

HOCHSCHULE WEIHENSTEPHAN-TRIEDSDORF

Fakultät Wald und Forstwirtschaft

Bachelorarbeit

**Einrichtung und Anwendung eines Marteloskops
im Universitätswald Sailershausen**

Verfasser: Schmidt, Moritz

Täufer, Markus

Betreuer: Prof. Dr. Erwin Hussendörfer

Ort, Abgabetermin: Freising, 15.05.2023

Erklärung bzgl. der
Zugänglichkeit von Diplom-/Bachelor-/Masterarbeiten

Verfasser/Verfasserin
Name, Vorname

Schmidt, Moritz
Täufer, Markus

Betreuer/Betreuerin
Name, Vorname

Hussendörfer, Erwin

Thema der Arbeit

Einrichtung und Anwendung eines Marteloscops
im Universitätswald Sailershausen

Ich bin damit einverstanden, dass die von mir angefertigte Arbeit mit o.g. Titel innerhalb des Bibliothekssystems der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf aufgestellt und damit einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Die Arbeit darf im Bibliothekskatalog der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf (und zugeordneten Verbundkatalogen) nachgewiesen werden und steht allen Nutzern der Bibliothek entsprechend den jeweils gültigen Nutzungsmodalitäten der Hochschulbibliothek der HSWT zur Verfügung. Ich bin mir auch darüber im Klaren, dass die Arbeit damit von Dritten ohne mein Wissen kopiert werden kann.

Die Veröffentlichung der Arbeit habe ich mit meinem Betreuer und falls zutreffend, mit der Firma/Institution abgesprochen, die eine Mitbetreuung übernommen hatte.

Ja

Ja, nach Abschluss des Prüfungsverfahrens am _____

Ja, nach Ablauf einer Sperrfrist von _____ Jahren

Nein

15.05.2023

Datum

Unterschrift



Moritz Schmidt



Markus Täufer

Als Betreuer bin ich mit der Aufnahme im Bibliothekssystem der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf einverstanden.

Ort

Datum

Unterschrift Betreuer

Danksagung

Vorab möchten wir uns ausdrücklich bei allen Personen bedanken, die an der Durchführung und am Gelingen dieser Arbeit beteiligt waren.

Unser Dank gilt insbesondere Herrn Prof. Dr. Hussendörfer, der diese Arbeit als betreuender Professor ermöglichte, uns zu einer freien Ausgestaltung der Arbeit ermutigte, dabei stets ausgesprochenes Interesse zeigte und korrigierend im Hintergrund wirkte.

Des Weiteren bedanken wir uns ausdrücklich beim Universitätsforstamt Sailershausen für die Bereitstellung der Fläche. Besonders möchten wir dem Betriebsleiter Hans Stark unseren Dank aussprechen, der die Arbeit vor Ort betreute und jederzeit für uns erreichbar war. Dank seines guten Rates und seiner Erfahrung konnte unsere Arbeit zügig und fachgerecht durchgeführt werden.

Genauso gilt unser Dank Andreas Schuck und Sergey Zudin vom European Forest Institute, ohne deren Zutun die Erstellung des Marteloskops nicht möglich gewesen wäre und die stets bereit waren, unsere Aufnahmefehler zu korrigieren.

Außerdem danken wir unserem Kommilitonen Phil, mit dessen großer Hilfe wir die Berechnungen in BDAT und R ausführen konnten.

Zu guter Letzt möchten wir uns bei den zahlreichen Probanden bedanken, die sich bereit erklärt haben, an den Auszeichenübungen teilzunehmen und dadurch der Arbeit wichtigen Input lieferten. Trotz des zeitweisen widrigen Wetters war die Motivation bei allen stets hoch. Insbesondere unseren Kommilitonen möchten wir danken, die weite Strecken auf sich nahmen, um uns bei unserer Arbeit zu unterstützen.

Freising, im Mai 2023

Gender-Disclaimer

Soweit möglich, wird in folgender Arbeit als Sexus der geschlechtsneutrale Plural verwendet. Sollte auf Grund der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet werden, bezieht dies ausdrücklich alle Geschlechtsidentitäten mit ein.

Gliederung der Eigenleistungen

Verfasser	Kapitel
Moritz Schmidt	1, 2.4, 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3, 2.5.4, 2.5.8, 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.5, 4.2, 4.5, 5 Abstract
Markus Täufer	2.1, 2.2, 2.3, 2.5.5, 2.5.6, 2.5.7, 3.1.5, 3.2, 3.3, 3.4, 4.1, 4.3, 4.4 5

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	III
Gender-Disclaimer	IV
Gliederung der Eigenleistungen	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VII
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Das Marteloskop	3
1.1.1 Definition und Entwicklung	3
1.1.2 Zweck und Funktionsweise	5
1.2 Universitätsforstamt Sailerhausen.....	6
1.2.1 Historische Entwicklung	6
1.2.2 Standort.....	7
1.2.3 Betriebsstruktur	8
1.3 Anlass der Arbeit.....	9
1.4 Zielsetzung	10
2 Methodik: Einrichtung und Anwendung des Marteloskops	11
2.1 Marteloskopfläche	11
2.1.1 Auswahl der Fläche	11
2.1.2 Bestandsbeschreibung	13
2.1.3 Bestandsgeschichte	15
2.1.4 Standort.....	16
2.2 Projektplanung.....	20
2.3 Aufnahmeverfahren und Einrichtung der Fläche	20
2.3.1 Aufnahmeparameter.....	21
2.3.2 Aufnahmeverfahren des European Forest Institutes.....	24
2.3.3 Angewandtes Aufnahmeverfahren	25
2.4 Aufbau und Ablauf der Eingriffssimulation	30
2.5 Datenauswertung	32
2.5.1 Berechnung der Stammfußkoordinaten	32

2.5.2 Berechnung der Grundfläche	33
2.5.3 Berechnung von Vorrat und Zuwachs	34
2.5.4 Berechnung der Baumartenanteile	36
2.5.5 Berechnung der ökonomischen Werte	36
2.5.6 Berechnung der Habitatwerte.....	40
2.5.7 Berechnung des Totholzvolumens	41
2.5.8 Analyse der Eingriffssimulationen.....	41
3 Ergebnisse	43
3.1 Ertragskundliche Werte	43
3.1.1 Stammzahl und BHD-Verteilung.....	43
3.1.2 Grundfläche	44
3.1.3 Vorrat und Zuwachs	45
3.1.4 Baumartenanteile.....	46
3.1.5 Baumhöhen	47
3.2 Stabilität, Vitalität und soziale Stellung	51
3.3 Ökonomischer Wert.....	54
3.3.1 Astfreie Schaftlänge	59
3.3.2 Qualität.....	60
3.4 Ökologischer Wert	62
3.4.1 Habitatwert	62
3.4.2 Totholz.....	71
3.5 Ergebnisse der Eingriffssimulationen	74
4 Diskussion	76
4.1 Bewertung des Aufnahmeverfahrens.....	76
4.2 Bewertung der erhobenen naturalen Daten	77
4.3 Bewertung der ökonomischen Werte	79
4.4 Bewertung der ökologischen Werte.....	80
4.5 Bewertung der Eingriffssimulation	83
5 Schlussbemerkung und Ausblick.....	85
Literaturverzeichnis.....	87
Anhang.....	92
Eidesstattliche Erklärung	99
Abstract	101

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der Stammfußkarte des Marteloskops "Jägerhäuschen" in der App I+Trainer. Foto: EFl.	5
Abbildung 2: Lagekarte des Universitätswaldes Sailershausen in Unterfranken (hellgrün markierte Flächen). Foto: geoportal.bayern.de	7
Abbildung 3: Geradschaftige Exemplare von <i>Sorbus torminalis</i> (links) und <i>Acer campestre</i> (rechts) im Universitätsforstamt Sailershausen. Fotos: Moritz Schmidt.	8
Abbildung 4: Lage des Marteloskops in der topographischen Karte (Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat, 2023).	12
Abbildung 5: Foto des Bestands von der mittleren Rückegasse aus Richtung Osten. Foto: Markus Täufer.	15
Abbildung 6: Lage des Marteloskops in der Standortskarte aus dem Jahr 2006 (Universitätsforstamt Sailershausen, 2006). Standortseinheit 452: mäßig frischer Tonlehm und Kalkverwitterungslehm mit Kalk im Unterboden. Standortseinheit 352: mäßig frischer Schichtfeinlehm über Kalkverwitterungslehm.	18
Abbildung 7: Reliefkarte der Marteloskopfläche (Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat, 2023).	19
Abbildung 8: Skizze einer Marteloskopfläche.	21
Abbildung 9: Skizze der Marteloskopfläche in der Karte (Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat, 2023).	26
Abbildung 10: Foto einer Baumnummer an einer Eiche. Foto: Markus Täufer.	27
Abbildung 11: Foto durch das Visier des Vertex' bei der Höhenmessung. Foto: Moritz Schmidt.	28
Abbildung 12: Hilfsskizze zur Berechnung der Stammfußkoordinaten.	33
Abbildung 13: Schematische Darstellung der relevanten Größen bei der Volumenberechnung einzelner Stammabschnitte (eigene Darstellung).....	39
Abbildung 14: Stammzahlverteilung des Marteloskops.	43
Abbildung 15: BHD-Verteilung des Marteloskops.	44
Abbildung 16: Grundflächenverteilung der Baumarten in m^2/ha	44
Abbildung 17: Vorratsverteilung der Baumarten in Erntefestmeter/ha.....	45
Abbildung 18: Baumartenspezifischer Zuwachs in Erntefestmeter/ha*Jahr.	45
Abbildung 19: Flächenbezogene Baumartenanteile des Marteloskops Sailershausen II.....	46
Abbildung 20: Verteilung der Baumhöhen nach BHD und Baumart.....	48
Abbildung 21: Anzahl der Bäume nach Höhenstufen und Baumart.	49
Abbildung 22: Stammfußkarte nach Baumhöhen. Die Größe und die Farbe des Kreises symbolisieren die Höhenstufe des Einzelbaums (eigene Darstellung).	50
Abbildung 23: Boxplot der Kronenprozente (oben) und h/d -Werte (unten) der Bäume im obersten Drittel der Oberhöhe nach Baumarten.....	52
Abbildung 24: Anzahl der Bäume nach der Kraft'schen Klasse und Baumart.	54
Abbildung 25: Boxplot der ökonomischen Einzelbaumwerte nach Baumart.....	55
Abbildung 26: Ökonomischer Einzelbaumwert nach BHD.	56
Abbildung 27: Foto des ökonomisch wertvollsten Baums. Foto: Markus Täufer.....	57
Abbildung 28: Stammfußkarte nach ökonomischem Wert. Die Größe des Kreises symbolisiert den ökonomischen Wert, die Farbe die Baumart des Einzelbaums (eigene Darstellung).	58
Abbildung 29: Boxplot der primärgrünastfreien Schaftlänge nach Baumart.	59

Abbildung 30: Vorrat (oben) und ökonomischer Wert (unten) nach Baumart und Qualität (A/B/C/D = Stammholz, IH = Industrieholz, BH = Brennholz), inkl. stehendes Totholz.	61
Abbildung 31: Anzahl der Mikrohabitate (oben) und Habitatwert (unten) nach Mikrohabitatgruppen und Mikrohabitattypen.	64
Abbildung 32: Anzahl der Mikrohabitate (oben) und Habitatwert (unten) nach Baumart und Mikrohabitatkategorie.	65
Abbildung 33: Habitatwert (oben) und Anzahl der Mikrohabitate (unten) des Einzelbaums nach BHD, getrennt nach Nadelholz und Laubholz.	66
Abbildung 34: Habitatwert an lebenden und toten Bäumen nach Baumart.	67
Abbildung 35: Foto des ökologisch wertvollsten Baums. Foto: Markus Täufer.	68
Abbildung 36: Stammfußkarte nach ökologischem Wert. Die Größe des Kreises symbolisiert den ökologischen Wert, die Farbe die Baumart des Einzelbaums (eigene Darstellung).	70
Abbildung 37: Fotos von Mikrohabitaten. Links oben: Kleine Mulmhöhle mit Bodenkontakt (CV21) an einer Buche. Rechts oben: Freiliegendes Splintholz (IN11) an einem Feld-Ahorn. Links unten: Stammspalte (GR13) an einem Feld-Ahorn. Rechts unten: Moosbewuchs (EP31) an einem Feld-Ahorn. Fotos: Markus Täufer. ..	71
Abbildung 38: Anteile der Totholztypen am gesamten Totholzvolumen.	72
Abbildung 39: Totholzvolumen nach Quadrant und Totholztyp.	73
Abbildung 40: Fotos von Totholz. Links: Stock mit Ameisennest. Rechts: Liegendes Totholz mit Pilzbewuchs. Fotos: Links: Markus Täufer. Rechts: Moritz Schmidt.	73
Abbildung 41: Stehendes Totholzvolumen nach Quadrant und Baumart.	74

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Verwendete Ertragstafeln für die Bonitierung.</i>	<i>35</i>
<i>Tabelle 2: Alter und durchschnittliche Höhen der vorkommenden Baumarten für die Bonitierung.</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 3: Übersicht über die Baumhöhen nach Baumart.</i>	<i>47</i>
<i>Tabelle 4: Übersicht über Vorrat und ökonomische Werte nach Baumarten, inkl. stehendes Totholz.</i>	<i>55</i>
<i>Tabelle 5: Übersicht über die zehn ökonomisch wertvollsten Bäume.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabelle 6: Übersicht über Anzahl der Mikrohabitate und Habitatwerte nach Baumarten.</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 7: Übersicht über die Anzahl der Bäume und Habitatwerte nach Baumart, getrennt nach dem Zustand (lebend – tot).....</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle 8: Übersicht über die zehn ökologisch wertvollsten Bäume.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle 9: Totholzvolumen und Anzahl der Totholzobjekte nach Quadrant und Totholztyp.</i>	<i>72</i>
<i>Tabelle 10: Ergebnisse der Auszeichnungen auf der gesamten Marteloskopfläche.....</i>	<i>75</i>

Abkürzungsverzeichnis

BH	Brennholz
Bi	Hänge-Birke
Bu	Rot-Buche
BHD _{1,3} /d _{1,3}	Brusthöhendurchmesser/Diameter Breast Height
CBH	Crown Base Height
EFI	European Forest Institute
Efm D. o. R.	Erntefestmeter Derbholz ohne Rinde
Ei	Trauben-Eiche
Els	Elsbeere
FAh	Feld-Ahorn
Fi	Europäische Fichte
FSC	Forest Stewardship Council
G/BA	Grundfläche/Basal Area
H/h	Baumhöhe/tree height
Hbu	Hainbuche
IH	Industrieholz
Kie	Wald-Kiefer
Kir	Vogel-Kirsche
Lä	Europäische Lärche
Li	Winter-Linde
m. R.	mit Rinde
o. R.	ohne Rinde
RVR	Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland
SH	Stammholz
SpAh	Spitz-Ahorn
ü. NN	über Normalnull
V/V	Vorrat/Volume
Vfm D. m. R.	Vorratsfestmeter Derbholz mit Rinde

1 Einleitung

Die sehr wechselhafte Kulturgeschichte des deutschen Waldes erhielt in den letzten Jahren ein neues Kapitel, dessen beherrschendes Thema der Zustand des Waldes im Klimawandel ist. Es entfachte eine alte Diskussion aufs Neue, in deren Mitte die Frage nach der primären Funktion des Waldes und dessen Bewirtschaftung steht. In dieser Diskussion werden oftmals die ökonomische Nutzung des Waldes und die ökologischen Dienstleistungen des Waldes als Konterparts dargestellt.

Von der Mitte des 18. Jahrhunderts an durchlief die deutsche Forstwirtschaft einen Wandel von einem multifunktionalen Mischwald hin zu einem „Kunstwald“ mit hohem Nadelholzanteil. Begründung fand dies in der intensiven Waldnutzung zur damaligen Zeit. Unter Einwirkung von Waldweide, Kahlschlag, Streunutzung und anderen Nutzungsformen im Wald entwickelte sich eine Holznot in Europa. Aufgrund der enormen Wuchsleistung der Nadelbaumarten Fichte, Kiefer und Lärche - gerade auf devastierten Waldflächen - wurde Nadelholz in der Folge massiv gegenüber Laubholz begünstigt. Der ökonomischen Leistung der künstlich geschaffenen Nadelholz-Hochwälder stand eine starke Vernachlässigung der Waldökologie und des Waldartenschutzes gegenüber (Mantel, 1990, S. 474). Seit Mitte des 19. Jahrhunderts gab es von Seiten der forstlichen Praxis und den Vertretern der Waldreinertragslehre immer wieder Bestrebungen, die Nadelholzwälder in einen naturgemäßeren Zustand zu überführen. Diese Bestrebungen konnten sich jedoch lange Zeit nicht gegen die von Vertretern der forstlichen Lehre propagierte Bodenreinertragslehre durchsetzen (Mantel, 1990, S. 412 ff). Seit den 1920er Jahren näherte man sich an und schloss Kompromisse, die Wirtschaftlichkeit und Waldschutz berücksichtigten. Im Hintergrund der klimatischen Veränderungen erwachte die Diskussion um die Art der Waldbehandlung erneut. Bereits zu Beginn der 1980er Jahre begann auf großer Fläche ein geregelter Waldumbau (M. G. Müller, 2022). Rückläufige Jahresniederschläge, steigende Jahresmitteltemperaturen, Trocken- und Hitzeperioden sowie weitere Extremwetterereignisse fügten den Wäldern besonders in den letzten Jahren erhebliche Schäden zu. Nachfolgende Insektenkalamitäten führten zu enormen Schadholzmengen und setzten die Forstwirtschaft unbekanntem Situationen aus. Von Seiten der Politik wird eine Intensivierung des Waldumbaus von Nadelholzreinbeständen in Mischwälder gefordert (Treutlein, 2014). Die Baumartenwahl soll zunehmend nicht nur auf Basis der Produktivität, sondern unter Einbezug des Anbaurisikos getroffen werden (Kölling et al., 2015). Ziel ist es,

die Wälder resilienter gegenüber abiotischen und biotischen Kalamitäten zu machen. Als Resilienz wird in diesem Zusammenhang die Fähigkeit eines Ökosystems erachtet, nach einer Störung wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückzukehren und dabei typische Strukturen, Ökosystemfunktionen und Bioprozesse zu erhalten (Thompson et al., 2009). Das Potential von Wäldern, klimatische Änderungen abzufangen, hängt stark von der Bestandesstabilität ab. Diese wiederum wird stark durch die Baumartenvielfalt und die Bestandesstruktur beeinflusst (Brang et al., 2014). Kraus und Krumm (2013) stellen fest, dass „Baumartenvielfalt auf eine Vielzahl ökologischer Prozesse hauptsächlich positive Auswirkungen hat [...]“, so soll auch die gesamte Biodiversität des Waldes profitieren. Verschiedene Studien haben wiederum bewiesen, dass eine hohe Biodiversität in Ökosystemen die Resilienz gegenüber abiotischen und biotischen Kalamitäten erhöht (Elmqvist et al., 2003; Thompson et al., 2009). Eine naturnahe Waldwirtschaft soll die Resilienz im Klimawandel ebenso erhöhen (Spathelf et al., 2015).

Es ist also deutlich zu erkennen, dass die Anpassung der Wälder an den Klimawandel eine Erhöhung der Diversität in allen Belangen erfordert – das heißt aus Sicht der Genetik, der Artenausstattung und der Habitatausstattung (Krumm et al., 2020). Das Forstpersonal, welches mit der Anpassung der Wälder an den Klimawandel betraut ist, steht vor einer Herausforderung. Zwar sind bereits viele Wege skizziert, die Etablierung klimaangepasster Waldbestände zu erreichen: eine auf strikten Prinzipien basierende naturnahe Waldwirtschaft (Brang et al., 2014), das global ausgelegte Konzept der „retention forestry“ (Gustafsson et al., 2012) oder das für Bayern ausgelegte 4-Baum-Konzept der Bayerischen Staatsforsten (*Waldbauhandbuch Bayerische Staatsforsten. Baumartenwahl*, 2020). Unberücksichtigt skizzierter Konzepte ist grundlegend die Notwendigkeit gegeben, den Umgang mit arten- und strukturreichen Wäldern zu erlernen. Im bisherigen forstlichen Berufsbild sind arten- und strukturreiche Waldbestände nicht immer das normale Arbeitsfeld. Auf Bayern bezogen besitzen vor allem die Wälder der fränkischen Platte durch die historische Mittelwaldbewirtschaftung ein breites Baumartenspektrum und viele Strukturelemente. Marteloskope in dieser Region haben das Potenzial, als waldbauliche Trainingsflächen für einen klimaangepassten Umgang mit Wäldern zu fungieren.

1.1 Das Marteloskop

1.1.1 Definition und Entwicklung

Als Marteloskop wird im Allgemeinen eine i. d. R. 100 m x 100 m große waldbauliche Trainingsfläche bezeichnet, auf der Trainierende Entnahmebäume auswählen können und mittels speziell entwickelter Software unmittelbares Feedback zu den Auszeichnungsentscheidungen erhalten können. Schuck et. al. (2020) definieren den Begriff Marteloskop wie folgt:

„Marteloscope dienen als waldbauliche Übungsflächen und sind in der Regel 1 ha groß. Es werden alle Bäume ab einem Brusthöhendurchmesser von 7,5 cm erfasst, aufgemessen und mit fortlaufenden Nummern versehen. Jedem Baum wird zusätzlich ein ökonomischer Wert und ein Habitatwert zugeteilt. Mithilfe einer Auswertungs- und Simulationssoftware können unmittelbar nach einer Auszeichnungsübung die Ergebnisse eines Eingriffs vor Ort abgerufen werden. Beispielsweise kann man die Entwicklung des Habitatwertes dem erzielbaren Erlös gegenüberstellen. Waldbauliche Entscheidungen werden so transparent dargestellt. Dadurch können unterschiedliche Ansätze beim Auszeichnen und deren ökonomische und ökologische Auswirkungen direkt nach einer Übung gemeinsam diskutiert werden.“

Die Herkunft des Begriffs „Marteloskop“ wird in der allgemeinen Fachliteratur als eine Kombination des französischen Wortes „martelage“ (dt.: „Hämmern“, sinngemäß: „Auszeichnen“) und des griechischen Wortes „skopein“ (dt.: „schauen“) vermutet (Pyttel et al., 2018).

Die Forschungsgrundlage und das grundlegende Konzept von Waldbau-Trainingsflächen, aus der sich Marteloscope entwickelten, existieren schon länger. In der italienischen Provinz Lombardei richtete die Regionalagentur für Dienstleistungen in der Land- und Forstwirtschaft (ERSAF) bereits vor dem Jahr 2000 drei Trainingsflächen im Sinne des Marteloskop-Prinzips ein. An der Universität Göttingen wurden bereits Anfang der 1990er Jahre unter Leitung von Prof. Klaus von Gadow Untersuchungen zum Auszeichnenverhalten von Förstern und Maschinenführern durchgeführt und in diesem Zusammenhang auch Auszeichnenflächen eingerichtet (Soucy et al., 2016). Die Ergebnisse genannter Untersuchungen führten dazu, dass das Prinzip von Waldbau-Trainingsflächen auch in anderen Ländern Anklang fand. In dieser Zeit erhielten die Trainingsflächen Bezeichnungen

wie „permanent plots“, „training plots“, „tree marking training plots“, „martelodromes“, bis hin zu Varianten des Begriffs „Marteloskop“ („martelloscope“, „martélescope“, „M-scopes“) (Soucy et al., 2016). Pommerening et al. (2015) schreiben die Begriffsherkunft einer Forschungsgruppe des AgroParisTech-Instituts unter der Leitung von Max Bruciamacchie mit Sitz bei Nancy zu. Die Forschungsgruppe bot ab dem Ende der 1990er Jahre waldbauliche Fortbildungen für Studierende und Berufstätige der Forstbranche an und nannte die Trainingsflächen, auf denen Baumentnahmen simuliert wurden, „Marteloskope“.

Nachdem das Potential des Marteloskop-Konzepts von Seiten der Wissenschaft zunehmend stärker wahrgenommen wurde, sind in vielen Ländern Europas und seit den 2010er Jahren auch in Nordamerika Marteloskopflächen für Trainingszwecke eingerichtet worden, bis zum Jahr 2015 in der Summe über 100 Stück (Pommerening et al., 2015). Oft geschah dies im Rahmen von Forschungsprojekten. Das European Forest Institute (EFI) startete im Jahr 2013 das Forschungsprojekt *Integrate+*, welches u. a. vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert wurde. Das Projekt baute auf dem von 2011 bis 2013 laufenden Projekt *Integrate* auf. *Integrate* hatte das Ziel, die Integration von Biodiversitätskonzepten in der Forstwirtschaft zu erforschen und zu fördern (European Forest Institute, 2020). Ein Ziel von *Integrate+* war die Einrichtung eines europaweiten Netzes von Marteloskopen mit besonderem Fokus auf Baummikrohabitate. Im Jahr 2016 wurde das Projekt abgeschlossen, nachdem insgesamt 42 Marteloskope, verteilt von Mittelschweden bis in die mittellitalienische Region Abruzzen, eingerichtet wurden. Weitere Ergebnisse des *Integrate+* Projekts waren außerdem die Erstellung eines Katalogs für die Klassifizierung von Mikrohabitaten, die Entwicklung des Marteloskop-Softwarepakets I+ für Management- und Trainingszwecke und der Kurzfilm *Wise use of our forests: the integrative approach* (Kraus et al., 2018). Von 2017 bis 2020 folgte das Projekt *Informar*, welches die Vernetzung der Forstexperten in Europa und die Bewahrung der Erkenntnisse aus den vorhergehenden Projekten sicherstellen sollte (European Forest Institute, 2020). Zum heutigen Tag liegt eine umfangreiche Informationslage zu Einrichtung und Anwendung von Marteloskopen vor, die vom European Forest Institute kontinuierlich auf den neuesten Forschungsstand gehalten wird.

1.1.2 Zweck und Funktionsweise

Grundsätzlich dient ein Marteloskop dem Zweck, verschiedene waldbauliche Behandlungskonzepte in Beispielbeständen auszutesten. Dabei sollen Trainierende wichtige Merkmale an Bäumen erkennen, wie z. B. Mikrohabitate, Vitalitäts- oder Qualitätsmerkmale. Bei Anwendung der EFI- Software I+ auf Tablet-Geräten kann der Bestand mittels einer Stammfußkarte dargestellt werden. Dabei wird aus dem Blickwinkel der Vogelperspektive die Position jedes einzelnen Baumes durch einen Punkt maßstabs- und positionsgetreu in einer Karte dargestellt (vgl. Abbildung 1). Bei der Einrichtung einer Marteloskopfläche erfolgt eine Vollinventur des Bestandes nach waldwachstumskundlichen, ökonomischen und ökologischen Parametern. Auf Grundlage dieser erhobenen und berechneten Daten kann in der Folge bei Auszeichen-Trainings jedem Baum eine Funktion wie z. B. Wertträger, Erntebaum, Samenbaum oder Habitatbaum zugeteilt werden. Daraus ergeben sich anwendbare waldbauliche Behandlungskonzepte wie Durchforstung, Waldverjüngung, Waldumbau oder Habitatbaumauswahl. Je nach Zielgruppe kann die Aufgabenstellung angepasst werden.



Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung der Stammfußkarte des Marteloskops "Jägerhäuschen" in der App *I+Trainer*. Foto: EFI.

In den letzten Jahren ist auch das Interesse der Wissenschaft an Marteloskopen stark gestiegen (O'Brien et al., 2022). Vermehrt wird zu den Auswirkungen von individuellem

Auszeichenverhalten verschiedener Personengruppen und verschiedener waldbaulicher Behandlungsmethoden auf den Wald geforscht (Pommerening et al., 2015).

Das European Forest Institute befasste sich im Rahmen des oben erläuterten Projekts *Integrate+* umfassend mit dem Marteloskop-Konzept, entwarf Anleitungen zur selbständigen Einrichtung und Anwendung von Marteloskopen und entwickelte das Softwarepaket *I+*, das u. a. der Visualisierung geplanter Eingriffe dient. EFI empfiehlt als Ablauf eines Trainings zunächst das eigenständige, virtuelle Auszeichnen der Teilnehmer im Bestand mittels der Software *I+ Trainer*. Es empfiehlt sich, die Teilnehmer anhand einer Aufgabenstellung auszeichnen zu lassen. Nach dem Ende des Auszeichendurchlaufs können die Ergebnisse der Trainierenden evaluiert und miteinander verglichen werden, um über „Konfliktbäume“ diskutieren zu können (Schuck, Kraus, et al., 2015). Studien zeigen, dass oft große Uneinigkeit über die Auswahl von Entnahmebäumen herrscht, und dies sowohl zwischen verschiedenen Personengruppen als auch innerhalb der Gruppe (Spinelli et al., 2016). Außerdem verfehlten Trainingsgruppen oft vorgegebene Aufgabenstellungen trotz fester Überzeugung, im Sinne der Aufgabenstellung ausgezeichnet zu haben (Pommerening et al., 2015; Soucy et al., 2016). Marteloskope unterstützen daher, ein Bewusstsein für waldbauliche Entscheidungen zu schaffen.

1.2 Universitätsforstamt Sailershausen

Das Universitätsforstamt Sailershausen bewirtschaftet den Waldbesitz der Julius-Maximilians-Universität Würzburg, der gut arrondiert um das ca. 5 km nördlich von Haßfurt gelegene Dorf Sailershausen in Unterfranken liegt.

1.2.1 Historische Entwicklung

Mit der Wiedergründung der Julius-Maximilians-Universität Würzburg im Jahr 1582 vermachte der Gründer Fürstbischof Julius Echter von Mespelbrunn der Universität rund 2600 ha Wald- und Landflächen in Form eines Stiftungsbesitzes. Die Flächen stammten aus ehemaligem Klosterbesitz und waren über ganz Unterfranken verteilt. Bereits damals bildete der Klosterbesitz von Kreuzthal und Mariaburghausen, heute zwei Dörfer nahe befindlich zu Sailershausen, den Hauptteil der Fläche. Im Zuge des Freiwilligen Landtausches im Jahr 1821 wurde eine Besitzaufteilung in Richtung der heutigen Ausformung geschaffen. Der angrenzende Klosterwald Theres mit ca. 1000 ha Fläche wurde Teil des Stiftungsbesitzes, im

Gegenzug gingen die im restlichen Unterfranken verteilten Splitterbesitzflächen in den Besitz des Königreichs Bayern über. Somit lagen die Waldflächen der Stiftung nun gut arrondiert um die Siedlung Sailershausen (Julius-Maximilians-Universität Würzburg, 2018).

Heute bewirtschaftet das Universitätsforstamt Sailershausen 2350,5 ha Fläche im Eigenbesitz, aufgeteilt auf die zwei Reviere Buch und Mariaburghausen.

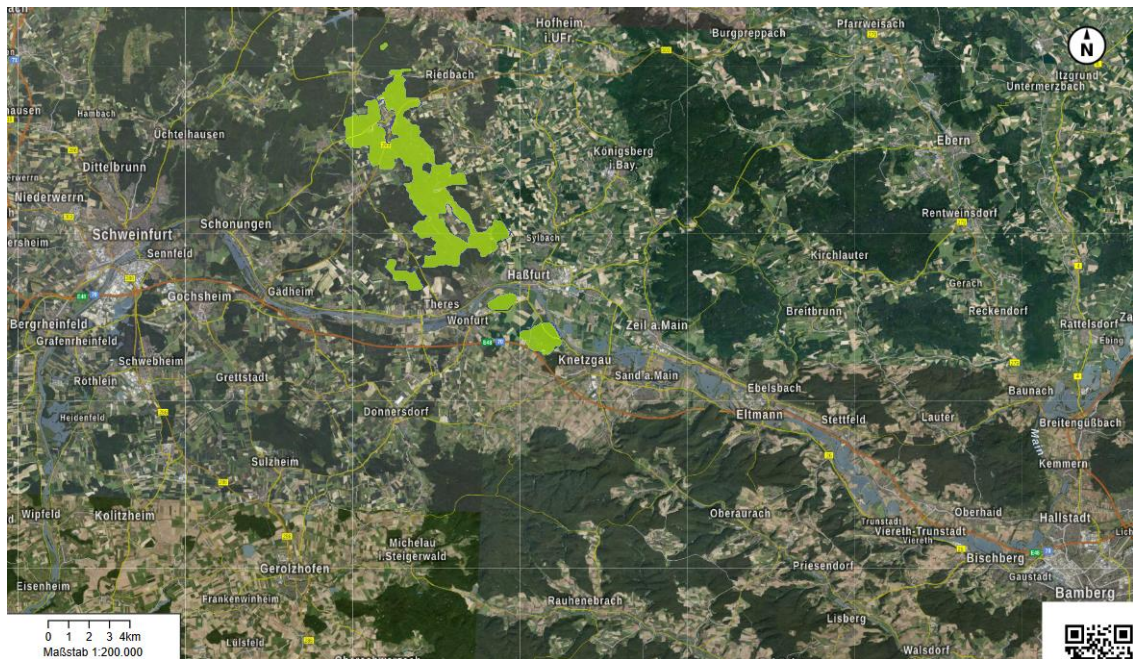


Abbildung 2: Lagekarte des Universitätswaldes Sailershausen in Unterfranken (hellgrün markierte Flächen). Foto: geoportal.bayern.de

1.2.2 Standort

Der Universitätswald Sailershausen befindet sich auf ganzer Fläche im bayerischen Wuchsgebiet 4 *Fränkische Platte* (Walentowski, et al. 2004). Die natürlichen Waldgesellschaften des Universitätswaldes sind auf 95 % der Fläche Buchenwälder der Typen *Galio fagetum* und *Hordylemo fagetum*, auf Böden mit hohem Tonanteil Eichen-Hainbuchenwälder der Typen *Galio carpinetum* und *Stellario carpinetum* (Referendarsjahrgang 15/17, 2016).

Die Ausgangsgesteine der Bodenbildung stammen vornehmlich aus den geologischen Schichten des Oberen Muschelkalks und des Unteren Keupers, kleinstandörtlich existieren Lößlehmaufwehungen. Die geologische Ausgangslage hat ein Vorherrschen von mittelmäßig wasserversorgten, teils zur Wechselfeuchte neigenden, gut nährstoffversorgten Standorten

zur Folge, die zu 77 % aus Fein-, Schicht- und Kalkverwitterungslehmen aufgebaut sind (Referendarsjahrgang 15/17, 2016).

Die Höhenlagen im Universitätswald reichen von 100 m ü. NN am Lauf des Mains im Süden bis auf 420 m ü. NN im Norden bei den Haßbergen. Der südliche Teil des Waldes ist der kollinen Höhenstufe zugehörig, der nördliche Teil des Waldes liegt bereits in der submontanen Höhenstufe. An der ca. 15 km Luftlinie entfernten und auf 400 m ü. NN gelegenen Wetterstation Köslau des Landesamtes für Umwelt wurde über die alle aktuell zurückliegenden Trockenjahre einschließende Klimaperiode 1993 bis 2022 ein durchschnittlicher Niederschlag von 708 mm pro Jahr und durchschnittliche Jahresmitteltemperatur von 9,0 ° C gemessen. In der Klimaperiode von 1961 bis 1990 lag der durchschnittliche Jahresniederschlag bei 716 mm und die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur bei 8,4 ° C (Landesamt für Landwirtschaft, 2023). Eine andere Quelle nennt für den Standort Sailershausen einen Jahresniederschlag von 687 mm und eine Jahresdurchschnittstemperatur von 8,4 ° C in der Klimaperiode von 1961 bis 1990 (Kunz et. al., 2016). Der Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur infolge des Klimawandels ist deutlich zu erkennen.

1.2.3 Betriebsstruktur

Die Bewirtschaftung des Universitätswaldes wird von einem Betriebsleiter, einer Bürofachkraft, zwei Revierförstern und fünf Forstwirten übernommen. Zur letzten Inventur



Abbildung 3: Geradschaftige Exemplare von *Sorbus torminalis* (links) und *Acer campestre* (rechts) im Universitätsforstamt Sailershausen. Fotos: Moritz Schmidt.

im Jahr 2014 betrug der Vorrat 576.000 Efm auf gesamter Holzbodenfläche und somit durchschnittlich 274 Efm/ha. Dem Zuwachs von 9,0 Efm/ha steht ein Hiebsatz von 6,2 Efm/ha gegenüber. Die hierbei deutlich erkennbare waldbauliche Zielsetzung ist Vorratsanreicherung, da viele Bestände des Universitätswaldes einst als Mittelwald bewirtschaftet wurden und erst in den 1960er Jahren in Hochwald überführt wurden. Eine Besonderheit im Universitätsforstamt ist die große Baumartenvielfalt mit einem Edellaubholzanteil von 18,4 %, insbesondere das Elsbeerenvorkommen mit einzelnen Exemplaren über 70 cm BHD ist hervorzuheben. Die Universität Würzburg betreibt im Universitätswald Forschungsarbeit in verschiedenen Fachbereichen, u. a. zu Fernerkundung und Biodiversität. Seit 2006 ist das Universitätsforstamt Sailershausen FSC-zertifiziert.

1.3 Anlass der Arbeit

Der Universitätswald Sailershausen liegt auf der Fränkischen Platte in einer der wärmsten Regionen Deutschlands und stellt aus Sicht des Waldes einen Schauplatz des Klimawandels dar. Bereits im frühen 20. Jahrhundert beschrieb der Forsteinrichter und Referent am Bayerischen Finanzministerium Karl Rebel die Region westlich der Haßberge eindrücklich als „Bayerns schlimmste Trockeninsel“ (1922). Gleichzeitig ist der Universitätswald Sailershausen mit einem umfangreichen Repertoire an Baumarten ausgestattet, denen eine positive Prognose im Hinblick auf Klimaveränderungen ausgestellt wird. Somit eignet sich der Universitätswald Sailershausen, den Umgang mit möglichen zukünftigen Baumartenzusammensetzungen zu erlernen.

Im Universitätswald erfolgte im Jahr 2021 die Einrichtung einer ersten Marteloskopfläche „Sailershausen“ durch Mitarbeiter des European Forest Institute. Auf der einen Hektar großen und 235 Bäume umfassenden Fläche nehmen Trauben-Eiche und Rot-Buche ca. 93 % des Anteils ein. Sommer-Linde, Elsbeere, Kiefer und weitere Baumarten bilden den Rest. Der Bestand, in dem die Marteloskopfläche „Sailershausen“ gelegen ist, hat ein Alter von weit über 100 Jahren und befindet sich stellenweise bereits in Verjüngung. Da im Universitätsforstamt durch die Überführung von Mittelwäldern in Hochwälder auch jüngere Bestände mit einer noch höheren Anzahl an Baumarten und ausgeglicheneren Baumartenanteilen existieren, wurden schon 2021 andere Bestände als potenzielle Marteloskopflächen in Betracht gezogen. Diese Überlegungen bilden den Anlass der vorliegenden Bachelorarbeit, eine Marteloskopfläche in einem Waldbestand einzurichten,

der eine vielfältige und ausgewogene Baumartenausstattung vorweist, wie sie in den Wäldern der Zukunft idealerweise vorkommen wird.

1.4 Zielsetzung

Ziel der Arbeit ist die Einrichtung einer 1 Hektar großen Marteloskopfläche in einem Bestand, der geeignet ist, waldbauliches Handeln im Hintergrund der Herausforderungen des Klimawandels trainieren zu können. Die Einrichtung soll auf Grundlage der von EFI ausgegebenen Anleitungen *Guidelines for establishing I+ Marteloscopes* (Derks et al., 2020) und *Katalog der Baummikrohabitate* (Kraus, Bütler, Krumm, et al., 2016) erfolgen. Weiterhin soll eine wachstumskundliche, ökonomische und ökologische Analyse der Marteloskopfläche erfolgen.

Zuletzt soll eine Eingriffssimulation mit drei verschiedenen Personengruppen auf der Marteloskopfläche unter Verwendung der Software *I+ Trainer* erfolgen. Insgesamt sollen 13 Probanden mit Vertretern der Gruppen Waldbesitzende aus dem Bereich Haßberge, Forstfachpersonal und Forststudierende an der Eingriffssimulation teilnehmen und mit der Vorgabe eines langfristigen Produktionsziels auf der Fläche auszeichnen. Das Auszeichenverhalten der Probanden soll hinsichtlich ihrer Herangehensweise sowie ihrer strukturellen, ökonomischen und ökologischen Auswirkungen auf den Bestand dargestellt und verglichen werden. Außerdem soll die Funktionalität des Marteloscops als waldbauliches Trainingstool beurteilt werden.

Der längerfristig andauernde Zweck der Arbeit ist die Schaffung einer anwendungstauglichen waldbaulichen Übungsfläche. Diese soll Interessierte für Möglichkeiten waldbaulicher Eingriffe sensibilisieren, die der Entwicklung von resilienten Waldbeständen zuträglich sind.

2 Methodik: Einrichtung und Anwendung des Marteloscops

2.1 Marteloskopfläche

2.1.1 Auswahl der Fläche

Das European Forest Institute (EFI) nennt einige Kriterien, die bei der Auswahl einer geeigneten Fläche für ein Marteloskop helfen können: Der Bestand soll repräsentativ für die vor Ort üblichen Wald- bzw. Bestandstypen sein und eine gewisse Dringlichkeit und Attraktivität für waldbauliche Maßnahmen aufweisen. Außerdem ist es das Ziel des Projekts *Integrate+*, eine möglichst große Bandbreite an Waldtypen mit Marteloscopen abzudecken. Zudem sollte die ausgewählte Fläche leicht erreichbar und deren Verkehrssicherheit gegeben sein. Zur Erleichterung der Einrichtung des Marteloscops ist eine ebene Fläche von Vorteil. Damit die Einrichtung des Marteloscops gerechtfertigt und rentabel ist, sollte eine Nutzungsdauer von mindestens 5 Jahren gewährleistet sein. Dazu müssen die Besitzverhältnisse der betreffenden Fläche und die Erwartungen und Ziele des Waldbesitzers klar definiert sein (Schuck, Krumm, et al., 2015).

Die Einrichtung des Marteloscops im Universitätswald war im Interesse des Universitätsforstamts Sailershausen. Somit ist eine Kontinuität der Nutzung und des Unterhalts des Marteloscops sichergestellt. Bei einem Waldbegang am 13.02.2023 mit dem Betriebsleiter Hans Stark wurde die Fläche in der Abteilung Seelein ausgewählt. Der Bestand weist eine hohe Stammzahl und Baumartenvielfalt mit älteren Nadelhölzern und jüngeren Laubhölzern – darunter auch seltene Baumarten – auf (Näheres dazu unter 2.1.2). Gerade in Zeiten des Klimawandels und des angestrebten Waldumbaus von nadelholzdominierten Wäldern hin zu Laub- und Mischwäldern werden solche Waldbilder in Zukunft vermutlich vermehrt auftreten. Dies macht die Einrichtung eines Marteloscops auf dieser Fläche interessant.

Die Fläche liegt direkt neben einer Forststraße und ist somit leicht erreichbar. Gefahren, die die Verkehrssicherheit beeinträchtigen könnten, sind nicht erkennbar. Zur Erleichterung der Orientierung wurde beschlossen, dass eine Seite der Marteloskopfläche parallel zur Forststraße verlaufen soll und der nördliche Eckpunkt direkt neben der Rückegasse liegen soll. Die Fläche soll jedoch nicht direkt an die Forststraße angrenzen, damit Randeffekte

ausgeschlossen werden können. Außerdem ist die Fläche auf allen Seiten von gleichhohen Beständen umgeben. Somit besteht für den Bestand des Marteloskops keine erhöhte Gefahr vor Schäden durch Sturm, Frost oder Sonneneinwirkung.

Die Marteloskopfläche liegt etwa 2 km nördlich von Sailershausen in der Abteilung 14. Seelein im Distrikt VI. „Heeg“ (Koordinaten des Marteloskopmittelpunkts: 50° 04′ 30″ N, 10° 26′ 24″ E). In dem Waldstück befinden sich mehrere Windkraftanlagen, die nächstgelegene steht etwa 300 m östlich vom Marteloskop. Für den Bau und Unterhalt dieser wurden die dafür relevanten Forststraßen über das übliche Maß von 3 bis 4 m Breite ausgebaut. Im betroffenen Waldstück werden zudem Versuche der Julius-Maximilians-Universität Würzburg zur Erhöhung der Multidiversität und Multifunktionalität in Wirtschaftswäldern durchgeführt (J. Müller, o. J.). Auch auf der Marteloskopfläche befindet sich eine solche Versuchsfläche. Im südlichen Bereich ist hierzu eine Fläche von etwa 30 m² eingezäunt, was jedoch kein Hindernis für die Einrichtung und Anwendung des Marteloskops darstellt.

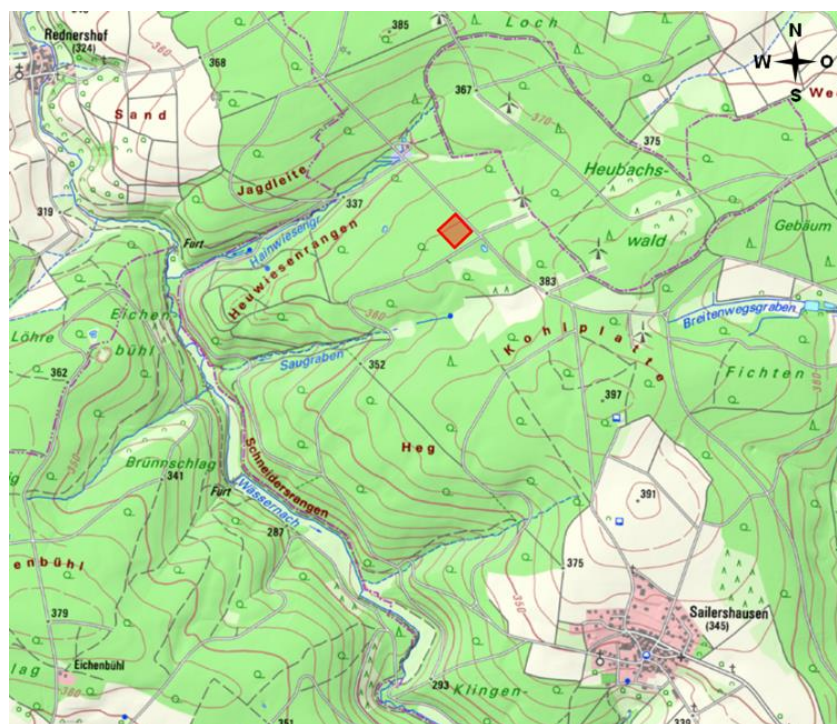


Abbildung 4: Lage des Marteloskops in der topographischen Karte (Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat, 2023).

Bei der Forsteinrichtung aus dem Jahr 2015 wurde die Fläche, auf der sich das Marteloskop befindet, als 43-jähriger Kiefern-Fichten-Eichen-Bestand in der Altdurchforstung kartiert (Universitätsforstamt Sailershausen, 2015a). Die Marteloskopfläche ist Teil des Bestandes 7 der Abteilung 14 (vgl. Anhang 1).

2.1.2 Bestandsbeschreibung

Der Marteloskopbestand weist eine hohe Baumartenvielfalt bestehend aus zwölf verschiedenen Arten auf. Vorkommende Arten, allesamt heimisch, sind die Europäische Lärche (*Larix decidua*), die Europäische Fichte (*Picea abies*), die Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), die Rot-Buche (*Fagus sylvatica*), die Hainbuche (*Carpinus betulus*), die Trauben-Eiche (*Quercus petraea*), der Feld-Ahorn (*Acer campestre*), die Winter-Linde (*Tilia cordata*), die Vogel-Kirsche (*Prunus avium*), die Hänge-Birke (*Betula pendula*), die Elsbeere (*Sorbus torminalis*) und mit einem Individuum auch der Spitz-Ahorn (*Acer platanoides*). Die relativen flächenbezogenen Anteile sind in etwa wie folgt: 15 Bu 15 LÄ 15 Hbu 15 Fi 10 Ei 10 Kie 10 FAh 10 (Li, Kir, Bi, Els, SpAh). Die herrschenden Bäume befinden sich überwiegend in der geringen bis mittleren Baumholzphase. Bei dem Marteloskopbestand handelt es sich also um einen gemischten Nadelholz-Buchen-Eichen-Bestand mit Hainbuche und Edellaubholz.

Der Bestand ist sowohl horizontal als auch vertikal heterogen strukturiert. Die räumliche Verteilung der Fichten beschränkt sich überwiegend auf den westlichen Bereich. Hier ist im Bereich zwischen den Rückegassen eine Gruppentextur zu erkennen. Aber auch in der östlichen Hälfte ist eine Gruppe von Fichten zu finden. Der westliche Bereich ist neben den Fichten auch von Feld-Ahornen und Kiefern geprägt, während im östlichen Bereich die Buche, Eiche und Lärche dominiert. Im nördlichen Eck sind Eichen in einer Gruppengröße konzentriert. Hainbuchen sind über die gesamte Fläche recht gleichmäßig verstreut. Der südliche Bereich ist geprägt von Laubbäumen. Bei der vertikalen Struktur wird die Zweischichtigkeit des Bestands deutlich: In der oberen Schicht ist jede Baumart vertreten, die Nadelbäume dominieren. Die Kronen sind licht geschlossen bis geschlossen, in den Fichten-Bereichen auch gedrängt. Die zweite Schicht, die Mittelschicht, besteht hauptsächlich aus unter- und zwischenständigen Hainbuchen und Buchen, aber auch aus einzelnen Feld-Ahornen, Linden, Eichen und Elsbeeren.

Das Bestandesalter liegt zwischen 40 und 60 Jahren, im Durchschnitt bei etwa 50 Jahren. Das Laubholz ist etwas jünger, das Nadelholz älter. Darüber hinaus sind einzelne ältere Eichen und Elsbeeren aus der Vorbestockung vorhanden. Die Bestandesmittelhöhe beträgt rund 19 m und die Oberhöhe liegt bei 27 m. Die BHD-Spreitung reicht von 7 cm bis 55 cm, im Mittel beträgt der BHD etwa 18 cm. Insgesamt stocken auf der 1 ha großen Fläche 1058 Bäume mit einem BHD von mindestens 7 cm, davon sind 30 abgestorben. Die Grundfläche der 1028

lebenden Bäume beträgt rund 33 m² und der Vorrat 286 Efm o. R. bzw. 359 Vfm m. R. Der Zuwachs für den Bestand wird auf etwa 11 Efm/ha*Jahr geschätzt.

Die Stammqualität der Nadelbäume und der Buchen ist durchschnittlich. Bei den Eichen und Hainbuchen sind viele Exemplare mit langen astfreien und wipfelschäftigen Stämmen zu finden. Auch für einige Feld-Ahorne, Linden, Birken und Elsbeeren ist die Werterwartung hoch. Einzelne Individuen der Kirschen sind geastet, wodurch diese ebenfalls eine überdurchschnittliche Qualität aufweisen. Die Einzelbaumstabilität der Fichten und Lärchen ist durchschnittlich. Die Stabilität einiger Kiefern ist aufgrund niedriger relativen Kronenlängen und hohen h/d-Werten als labil zu bewerten. Die Laubbäume haben gut ausgeprägte Kronen und weisen eine hohe Stabilität auf. Nur die Eichen weisen überwiegend Kronenprozente um die 40 % auf, was noch ausreichend ist, jedoch bei Ausbleiben einer Durchforstung in naher Zukunft problematisch werden könnte. Gerade die Eiche neigt bei zu geringer Assimilationsfläche in der Krone zur Wasserreiserbildung am Stamm, was auch an einzelnen Individuen im Bestand erkennbar ist und wodurch die Qualität des Stamms gemindert wird. Bei den Fichten besteht generell die Gefahr vor einem Befall mit Borkenkäfern. Einzelne befallene und bereits abgestorbene Bäume im östlichen Eck zeigen die Folgen. Auch die Gefahr vor einem Befall mit dem Lärchenborkenkäfer ist nicht zu vernachlässigen. Die Vitalität der langen, kurz bekronen Kiefern ist als schlecht einzustufen. Die übrigen Baumarten weisen eine hohe Vitalität auf. Die Bestandesstabilität und -vitalität sind aufgrund der Baumartenvielfalt und der heterogenen Bestandsstruktur insgesamt als hoch zu bewerten.

Die letzten Durchforstungseingriffe im betreffenden Waldstück wurden 2015 und 2018 durchgeführt. Dabei fielen auf 7,0 ha rund 350 fm Holz an. Hier wurden den Bäumen mit hoher Werterwartung oder seltenen Baumarten Bedränger entnommen. An einigen Bäumen, vor allem an Kiefern und Lärchen sind Fällschäden am Stamm und Rückeschäden am Stammfuß und Wurzelanlauf erkennbar. Je eine Fichte und eine Lärche weisen Kronenbrüche auf.

Die naturschutzfachliche Bedeutung des Bestands ist aufgrund des noch jungen Alters nicht sonderlich hoch. Dennoch sind einige wertvolle Habitatstrukturen, wie Mulmhöhlen, Vogelnester oder Dendrotelme, zu finden. Auch das Totholzvolumen, zusammengesetzt aus stehendem und liegendem Totholz und Stockholz, ist gering.

Der Bestand ist ausreichend erschlossen. Durch die Marteloskopfläche verlaufen ausgehend von der Forststraße von Nordosten nach Südwesten drei Rückegassen mit einer Breite von etwa 4 m und im Abstand von durchschnittlich etwa 30 m zueinander. So wäre eine Durchforstung mit allen gängigen Holzernteverfahren bei trockener Witterung möglich.



Abbildung 5: Foto des Bestands von der mittleren Rückegasse aus Richtung Osten. Foto: Markus Täufer.

