (2024): Baummikrohabitate und Vogelfauna an Altbäumen im Hutewald "Ivenacker Eichen" (Mecklenburg-Vorpommern, Nordostdeutschland). In: *Waldökologie, Landschaftsforschung und Naturschutz*, S. 1–13. Online verfügbar unter https://www.afsv.de/images/download/literatur/waldoekologie-online/waldoekologie-online_heft-22-2.pdf, zuletzt geprüft am 07.06.2024.
- Universität Zürich (2023): Methodenberatung. Logistische Regressionsanalyse. Unter Mitarbeit von Wenja Käch, Muriel Keller, Carla De Simon, Simona Seidmann und Anneke Westphalen. Hg. v. Jürg Schwarz. Universität Zürich. Online verfügbar unter https://www.methodenberatung.uzh.ch/de/datenanalyse_spss/zusammenhaenge/lreg.html, zuletzt aktualisiert am 08.05.2024, zuletzt geprüft am 08.05.2024.
- Vuidot, Aurélie; Paillet, Yoan; Archaux, Frédéric; Gosselin, Frédéric (2011): Influence of tree characteristics and forest management on tree microhabitats. In: *Biological Conservation* 144 (1), S. 441–450. DOI: 10.1016/j.biocon.2010.09.030.
- Winter, Susanne (2008): Mikrohabitate und Phasenkartierung als Kern der Biodiversitätserfassung im Wald. In: *LWF Wissen* 61, S. 52–56.
- Winter, Susanne; Höfler, Josef; Michel, Alexa K.; Böck, Andreas; Ankerst, Donna P. (2014): Association of tree and plot characteristics with microhabitat formation in European beech and Douglas-fir forests. In: *Eur J Forest Res* 134 (2), S. 335–347. DOI: 10.1007/s10342-014-0855-x.
- Winter, Susanne; Möller, Georg Christian (2008): Microhabitats in lowland beech forests as monitoring tool for nature conservation. In: *Forest Ecology and Management* 255 (3-4), S. 1251–1261. DOI: 10.1016/j.foreco.2007.10.029.

WSL (Hg.) (2011): Naturnaher Waldbau und Förderung der biologischen Vielfalt im Wald. Unter Mitarbeit von Kurt Bollmann. Forum für Wissen. Birmensdorf. WSL Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft.

Zahner, Volker; Loy, Harald (2000): Baumbrütende Mauersegler *Apus apus* und Eichenwirtschaft im Spessart. In: *Ornithologischer Anzeiger* 39. Online verfügbar unter https://www.zobodat.at/pdf/Anzeiger-Ornith-Ges-Bayerns_39_2-3_0187-0196.pdf, zuletzt geprüft am 31.05.2024.

Zollner, Alois; Müller-Kroehling, Stefan; Kudernatsch, Thomas (2019): Wälder und ihre Biodiversität. Wie die Vielfalt unserer Wälder langfristig erhalten werden kann. In: *LWF aktuell* 3. Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/biodiversitaet/dateien/a122_waelder_und_ihre_biodiversitaet.pdf, zuletzt geprüft am 15.05.2024.

8 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Melina Miedtke, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Vorname, Name und Heimatort:

Melina Miedtke

Schadenweilerstraße 11, 72108 Rottenburg am Neckar

Ort, Datum:

Rottenburg, den 10.06.2024



Melina Miedtke

9 Anhang

Definitionen der 47 BMH-Typen

Tabelle (Anhang) 1: Definitionen der BMH (Schwaiger 2023; Bütler et al. 2020a).