2.1.3 Bestandsgeschichte

Der heutige Bestand der Marteloskopfläche ist aus Teilbereichen zweier separat kartierter Bestände entstanden (vgl. Anhang 2) (Universitätsforstamt Sailershausen, 2023a). Nach Angaben des Revierbuchs des Jahres 1969 wurden im nördlichen Bestand im Zeitraum von 1957 bis 1968 Kiefer, Fichte, Hainbuche, Buche, Lärche, Linde, Douglasie und Ahorn gepflanzt. Der südliche Teil, ein ehemaliger Mittelwald, wurde im Jahr 1969 getrennt nach Ober- und Unterschicht betrachtet. Die Oberschicht bestand aus im Mittel 158-jährigen Buchen und Eichen mit einzelnen Lärchen. Die 97-jährige Unterschicht war geprägt von Buchen, Hainbuchen, Birken, Eichen und Linden mit mehreren Elsbeeren und Schwarz-Erlen und einzelnen Lärchen, Feld-Ahornen, Aspen, Kirschen, Spitz- und Berg-Ahornen. Das

Bestockungsziel für den südlichen Bestand war Kiefer mit Laubholz. Die Verjüngung sollte an den nördlichen Bestand anschließen und fortgeführt werden. Bis 1987 wurden immer wieder Holzernten sowie Saaten und Pflanzungen, vor allem von Kiefer, Fichte und Lärche, durchgeführt und Naturverjüngungen eingeleitet (Universitätsforstamt Sailershausen, 1969). 1990 wurde der nördliche Bestand als 26-jähriger Buchen-Kiefern-Fichten-Hainbuchen-Eichen-Bestand beschrieben (Universitätsforstamt Sailershausen, 1990). Der südliche, damals 15-jährige Bestand war von Kiefern, Buchen, Eichen, Hainbuchen und sonstigen Laubbäumen dominiert. Im Jahr 2004 wurden einzelne Kirschen geastet. Ab der Forsteinrichtung von 2007 wurden beide Teilflächen im Marteloskop als Teil eines Bestandes betrachtet. Aus einem Buchen-Kiefern-Fichten-Bestand im Jahr 2007 wurde ein 43-jähriger Kiefern-Fichten-Eichen-Bestand im Jahr 2015 (Universitätsforstamt Sailershausen, 2007, 2015b). Die jüngsten dokumentierten Durchforstungen im betroffenen Waldstück fanden in den Jahren 2015 und 2018 statt, bei der auf 7,0 ha rund 350 fm entnommen wurden. Bemerkenswert ist die hohe Baumartenvielfalt, die über den gesamten Zeitraum der vergangenen 50 Jahre bestand und sowohl durch Pflanzungen und Saaten, aber vor allem auch durch Naturverjüngung hervorging.

2.1.4 Standort

Höhenlage und Klima

Das Marteloskop liegt auf einer Höhe von etwa 370 m ü. NN (Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat, 2023) und ist somit der submontanen Höhenstufe zuzuordnen. Die Region weist eine subozeanische Klimatönung auf (Walentowski et al., 2020). Folgende Daten entstammen der Wetterstation Köslau und sind Durchschnittswerte der Periode 1993-2022 (Landesamt für Landwirtschaft, 2023):

- Jahresdurchschnittstemperatur: 9,0 °C
- Jahresniederschlagssumme: 709 mm
- Jährliche Frosttage: 83
- Jährliche Vegetationstage: 242
- Durchschnittstemperatur von April bis Oktober: 13,9 °C
- Niederschlagssumme von April bis Oktober: 439 mm

Dabei sind Frosttage Tage, an denen die Tiefsttemperatur unter 0 °C liegt. Vegetationstage sind Tage mit einer Durchschnittstemperatur von mindestens 5 °C. Temperaturen werden 2 m über dem Boden gemessen, Niederschläge 1 m über dem Boden (Landesamt für Landwirtschaft, 2023). Die Vegetationszeit umfasst nach der Definition des Deutschen Wetterdienstes (DWD) den Zeitraum zwischen der Blüte der Forsythie und dem Laubfall der Stiel-Eiche, was ungefähr dem Zeitraum von Anfang April bis Ende Oktober entspricht (Deutscher Wetterdienst, 2023). Die gegebenen Werte sind allerdings nicht eins zu eins auf die Marteloskopfläche übertragbar, da im Wald vor allem die Extreme abgemildert werden. So fallen die Durchschnittstemperaturen und die Anzahl der Frost- und Vegetationstage tendenziell etwas geringer aus. Auch die Niederschlagssumme, die in 1 m Höhe im Bestand messbar ist, ist vor allem aufgrund des Interzeptionsverlustes durch die Baumkronen geringer. Dennoch sind einige Trends, die in den vergangenen 30 Jahren erkennbar sind, auch auf die Marteloskopfläche übertragbar: Während die Jahresdurchschnittstemperatur und die Anzahl der Vegetationstage zunehmen, werden die Jahresniederschlagssumme und die Anzahl der Frosttage geringer (vgl. Anhang 3). Sowohl innerhalb als auch außerhalb der Vegetationsperiode steigt die Durchschnittstemperatur. Die Niederschlagssumme hingegen steigt außerhalb der Vegetationsperiode etwas an, innerhalb der Vegetationsperiode nimmt sie aber merklich ab.

Geologie und Boden

Die Marteloskopfläche liegt in der geologischen Raumeinheit Nördliche Fränkische Platte und besteht aus Schichten des Unteren Keupers, untergelagert sind Schichten des Oberen Muschelkalks. Der Untere Keuper ist geprägt von einem Wechsel grauer oder grüner Tonsteine mit Sandsteinlagen (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2023).

Durch vier über die Fläche verteilte Bodenproben wurden mit Hilfe des Pürckhauer-Bohrstocks die Humusform, die Bodenart und der Bodentyp mit den entsprechenden Horizonten festgestellt. Die dominierende Humusform ist der F-Mull. Vor allem an den Stellen, die mit Laubbäumen mit leicht zersetzbarer Streu bestockt sind, wie beispielsweise Hainbuche, Feld-Ahorn oder Linde, ist dieser ausgeprägt. In den nadelholzdominierten Bereichen ist der mullartige Moder vorherrschend. Tonlehme vor allem im nördlichen Bereich und Schichtfeinlehme bilden die dominierende Bodenart. Die Bodentypen sind Braunerde bis Braunerde-Pararendzina. Durch die höheren Tonanteile im Unterboden und

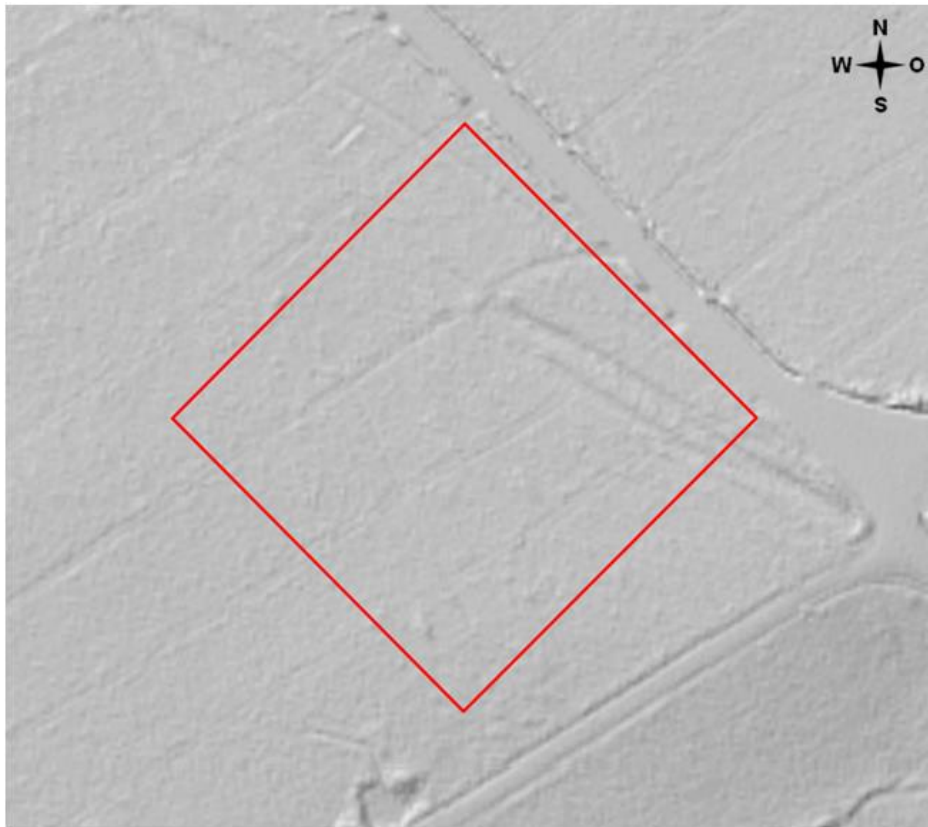


Abbildung 7: Reliefkarte der Marteloskopfläche (Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat, 2023).

Natürliche Waldgesellschaft

Die Marteloskopfläche liegt im Wuchsgebiet 4 Fränkische Platte, Wuchsbezirk 4.1 Nördliche Fränkische Platte. Buchenwälder, seltener Eichen-Hainbuchenwälder bilden hier die natürliche Waldzusammensetzung. Die natürliche Waldgesellschaft ist der Waldmeister-Buchenwald in der kollin-submontanen Form. Das flächig vorkommende Buschwindröschen ist typisch für diese Waldgesellschaft. Neben der dominanten Buche ist vor allem die Trauben-Eiche beteiligt. Weitere Begleitbaumarten sind Weiß-Tanne, Berg-Ahorn, Esche und Hainbuche und zahlreiche sonstige Baumarten. Aufgrund der guten Wuchsleistungen auf den Standorten dieser Waldgesellschaft sind diese Flächen heute nutzungsbedingt überwiegend mit Nadelbäumen bestockt (Walentowski et al., 2020).

Schutzgebiete

Die Fläche befindet sich am östlichen Rand des Flora-Fauna-Habitat-Gebiets *Wässernachtal*. Hierbei handelt es sich um ein naturnahes Fließgewässer mit den angrenzenden Offenlandwiesen und den strukturreichen Laubwäldern, insbesondere Buchen- und Eichenwälder, mit beigemischtem Nadelholz. In den Waldteilen bestehen hauptsächlich die

Gefahren vor einer Entmischung zugunsten der Buche mit dem einhergehenden Verlust des Lebensraumtyps 9170 Labkraut-Eichen-Hainbuchenwald und vor einer Ausbreitung des Eichenprachtkäfers. Hier soll die Forstwirtschaft entgegenwirken (Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Schweinfurt, 2018).

Zudem liegt das Marteloskop, ebenfalls am östlichen Rand, im Landschaftsschutzgebiet *Wässernachtal im Landkreis Haßfurt – Teil II*. Laut Landschaftsschutzgebietsverordnung dürfen Handlungen, die die Natur schädigen, den Naturgenuss beeinträchtigen oder das Landschaftsbild verunstalten, nicht durchgeführt werden. Von der Erlaubnispflicht für spezielle Tätigkeiten, wie beispielsweise das Errichten von Kulturzäunen, sind unter anderem Forstwirtschaft und Jagd ausgenommen (Landratsamt Haßberge, 1987).

2.2 Projektplanung

Nach Kontaktaufnahme mit dem European Forest Institute (EFI) wurden die notwendigen Dokumente zur Einrichtung eines Marteloskops bereitgestellt. Darunter befanden sich eine *Microsoft Excel*-Datei, in der die zu erhebenden Daten eingetragen werden und an das EFI übermittelt werden, die empfohlene Aufnahmeanleitung und der Katalog der Baummikrohabitate.

Im ersten Schritt wird das Marteloskop eingerichtet. Dazu werden die einzelbaumspezifischen Daten erhoben, mit welchen weitere Größen berechnet werden. Anschließend werden diese Daten zur Digitalisierung an das EFI übermittelt. Nach Bereitstellung der digitalisierten Daten in der App *I+ Trainer* durch das EFI wird im zweiten Schritt die Funktionalität des Marteloskops überprüft. Hierzu werden Probeauszeichnungen mit Probanden verschiedener Gruppen durchgeführt und anschließend die individuellen Vorgehensweisen der Probanden unter Zuhilfenahme der durch die Software der App ausgewerteten Daten diskutiert.

2.3 Aufnahmeverfahren und Einrichtung der Fläche

Nach der Auswahl und dem anschließenden Einmessen der 1 ha großen, quadratischen Marteloskopfläche wird diese aus Gründen der Übersichtlichkeit und zur Erleichterung der Datenerhebung in vier Quadranten (Q) eingeteilt (vgl. Abbildung 8). Zur Lokalisierung des Marteloskops werden die Koordinaten eines markanten Punkts, beispielsweise der

Mittelpunkt, und die Abweichung des Winkels zur Nord-Süd-Achse (α) ermittelt. Anschließend werden für jeden Baum verschiedene Parameter aufgenommen, damit auf dieser Datengrundlage das Marteloskop erstellt und angewendet werden kann (Derks et al., 2020).

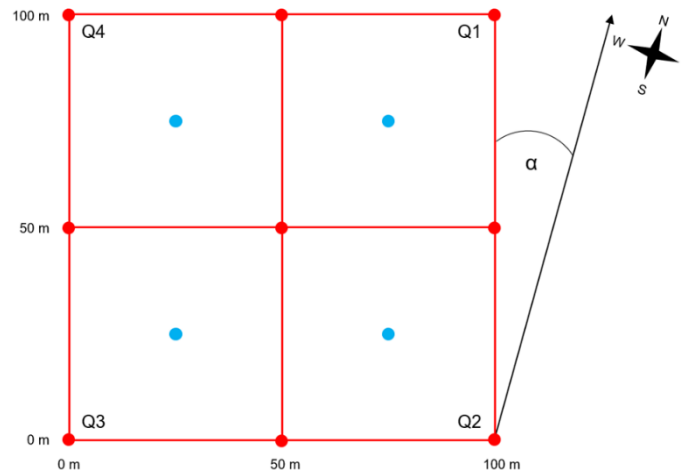


Abbildung 8: Skizze einer Marteloskopfläche.

2.3.1 Aufnahmeparameter

Für das Grundgerüst eines Marteloskops ist die Aufnahme von folgenden Parametern obligatorisch: Baumnummer, Baumart, Zustand, Brusthöhendurchmesser, Baumhöhe, Höhe des Kronenansatzes und Position des Baums. Optionale, aber vom EFI sehr empfohlene Parameter sind insbesondere die qualitative Einteilung des Holzes in verkaufsfähige Sortimente und die Art und Anzahl der Baummikrohabitate. Darüber hinaus können weitere Parameter erhoben werden, die beispielsweise für die Erwartungen und Ziele des Waldbesitzers relevant sind (Schuck, Krumm, et al., 2015). Die erfassten Parameter wurden zum Zweck der vereinfachten Weiterverarbeitung durch europäische Mitarbeiter des EFI mit in Klammer stehender, englischer Bezeichnung versehen. Die Baumarten werden mit ihrem wissenschaftlichen Namen bezeichnet.

Die quadrantenspezifische **Baumnummer** (*tree number marked on tree/tree-ID*) sorgt für eine eindeutige Identifizierung des Baums, da jede Nummer nur einmal auf der Fläche vergeben wird.

Die **Baumart** (*tree species/TrSpec*) ist neben den allgemeinen biologischen und waldwachstumskundlichen Eigenschaften auch für baumartenspezifische Faktoren wichtig, beispielsweise zur Berechnung des Vorrats oder bei den Rindenabzugswerten.

Der **Zustand** (*status*) gibt an, ob der Baum lebt (Wert 1) oder tot ist (Wert 0). Tote Bäume spielen bei der waldbaulichen Behandlung zwar keine direkte Rolle, sind aber für die ökologische Bewertung der Fläche von großer Bedeutung.

Der **Brusthöhdurchmesser** (BHD, *diameter at breast height/d_{1,3}*) ist in der Forstwirtschaft eine gängige Größe am stehenden Baum. „Brusthöhe“ bedeutet dabei eine Höhe von 1,30 m. Der BHD ist unter anderem eine Eingangsgröße zur Berechnung der Grundfläche und des Vorrats eines Baums. Der BHD ist auch die entscheidende Größe, ob ein Baum aufgenommen wird oder nicht: Wenn der BHD eines Baums größer oder gleich der festgelegten Mindestgröße ist, wird dieser aufgenommen. Der festgelegte Mindest-BHD wird auch als Kluppschwelle bezeichnet. In der forstwirtschaftlichen Praxis werden Durchmesserwerte von Stämmen in der Regel immer nach unten auf ganze Zentimeter abgerundet.

Die **Baumhöhe** (*tree height/h*) ist wie der BHD eine wichtige Eingangsgröße zur Berechnung des Vorrats. Außerdem spielt sie bei der Einteilung in Schichten oder bei der Beurteilung der Einzelbaumstabilität eine entscheidende Rolle.

Die **Höhe des Kronenansatzes** (*crown base height/CBH*) entspricht der Ansatzhöhe des tiefsten, lebenden Primärastes. Wasserreiser und Klebäste werden also nicht berücksichtigt. Bei toten Bäumen wird für die Kronenansatzhöhe der Wert 0 vergeben. Die Kronenansatzhöhe findet unter anderem bei der Einteilung in Holzqualitäten Beachtung. Außerdem kann mit dieser Größe das Kronenprozent des Baums berechnet und damit zur Beurteilung der Einzelbaumstabilität und -vitalität herangezogen werden.

Die **Position des Baums** (*tree position*) im Marteloskop wird durch den Winkel (*azimut*) und die Entfernung (*distance*) des Stammfußmittelpunkts zum dazugehörigen Quadrantenmittelpunkt ermittelt. Die Georeferenzierung der Bäume ist notwendig, um das digitale Marteloskopmodell erstellen zu können.

Die **Qualitätseinteilung** des Holzes (*timber quality and assortments*) ist Voraussetzung für die Ermittlung des ökonomischen Wertes. Für die verschiedenen Qualitäten sind

verschiedene Holzerlöse erzielbar. Die Einteilung in Qualitäten der Baumabschnitte ist an die Güteklasseneinteilung der Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR) (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2020) angelehnt. So wird bei der Aufnahme in fünf absteigende Qualitätsstufen unterschieden: A, B, C, D/Industrieholz und Brennholz. Die Qualitäten A, B, C und D bilden das Stammholz, was sich durch seine Sägefähigkeit vom Industrie- und Brennholz unterscheidet. Die Einteilung soll möglichst nach den vor Ort verkaufsfähigen Sortimenten erfolgen. Deshalb ist es ratsam, im Vorfeld mit dem örtlichen Förster die lokal verkaufsfähigen Sortimente und die entsprechende Einteilung anhand einiger Beispiele auf der Fläche zu diskutieren. Bei der Datenerhebung auf der Fläche wird dann jeweils die Länge des Qualitätsabschnitts aufgenommen. Zuvor muss jedoch der entsprechende Abschnitt nach wertmindernden Merkmalen, zum Beispiel Schäden oder Faulstellen, abgesucht werden.

Die **Baummikrohabitate** (*tree microhabitats*) sind ein wichtiger Bestandteil des ökologischen Wertes eines Baums. Jedes dieser Mikrohabitate dient für eine Vielzahl von Tier-, Pilz-, Flechten- und Pflanzenarten als Lebensraum, Nahrungsquelle oder Brutstätte und leistet somit einen wichtigen Beitrag zur biologischen Vielfalt in Wäldern (Bütler et al., 2020). Das European Forest Institute stellt einen Katalog mit insgesamt 64 verschiedenen Baummikrohabitaten zur Verfügung (vgl. Anhang 4). Jedem dieser 64 Habitate wird ein Code zugewiesen. Es wird unterschieden in die Kategorien Höhlen (Kürzel: CV), Stammverletzungen und Bruchwunden (IN), Rinde (BA), Totholz (DE), Deformierung / Wuchsform (GR), Epiphyten (EP), Nester (NE) und Andere (OT). Die Kategorien werden in Mikrohabitatgruppen aufgegliedert (z.B. CV1 sind Spechthöhlen) und innerhalb der Gruppen werden bis zu sechs Mikrohabitatstypen unterschieden (z.B. CV11 sind Spechthöhlen mit einem Eingangsdurchmesser von 4 cm) (Kraus, Bütler, Lachat, et al., 2016). Der Katalog ist auch als App für mobile Endgeräte verfügbar (Kraus, Bütler, Krumm, et al., 2016). Bei der Aufnahme werden die Art, also der Code, und die Anzahl des deutlich erkennbaren Mikrohabitats dokumentiert.

Um die Stellung des Einzelbaums im Bestandsgefüge bewerten zu können, werden in dieser Arbeit in Anhalt an die Baumhöhe und Kronenausprägung zudem die **Stammklassen nach Kraft** (1884) einzelbaumweise aufgenommen. Dabei werden den Bäumen jeweils eine Klasse von 1 bis 5 zugeordnet (Klasse 1: vorherrschende Bäume, Klasse 2: herrschende Bäume,

Klasse 3: gering mitherrschende Bäume, Klasse 4: beherrschte Bäume, Klasse 5: ganz unterständige Bäume). Aufgenommenem, stehendem Totholz wird die Klasse 0 zugeteilt.

Es werden also – für jeden Baum – insgesamt zehn verschiedene Parameter im Gelände aufgenommen. Mit diesen Parametern werden anschließend folgende Größen für jeden Baum einzeln und für den Bestand im Gesamten berechnet: Grundfläche, Vorrat, Volumen des in Qualitäten eingeteilten Holzes, Holzerlös und Habitatwert (Näheres dazu unter 2.5).

Das **Totholz** (*deadwood*) ist neben den Baummikrohabitaten ein weiterer Faktor, der den ökologischen Wert eines Bestands mitbestimmt. Deshalb soll zusätzlich zum stehenden Totholz, für das jeweils eine eigene Baumnummer vergeben wird, auch das liegende Totholz und das oberirdische Volumen des Stockholzes erfasst werden.

2.3.2 Aufnahmeverfahren des European Forest Institutes

Die vom EFI empfohlene Vorgehensweise zur Einrichtung des Marteloskops beinhaltet sechs Schritte, die Quadrant für Quadrant in einem Aufnahmeteam bestehend aus zwei bis drei Personen abgearbeitet werden sollen (Derks et al., 2020):

1. Einmessen und Markieren der Fläche
2. Nummerierung der Bäume, Aufnahme von Baumart und Messung des BHDs
3. Georeferenzierung der Bäume
4. Messung der Baum- und Kronenansatzhöhen
5. Qualitätseinteilung
6. Aufnahme der Baummikrohabitate

Im ersten Schritt wird die Fläche eingemessen und dauerhaft markiert. Dazu werden mit Hilfe des Maßbandes, des Kompasses und des festgelegten Abweichungswinkels des Marteloskops von der Nord-Süd-Achse (α) die Eckpunkte und Mittelpunkte der vier Quadranten und der Marteloskopmittelpunkt eingemessen und mit Pfosten markiert. Mit dem zweiten Schritt beginnt die eigentliche Datenerhebung: Es werden die Baumnummern vergeben und die Baumart und der BHD aufgenommen. Bei der Georeferenzierung der Bäume wird mit Hilfe des Kompasses der Winkel des Baumes zum jeweiligen Quadrantenmittelpunkt und mit Hilfe eines Entfernungsmessers – meist wird das Modell Vertex der schwedischen Firma *Haglöf* verwendet – die Entfernung des Baumes zum

Quadrantenmittelpunkt gemessen. Das *Haglöf* Vertex ist ein neigungsunabhängiger Ultraschall-Entfernungsmesser, mit dem in Kombination eines Transponders als Referenzpunkt unter anderem Entfernungen, Höhen und Hangneigungen gemessen werden können (Haglöf Sweden AB, 2007). Die Messung der Baumhöhe erfolgt ebenfalls mit dem Vertex. Die Messung der Höhe des Kronenansatzes kann mit diesem Schritt kombiniert werden. Diese wird auf dieselbe Weise gemessen. Die Qualitätseinteilung am Baum erfolgt bei eindeutigen Fällen, zum Beispiel, wenn ein Baum nur aus Brennholz besteht, mittels Schätzung, ansonsten wieder mittels Messung mit dem Vertex. Nachdem dieses Stammstück auf Merkmale, die die Qualität des Stammstücks beeinträchtigen, beispielsweise Rückeschäden oder Faulstellen, untersucht wurde, wird sich auf eine Qualitätseinteilung geeinigt. Dieser Schritt kann auch mit der Messung der Höhe des Kronenansatzes kombiniert werden. Die Kronenansatzhöhe korreliert nämlich oft mit der Höhe des sägefähigen Stammstückes. Im sechsten Schritt werden die Baummikrohabitate aufgenommen. Um die Habitatstrukturen in der Krone erkennen und besser beurteilen zu können, wird ein Fernglas verwendet. Abschließend werden die aufgenommenen Daten in das vom European Forest Institute bereitgestellte Excel-Formular übertragen. Nach Berechnung weiterer Größen wird die Datei dann an das European Forest Institute gesendet, wo das digitale Modell erstellt wird.

2.3.3 Angewandtes Aufnahmeverfahren

Das in der Arbeit tatsächlich angewandte Verfahren umfasst fünf Schritte:

1. Einmessen und Markieren der Fläche
2. Nummerierung der Bäume, Aufnahme von Baumart und Zustand, Messung des BHDs und Georeferenzieren der Bäume
3. Aufnahme der Baummikrohabitate
4. Messung der Baum- und Kronenansatzhöhen, Zuteilung der Kraft'schen Klassen, Einteilung in Holzqualitäten
5. Aufnahme des liegenden Totholzes und des Stockholzes

Nachdem bereits beim Begang mit Hans Stark festgelegt wurde, dass der nördliche Eckpunkt, also das äußere Eck des Quadranten 1, neben der Rückegasse liegen soll und das Marteloskop parallel, aber mit etwas Abstand, zur Forststraße verlaufen soll, wurde mit dem Kompass der Winkel der Forststraße gemessen, was einen Wert von 135° in Südost-Richtung

bzw. 315° in Nordwest-Richtung ergab. Somit hat die Marteloskopseite, die in Südwest-Richtung verläuft, einen Winkel von 225° und die Seite, die in Nordost-Richtung verläuft, einen Winkel von 45° . Der Abweichungswinkel der Nord-Süd-Achse (α) beträgt demnach 45° nach Westen. Der Abstand des Eckpunktes vom Quadranten 1 zur Forststraße wurde auf 6 m ausgehend vom Bankett der Straße festgelegt und mit dem Maßband eingemessen. Von diesem Punkt aus wies Person 1 mit dem Kompass und anhand des jeweiligen Winkels Person 2, der etwa 50 m entfernt stand, ein. Wenn mit Hilfe des Maßbandes die Entfernung von 50 m exakt gemessen wurde und die Richtung, also der Winkel, nochmal überprüft wurde, steckte Person 2 einen Markierungsstab an die entsprechende Stelle. Person 1 kontrollierte von dieser Stelle aus den Winkel zurück zum Ausgangspunkt. Wenn der Winkel eine Abweichung von 180° zum Ausgangswinkel aufwies, war die Messung korrekt. Nach dieser Kontrolle wurde wieder „nach vorne“ gemessen und der nächste Markierungsstab gesetzt. Da die Fläche mit etwa 4,5 % nach Nordwesten geneigt ist, wurde eine Hangkorrektur für die in Falllinie verlaufenden Strecken vorgenommen. Das heißt, dass die Strecken vom Eckpunkt des Quadranten 1 zum Eckpunkt des Quadranten 2 bzw. vom Eckpunkt des Quadranten 4 zum Eckpunkt des Quadranten 3 statt exakt 100 m nun 100,1 m betragen. Nachdem alle Eckpunkte eingemessen worden waren, wurden der Marteloskopmittelpunkt und die vier Quadrantenmittelpunkte auf gleiche Weise

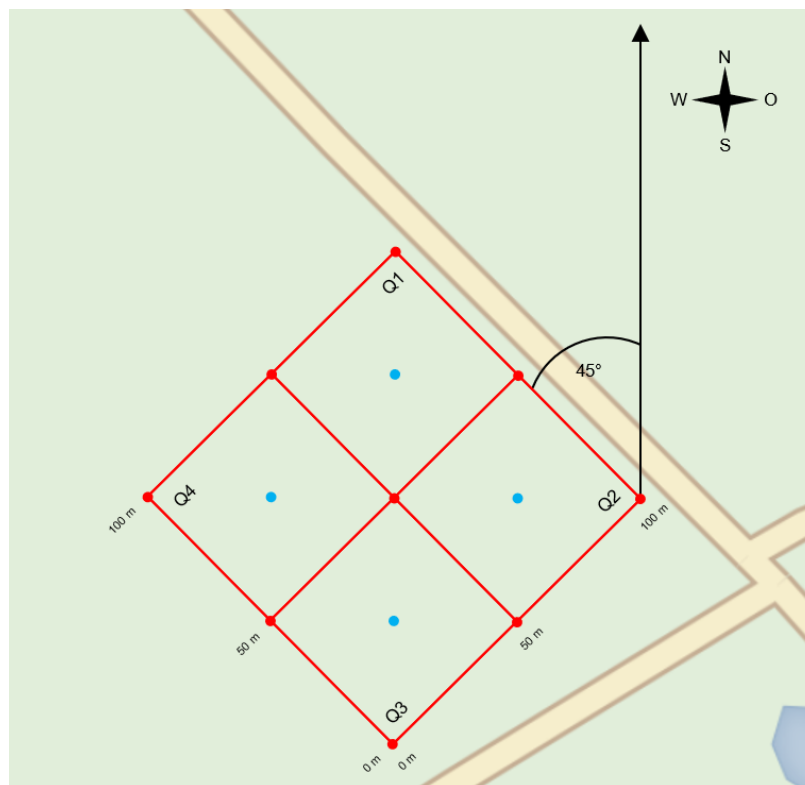


Abbildung 9: Skizze der Marteloskopfläche in der Karte (Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat, 2023).

eingemessen. Der Winkel der Diagonalen beträgt in Süd-Richtung 180° , in Nordrichtung 0° , in West-Richtung 270° und in Ost-Richtung 90° . Die Diagonale eines Quadranten ist 70,71 m lang, somit liegt ein Quadrantenmittelpunkt 35,36 m entfernt von einem Quadranteneckpunkt. Nachdem alle 13 Punkte (8 Quadranteneckpunkte (Außengrenze des Marteloskops), 4 Quadrantenmittelpunkte, 1 Marteloskopmittelpunkt) endgültig festgelegt worden waren, wurden die Markierungsstäbe durch Holzpfosten ersetzt und angesprüht. Die 8 Quadranteneckpunkte wurden rot markiert, die 4 Quadrantenmittelpunkte blau und der Marteloskopmittelpunkt rot mit 2 Ringen.

Im zweiten Schritt wird die Nummerierung der Bäume, die Aufnahme von Baumart und Zustand und die Messung des BHDs mit der Georeferenzierung der Bäume zusammengefasst. Die Kluppschwelle wurde auf das übliche Maß von 7 cm festgelegt, was nach der RVR auch der Derbholzgrenze entspricht (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2020). Das heißt jeder lebende oder stehende tote Baum mit einem BHD von mindestens 7 cm erhält eine Nummer und wird aufgenommen. Bei der Inventur ermittelte Person 1 vom Quadrantenmittelpunkt aus, wo auch der Transponder auf dem Stativ befestigt war, mit dem Kompass den Azimut in Grad des jeweiligen Baums. Person 2 ermittelte mit der Kluppe den BHD des Baums und mit dem Vertex die Entfernung des Baums zum Quadrantenmittelpunkt zentimetergenau. Person 1 dokumentierte die Baumnummer, die Baumart, den Zustand, den BHD, die Entfernung und den Winkel. Person 2 schrieb währenddessen die Baumnummer mit weißer Sprühfarbe an den Baum. Dabei wurde in jedem Quadranten einheitlich die nordwestliche Seite des Baums beschrieben. Um eine möglichst lange Lesbarkeit der Nummern sicherzustellen, wurden vor dem Ansprühen die oberen, zum Teil lockeren Rindenschuppen und der Moos- und Flechtenbewuchs mit einer Drahtbürste entfernt. Bei Baumarten mit besonders grober Rindenstruktur (Lärche, Kiefer, zum Teil auch Eiche) wurde zudem die obere Rindenschicht vorher mit einem



Abbildung 10: Foto einer Baumnummer an einer Eiche. Foto: Markus Täufer.

Schäleisen vorsichtig entfernt. Begonnen wurde in jedem Quadranten in der Nähe des Marteloskopmittelpunkts und von hier aus wurden alle Bäume im Uhrzeigersinn um den Quadrantenmittelpunkt herum aufgenommen.

Im dritten Schritt wurden die Baummikrohabitate anhand des bereitgestellten Katalogs in der App auf dem Smartphone aufgenommen. Hier wurde mit Hilfe des Fernglases nach Mikrohabitaten in der Krone, beispielsweise Höhlen, gesucht und mit Hilfe des Zollstocks die Größe der Mikrohabitate am Stammfuß, beispielsweise freiliegendes Splintholz, gemessen. Die Aufnahme erfolgte in Alleinarbeit, das heißt Person 1 bearbeitete die Quadranten 1 und 4, Person 2 die Quadranten 2 und 3.

Der vierte Schritt umfasste die Messung der Baumhöhe und der Höhe des Kronenansatzes, die Zuweisung der Kraft'schen Klasse und die qualitative Einteilung des Holzes in verkaufsfähige Sortimente. Für die Messung der Höhen des Baums und des Kronenansatzes hielt Person 1 den Transponder auf Brusthöhe an den Baum und Person 2 ermittelte aus ausreichender Entfernung die Höhen dezimetergenau mit dem Vertex. Es wurde sich auf eine Kraft'sche Klasse geeinigt. Für die Kraft'schen Klassen 1 bis 3 erfolgten für beide Höhen jeweils drei Messungen, woraus der Mittelwert gebildet wurde. Für die Klassen 4 und 5 erfolgte jeweils nur eine Messung.



Abbildung 11: Foto durch das Visier des Vertex' bei der Höhenmessung. Foto: Moritz Schmidt.

Für die qualitative Einteilung des Stammholzes wurden zuvor bei einem Begang mit Betriebsleiter Hans Stark einige Beispiele diskutiert. Die Einteilung wurde für jede Baumart

an mindestens einem Exemplar und für besondere Bäume, zum Beispiel besonders ökonomisch oder ökologisch wertvolle besprochen. Hierbei wurde je Baumart eine Grenze des Durchmessers am schwächeren Ende festgelegt, bis zu der ein lokal verkaufsfähiges Stammholzstück ausgehalten werden kann (H. Stark, persönliche Kommunikation, 20. Februar 2023). Diese Grenze entspricht dem Mindestzopfdurchmesser mit Rinde bei der Holzernte (vgl. Anhang 5).

Es wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die Abholzigkeit im Bereich des Stamm- und Industrieholzes im Mittel für jede Baumart bei 1 cm/m liegt. Dadurch kann über dem gemessenen BHD die theoretisch mögliche Länge, bis zu der ein Stamm- oder Industrieholzstück ausgehalten werden kann, berechnet werden. Diese ergibt sich aus der Differenz von BHD und Mindestzopfdurchmesser. Da der BHD auf einer Höhe von 1,30 m gemessen wird, muss noch 1,10 m addiert werden, die übrigen 20 cm verbleiben als Stockholz. Die Stammholzstücke waren mindestens 4 m und höchstens 20 m lang und wurden immer auf ganze Meter ausgehalten. Da bei der Fichte in der Regel meist 4 m Fixlängen verkauft werden, wurden für die Fichte nur Stammholzstücke mit Längen ausgehalten, die ein Vielfaches von 4 m sind. Der Rest wurde dem Industrie- oder Brennholz zugeordnet.

Bei der Qualitätseinteilung untersuchte Person 1, der am Baum stand, den Stammbereich auf Schäden, Faulstellen, Drehwuchs etc. Hier war auch die bereits durchgeführte Dokumentation der Baummikrohabitate, wie zum Beispiel freiliegendes Splintholz, hilfreich. Person 2 begutachtete nach den Höhenmessungen den Baum aus der Ferne und legte dabei besonderes Augenmerk auf Krümmungen und Astigkeit. Nachdem alle wertmindernden Merkmale erkannt waren, wurde sich auf eine Stammholzlänge mit entsprechender Qualität geeinigt. Bei Stämmen mit Qualitätssprüngen – beispielsweise waren bei einer Eiche die untersten 6 m Qualität A und die nächsten 6 m Qualität C – wurde in gleicher Weise vorgegangen. Die Differenz von Baumhöhe und Stammholz- inklusive Industrieholzlänge wurde automatisch dem Brennholz zugeteilt. Wenn ein Baum zu schwach für Stammholz oder Industrieholz war, wurde er mit voller Länge dem Brennholz zugeteilt. Tote Bäume wurden aufgrund der Unklarheit über die Holzqualität ebenfalls gänzlich dem Brennholz zugeteilt.

Nachdem die genannten Daten im Gelände erhoben worden waren, wurden diese in die Excel-Datei eingetragen. Anschließend wurden weitere Größen berechnet (Näheres dazu unter 2.5).

Zur Beurteilung des ökologischen Wertes des Marteloskopbestands wurde auch das Volumen des liegenden Totholzes und das oberirdische Stockholzvolumen erfasst, das stehende Totholz wurde bereits bei der regulären Aufnahme berücksichtigt. Das Verfahren zur Aufnahme des Totholzes wurde stark an die Vorgehensweise bei der dritten Bundeswaldinventur (BWI 3) angelehnt (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV), 2011). So wurde liegendes Totholz nur aufgenommen, wenn der Durchmesser am stärkeren Ende mindestens 10 cm betrug und das Stück mindestens 10 cm lang war. Bei Stöcken lag die Aufnahmeschwelle bei einem Schnittflächendurchmesser von 20 cm ohne Rinde. Anders als bei der BWI 3 wurden beim liegenden Totholz aufgrund der schwachen Dimensionen nicht die Durchmesser an beiden Enden gemessen, sondern der Mittendurchmesser. Die Baumartengruppe und der Zersetzungsgrad des Totholzes wurde nicht aufgenommen, bei den Totholztypen wurde nur nach stehend, liegend und Stockholz differenziert. Von Person 1 wurden jeweils der Durchmesser zentimetergenau mit der Kluppe und beim liegenden Totholz die Länge bzw. bei den Stöcken die Höhe dezimetergenau mit dem Zollstock gemessen und von Person 2 dokumentiert.

Da im Universitätswald Sailershausen bereits ein Marteloskop mit dem Namen „Sailershausen“ besteht, wurde dem Marteloskop, das Gegenstand dieser Arbeit ist, der Name „Sailershausen II“ vergeben.

2.4 Aufbau und Ablauf der Eingriffssimulation

Insgesamt konnten 13 Probanden für die Eingriffssimulation gewonnen werden. Dabei entstammen vier Vertreter der Personengruppe Waldbesitzende, drei Vertreter der Personengruppe Studierende und fünf Vertreter der Personengruppe Forstfachpersonal. Alle Vertreter der Personengruppe Waldbesitzende sind Mitglieder der Forstbetriebsgemeinschaft Haßberge und besitzen Waldflächen in der Region mit ähnlichen standörtlichen Bedingungen, wie sie auf der Marteloskopfläche vorherrschen. Der Gruppe Forstfachpersonal gehören Revierleiter und Forstbetriebsleiter des Kommunal- und

Staatswaldes und forstliches Lehrpersonal der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf an. Die Gruppe Forststudierende setzt sich aus Studierenden des 7. Semesters im Studiengang „Forstingenieurwesen“ der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf zusammen.

Die Eingriffssimulation wurde als waldbauliche Auszeichenübung abgehalten und fand an drei Terminen statt. Am 12.04.23 zeichneten die Gruppen Forstfachpersonal und Waldbesitzende aus. Am 13.04.23 absolvierten die Forststudierenden die Übung. Der 19.04.23 diente als Ausweichtermin.

Der Ablauf der Eingriffssimulation erfolgte an allen Terminen zunächst nach demselben Schema. Vor Ort erfolgte eine kurze Vorstellung des Marteloskopkonzepts und eine Einführung in den Umgang mit der App *I+ Trainer* auf Tablet-Geräten. Nach Abklärung des Verständnisses wurde den Probanden ein Handout mit den Bestandesinformationen ausgehändigt, die sich auch im Revierbuch finden ließen. Außerdem wurden farbige Markierbänder zur Verfügung gestellt, um ausgewählte Bäume zur besseren Übersicht temporär sichtbar zu machen.

Es wurde kein Durchforstungsverfahren vorgegeben, sondern es sollte nach eigenem Maßstab ausgezeichnet werden. Einzige Vorgabe war, auf das langfristige Wirtschaftsziel Wertholzproduktion hinzuarbeiten und mindestens zehn lebende Habitatbäume zu markieren. Wertholzproduktion ist die ökonomische Zielsetzung des Universitätsforstamts Sailershausen. Die Vorgabe zu den Habitatbäumen ist eine Vorgabe des FSC-Standards, zu deren Einhaltung der FSC-Betrieb Sailershausen verpflichtet ist. Biotopbäume sind laut FSC-Standard „[l]ebende Bäume, die eine besondere Funktion als Höhlenbaum, Horstbaum oder als Lebensraum für besonders schützenswerte Epiphyten, Insekten, Pilze und andere altholzbewohnende Organismengruppen haben.“ (FSC Deutschland, 2018)

Die Auszeichnung wurde von den Probandengruppen auf unterschiedliche Weise durchgeführt. Insgesamt fünf von 13 Probanden zeichneten auf der ganzen Fläche von einem Hektar aus. Die Vergleichbarkeit der Gesamtergebnisse und die Diskussion der Gesamtunterschiede stand bei diesen fünf Auszeichensimulationen im Vordergrund. Die restlichen acht Probanden bekamen an zwei Terminen mit jeweils vier Teilnehmern je einen der vier Quadranten des Marteloskops als Auszeichnungsfläche zugeteilt, was einer Fläche von 0,25 Hektar je Proband entspricht. Somit konnten die Probanden zeitlich parallel die Auszeichnung durchführen. Die Auszeichenflächen wurden auf 0,25 ha pro Person

beschränkt, weil die Probanden entweder aus Routinemangel für die gesamte Marteloskopfläche zu lange gebraucht hätten oder aus organisatorischen Gründen nicht genügend Zeit für das Auszeichnen der gesamten Marteloskopfläche hatten. Bei diesen acht Auszeichnungssimulationen stand das Diskutieren von Einzelbaumentscheidungen im Vordergrund.

Nachdem alle Probanden die Auszeichnung absolviert hatten, wurden die Ergebnisse im Bestand verglichen bzw. diskutiert. Hierfür konnte in der *I+ Trainer* App für jede individuelle Auszeichnung eine Ergebnis-PDF erstellt werden, die den Eingriff mittels Tabellen und Diagrammen zum ausscheidenden und erhaltenen Bestand veranschaulichte.

2.5 Datenauswertung

2.5.1 Berechnung der Stammfußkoordinaten

Zur digitalen Visualisierung des Marteloscops soll der Bestand aus der Vogelperspektive dargestellt werden. Dazu wird ein Koordinatensystem über die Fläche gelegt, welches seinen Ursprung im äußeren Eck des dritten Quadranten links unten hat (vgl. Abbildung 12). Für jeden Baum wird eine x-Koordinate und eine y-Koordinate berechnet. Die Berechnung der Stammfußkoordinaten erfolgt über die Geländedaten Azimut von Koordinatenmittelpunkt zu Einzelbaum und Entfernung von Koordinatenmittelpunkt zu Einzelbaum mittels des Microsoft-Programms Excel nach dem trigonometrischen Prinzip.

In einem ersten Schritt wird derjenige Winkel gemessen, von dem die Ausrichtung des Marteloscops von der Nordrichtung abweicht. Bei der eingemessenen Fläche betrug dieser Winkel 45° westwärts. Für die Berechnung der x-Koordinate wird der in Gradmaß gemessene Azimut mit dem Korrekturwinkel von 45° addiert und anschließend in Bogenmaß umgerechnet. Nun wird der Sinus des errechneten Winkels gebildet und mit der Entfernung des Baumes zum Koordinatenmittelpunkt multipliziert. Je nach Quadranten muss noch eine Korrekturdistanz von 25 m oder 75 m addiert werden.

Für die Berechnung der y-Koordinate ist das Verfahren abgesehen von Verwendung der Cosinus-Funktion statt der Sinus-Funktion identisch.

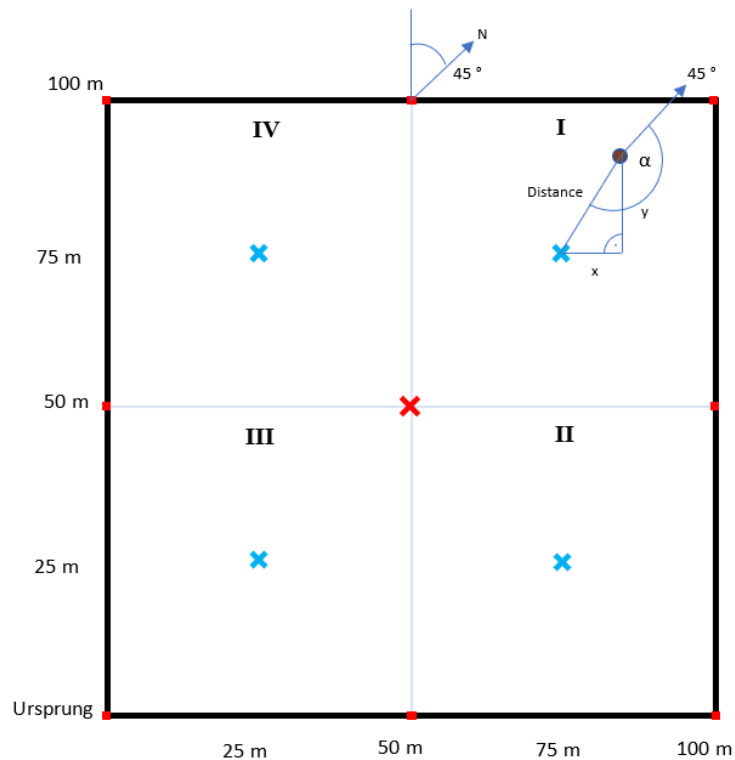


Abbildung 12: Hilfsskizze zur Berechnung der Stammfußkoordinaten.

2.5.2 Berechnung der Grundfläche

Die Grundfläche des Marteloscops ist definiert als die Summe der Grundflächen aller lebenden Bäume der Marteloskopfläche und wird in m^2/ha angegeben.

$$G_{\text{gesamt}} = \sum_{k=1}^n g_k$$

Die Grundfläche des Einzelbaumes ist definiert als die Kreisfläche des Stammquerschnitts auf 1,30 m Höhe. Eingangsgröße für die Berechnung der Grundfläche ist der Brusthöhendurchmesser auf 1,30 m Höhe.

$$G_k = \left(\frac{BHD_{1,3}}{2} \right)^2 * \pi$$

2.5.3 Berechnung von Vorrat und Zuwachs

Der Vorrat des Marteloskops ist definiert als die Summe des Volumens aller lebenden Bäume innerhalb der Marteloskopfläche und wird, wie in Bayern üblich, in Efm o. R./ha angegeben. Sollten Vorratswerte in Vfm D. m. R./ha angegeben sein, ist dies ausdrücklich gekennzeichnet.

$$V_{gesamt} = \sum_{k=1}^n v_k$$

Das Volumen des Einzelbaumes wird berechnet mit den Eingangsgrößen Grundfläche des Baumes und Baumhöhe, eingesetzt in die baumartenspezifische Schaftformgleichung. Die Einzelbaumvolumina werden mittels des Sorten- und Volumenprogramms BDAT berechnet, das in die Programmiersprache R implementiert wurde. Im Programm BDAT, das von der Forstlichen Versuchsanstalt Baden-Württemberg entwickelt wurde, ist für jede Baumart eine spezifische Schaftformgleichung hinterlegt, die ein genaues Errechnen des Baumvolumens ermöglicht (FVA Baden-Württemberg, 2003).

Der Zuwachs pro Baumart wird berechnet aus dem Zuwachswert der jeweiligen Ertragstafel multipliziert mit dem Flächenanteil der Baumart. Der Gesamtzuwachs der Fläche wird berechnet als Summe aller Zuwächse pro Baumart. Der Zuwachs wird in Efm D. o. R./ha angegeben. Zur Ermittlung von Zuwachswerten über die Ertragstafeln werden die Eingangsgrößen (Ober-)Höhe und Alter benötigt. Die Baumhöhen liegen durch die vorangegangenen Messungen für jede vorkommende Baumart vor. Zur Ermittlung des Alters der verschiedenen Baumarten werden Daten aus historischen Revierbucheinträgen des Forstbetriebes aus den Jahren 1969 bis 1989 hinzugezogen, die aus der Zeit der Bestandesbegründung stammen. Konkret werden die damals eingetragenen Pflanzzahlen pro Baumart mit dem Jahr der Pflanzung und dem daraus resultierenden heutigen Alter der Pflanzen gewichtet, um ein durchschnittliches Alter pro Baumart zu ermitteln. Dieses ermittelte durchschnittliche Alter wird zur Plausibilisierung mit Altersschätzungen im Gelände und dem angegebenen Alter pro Baumart im Revierbucheintrag verglichen und angepasst.

Tabelle 1: Verwendete Ertragstafeln für die Bonitierung.

Baumart	verwendete Ertragstafel	Bonität
Picea abies	Assmann/Franz 1963	OH36
Pinus sylvestris	Wiedemann 1943	II
Larix decidua	Schober 1946	II
Fagus sylvatica	Wiedemann 1931	II
Quercus petraea	Jüttner 1955	I
Carpinus betulus	Wiedemann 1931	I.5
Acer campestre	Schwappach 1929	I
Acer platanoides	Wimmenauer 1919/Schwappach 1929	I
Prunus avium	Wimmenauer 1919/Schwappach 1930	I
Tilia cordata	Wiedemann 1931	II
Sorbus torminalis	Jüttner 1955	I
Betula pendula	Schwappach 1929	I

Die waldwachstumskundlichen Werte der Ertragstafeln sind, verglichen mit der Zeit ihrer Entstehung, heute nur mehr bedingt aussagekräftig. Untersuchungen zu den Holzvolumenzuwächsen der Baumarten Fichte und Buche haben gezeigt, dass die Produktivität deutscher Wälder im Lauf der letzten 100 Jahren erheblich gestiegen ist. Der Anstieg im Volumenzuwachs des Holzes korreliert stark mit steigenden Nitrat- und Kohlenstoffkonzentrationen in Luft und Boden sowie mit einer verlängerten Vegetationsperiode. Der Anstieg des bestandesbezogenen Volumenzuwachses beträgt für den Vergleich der Jahre 1960 und 2000 10 % für die Baumart Fichte und 30 % für die Baumart Rotbuche (Pretzsch et al., 2014). Auch die Baumartenmischung des Bestandes hat einen Effekt auf die Produktivität von Beständen. Der Volumenzuwachs des Holzes ist in durchmischten Beständen höher als in Reinbeständen. Wie hoch dieser Mehrzuwachs ausfällt, ist primär abhängig von der Menge des Niederschlags (Jactel et al., 2018). Daher liegt der aus Ertragstafelwerten berechnete Zuwachs deutlich unter dem tatsächlichen Zuwachs. Mithilfe von Korrekturfaktoren kann der Ertragstafelzuwachs angepasst werden. Die Hilfstafeln für die Forsteinrichtung (2018) schlagen für gemischte Bestände einen pauschalen Korrekturfaktor von 1,20 vor. Der Referendarsjahrgang 2015/2017 der Forstschule Lohr a.Main führte im Jahr 2015 die Forsteinrichtung im Universitätsforstamt Sailershausen durch. Der dabei errechnete Faktor von Ertragstafelzuwachs zu errechnetem Zuwachs aus der permanenten Stichprobeninventur beträgt 1,35 (Referendarsjahrgang 15/17, 2016). Für die Korrektur von Ertragstafelzuwachs zu tatsächlichem Zuwachs sollen diese Faktoren herangezogen werden.

2.5.4 Berechnung der Baumartenanteile

Die Baumartenanteile werden als prozentuale Flächenanteile mittels der Hilfstafeln für die Forsteinrichtung (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2018) berechnet. Mittels historischer Revierbucheinträge und Begutachtung im Bestand wird für jede vorkommende Baumart im Marteloskop ein durchschnittliches Alter geschätzt. Zusätzlich wird die durchschnittliche Baumhöhe je Art aus den gemessenen Baumhöhen errechnet. Mithilfe der beiden Werte wird im nächsten Schritt jeder Baumart eine plausible Ertragstafel mit passender Bonität zugewiesen. Baumarten, für die keine gesonderten Ertragstafeln existieren, wird in Anlehnung an die Tabelle auf S. 10 der Hilfstafeln für die Forsteinrichtung (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2018) eine passende Ertragstafel zugewiesen.

2.5.5 Berechnung der ökonomischen Werte

Der ökonomische Wert eines Baums soll in dieser Arbeit dem maximal erzielbaren Gelderlös für diesen Baum entsprechen. Die Holzerntekosten bleiben dabei unberücksichtigt. Zur Berechnung des Holzerlöses muss zuerst das Holzvolumen eines jeden Baumabschnitts, denen im vierten Schritt der Aufnahme eine Qualität (A, B, C, D/Industrieholz oder Brennholz) zugeteilt wurden, berechnet werden und anschließend mit den entsprechenden Holzpreisen, die je nach Baumart, Qualität und Durchmesser variieren (vgl. Anhang 7), multipliziert werden. Die Summe aus die für jeden Baumabschnitt erzielbaren Erlöse bilden den ökonomischen Gesamtwert eines Baums.