BMH-Typ	Definition
Kleine Bruthöhle	Spechtbruthöhle mit rundem Eingang < 4 cm. Die Bruthöhlen des Kleinspechts sind im allgemeinen an einem toten Ast angelegt.
Mittelgroße Bruthöhle	Spechtbruthöhle mit rundem Eingang von 4-7 cm Durchmesser. Die Bruthöhlen von mittelgroßen Spechten [...] werden meistens im Faulholz angelegt (Löcher von abgebrochenen Ästen, Dürrständer).
Große Bruthöhle	Spechtbruthöhle mit ovalem Eingang > 10 cm. Die Bruthöhlen des Schwarzspechts werden meistens im astfreien Stammbereich angelegt.
Höhlenetage, Spechtflöte	Mindestens drei Spechtbruthöhlen in einer +/- vertikalen Linie entlang des Baumstamms mit maximal 2 m Abstand zwischen den Höhlen
Mulmhöhle mit Bodenkontakt	Diese Höhlen enthalten Mulm (Menge je nach Entwicklungsstufe). Der Höhlenboden hat Anschluss an den Mineralboden, wo er sich mit dem Mulm mischt. Daraus entsteht ein spezifisches Substrat. Der Höhleneingang kann dennoch ziemlich hoch auf dem Stamm liegen. Der Innenraum der Höhle ist vor äusseren klimatischen Einflüssen und Regen geschützt.
Mulmhöhle ohne Bodenkontakt	Diese Höhlen enthalten Mulm (Menge je nach Entwicklungsstufe). Der Höhlenboden hat keinen Anschluss an den Mineralboden. Der Innenraum der Höhle ist vor äusseren klimatischen Einflüssen und vor Regen geschützt.
Halboffene Mulmhöhle	Die Höhle ist nicht vollständig vor den äusseren klimatischen Einflüssen geschützt und es kann Regen eindringen. Es ist zu beachten, dass der Höhleneingang ziemlich hoch auf dem Stamm liegen kann.
Kaminartiger, hohler Stamm mit Bodenkontakt	Die Stammhöhle ist nach oben offen, oft als Folge eines Stammbruchs. Die Höhle reicht bis zum Mineralboden, mit dem sie in direktem Kontakt steht.
Kaminartiger, hohler Stamm ohne Bodenkontakt	Die Stammhöhle ist nach oben offen, oft als Folge eines Stammbruchs. Die Höhle reicht nicht bis zum Mineralboden.
Asthöhle	Röhrenartige Höhle, die an der Bruchstelle eines dicken Astes entsteht.
Insektengänge und Bohrlöcher	Ein Netz von Frassgängen holzfressender Insekten deutet auf ein Höhlensystem hin. Ein Insektengang ist ein komplexes System von Bohrlöchern und Kammern.
Dendrotelm oder wassergefüllte Baumhöhlung	Topfförmige Wölbung, die sich bei Niederschlag mit Wasser füllt und anschliessend wieder austrocknen kann. Die Seitenwände und der Boden können teilweise zersetzt oder noch mit intakter Rinde des Baumes ausgekleidet sein.
Frasslöcher von Spechten	Die Aushöhlung entsteht durch die Futtersuche von Spechten und ist meist konisch geformt. Die Öffnung ist größer als der Innenraum.
Rindenbedeckte Einbuchtung am Stamm	Vertiefung/Aushöhlung entlang der Stammachse, auch im Innenraum mit Rinde bewachsen.
Stammfusshöhle	Natürlicher Hohlraum am Wurzelansatz, der sich durch den Wuchs der Baumwurzeln gebildet hat. Keine Verletzung oder Faulhöhle, kein Mulm. Falls Mulm vorhanden, siehe „Mulmhöhle mit Bodenkontakt“.
Holz ohne Rinde	Verlust der Rinde, wodurch das Splintholz freigelegt wird. Gründe dafür können Fällschäden, Holzrückung, Windwurf, Steinschlag, Säugetiere, usw. sein.
Brandnarbe	Brandnarben am Stammfuss bilden zumeist eine dreieckige Form aus. Sie befinden sich auf der windabgewandten Seite. An der Brandnarbe ist neben verkohltem Holz auch oft Harzfluss am Splint oder an der Rinde sichtbar.