Bei der Berechnung der einzelnen Baumabschnittsvolumen wird davon ausgegangen, dass die Abholzigkeit für jeden Baum im Bereich des Stamm- und Industrieholzes bei 1 cm/m liegt und, dass nach dem Fällen eines Baums im Mittel 20 cm als Stockholz im Bestand verbleiben. Diese Annahmen wurden getroffen, da der Bestand überwiegend aus geringem bis mittlerem Baumholz besteht und dadurch geringe Abweichungen der Abholzigkeit und Stockhöhe wenig Effekt auf das Holzvolumen hat. Der Arbeitsaufwand der einzelbaumweisen Ermittlung der tatsächlichen Abholzigkeit und Stockhöhe steht somit in keinem Verhältnis zum Nutzen. Der Berechnung des Holzvolumens der einzelnen Baumabschnitte wird die Formel zur Volumenberechnung eines Zylinders zugrunde gelegt:

$$V_{\text{Zylinder}} = g * h = r^2 * \pi * h = d^2 * \frac{\pi}{4} * h$$

Dabei wird bei der Berechnung der Kreisgrundfläche der Mittendurchmesser des Stammabschnitts ohne Rinde (dm) verwendet. Dieser wird außerdem für die Einteilung in Stärkeklassen für die Holzpreisermittlung benötigt und kann unter den oben genannten Annahmen für die Abholzigkeit (1 cm/m) und für das verbleibende Stockholz (20 cm) berechnet werden. Zum BHD des Baums, der in einer Höhe von 1,30 m gemessen wird, werden 1,1 cm (1 cm/m * 1,1 m) addiert, wodurch man den Durchmesser des Stamms in 20 cm Höhe über dem Boden erhält (Stockdurchmesser). Bei einigen wenigen Bäumen waren die untersten ein bis drei Meter beschädigt oder faul, sodass sie wegen ihrer negativen Auswirkungen auf die Holzqualität dem Brennholz zugeteilt werden mussten. Vom Stockdurchmesser werden die Zentimeter subtrahiert, um die der Baumstamm auf der Länge des beschädigten Abschnitts schwächer wird (1 cm/m * $L_{Schaden}$ [m]). So erhält man den tatsächlichen Durchmesser des stärkeren Endes des untersten Stamm- oder Industrieholzstückes in Zentimeter. Bei Bäumen mit verschiedenen Qualitätsabschnitten müssen auf dieselbe Weise die Zentimeter abgezogen werden, um die der Stamm auf der Länge des vorangegangenen Baumabschnitts schwächer wird (1 cm/m * L_1 [m]). Das Ergebnis wird mit 0,01 multipliziert, um den Durchmesser des schwächeren Endes, auch Zopfdurchmesser genannt, des vorangegangenen Baumabschnitts in Meter zu erhalten. Von diesem Durchmesser müssen nun die Zentimeter abgezogen werden, um die der Stamm auf der halben Länge des betrachteten Stammabschnitts schwächer wird. So erhält man den Mittendurchmesser des betrachteten Stammabschnitts in Meter mit Rinde. Um den Mittendurchmesser ohne Rinde zu erhalten, wird abschließend noch der Rindenabzug nach den baumartenspezifischen Werten der RVR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2020) vorgenommen (vgl. Anhang 6).

$$dm_x = \left\{ \left[BHD + 1 \frac{\text{cm}}{\text{m}} * \left(1,1 \text{ m} - L_{Schaden} - \sum_{k=1}^{x-1} L_k \right) \right] * 0,01 - \left(\frac{L_x}{2} * 0,01 \right) \right\} - R_x * 0,01$$

Mit: dm_x = Mittendurchmesser des betrachteten Stammholz- oder Industrieholzabschnitts x ohne Rinde [m]

BHD = Brusthöhendurchmesser des Baums [cm]

$L_{Schaden}$ = Länge des Abschnitts mit Schaden [m]

L_k = Länge des/der vorangegangenen Baumabschnitts/e (Qualität A, B und/oder C) [m]

L_x = Länge des betrachteten Baumabschnitts (Qualität A, B, C oder D/Industrieholz) x [m]

R_x = Rindenabzug für den entsprechenden Baumabschnitt x [cm], abhängig vom Mittendurchmesser mit Rinde (vgl. Anhang 6)

Mit dem ermittelten Mittendurchmesser des betrachteten Stammholz- oder Industrieholzabschnitts ohne Rinde (dm_x) wird nun über die Volumenformel des Zylinders das Volumen des betrachteten Stammabschnitts berechnet. Als Höhe (h) wird hier die Länge (L) des betrachteten Stammabschnitts verwendet. So erhält man das Volumen des Stammabschnitts in Efm o. R.

$$V_x = dm_x^2 * \frac{\pi}{4} * L_x$$

Mit: V_x = Volumen des betrachteten Stammholz- (SH) oder Industrieholzabschnitts (IH) x [Efm o. R.]

dm_x = Mittendurchmesser des betrachteten Stammholz- oder Industrieholzabschnitts x ohne Rinde [m]

L_x = Länge des betrachteten Stammholz- oder Industrieholzabschnitts x [m]

Die vorangegangenen Formeln der Mittendurchmesser- und Volumenberechnungen sind nur für das Stamm- und Industrieholz anzuwenden. Um den Durchmesser des Brennholzes zu ermitteln, wird wie oben der Zopfdurchmesser des letzten vorangegangenen Stammabschnitts berechnet. Da im Bereich des Brennholzes, also zumeist in der oberen Krone, nicht mehr pauschal von einer Abholzigkeit von 1 cm/m ausgegangen werden kann, wird als Mittendurchmesser nicht der Durchmesser an der Stelle der halben Abschnittslänge berechnet. Es wird stattdessen der halbe Zopfdurchmesser des letzten vorangegangenen Stammabschnitts als „Mittendurchmesser“ des Brennholzabschnitts verwendet. Hier wird wiederum wie beim Stamm- und Industrieholz ein Rindenabzug vorgenommen.

$$d_{BH} = \left\{ \left[BHD + 1 \frac{\text{cm}}{\text{m}} * \left(1,1 \text{ m} - L_{\text{Schaden}} - \sum_{k=1} L_k \right) \right] * 0,01 \right\} / 2 - R_{BH} * 0,01 =$$

$$= \frac{d_Z}{2} - R_{BH} * 0,01$$

Mit: d_{BH} = Durchmesser des Brennholzabschnitts ohne Rinde [m]

BHD = Brusthöhendurchmesser des Baums [cm]

L_{Schaden} = Länge des Abschnitts mit Schaden [m]

L_k = Länge des/der vorangegangenen Baumabschnitts/e (Qualität A, B, C oder D/Industrieholz [m])

R_{BH} = Rindenabzug für den entsprechenden Baumabschnitt [cm], abhängig vom Durchmesser mit Rinde (vgl. Anhang 6)

d_Z = Zopfdurchmesser des letzten vorangegangenen Stammholz- oder Industrieholzabschnitts [m]

Das Volumen des Brennholzes des Baums ist die Differenz des gesamten Einzelbaumvolumens und der Summe der Volumina der Stammholz- und Industrieholzabschnitte.

$$V_{BH} = v - \sum_{x=1} V_x$$

- Mit: V_{BH} = Volumen des Brennholzes des Baums [Efm o. R.]
 v = Einzelbaumvolumen des gesamten Baums [Efm o. R.]
 V_x = Volumen des/der Stammholz- oder Industrieholzabschnitts/e x [Efm o. R.]

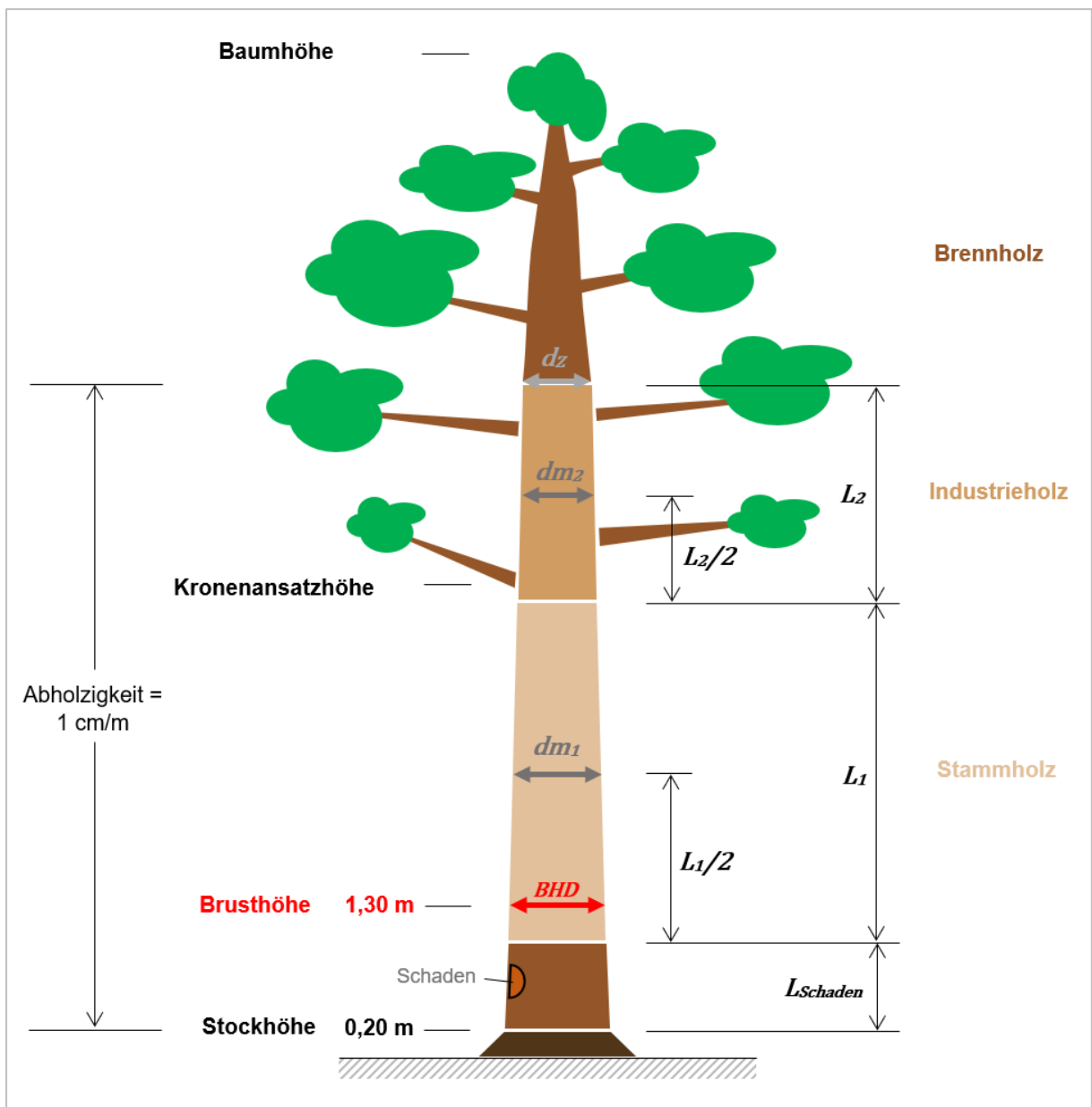


Abbildung 13: Schematische Darstellung der relevanten Größen bei der Volumenberechnung einzelner Stammabschnitte (eigene Darstellung).

Der ökonomische Wert eines Baums entspricht der Summe der ökonomischen Werte aller Baumabschnitte. Diese werden durch das Produkt von Volumen des Abschnitts und Holzpreis gebildet. Die verwendeten Holzpreise (vgl. Anhang 7) entstammen der Holzverkaufsstatistik des Forstamtes Sailershausen (Universitätsforstamt Sailershausen, 2023b). Es wurden die Durchschnittspreise aus dem Zeitraum von 2017 bis 2023 verwendet, um Schwankungen und Extremwerte möglichst auszugleichen.

$$Wert_{OEKON} = \sum_{x=1} (V_x * p_x)$$

Mit: Wert_{OEKON} = Ökonomischer Wert des Baums [€]

V_x = Volumen des Baumabschnitts x [Efm o. R.]

p_x = Holzpreis des Baumabschnitts x [€/fm], abhängig von Qualität und Stärkeklasse (vgl. Anhang 7)

2.5.6 Berechnung der Habitatwerte

Der ökologische Wert eines Baums entspricht im Marteloskop dem Habitatwert und wird bestimmt durch die an ihm vorkommenden Mikrohabitate. Jedem der insgesamt 64 verschiedenen Mikrohabitate wurden durch das EFI jeweils ein Grundwert, ein Seltenheitswert und ein Wert für die Entwicklungsdauer zugewiesen. Der ökologische Wert eines Mikrohabitats wird nach der vom EFI vorgegebenen Formel aus dem Produkt von Grundwert und Summe aus Seltenheitswert und Wert für die Entwicklungsdauer gebildet. Der Habitatwert des Baums wird über die Summe der Mikrohabitatwerte multipliziert mit ihrer Anzahl berechnet.

$$Wert_{OEKOL} = \sum_{x=1} N_x * S_x * (R_x + D_x)$$

Mit: Wert_{OEKOL} = Ökologischer Wert des Baums [Punkte]

N_x = Anzahl des Mikrohabitats x

S_x = Grundwert des Mikrohabitats x [Punkte]

R_x = Seltenheitswert des Mikrohabitats x [Punkte]

D_x = Wert für die Entwicklungsdauer des Mikrohabitats x [Punkte]

Dabei wurde dem Grundwert, dem Seltenheitswert und dem Wert für die Entwicklungsdauer jeweils ein Wert zwischen 1 und 5 Punkten mit aufsteigender Wertigkeit zugeteilt. Der Wert 5 bedeutet also jeweils, dass das Mikrohabitat einen hohen ökologischen Grundwert hat bzw. sehr selten ist bzw. eine lange Entwicklungsdauer aufweist. Der höchste erzielbare Habitatwert für ein Mikrohabitat liegt also bei 50 Punkten. Die beiden wenigsten wertvollen Mikrohabitate sind nach dieser Berechnung die beiden Stammfußhöhlen (GR11 und GR12) mit jeweils 3 Punkten. Die ökologisch wertvollsten Mikrohabitate sind die Höhlenetagen mit mindestens drei Spechthöhlen (CV15) und die großen Mulmhöhlen mit Bodenkontakt (CV22) mit jeweils 50 Punkten.

2.5.7 Berechnung des Totholzvolumens

Die Berechnung des Totholzvolumens wird, wie schon die Aufnahme, an die Vorgehensweise der BWI 3 angelehnt (Riedel et al., 2017). Das Volumen des stehenden Totholzes wird bereits bei der Vorratsberechnung des Einzelbaums über das Programm BDAT ermittelt (vgl. 2.5.3). Für das Volumen des liegenden Totholzes und der Stöcke wird statt wie bei der BWI 3 die Volumenformel eines Kegelstumpfs die Volumenformel einer Walze zugrunde gelegt:

$$V_{tot,x} = dm_x^2 * \frac{\pi}{4} * L_x$$

Mit: $V_{tot,x}$ = Volumen des liegenden Totholzes oder Stocks x [m³]

dm_x = Mittendurchmesser des liegenden Totholzes oder Stocks x [m]

L_x = Länge des liegenden Totholzes bzw. Höhe des Stocks x [m]

2.5.8 Analyse der Eingriffssimulationen

Bei den Auszeichnungssimulationen, die über die gesamte Marteloskopfläche liefen, wurden folgende Daten verglichen:

- Anzahl der Zukunftsbäume
- Anzahl der Entnahmebäume
- Anzahl der Habitatbäume
- Entnahmemenge

- Geldwert der Entnahmemenge
- Habitatpunktverlust
- Stärke und Grad der Durchforstung

Die Durchforstungsstärke ist definiert als der Anteil der entnommenen Grundfläche an der gesamten Grundfläche.

$$\text{Durchforstungsstärke} = \frac{\text{Grundfläche}_{\text{entnommen}}}{\text{Grundfläche}_{\text{gesamt}}}$$

Der Durchforstungsgrad ist definiert als Anteil der entnommenen Stammzahl an der gesamten Stammzahl dividiert durch den Anteil der entnommenen Grundfläche an der gesamten Grundfläche. Je kleiner der Wert, desto hochdurchforstungsartiger der Eingriff und umgekehrt.

$$\text{Durchforstungsgrad} = \frac{\text{Stammzahl}_{\text{entnommen}}}{\text{Stammzahl}_{\text{gesamt}}} / \frac{\text{Grundfläche}_{\text{entnommen}}}{\text{Grundfläche}_{\text{gesamt}}}$$

Der Habitatpunktverlust ist definiert als Summe der Habitatpunkte aller Einzelbäume vor dem Eingriff abzüglich der Summe der Habitatpunkte aller Einzelbäume nach dem Eingriff.

$$\text{Habitatpunktverlust} = \sum \text{Habitatpunkte vor Eingriff} - \sum \text{Habitatpunkte nach Eingriff}$$

Die genannten Parameter wurden so ausgewählt, dass eine numerische Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet ist.

Bei den quadrantenbezogenen Auszeichnungen auf 0,25 Hektar wurden für jeden Quadranten Entscheidungen der Probanden bei Bäumen mit hoher Geldwert- oder Habitatwerterwartung oder bei nach eigener Aussage bestehenden Konfliktbäumen diskutiert.

Bei allen Besprechungen wurde zur datengestützten Visualisierung der Ergebnisse und Entscheidungen die Datenauswertungsdatei der *EFI I+ Trainer* App hinzugezogen.

3 Ergebnisse

3.1 Ertragskundliche Werte

3.1.1 Stammzahl und BHD-Verteilung

Insgesamt stocken auf der Marteloskopfläche 1058 Bäume, davon 1028 lebende und 30 abgestorbene Bäume. Den größten Anteil an der Stammzahl der lebenden Bäume hat die Baumart Hainbuche mit 369 Exemplaren, gefolgt von Rotbuche mit 214 und Fichte mit 85. Bei den abgestorbenen Bäumen entfallen elf auf die Baumart Fichte, acht auf Kiefer, jeweils fünf auf Rotbuche und Hainbuche und ein Exemplar auf Eiche. Der stärkste lebende Baum der Fläche ist eine Traubeneiche aus der vorhergehenden Bestockung mit einem BHD von 55 cm.

Die Stammzahlverteilungskurve zeigt eine Durchmesserstreuung von 7 cm bis 55 cm und eine stetige Abnahme der Stammzahl pro Durchmesserklasse mit steigendem BHD. Laubholz, insbesondere Hainbuche, ist schwerpunktmäßig in den niedrigen Durchmesserklassen zu finden, während Nadelhölzer eher am starken Durchmesserende angesiedelt sind.

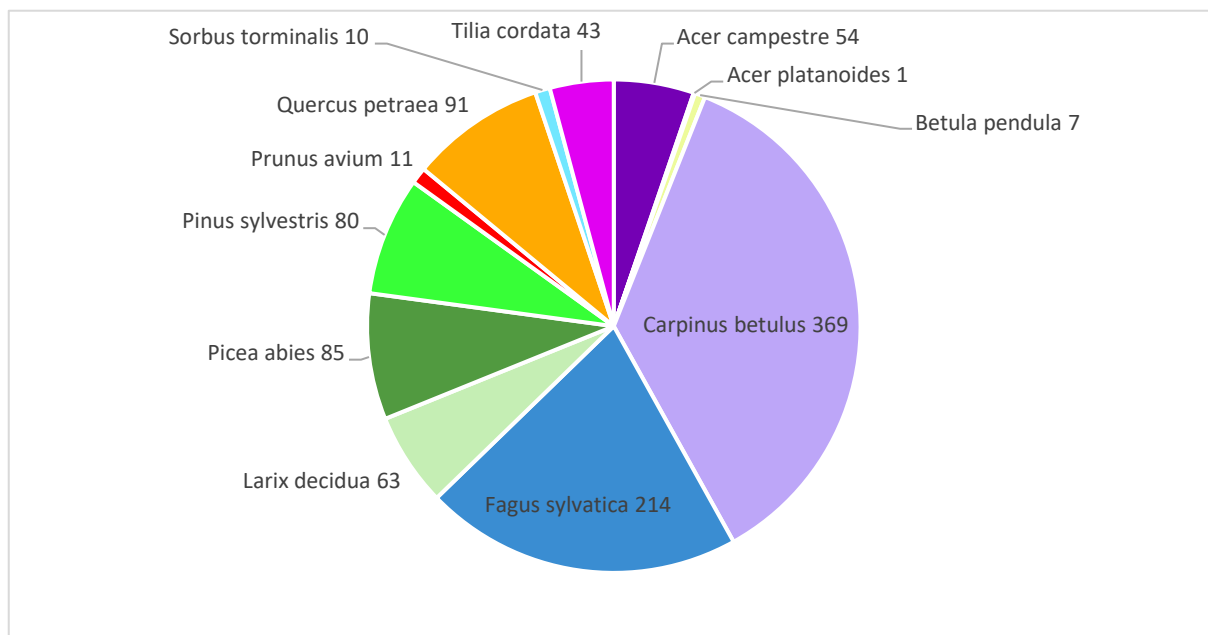


Abbildung 14: Stammzahlverteilung des Marteloskops.

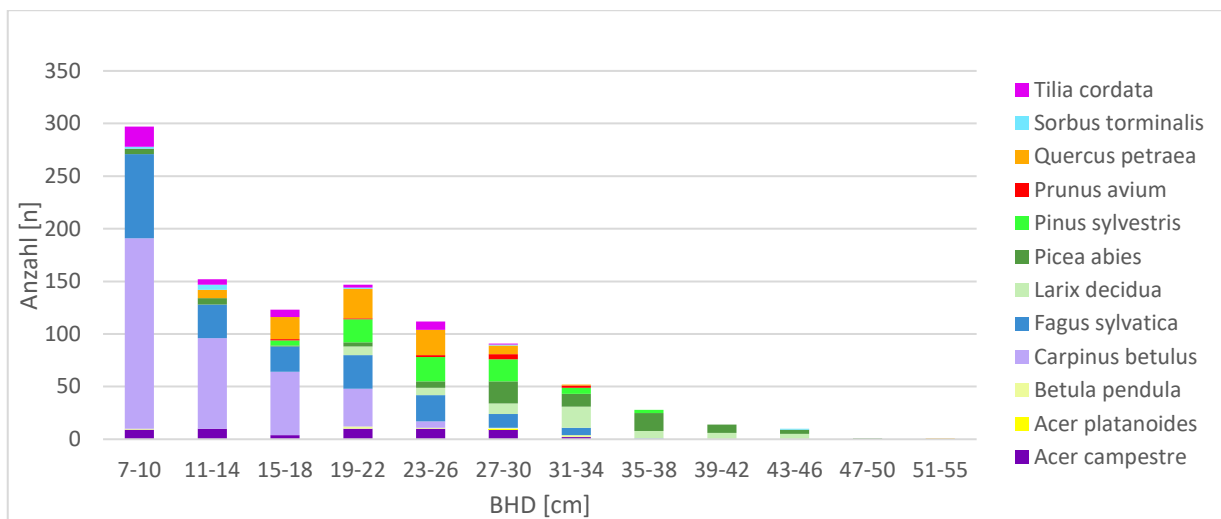


Abbildung 15: BHD-Verteilung des Marteloscops.

3.1.2 Grundfläche

Die Marteloskopfläche besitzt eine Stammgrundfläche von insgesamt 33,1 m². Der Grundflächenmittelstamm aller Bäume besitzt eine Grundfläche von 0,03 m² und einen BHD von 20 cm. Der Grundflächenmittelstamm der 100 höchsten Bäume der Fläche besitzt eine Grundfläche von 0,11 m² und einen BHD von 36 cm. Den größten Anteil an der Bestandesgrundfläche hat die Baumart Fichte mit 6,49 m², gefolgt von Europäischer Lärche mit 5,26 m² und Rotbuche mit 5,07 m². Die Grundfläche der abgestorbenen, stehenden Bäume beträgt 0,65 m².

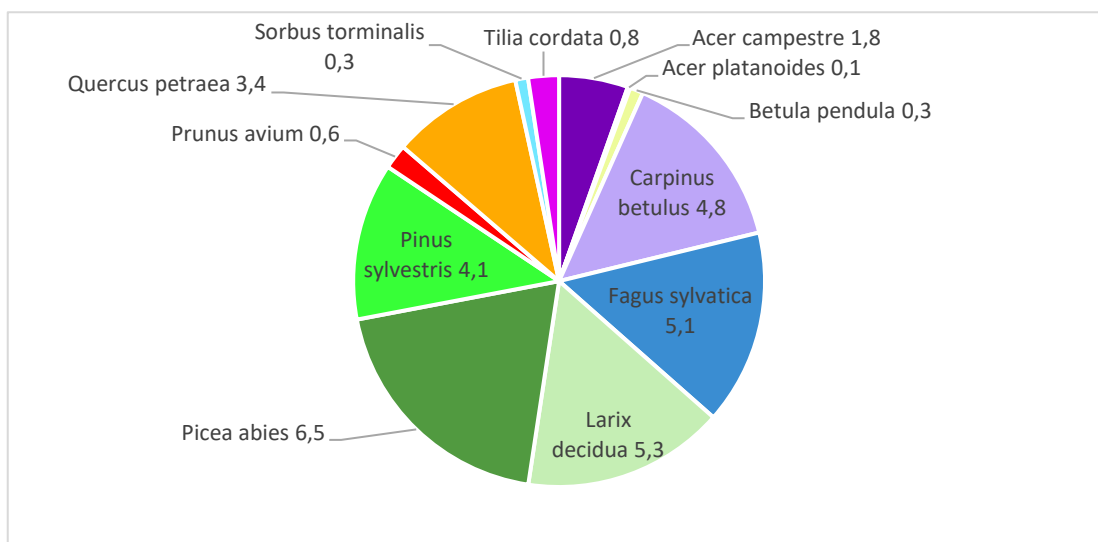


Abbildung 16: Grundflächenverteilung der Baumarten in m²/ha.

3.1.3 Vorrat und Zuwachs

Der Vorrat der Marteloskopfläche beträgt 286 Efm D. o. R. (359 Vfm D. m. R.). Den größten Anteil am Vorrat besitzt die Baumart Fichte mit 64 Efm, gefolgt von Rotbuche mit 45 Efm und Europäischer Lärche mit 44 Efm. Der Vorrat der stehenden, abgestorbenen Bäume beträgt 5 Efm (6 Vfm). Der Einzelbaum mit dem höchsten Volumen ist die in 3.1.1 genannte Traubeneiche mit 2,4 Efm (3,1 Vfm).

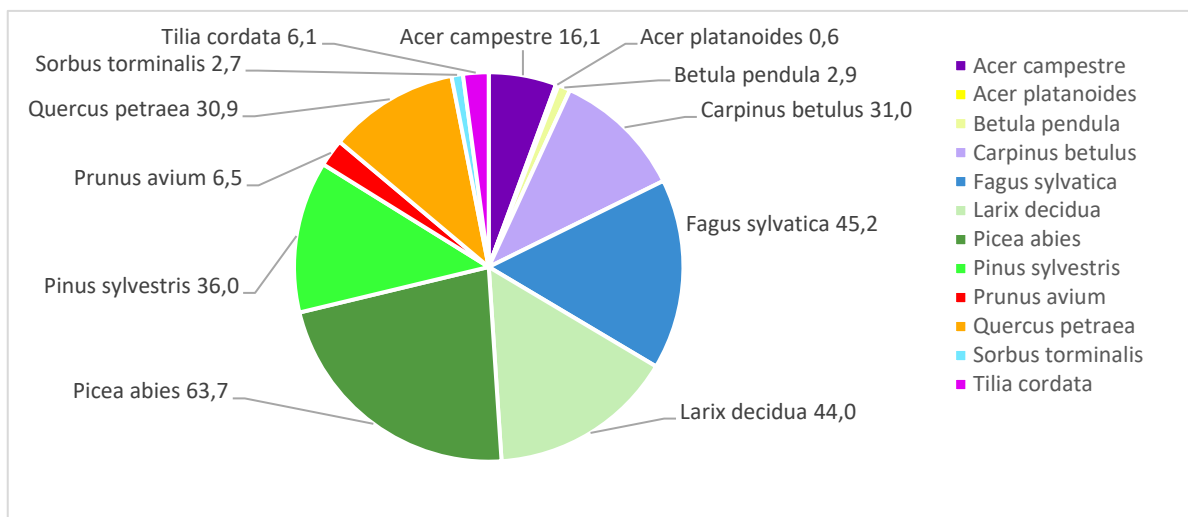


Abbildung 17: Vorratsverteilung der Baumarten in Erntefestmeter/ha.