Rindentasche (unten offen)	Abgelöste Rindenteile, die vom Splintholz abstehen und ein Dach bilden (Öffnung auf der Unterseite).
Rindentasche (oben offen)	Abgelöste Rindenteile, die vom Splintholz abstehen und eine Tasche bilden (Öffnung an der Oberseite). Rindentaschen können Mulm/Humus enthalten.
Stammbruch	Freiliegendes Kernholz durch Stammbruch. Der Baum lebt noch. Der untere Teil des abgestorbenen Stammteils ist in Kontakt mit dem lebenden Holz und mit Safffluss.
Starkastbruch mit freiliegendem Kernholz	Freiliegendes Kernholz durch Starkastbruch oder Zwieselbruch. Die Verletzung ist umgeben von lebendem Holz und Safffluss.
Riss, Spalte	Lange spaltenförmige, den Holzkörper freiliegende Verletzung. Falls durch Blitzschlag verursacht, siehe „Blitzrinne“.
Blitzrinne	Spalten durch Blitzschlag verursacht. Meist spiralförmig und mit gespaltenem Holz.
Riss bei Zwiesel	Riss am Zwieselansatz. Bei abgebrochenem Zwiesel siehe „Starkastbruch mit freiliegendem Kernholz“.
Tote Äste	Tote Äste in der Krone, relativ schattig.
Abgestorbene Kronenspitze	Krone vollständig abgestorben. Totholz meist sonnenexponiert.
Abgebrochener Starkast	Abbruch eines Starkastes. Übriggebliebene Aststück zersplittert. Die Verletzung wirkt sich nicht auf den Stamm des Baumes aus (wenn doch, siehe „Starkastbruch mit freiliegendem Kernholz“).
Hexenbesen	Dichte Anhäufung von Zweigen am Ast eines Baumes.
Wasserreiser	Dichte Anhäufung von Reisern am Stamm
Maserknolle	Starke Gewebswucherung mit rauer, intakter Rindenoberfläche. Kein zersetztes Holz.
Krebs	Krebs im Zerfallsstadium mit Faulholz; Splintholz sichtbar. [...]
Mehrfährige Porlinge	Mehrfährige Pilzfruchtkörper. Holzartig oder zumindest hart mit ausgeprägten Jahrringen in der Röhrenschicht wenn älter als ein Jahr.
Einjährige Porlinge	Fruchtkörper von einjährigen Porlingen am Baumstamm, die einige Wochen sichtbar bleiben. Europäische Porlinge besitzen nur eine Röhrenschicht und weisen eine widerstandsfähige, elastisch-weiche Beschaffenheit auf (keine verholzten Teile).
Ständerpilze	Grosse, dicke und weiche bzw. fleischige mit Lamellen ausgestattete Fruchtkörper [...]. Fruchtkörper sind meist einige Wochen sichtbar.
Grosse Ascomyceten	Fruchtkörper von grossen widerstandsfähigen, halbrunden Schmarotzern, die Kohlestückchen ähneln.
Myxomyceten (Schleimpilze)	Amöbenartige, schleimige Lebewesen, die bewegliches Plasmodium ausbilden, welches im Frühstadium Gelatine ähnelt.
Moose oder Lebermoose	Von Moosen bzw. Lebermoosen bedeckter Baumstamm.
Blatt- oder Strauchflechten	Von Blatt- und Strauchflechten bedeckter Baumstamm.
Efeu oder Lianen	Von Lianen oder anderen Kletterpflanzen bedeckte Stammoberfläche. Beispiele: Efeu, Gewöhnliche Waldrebe.
Farne	Epiphytische Farne auf dem Stamm oder an Astansätzen.
Misteln	Epiphytische und hemiparasitische Pflanzenarten, die in Baumkronen vorkommen [...].
Nester von Wirbeltieren	Nester, die von Vögeln oder Nagetieren angelegt wurden.
Nester von Wirbellosen	Larvennester von Arthropoden, zum Beispiel des Kiefern-Prozessionsspinners, der Holzameise sowie wildlebender Bienen, die sich im Baumstamm einnisten.
Mikroboden (Rinde)	Mikrobodenbildung auf der Rinde des Stammes: entsteht durch die Ablagerung abgestorbener epiphytischer Moose, Flechten oder Alten und alter nekrotischer Rinde.
Mikroboden (Krone)	Mikrobodenbildung in der Baumkrone geschieht durch die Ablagerung abgestorbener, exogener Laubstreu aus den Kronen. Häufig von Wurzeln des Mutterbaums besiedelt. Hauptvorkommen: flache Kronenbereiche, Zwiesel, zusammengewachsene Bäume.

Aktiver Saftfluss	Baumsaft fließt aus.
Aktiver Harzfluss	Baumharz tritt aus.