Das Alter, das nach dem in 2.5.3 erläuterten Verfahren ermittelt wurde, sowie die für die Bonitierung verwendeten durchschnittlichen Baumhöhen der vorkommenden Baumarten sind in Tabelle 2 dargestellt. Der Ertragstafelzuwachs der Gesamtfläche beträgt 8,0 Efm/ha. Der Zuwachs korrigiert mit dem Hilfstabellen-Faktor 1,2 beträgt 9,6 Efm/ha. Der Zuwachs korrigiert mit dem Faktor 1,35 der Inventur 2015 beträgt 10,9 Efm/ha.

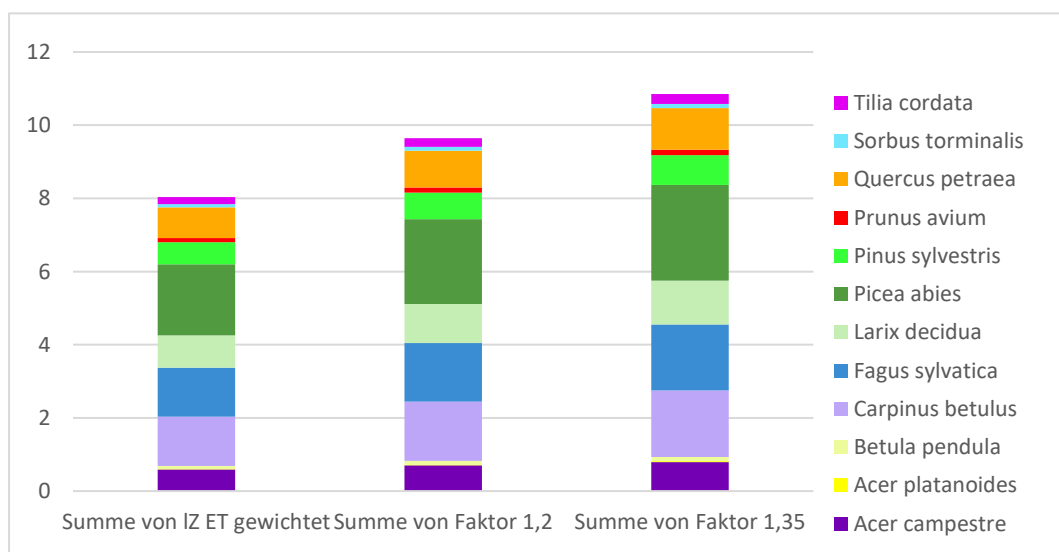


Abbildung 18: Baumartenspezifischer Zuwachs in Erntefestmeter/ha*Jahr.

Tabelle 2: Alter und durchschnittliche Höhen der vorkommenden Baumarten für die Bonitierung.

Baumart	Alter	Höhe [m]
Acer campestre	40	19,6
Acer platanoides	40	24,0
Betula pendula	50	23,1
Carpinus betulus	40	16,4
Fagus sylvatica	45	18,1
Larix decidua	50	25,4
Picea abies	50	22,9
Pinus sylvestris	55	24,0
Prunus avium	50	24,6
Quercus petraea	45	22,2
Sorbus torminalis	45	16,8
Tilia cordata	45	16,1
Gesamtergebnis	46,3	19,3

3.1.4 Baumartenanteile

Bei den flächenbezogenen Baumartenanteilen wechselt das Bild der Hauptbaumarten. An erster Stelle steht die Baumart Rotbuche mit 16,4 %, gefolgt von Europäischer Lärche mit 15,8 % und Hainbuche mit 15,6 %. Die Baumart Fichte nimmt nur noch 13,6 % der Fläche ein.

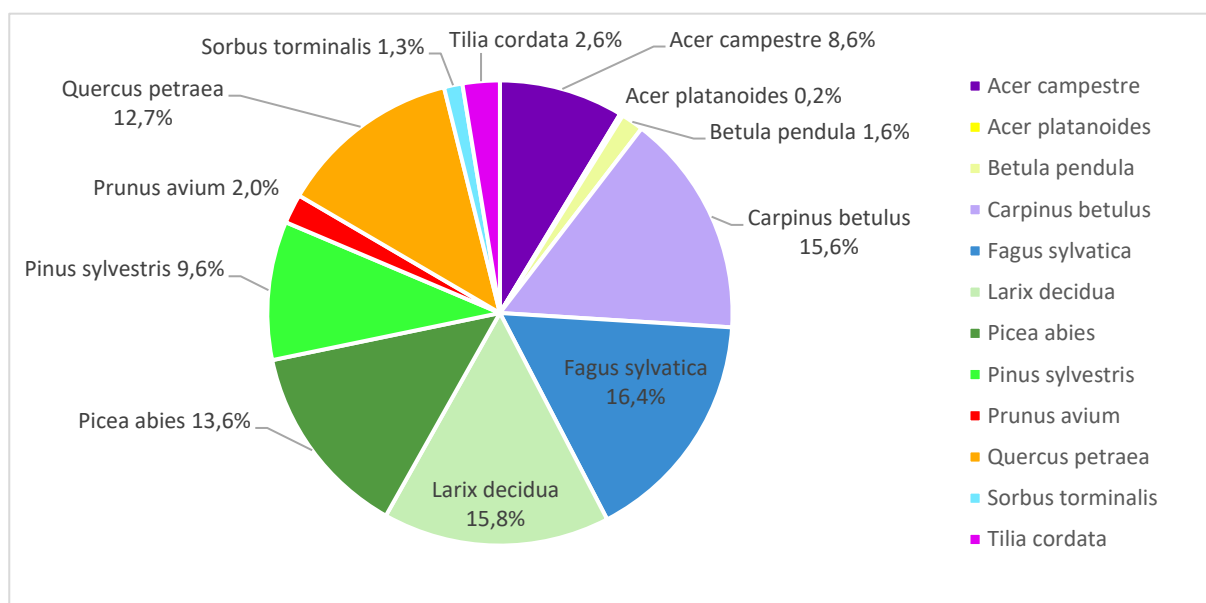


Abbildung 19: Flächenbezogene Baumartenanteile des Marteloscops Sailerhausen II.

3.1.5 Baumhöhen

Die Spreitung der Baumhöhen auf der Marteloskopfläche reicht von 3 m (Hainbuche) bis 31 m (Lärche und Fichte) (vgl. Tabelle 3). Die höchste Mittelhöhe hat die Europäische Lärche mit 25,4 m, die niedrigste hat die Winter-Linde mit 16,1 m. Für den Gesamtbestand ergibt sich eine Mittelhöhe von 19,3 m. Die Oberhöhe entspricht der Höhe des Grundflächenmittelstamms der 100 stärksten Bäume. Die Grundfläche dieses Grundflächenmittelstamms beträgt 0,11 m² und der BHD 36,68 cm, wodurch sich eine Oberhöhe von 27,42 m, also rund 27 m ergibt.

Tabelle 3: Übersicht über die Baumhöhen nach Baumart.

	Höhe [m]		
	min	Mittelwert	max
Lärche	21,3	25,4	31,0
Fichte	4,0	22,9	31,0
Kiefer	17,0	24,0	28,3
Buche	4,0	18,1	27,0
Hainbuche	3,0	16,4	26,0
Eiche	16,0	22,2	26,5
Feld-Ahorn	4,0	19,6	25,0
Linde	6,0	16,1	25,6
Kirsche	21,2	24,6	27,5
Birke	11,0	23,1	28,4
Elsbeere	12,0	16,8	21,4
Spitz-Ahorn	24,0	24,0	24,0
Gesamt	3,0	19,3	31,0

In Abbildung 20 ist jeder Baum mit dessen Höhe zum entsprechenden BHD mit einem Punkt abgebildet, die Farbe der Punkte spiegelt dabei die Baumart wider. Die schwarze Kurve zeigt die Höhenregressionskurve über alle Baumarten hinweg, welche über die logarithmische Funktion $f(x) = 9,6403 \cdot \ln(x) - 7,3083$ beschrieben wird. Es wird deutlich, dass die Hainbuche (hellviolett) vor allem in niedrigeren Höhen- und BHD-Stufen vertreten sind, während im oberen und stärkeren Bereich die Nadelbäume (grün) überwiegen. Im mittleren Bereich sticht vor allem die Eiche (orange) hervor.

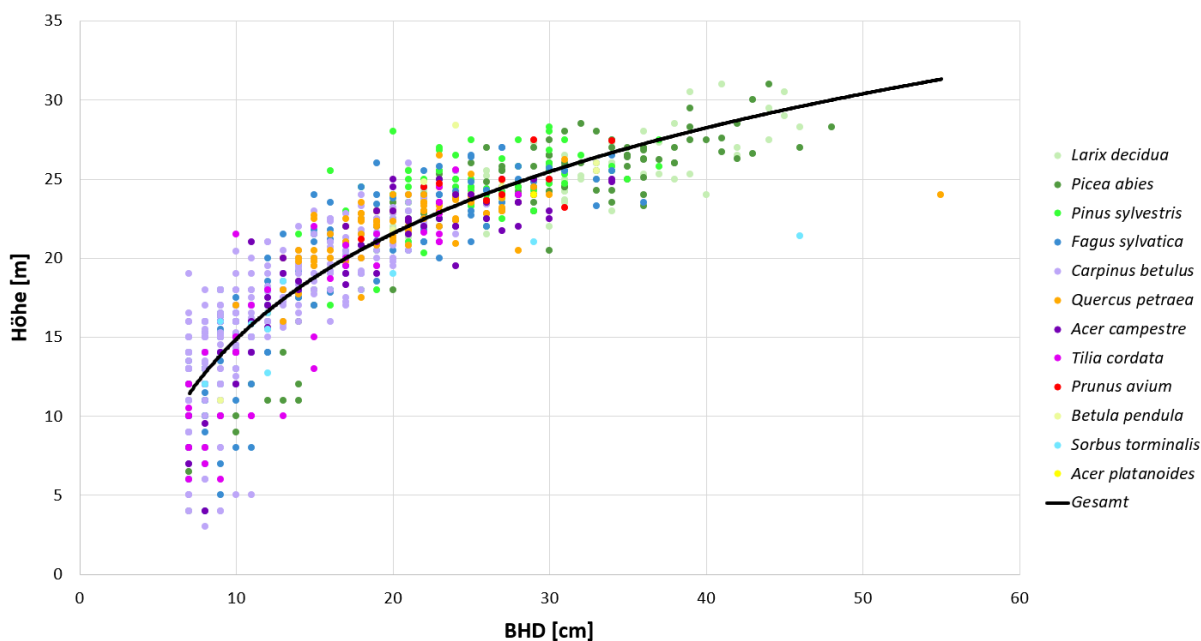


Abbildung 20: Verteilung der Baumhöhen nach BHD und Baumart.

Abbildung 21 zeigt die Anzahl der Individuen in jeder Höhenstufe in 3-Meter-Schritten nach Baumarten. Hier wird wieder deutlich, dass die höchsten Bäume überwiegend Nadelbäume sind, während in den tieferen Schichten vor allem Hainbuche und Buchen zu finden sind. Im Diagramm wird die vertikale Struktur des Bestandes deutlich: Die Oberschicht beinhaltet die Bäume im oberen Drittel der Oberhöhe, also alle Bäume, die höher als 18 m sind. In der Oberschicht ist jede Baumart vertreten. Die Mittelschicht mit einer Höhe von 9 bis 18 m besteht hauptsächlich aus Hainbuchen und Buchen. Die unterste Schicht unterhalb von 9 m besteht aus nur wenigen Individuen und stellt deshalb keine gesonderte Schicht dar. Der Bestand weist somit eine Zweischichtigkeit auf. Innerhalb der Ober- und Mittelschicht ist eine gewisse Stufigkeit mit fließenden Übergängen in die nächste Höhenstufe erkennbar.

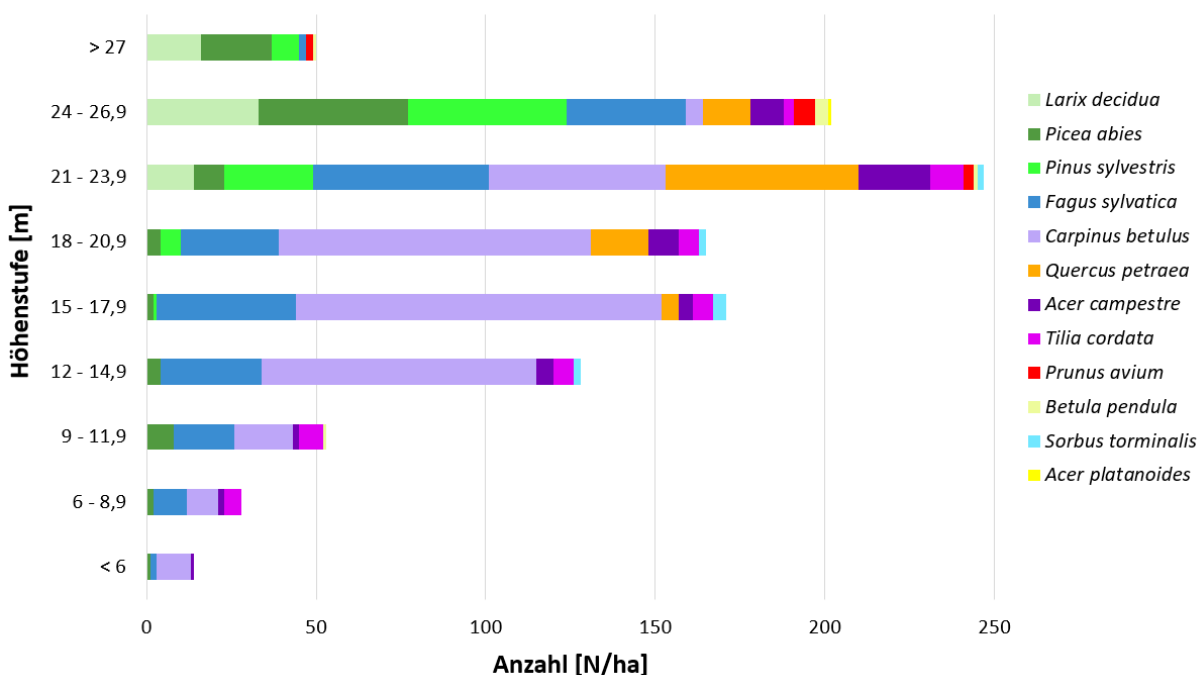


Abbildung 21: Anzahl der Bäume nach Höhenstufen und Baumart.

In Abbildung 22 ist die Karte des Marteloscops mit Blick von oben dargestellt. Rechts oben befindet sich der Quadrant 1, rechts unten Quadrant 2, links unten Quadrant 3 und links oben Quadrant 4. Jeder Kreis stellt einen Baum im Marteloskopbestand dar. Dabei richtet sich der Durchmesser und die Farbe der Kreise an die in der Legende angegebenen Höhenstufen. Die Bäume der höheren Stufen überlagern die Bäume der niedrigeren Stufen. Die höchsten Bäume (dunkelgrau) befinden sich im Quadranten 1. Im Quadranten 3 dominiert die Höhenstufe von 20 bis 24 m (rot). In den Höhenstufen über 26 m (grau und dunkelgrau) befinden sich überwiegend die Fichten, Lärchen und Kiefern (vgl. Abbildung 21). So lassen sich die Bereiche in etwa erkennen, in denen sich das Nadelholz befindet.

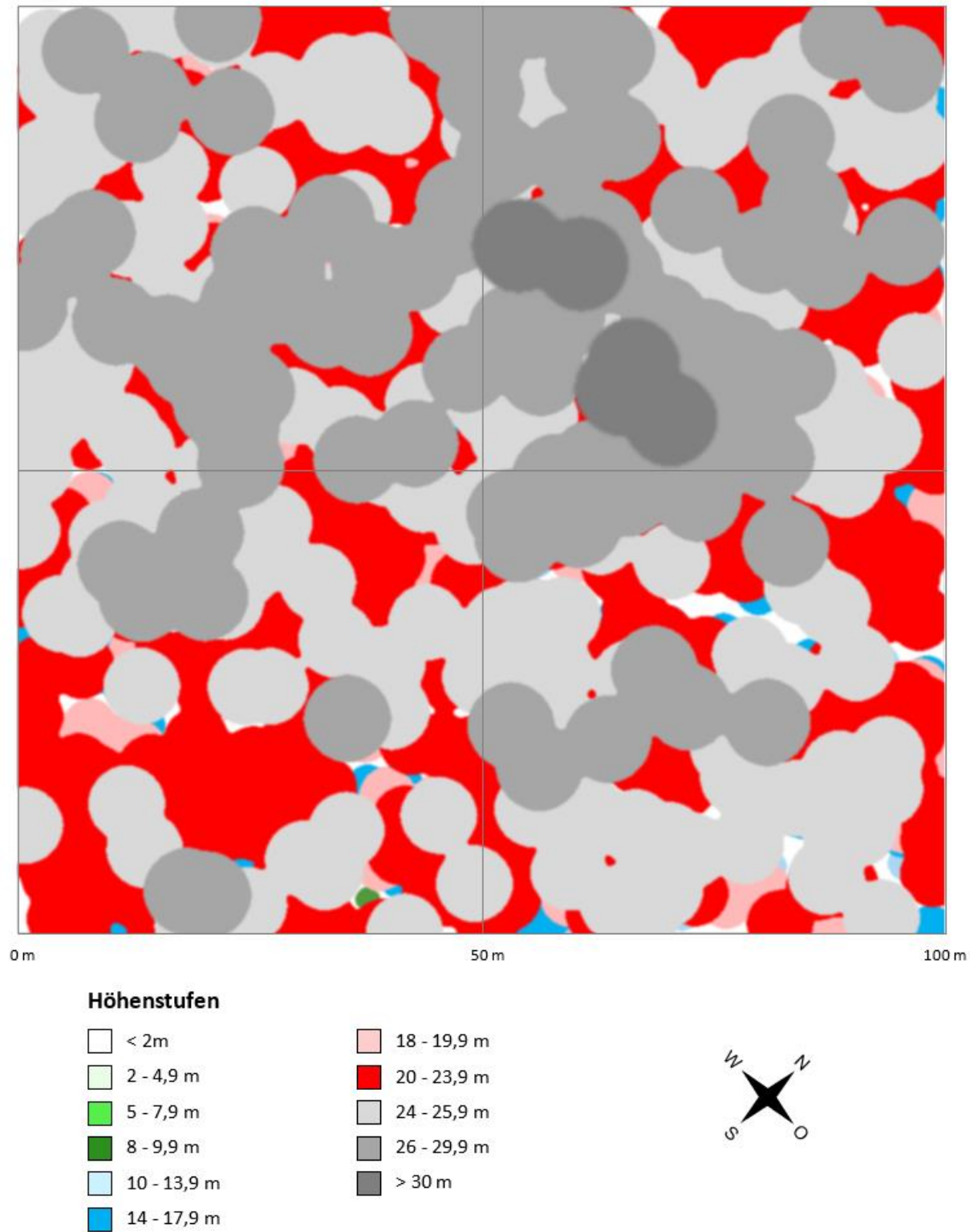


Abbildung 22: Stammfußkarte nach Baumhöhen. Die Größe und die Farbe des Kreises symbolisieren die Höhenstufe des Einzelbaums (eigene Darstellung).

3.2 Stabilität, Vitalität und soziale Stellung

Ein Parameter, der zwar im Marteloskop nicht direkt Eingang findet, aber dennoch in der forstwirtschaftlichen Praxis von großer Bedeutung für waldbauliche Maßnahmen ist, ist die Einzelbaum- bzw. Bestandesstabilität. Die Bestandesstabilität gegenüber Sturm und Schnee wird über die Einzelbaumstabilität, die Baumartenzusammensetzung, die Bestandesstruktur und die Standorteigenschaften bestimmt. Während die Standorteigenschaften, wie die Exposition gegenüber der Hauptwindrichtung oder das Bodensubstrat, nicht beeinflussbar sind, sind die Einzelbaumstabilität, die Baumartenzusammensetzung und die Bestandesstruktur über waldbauliche Eingriffe steuerbar. Die Standorteigenschaften haben zumeist ohnehin einen geringeren Einfluss auf die Stabilität gegenüber Wind als die Einzelbaum- und Bestandeseigenschaften (Hanewinkel et al., 2015). Für die Einzelbaumstabilität werden neben der Baumhöhe selbst in der Regel zwei Parameter herangezogen. Das Kronenprozent gibt an, wie hoch der Anteil der Kronenlänge an der Baumhöhe ist. Je höher das Kronenprozent, das heißt, je höher der Anteil der Krone ist, desto tiefer ist der Schwerpunkt des Baums und damit weniger gefährdet ist der Baum gegenüber Windwurf/-bruch und Schneebruch. Der Schlankheitsgrad, auch h/d-Wert genannt, gibt das Verhältnis von Baumhöhe zu Durchmesser (BHD) an. Je niedriger der h/d-Wert ist, desto abholziger und damit stabiler ist der Baum. Der h/d-Wert ist besonders bei der Fichte in Schneelagen ein wichtiges Kriterium für die Einzelbaumstabilität, hier sollte der Wert nicht über 80 liegen (Rittershofer, 1994).

Da nur die höchsten Bäume den Gefahren von Wind und Schnee besonders ausgesetzt sind, wird nur die Oberschicht, das heißt alle lebenden Bäume im höchsten Drittel der Oberhöhe, betrachtet. Zur Berechnung der Kronenprozents wurden die Baumhöhe und die Kronenansatzhöhe und der h/d-Werte die Baumhöhe und der BHD verwendet.

Abbildung 23 zeigt die Boxplot-Diagramme der Kronenprozente bzw. h/d-Werte der Baumarten im oberen Drittel der Oberhöhe. Die Aussagekraft der Werte für Spitz-Ahorn, Elsbeere und Birke sind fraglich, da nur ein bzw. vier bzw. sechs Individuen Teil der Oberschicht sind. Während das Laubholz überwiegend Kronenprozente von über 40 % aufweist, sind die Nadelbaumarten, vor allem Lärche und Kiefer gering bekront. Auch wenn kürzere Kronen für die Lärche und vor allem für die Kiefer erfahrungsgemäß nicht selten sind, sind Werte unter 25 % dennoch kritisch zu bewerten. Die h/d-Werte der Fichten und

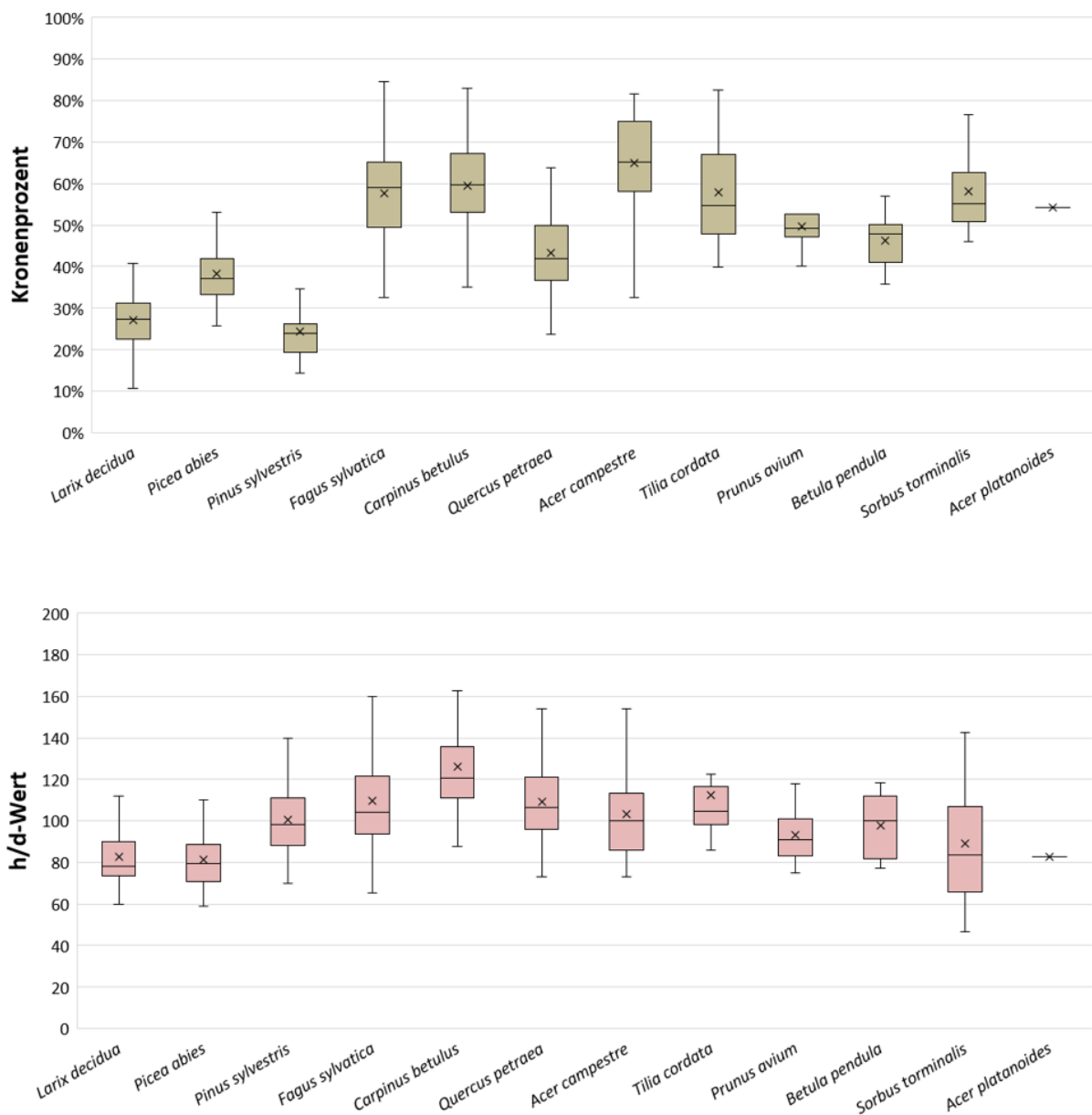


Abbildung 23: Boxplot der Kronenprozente (oben) und h/d-Werte (unten) der Bäume im obersten Drittel der Oberhöhe nach Baumarten.

Lärchen sind mit Werten um 80 in einem akzeptablen Bereich. Die hohen Werte der Kiefer verbunden mit den niedrigen Kronenprozente deuten auf lange, schwache, wenig bekronte und damit instabile Bäume hin. Die Laubbäume weisen ebenfalls hohe h/d-Werte auf. Diese sind zum Teil mit dem jungen Alter der Bäume begründbar und aufgrund der höheren Kronenprozente weniger problematisch. Außerdem sind Laubbäume weniger betroffen von Sturmschäden als die immergrünen Nadelbäume, da die Schäden überwiegend durch Winterstürme entstehen (Hanewinkel et al., 2015).