Schwellenwerte, Entstehungsgeschwindigkeit und Häufigkeit der BMH

Häufigkeit im Naturwald: 1 = selten, 2 = ziemlich selten, 3 = ziemlich häufig, 4 = häufig

Entstehungsgeschwindigkeit: 1 = langsam, 2 = ziemlich langsam, 3 = ziemlich schnell, 4 = schnell

Tabelle (Anhang) 2: Schwellenwerte, Häufigkeit und Entstehungsgeschwindigkeit der BMH (Schwaiger 2023 nach Bütler et al. 2020a)

BMH-Typ	Schwellenwert	Häufigkeit im Naturwald	Entstehungsgeschwindigkeit
Kleine Bruthöhle	< 4 cm	1	3
Mittelgroße Bruthöhle	4-7 cm	2	3
Große Bruthöhle	> 10 cm, oval	2	3
Höhlenetage, Spechtlöcher	mind. 3 Höhlen > 3 cm auf einer Linie, Abstand < 2m	1	2
Mulmhöhle mit Bodenkontakt	> 10 cm	4	1
Mulmhöhle ohne Bodenkontakt	> 10 cm	4	1
Halboffene Mulmhöhle	> 30 cm	1	1
Kaminartiger, hohler Stamm mit Bodenkontakt	> 30 cm	1	1
Kaminartiger, hohler Stamm ohne Bodenkontakt	> 30 cm	2	1
Asthöhle	> 10 cm	1	2-4
Insektengänge und Bohrlöcher	> 2 cm oder Ansammlung > 300 cm ² (A5)	3	3
Dendrotelm oder wassergefüllte Baumhöhlung	> 15 cm	3	2
Frasslöcher von Spechten	Tiefe und Öffnung > 10 cm	3	3
Rindenbedeckte Einbuchtung am Stamm	Tiefe und Öffnung > 10 cm	1	2
Stammfußhöhle	Tiefe und Öffnung > 10 cm, Dachneigung < 45°	4	2
Holz ohne Rinde	> 300 cm ² (A5)	4	4
Brandnarbe	> 600 cm ² (A4)	2	1-4
Rindentasche (unten offen)	Abstand > 1 cm, Breite > 10 cm, Höhe > 10 cm	3	2

Rindentasche (oben offen)	Abstand > 1 cm, Breite > 10 cm, Höhe > 10 cm	4	2
Stammbruch	> 20 cm	3	4
Starkastbruch mit freiliegendem Kernholz	> 300 cm ² (A5)	4	4
Riss, Spalte	Länge > 30 cm, Breite > 1 cm, Tiefe > 10 cm	4	2
Blitzrinne	Länge > 30 cm, Breite > 1 cm, Tiefe > 10 cm	1	2
Riss bei Zwiesel	> 30 cm	2	2
Tote Äste	> 3 cm oder 10% der Krone tot	4	3
Abgestorbene Kronenspitze	> 10 cm an der Basis	3	3
Abgebrochener Starkast	> 20 cm an der Bruchstelle, Länge des verbleibenden Astes > 50 cm	3	3
Hexenbesen	> 50 cm	2	3
Wasserreiser	> 5 Zweige	2	2
Maserknolle	> 20 cm	3	2
Krebs	> 20 cm	2	2
Mehrfährige Porlinge	> 5 cm	4	2
Einjährige Porlinge	> 5 cm oder Gruppe von > 10 Fruchtkörpern	3	2
Ständerpilze	> 5 cm oder Gruppe von > 10 Fruchtkörpern	3	2
Grosse Ascomyceten	> 3 cm oder Gruppe > 100 cm ²	2	2
Myxomyceten (Schleimpilze)	> 5 cm	2	3
Moose oder Lebermoose	> 10% des Stammes bedeckt	4	3
Blatt- oder Strauchflechten	> 10% des Stammes bedeckt, Dicke > 1 cm	2	2
Efeu oder Lianen	> 10% des Stammes bedeckt, Dicke > 1 cm	3	3
Farne	> 10% des Stammes bedeckt	2	2
Misteln	> 20 cm oder > 10 Büschel	1-4	3
Nester von Wirbeltieren	> 10 cm	3	4
Nester von Wirbellosen	Präsenz	2	2
Mikroboden (Rinde)	Präsenz	1	2
Mikroboden (Krone)	Präsenz	2	2
Aktiver Saftfluss	> 10 cm	3	2
Aktiver Harzfluss	> 10 cm	4	3