Insgesamt weist der Bestand – mit Ausnahme einiger langer Kiefern-Stangenhölzer und anderer einzelner Individuen – eine hohe Einzelbaumstabilität auf. Verbunden mit der hohen

Baumartenvielfalt, der heterogenen Bestandsstruktur, der Lage im geschlossenen Wald und der Tiefgründigkeit des Bodens ist die Bestandesstabilität ebenfalls hoch.

Das Kronenprozent kann neben anderen auch als Kriterium für die Vitalität des Einzelbaums herangezogen werden. Je kleiner die Krone des Baums, desto geringer ist die Assimilationsfläche und damit die Wuchsleistung des Einzelbaums. Gerade die Eiche als Baumart, der im Klimawandel gute Chancen zugerechnet wird und von der einige Exemplare im Marteloskopbestand eine gute Stammqualität aufweisen, hat das niedrigste durchschnittliche Kronenprozent der Laubbaumarten. Ohne Durchforstung werden einige solcher Eichen mit guter Qualität vermutlich durch Wasserreiserbildung an Qualität verlieren, in ihrem Wachstum gebremst werden oder gar absterben. Auch die Lärche als Lichtbaumart hat mit Werten von überwiegend unter 30 % sehr niedrige Kronenanteile. Für eine effiziente Wertholzproduktion mit der Lärche sollte – wie für alle Nadelhölzer – der Kronenanteil möglichst hoch sein (Ruhm & Schönauer, 2011). Die schlanken und kurz bekronen Kiefern weisen generell eine schlechte Vitalität auf. Einige bereits abgestorbene solcher Kiefern, vor allem im Quadranten 4, demonstrieren die Folgen der eingebüßten Assimilationsfläche der kleinen Kronen. Die Bäume der übrigen Baumarten besitzen überwiegend Kronen mit viel Feinreisiganteil und damit eine hohe Vitalität.

Um die soziale Stellung der Einzelbäume im Bestandsgefüge beurteilen zu können wurden die Kraft'schen Klassen der Bäume aufgenommen. Abbildung 24 zeigt die Verteilung der Anzahl von Bäumen nach Klasse und Baumart. Hier wird wieder die Dominanz der Nadelbäume in der Klasse der vorherrschenden Bäume (Klasse 1) deutlich. In dieser Klasse ist von jeder Baumart, außer der Hainbuche, mindestens ein Individuum vertreten. Dies verdeutlicht die Vielfalt und Heterogenität der Bestandsstruktur. Mit niedriger werdender Klasse werden die Anteile der Buche und Hainbuche größer. Im Herrschenden (Klasse 2) und gering Mitherrschenden (Klasse 3) ist jede Baumart vertreten, abgesehen vom Spitz-Ahorn. Die Klassen der beherrschten (Klasse 4) und ganz unterständigen (Klasse 5) Bäume bestehen überwiegend aus Hainbuchen und Buchen.

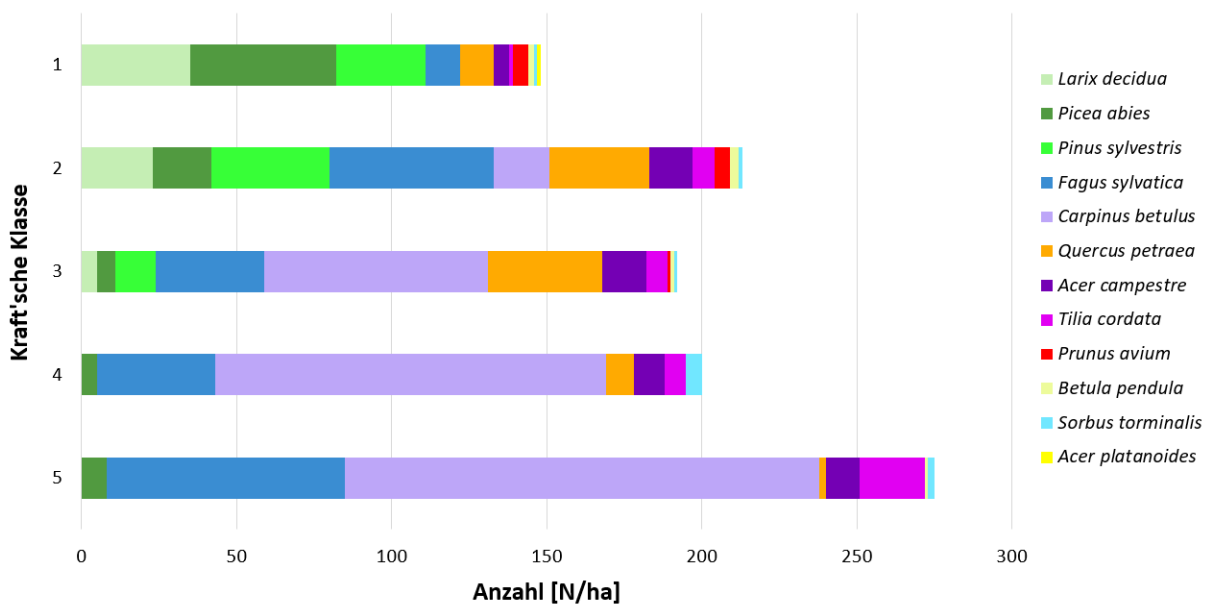


Abbildung 24: Anzahl der Bäume nach der Kraft'schen Klasse und Baumart.

3.3 Ökonomischer Wert

Der ökonomische Wert des Marteloskopbestands, also der erntekostenfreie Holzerlös, liegt bei 18.050,27 €. Die höchsten Anteile haben die Fichte mit 23 % und die Lärche mit 22 % (vgl. Tabelle 4). Der Anteil des Vorrats pro Baumart am Gesamtvorrat korreliert für alle Baumarten stark mit dem Anteil des ökonomischen Wertes pro Baumart am ökonomischen Gesamtwert. Nur die Lärche hat einen überproportionalen Anteil am ökonomischen Gesamtwert (22 %) im Verhältnis zum Vorratsanteil (15 %). Der Feld-Ahorn hingegen hat einen Vorratsanteil von 6 %, aber nur 2 % Anteil am ökonomischen Gesamtwert. Die höchsten Holzpreise je fm über alle Qualitäten hinweg erzielen die Lärche mit rund 91 €/fm und die Elsbeere mit rund 86 €/fm. Der monetäre Einzelbaumwert, der auch in Abbildung 25 als Boxplot-Diagramm abgebildet ist, ist für die Lärche mit durchschnittlich 64 € am höchsten, gefolgt von der Fichte mit rund 44 €. Unter den Laubbäumen kann den höchsten durchschnittlichen Einzelbaumwert die Kirsche mit rund 34 € verbuchen. Den niedrigsten durchschnittlichen Wert erzielt die Hainbuche mit weniger als 4 € pro Baum. Insgesamt liegt der durchschnittliche monetäre Wert eines Einzelbaums bei rund 17 €.

Tabelle 4: Übersicht über Vorrat und ökonomische Werte nach Baumarten, inkl. stehendes Totholz.

	Vorrat		Ökonomischer Wert					
	Summe [fm/ha]	Anteil	Summe [€/ha]	Anteil	Ø [€/fm]	min [€/Baum]	Ø [€/Baum]	max [€/Baum]
Lärche	44,0	15 %	4012,47	22 %	91	7,31	63,69	178,87
Fichte	66,2	23 %	4181,02	23 %	63	0,04	44,01	160,92
Kiefer	37,2	13 %	1995,02	11 %	54	4,44	22,67	74,62
Buche	45,7	16 %	2774,49	15 %	61	0,26	12,67	72,33
Hainbuche	31,1	11 %	1401,68	8 %	45	0,18	3,75	25,03
Eiche	31,6	11 %	2167,23	12 %	69	1,72	23,30	784,83
Feld-Ahorn	16,1	6 %	431,99	2 %	27	0,09	8,00	37,01
Linde	6,1	2 %	273,10	2 %	45	0,17	6,35	33,02
Kirsche	6,5	2 %	370,50	2 %	57	10,36	33,68	56,32
Birke	2,9	1 %	187,06	1 %	64	0,79	26,72	49,98
Elsbeere	2,7	1 %	234,44	1 %	86	1,02	23,44	156,37
Spitz-Ahorn	0,6	0 %	21,28	0 %	35	21,28	21,28	21,28
Gesamt	290,7	100 %	18050,27	100 %	62	0,04	17,06	784,83

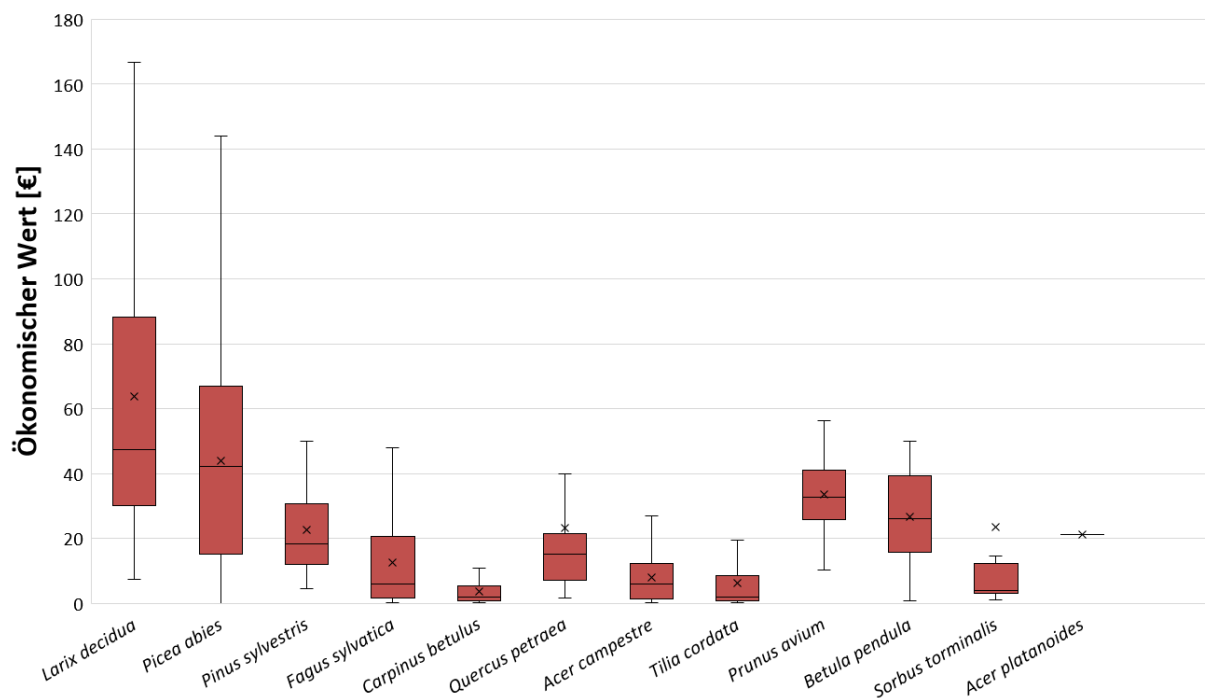


Abbildung 25: Boxplot der ökonomischen Einzelbaumwerte nach Baumart.

Abbildung 26 zeigt für jeden Baum den ökonomischen Wert nach dessen BHD. Die durchgezogene Linie stellt die polynomische Trendlinie dar. Der ökonomische Wert eines Baums steigt logischerweise mit zunehmender Dimension. Außerdem wird erkennbar, dass bis zu einem BHD von einschließlich 30 cm der ökonomische Einzelbaumwert nicht über 50 € liegt. Rund 90 % aller Bäume fallen in diesen BHD-Bereich.

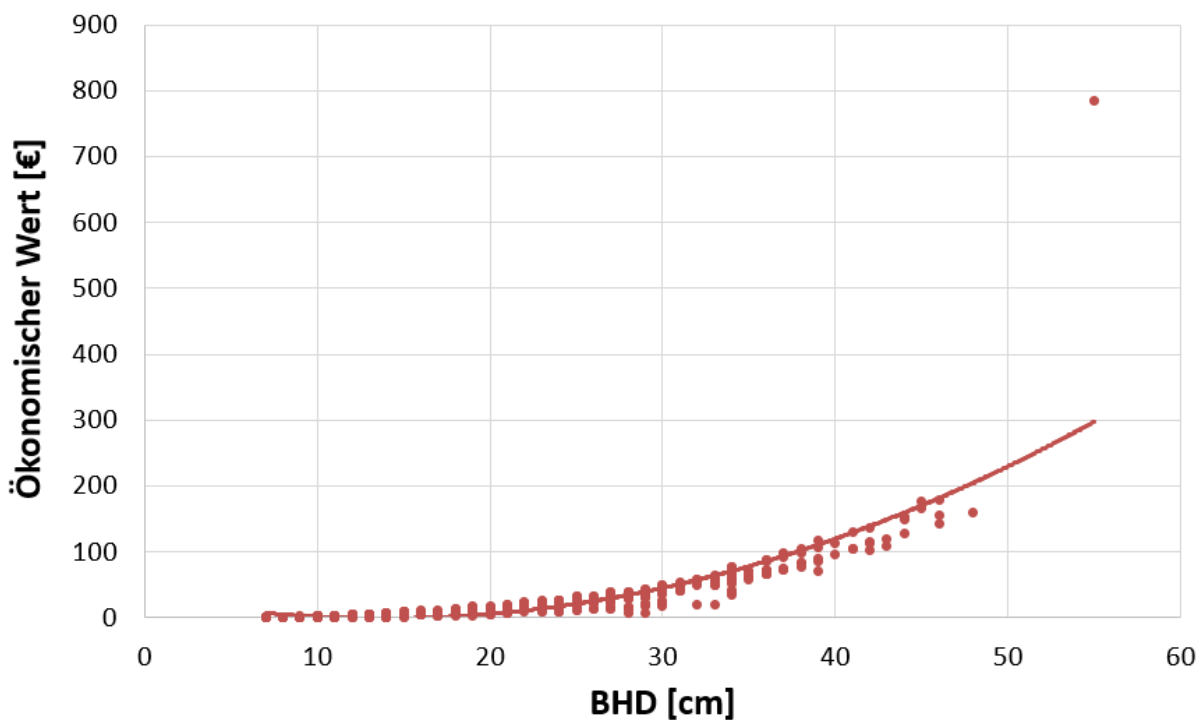


Abbildung 26: Ökonomischer Einzelbaumwert nach BHD.

Tabelle 5: Übersicht über die zehn ökonomisch wertvollsten Bäume.

Nummer	Baumart	BHD [cm]	Vorrat [Vfm m. R.]	Ökonomischer Wert	Habitatwert [Punkte]
2153	Eiche	55	3,07	784,83 €	96
2027	Lärche	46	1,84	178,87 €	6
1236	Lärche	45	2,04	176,77 €	0
1021	Lärche	45	1,87	166,71 €	10
4196	Fichte	48	2,20	160,92 €	0
1119	Elsbeere	46	1,89	156,37 €	98
2024	Lärche	44	1,88	154,10 €	4
1031	Lärche	44	1,70	149,19 €	0
4113	Fichte	46	1,95	143,95 €	0
1194	Lärche	42	1,50	137,24 €	0



Abbildung 27: Foto des ökonomisch wertvollsten Baums. Foto: Markus Täufer.

Der mit deutlichem Abstand ökonomisch wertvollste Baum im Marteloskop ist die Eiche (Nummer 2153) mit einem erntekostenfreien Holzerlös von knapp 800 €, was über 4 % des ökonomischen Gesamtwertes entspricht (vgl. Tabelle 5 und Abbildung 27). Bei dieser Eiche, die einen Gesamtvorrat von 3,07 Vfm m. R. hat, wurde der unterste Meter aufgrund einer Faulstelle dem Brennholz zugeteilt. Der anschließende 6 m lange Abschnitt wurde aufgrund seiner überdurchschnittlichen Qualität als furniertaugliches Holz bewertet, wodurch diesem Abschnitt einen Wert von etwa 600 € zugerechnet wird. Allerdings würde man bei einer möglichen Ernte dieser Eiche dem Bestand 96 Habitatpunkte entziehen. In der Liste der zehn ökonomisch wertvollsten Bäume findet sich außerdem auch der ökologisch wertvollste Baum: Die Elsbeere (Nummer 1119) mit einem Habitatwert von 98 Punkten hat einen monetären Wert von rund 160 €. Die übrigen Bäume in der Liste weisen nur einen geringen Habitatwert auf.

Abbildung 28 zeigt die Karte des Marteloscops mit Blicks von oben auf die Fläche. Rechts oben befindet sich der Quadrant 1, rechts unten Quadrant 2, links unten Quadrant 3 und links oben Quadrant 4. Jeder Kreis stellt einen Baum dar, die Farbe der Kreise symbolisiert die Baumart. Der Durchmesser eines Kreises wird durch den monetären Wert des Baums bestimmt. Das heißt, je ökonomisch wertvoller der Baum ist, desto größer ist der Kreis. Besonders sticht die Eiche (orange) im Quadranten 2 hervor. Es wird deutlich, dass die dominanten Baumarten, abgesehen von der Eiche, Nadelbäume, vor allem Fichte (dunkelgrün) und Lärche (hellgrün) sind. Vereinzelt finden sich noch wertvollere Buchen (dunkelblau) und Kirschen (rot). Auffallend ist zudem die Elsbeere (hellblau) im oberen rechten Eck.

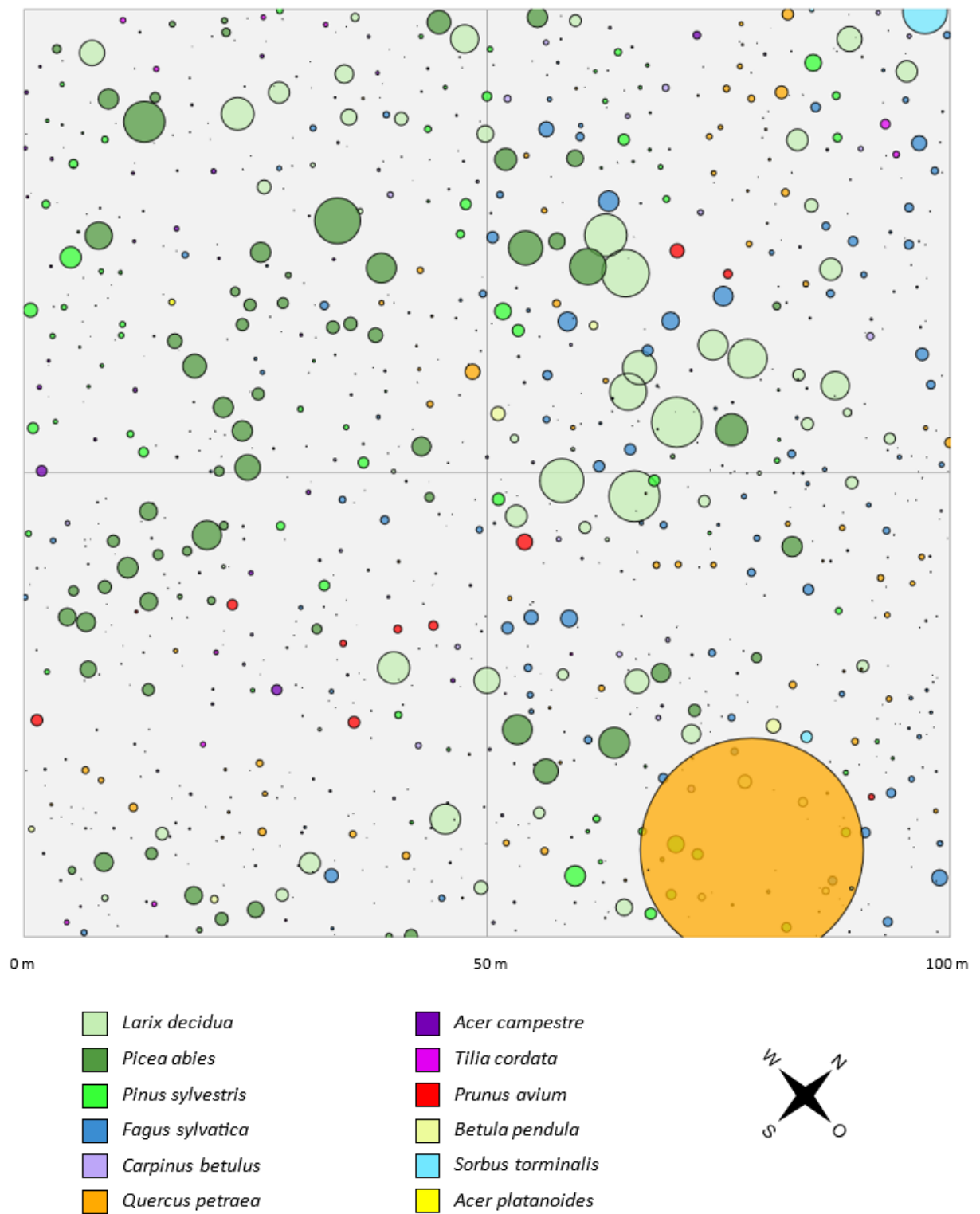


Abbildung 28: Stammfußkarte nach ökonomischem Wert. Die Größe des Kreises symbolisiert den ökonomischen Wert, die Farbe die Baumart des Einzelbaums (eigene Darstellung).

3.3.1 Astfreie Schaftlänge

Die Beurteilung der Sägefähigkeit eines Stamms und die Einteilung in Qualitäten ist häufig abhängig von seiner Astigkeit. Die astfreie Schaftlänge entspricht der Länge des Stamms bis zum ersten lebenden oder toten Ast. Bei den totastverlierenden Baumarten, im Marteloskop also alle Laubbäume außer der Kirsche, entspricht die astfreie Schaftlänge zumeist der Höhe des Kronensatzes und ergibt addiert mit der Kronenlänge die Baumhöhe. Der Anteil der astfreien Schaftlänge an der Baumhöhe ist also das Pendant zum Kronenprozent. Bei den Nadelbäumen und der Kirsche, die ihre Totäste in der Regel erhalten, ist eine Astung erforderlich, um lange astfreie Stammstücke produzieren zu können. Vor allem für die Kirsche und die Lärche kann das rentabel sein. Auf der Marteloskopfläche sind einige wenige geastete Kirschen vorhanden.

Abbildung 29 zeigt die Boxplot-Verteilung der Anteile der grünastfreien Schaftlängen an der Baumhöhe nach den Baumarten. Dabei wurden die Werte aus dem Quotienten von Kronenansatzhöhe und Baumhöhe berechnet. Da als Kriterium für den Kronenansatz der tiefste lebende Primärast verwendet wurde, kann die astfreie, also sowohl grün- als auch totastfreie Schaftlänge nicht berechnet werden. Dennoch können für die totastverlierenden Baumarten Tendenzen erkannt werden. So hat der Feld-Ahorn beispielsweise eher geringere astfreie Schaftlängen, während die Eiche prozentual längere astfreie Schaftlängen aufweist. Jedoch steigert das nicht zwangsläufig die Qualität des Stamms, da beispielsweise die Eiche

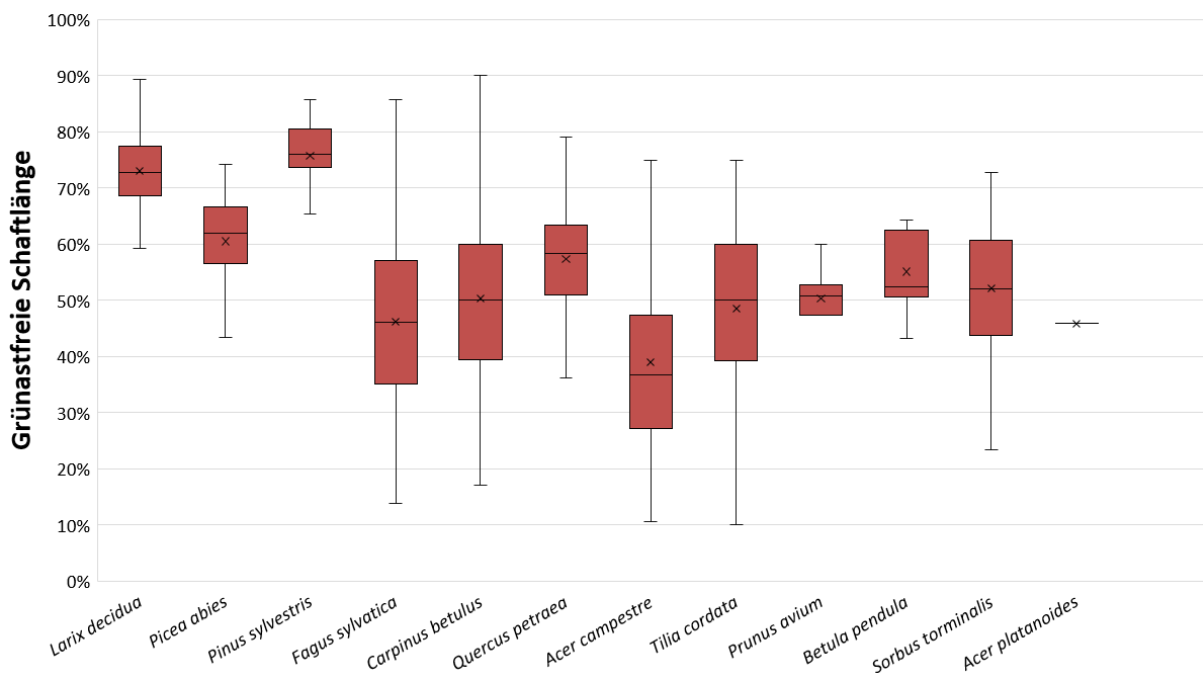


Abbildung 29: Boxplot der primärgrünastfreien Schaftlänge nach Baumart.

bei zu geringem Kronenvolumen zu Wasserreiserbildung neigt, wodurch die Qualität des Stamms deutlich gemindert werden kann.

3.3.2 Qualität

Bei der Qualitätseinteilung ist ein deutlicher Unterschied zwischen Nadelholz und Laubholz erkennbar: Beim Laubholz wurde etwa 94 % des Vorrats ins Brennholz (BH) sortiert. Nur 6 % wurde als sägefähiges Stamm- oder Industrieholz ausgehalten. Das auf der ganzen Fläche einzige Stammholzstück mit der Qualität A war bei der Eiche (Nummer 2153) zu finden. Bei der Buche, dem Feld-Ahorn, der Linde, der Kirsche, der Birke und der Elsbeere wurden vereinzelt kurze Stammholzstücke ausgehalten. Die Hainbuche wurde gänzlich ins Brennholz sortiert. Beim Nadelholz, vor allem bei der Fichte, wird in der Forstpraxis das Stammholz üblicherweise als BC-Mischsortiment ausgehalten. Bei der Aufnahme wurden diese Stücke als Qualität B gewertet. Weil beim Nadelholz der Stammholzanteil generell hoch ist, ist auch hier der Anteil der Qualität B am Gesamtvolumen der Nadelbäume – anders als beim Laubholz – höher als der Brennholzanteil.

Betrachtet man die Summe der ökonomischen Werte der Qualitäten, wird der Unterschied noch deutlicher (vgl. Abbildung 30 unten). Der ökonomische Gesamtwert der Fichte und der Lärche wird zu etwa 90 % vom Stammholzwert bestimmt. Auffällig ist auch der hohe Anteil des A-Stücks bei der Eiche: Während dieser Abschnitt nur rund 3 % des gesamten Eichenvorrats ausmacht, entfällt mehr als ein Viertel des ökonomischen Gesamtwerts aller Eichen auf dieses Stammholzstück.