Beispielbilder vorgefundener BMH im Weissen Stein und Eichling



Stammfußhöhle



Aktiver Safffluss



Dendrotelm



Mikroboden Rinde



Halboffene Mulmhöhle



Holz ohne Rinde

Ergänzende Tabellen zur binären logistischen Regressionsanalyse

Im Folgenden werden für jeden Sachverhalt zwei Tabellen aufgeführt. Die erste Tabelle enthält Werte, die das Regressionsmodell auf Signifikanz prüfen. Der Omnibus-Test vergleicht das aktuelle Modell mit dem Nullmodell. Ist der Wert $< 0,05$, so ist das Modell signifikant, was bedeutet, dass es besser geeignet ist als das Nullmodell, welches annimmt, dass der Zusammenhang der Grundgesamtheit auf Zufall beruht. Das Nagelkerke- R^2 gibt an, wie gut das Modell zu den Daten passt. Dieser Wert kann zwischen null und eins liegen, wobei ein höherer Wert auf eine bessere Passung des Modells hinweist. Nachdem das Modell mittels des Omnibus-Tests auf Signifikanz überprüft wurde, dient die Effektstärke nach Cohen zur Beschreibung der Bedeutsamkeit des Ereignisses. Das Odds Ratio gibt die Richtung und Stärke des Zusammenhangs an.

Die zweite Tabelle führt die Klassifizierungsergebnisse der Modelle auf. Diese Angaben beschreiben, wann das Modell die jeweilige abhängige Variable als auftretend („mit BMH“) oder nicht auftretend („ohne BMH“) angenommen hat. Zur

Beurteilung der Genauigkeit des Modells wird ein Prozentsatz angegeben, der angibt, wie oft das Modell die Ereignisse richtig klassifiziert hat.

Angaben zum Sachverhalt „mindestens ein BMH“

Tabelle (Anhang) 3: Angaben zur Überprüfung des Modells auf Signifikanz

"Mindestens ein BMH"	Sig. des Omnibus-Tests	R ² nach Nagelkerke	Effektstärke f nach Cohen	Odds Ratio
Baumartenunabhängig	< 0,001	0,472	0,945	1,119
Buche	< 0,001	0,181	0,470	1,081
Eiche	0,152			

Tabelle (Anhang) 4 Klassifizierungstabelle

"Mindestens ein BMH"	ohne BMH		mit BMH		richtig klassifiziert
	richtig	FALSCH	richtig	FALSCH	
Baumartenunabhängig	160	44	202	50	79,40%
Buche	179	8	22	57	75,60%
Eiche	0	17	173	0	91,10%

Angaben zum Sachverhalt „Vorkommen der BMH-Formen“ auf der Buche

Tabelle (Anhang) 5: Angaben zur Überprüfung des Modells auf Signifikanz

Formen	Sig. des Omnibus-Tests	R ² nach Nagelkerke	Effektstärke f nach Cohen	Odds Ratio
Höhlen	< 0,001	0,158	0,433	1,076
Stammverletzungen	< 0,001	0,108	0,348	1,063
Kronentotholz	< 0,001	0,281	0,625	1,115
Wucherungen	0,536			
Pilzfruchtkörper	0,113			
andere Strukturen	0,893			
Ausflüsse	0,587			

Tabelle (Anhang) 6

Klassifizierungstabelle

Formen	ohne BMH		mit BMH		richtig klassifiziert
	richtig	FALSCH	richtig	FALSCH	
Höhlen	218	48	0	0	82%
Stammverletzungen	234	32	0	0	88%
Kronentotholz	244	22	0	0	92%
Wucherungen	265	1	0	0	100%
Pilzfruchtkörper	265	1	0	0	100%
andere Strukturen	254	12	0	0	96%
Ausflüsse	264	2	0	0	99%

Angaben zum Sachverhalt „Vorkommen der BMH-Formen“ auf der Eiche

Tabelle (Anhang) 7:

Angaben zur Überprüfung des Modells auf Signifikanz

Formen	Sig. des Omnibus-Tests	R ² nach Nagelkerke	Effektstärke f nach Cohen	Odds Ratio
Höhlen	< 0,001	0,094	0,322	1,054
Stammverletzungen	0,315			
Kronentotholz	0,015	0,047	0,222	1,043
Wucherungen	0,948			
Pilzfruchtkörper	0,416			
andere Strukturen	0,182			
Ausflüsse	0,075			

Tabelle (Anhang) 8

Klassifizierungstabelle

Formen	ohne BMH		mit BMH		richtig klassifiziert
	richtig	FALSCH	richtig	FALSCH	
Höhlen	144	42	3	1	77,4%
Stammverletzungen	150	40	0	0	78,9%
Kronentotholz	0	0	149	41	78,4%
Wucherungen	149	41	0	0	78,4%
Pilzfruchtkörper	188	2	0	0	98,9%
andere Strukturen	182	8	0	0	95,8%
Ausflüsse	167	23	0	0	87,9%