Das Laubholz wird überwiegend dem Brennholz zugeteilt, da ein Großteil der Laubbäume noch zu schwach ist, um wertvolle sägefähige Stammholzstücke auszuhalten. Insgesamt 834 Bäume, also rund 80 % aller Bäume, wurden gänzlich ins Brennholz sortiert. Auf der Fläche finden sich aber für jede Laubbaumart mehrere Exemplare mit einer hohen Werterwartung. Die Qualitäten zahlreicher Eichen und Hainbuchen sind überdurchschnittlich. Auch die geasteten Kirschen werden mit zunehmender Dimensionierung an monetären Wert gewinnen. Beim Feld-Ahorn, der Linde, der Birke und der Elsbeere sind einzelne Individuen mit einem langen, geraden und astfreien Schaft zu finden, wodurch auch für diese Baumarten bei wachsenden Dimensionen mit höheren Qualitätseinstufungen gerechnet werden kann. Die Qualität der Buchen ist aufgrund einiger Zwieselbildungen und Kleb- und

Steiläste eher durchschnittlich. Die Nadelhölzer weisen ebenfalls überwiegend eine durchschnittliche Qualität auf.

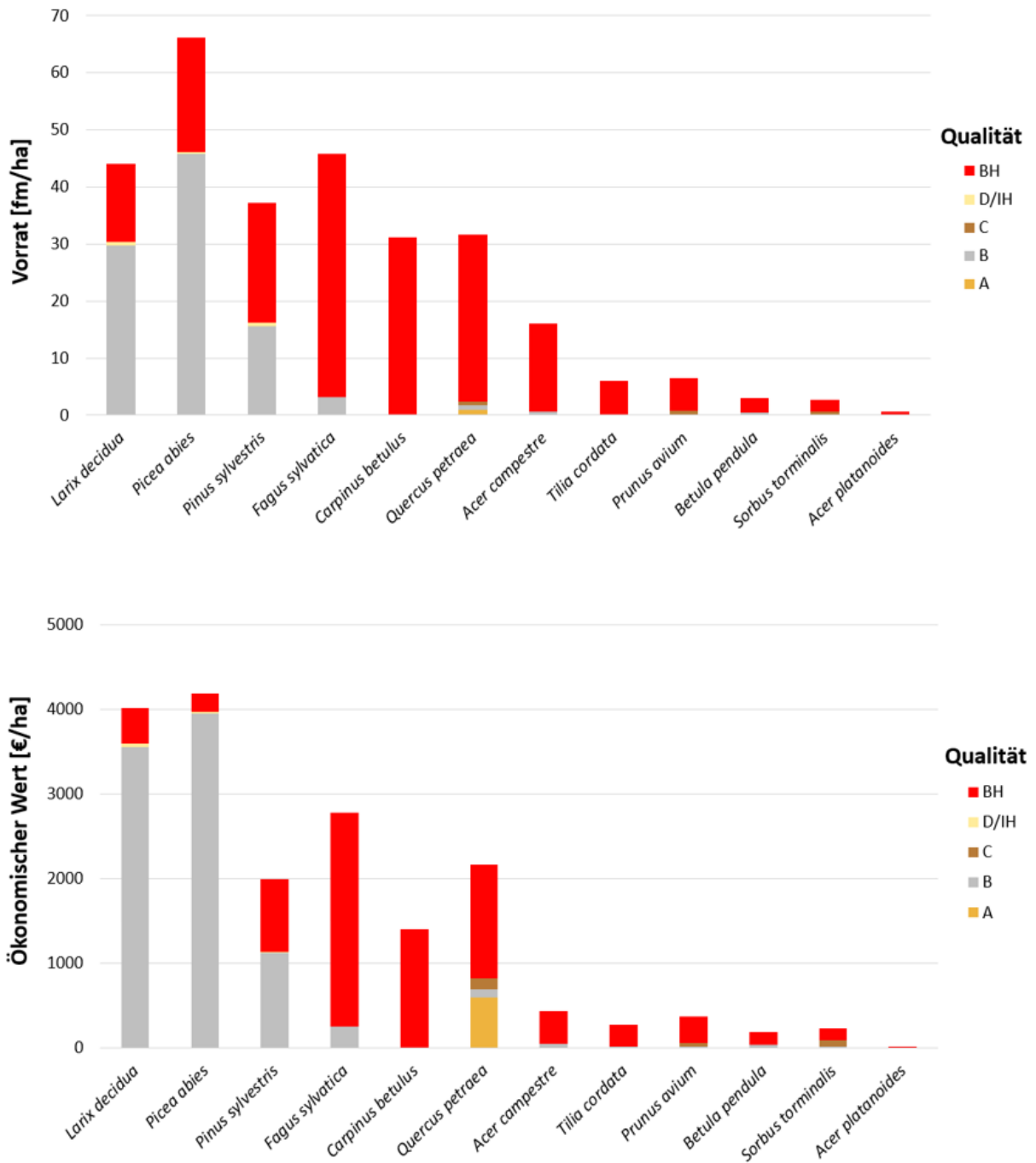


Abbildung 30: Vorrat (oben) und ökonomischer Wert (unten) nach Baumart und Qualität (A/B/C/D = Stammholz, IH = Industrieholz, BH = Brennholz), inkl. stehendes Totholz.

3.4 Ökologischer Wert

Der ökologische Wert des Marteloskops basiert nach dem Verfahren des EFI nur auf dem Habitatwert der Einzelbäume. Totholz wird nur als Mikrohabitat berücksichtigt, etwa als Totast oder als abgestorbene Krone. Allerdings spielt weder das Volumen des stehenden Totholzes, an dem die Mikrohabitate vorkommen, noch liegendes Totholz- und Stockholzvolumen grundsätzlich eine Rolle. Da Totholz im Wald aufgrund seiner positiven Effekte beispielsweise der Wasserspeicherwirkung und seiner Bedeutung für die Biodiversität immer mehr an Bedeutung gewinnt, wird das Totholzvolumen dennoch erfasst und gesondert vom Habitatwert betrachtet.

3.4.1 Habitatwert

Auf der Marteloskopfläche wurden insgesamt 520 einzelne Mikrohabitate nach dem Katalog des EFI dokumentiert (vgl. Tabelle 6). An jeder Baumart, abgesehen von dem Spitz-Ahorn, wurden mindestens zehn einzelne Mikrohabitate entdeckt. 23 % der gesamten Anzahl der Mikrohabitate befinden sich an den Nadelbaumarten Kiefer, Fichte und Lärche. Die meisten Mikrohabitate sind an der Eiche (20 %) zu finden, gefolgt von der Hainbuche (18 %) und vom Feld-Ahorn (16 %). Durchschnittlich weist fast jeder zweite Baum auf der Fläche ein Mikrohabitat auf. Bei der Birke, dem Feld-Ahorn, der Elsbeere, der Kirsche, der Eiche und

Tabelle 6: Übersicht über Anzahl der Mikrohabitate und Habitatwerte nach Baumarten.

	Anzahl der Mikrohabitate			Habitatwert		
	Summe [N/ha]	Anteil	Ø pro Baum	Summe [Punkte/ha]	Anteil	Ø pro Baum [Punkte]
Lärche	11	2 %	0,17	68	2 %	1,08
Fichte	40	8 %	0,42	399	10 %	4,20
Kiefer	66	13 %	0,75	512	12 %	5,82
Buche	68	13 %	0,31	759	18 %	3,47
Hainbuche	96	18 %	0,26	804	19 %	2,15
Eiche	105	20 %	1,13	591	14 %	6,35
Feld-Ahorn	81	16 %	1,50	497	12 %	9,20
Linde	10	2 %	0,23	94	2 %	2,19
Kirsche	14	3 %	1,27	164	4 %	14,91
Birke	13	2 %	1,86	100	2 %	14,29
Elsbeere	15	3 %	1,50	160	4 %	16,00
Spitz-Ahorn	1	0%	1,00	4	0 %	4,00
Gesamt	520	100 %	0,49	4152	100 %	3,92

dem Spitz-Ahorn ist an jedem Baum durchschnittlich mindestens ein Mikrohabitat zu finden. Der Habitatwert des gesamten Marteloskopbestands liegt bei 4152 Punkten. Hier hat den höchsten Anteil die Hainbuche (19 %), gefolgt von der Buche (18 %) und der Eiche (14 %). Jeder Baum auf der Fläche hat durchschnittlich einen Wert von etwa 4 Habitatpunkten. Die höchsten Durchschnittswerte erzielen die Elsbeere, die Kirsche und die Birke. Die Lärche hat mit etwa einem Habitatpunkt den niedrigsten ökologischen Durchschnittswert.

Die mit deutlichem Abstand am häufigsten vorkommenden Mikrohabitate sind der Moosbewuchs (EP31) und das freiliegende Splintholz (IN11) (Abbildung 31 oben). Beiden Mikrohabitaten wird mit einem Gesamtwert von jeweils 4 Habitatpunkten allerdings nur ein sehr geringer ökologischer Wert zugerechnet (vgl. Anhang 4). Weitere häufig vorkommende Mikrohabitatgruppen sind Rindentaschen (BA1), Totäste/Kronentotholz (DE1), Stammfußhöhlen (GR1), Mikroböden (OT2) und Asthöhlen (CV3). Den höchsten Anteil am ökologischen Gesamtwert hat der Moosbewuchs mit 636 Punkten, dicht gefolgt von den nach unten geöffneten Rindentaschen (BA11) mit 630 Punkten und mit etwas Abstand vom freiliegenden Splintholz mit 548 Punkten (vgl. Abbildung 31 unten).

Bei Betrachtung der Anzahl der Mikrohabitate für jede Baumart getrennt nach den Mikrohabitatkategorien in Abbildung 32 wird deutlich, dass sich das häufigste Mikrohabitat, der Moosbewuchs (EP31) zum Großteil auf zwei Baumarten aufteilt: Rund zwei Drittel dieses Mikrohabitattyps befinden sich an Eichen und Feld-Ahornen. Freiliegendes Splintholz ist an jeder Baumart, außer an dem Spitz-Ahorn zu finden. Häufig wurde das Splintholz durch Fäll- und Rückeschäden freigelegt, was vor allem bei den Fichten, Kiefern und Lärchen deutlich erkennbar ist. Stammfußhöhlen und Stammspalten (GR1) treten aufgrund ihrer arttypischen Spannrückigkeit vermehrt an Hainbuchen und Feld-Ahornen auf. In diesen Höhlennischen sind häufig Mikroböden (OT2) auffindbar. Rindentaschen (BA1) sind überwiegend an toten Fichten, Kiefern und Buchen zu finden, wo sich die Rindenschuppen vom Splint lösen und vom Stamm absteigen. Bei der Verteilung der Habitatwerte für jede Baumart getrennt nach den Mikrohabitatkategorien (vgl. Abbildung 32 unten) wird der verhältnismäßig geringe ökologische Wert des freiliegenden Splints und des Moosbewuchs deutlich. Der Anteil der Mikroböden und Rindentaschen am Habitatwert ist hingegen groß.

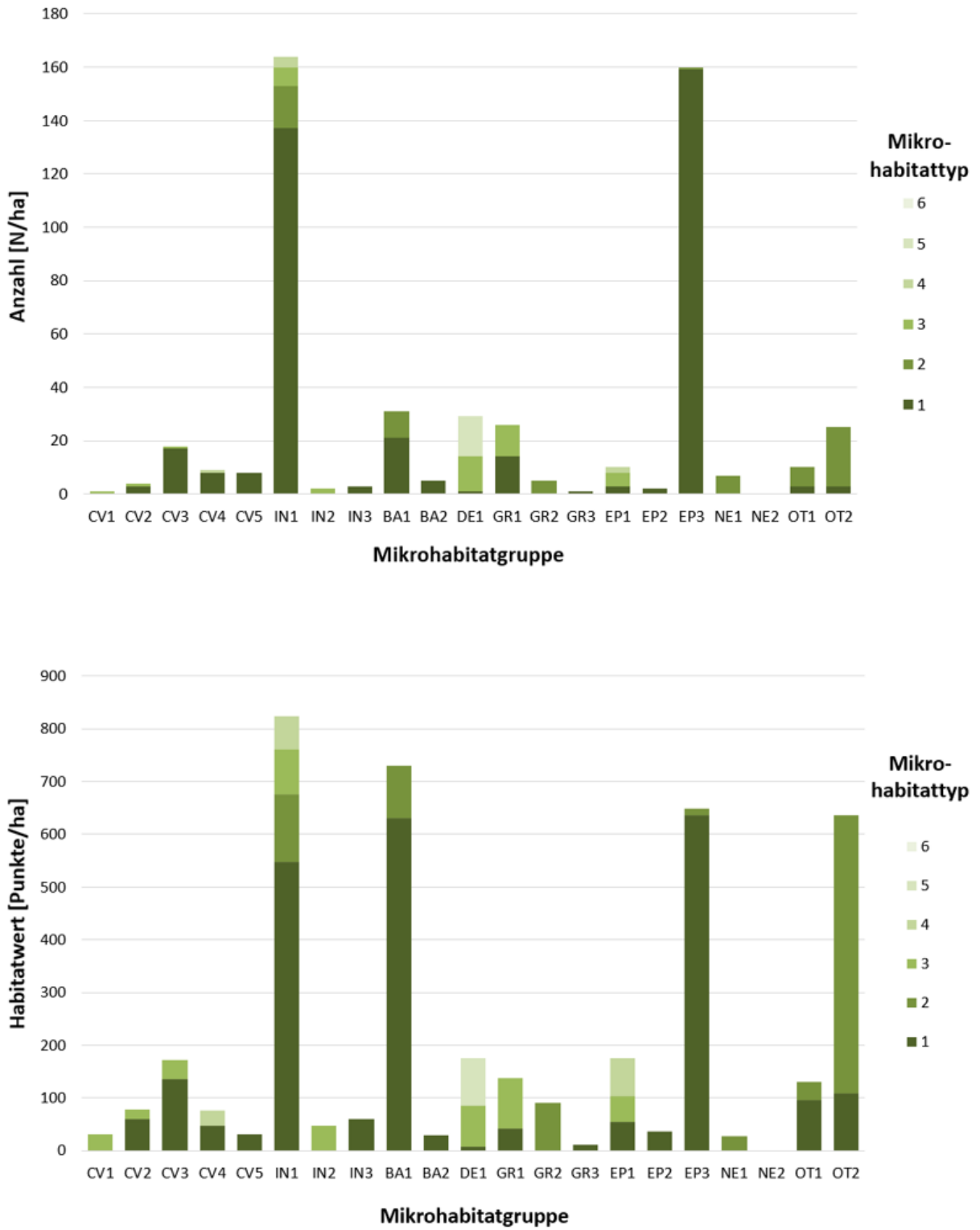


Abbildung 31: Anzahl der Mikrohabitate (oben) und Habitatwert (unten) nach Mikrohabitatgruppen und Mikrohabitatstypen.

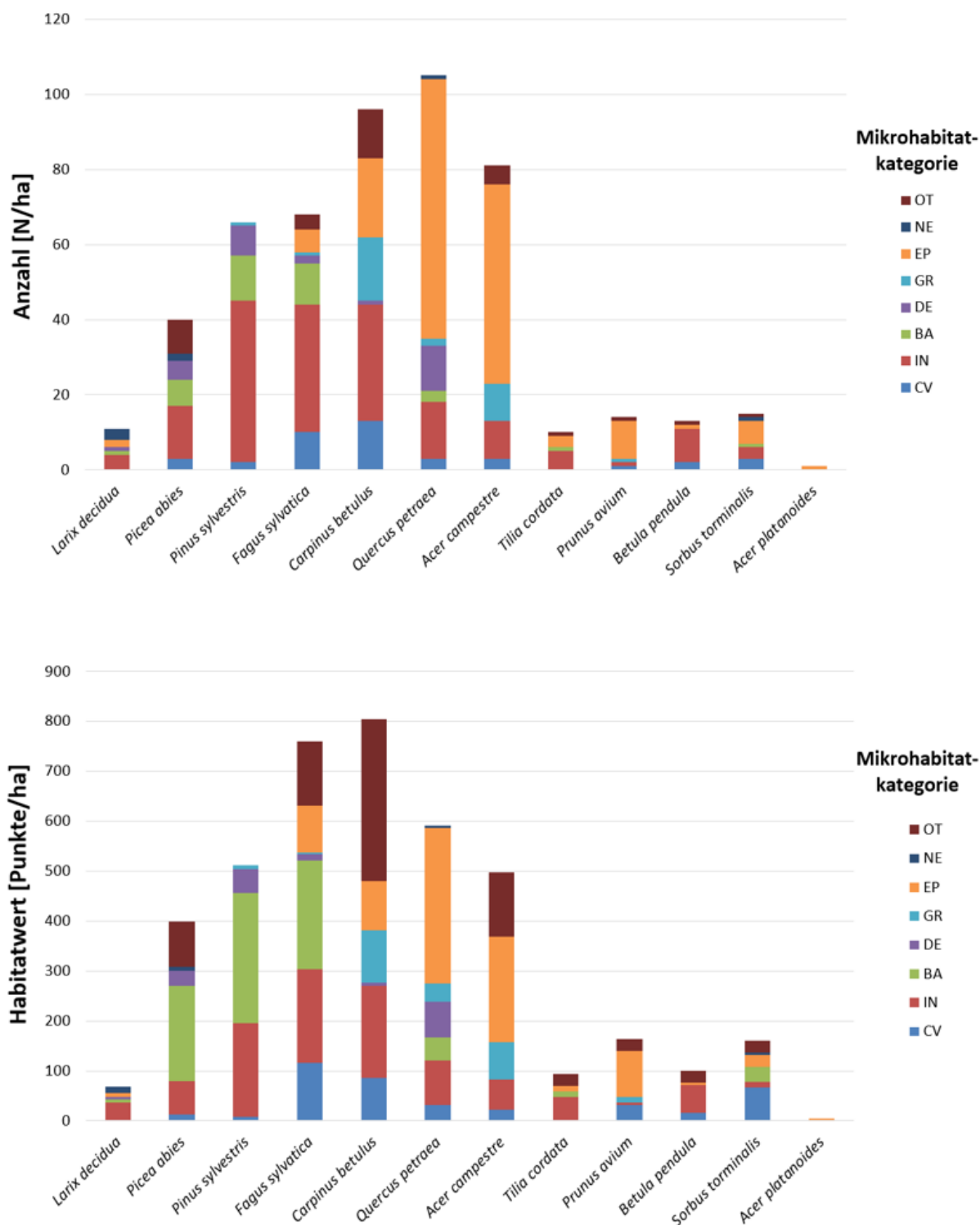


Abbildung 32: Anzahl der Mikrohabitate (oben) und Habitatwert (unten) nach Baumart und Mikrohabitatkategorie.

In Abbildung 33 (oben) wird für jeden Baum der Habitatwert nach dem dazugehörigen BHD dargestellt. Die durchgezogenen Linien zeigen die jeweilige lineare Trendlinie. Beim Nadelholz sinkt mit steigendem BHD der Habitatwert des Baums. Beim Laubholz hingegen steigt mit steigendem BHD auch der Habitatwert des Baums. In Verbindung mit der Anzahl

der Mikrohabitate pro Baum, die in Abbildung 33 (unten) dargestellt wird, heißt das, dass je stärker ein Laubbaum in diesem Marteloskop wird, desto mehr Mikrohabitate treten an ihm auf und damit ökologisch wertvoller ist der Baum.

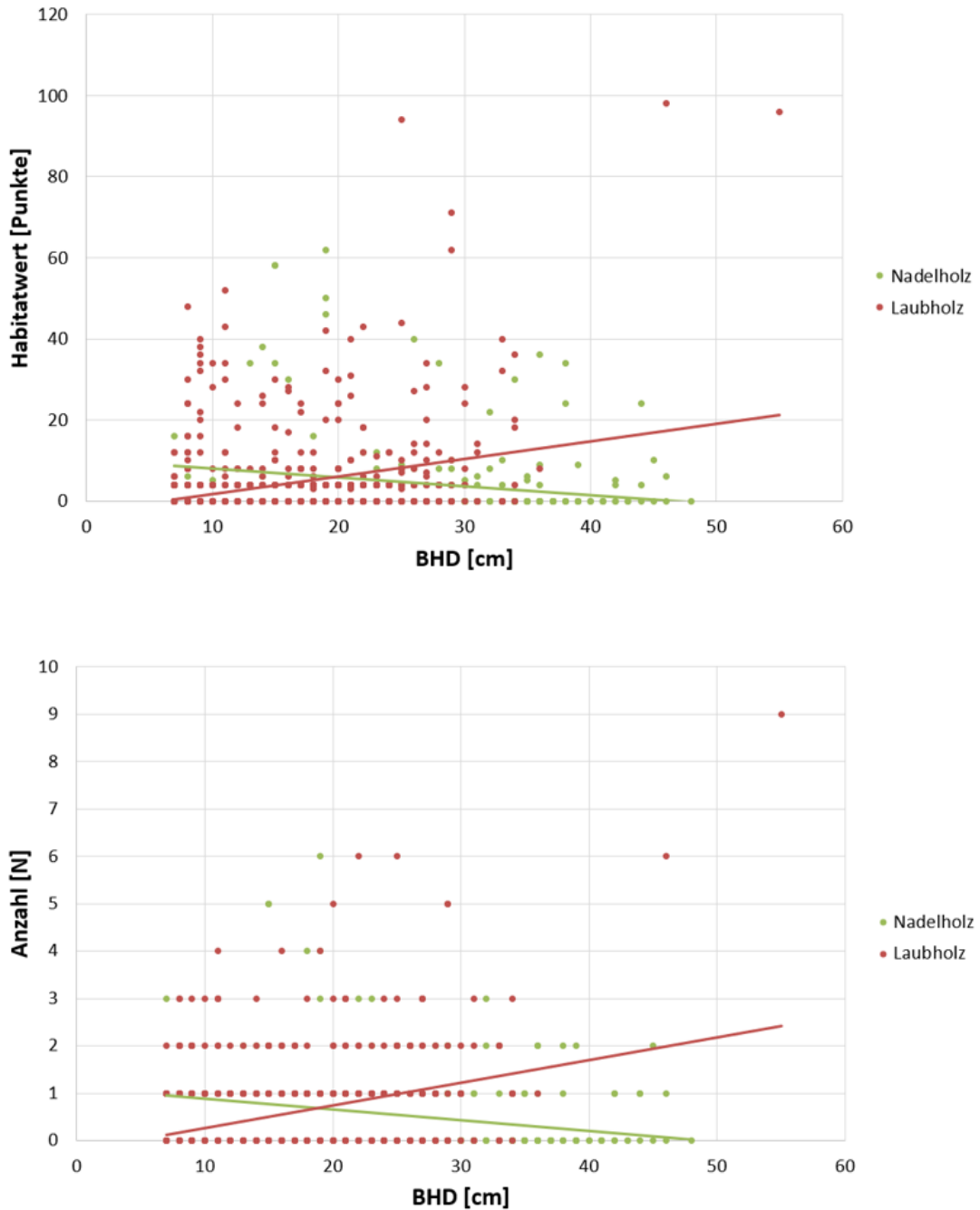


Abbildung 33: Habitatwert (oben) und Anzahl der Mikrohabitate (unten) des Einzelbaums nach BHD, getrennt nach Nadelholz und Laubholz.

Der ökologische Wert der Mikrohabitatstrukturen am stehenden Totholz ist proportional höher als der Wert an den lebenden Bäumen. So sind nur rund 3 % aller Bäume tot, jedoch finden sich an diesen Bäumen 20 % des gesamten Habitatwerts (vgl. Tabelle 7). Insbesondere bei der Kiefer (68 %) und der Fichte (45 %) ist der Anteil des Habitatwerts der stehenden Tothölzer deutlich höher als der Anteil der toten Bäume an der Gesamtstammzahl der Baumart.

Tabelle 7: Übersicht über die Anzahl der Bäume und Habitatwerte nach Baumart, getrennt nach dem Zustand (lebend – tot).

	Lebend				Tot			
	Anzahl der Bäume		Habitatwert		Anzahl der Bäume		Habitatwert	
	N/ha	Anteil	Punkte/ha	Anteil	N/ha	Anteil	Punkte/ha	Anteil
Lärche	63	100 %	68	100 %	0	0 %	0	0 %
Fichte	84	88 %	219	55 %	11	12 %	180	45 %
Kiefer	80	91 %	164	32 %	8	9 %	348	68 %
Buche	214	98 %	547	72 %	5	2 %	212	28 %
Hainbuche	369	99 %	762	95 %	5	1 %	42	5 %
Eiche	92	99 %	563	95 %	1	1 %	28	5 %
Feld-Ahorn	54	100 %	497	100 %	0	0 %	0	0 %
Linde	43	100 %	94	100 %	0	0 %	0	0 %
Kirsche	11	100 %	164	100 %	0	0 %	0	0 %
Birke	7	100 %	100	100 %	0	0 %	0	0 %
Elsbeere	10	100 %	160	100 %	0	0 %	0	0 %
Spitz-Ahorn	1	100 %	4	100 %	0	0 %	0	0 %
Gesamt	1028	97 %	3342	80 %	30	3 %	810	20 %

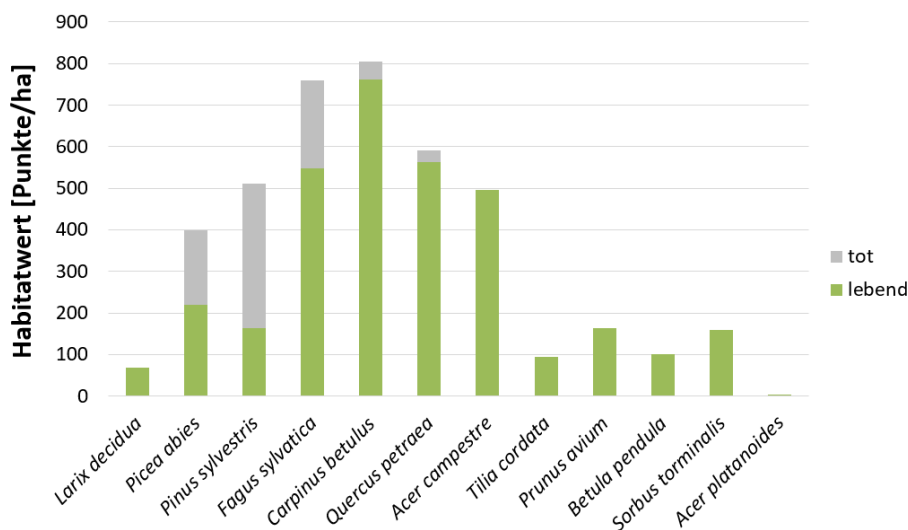


Abbildung 34: Habitatwert an lebenden und toten Bäumen nach Baumart.



Abbildung 35: Foto des ökologisch wertvollsten Baums. Foto: Markus Täufer.

Tabelle 8 zeigt die zehn ökologisch wertvollsten Bäume auf der Marteloskopfläche. Der wertvollste Baum ist eine Elsbeere (Nummer 1119) im nördlichen Eck der Fläche mit einem Habitatwert von 98 Punkten, welche durch insgesamt sechs Mikrohabitate gebildet werden (vgl. Abbildung 35). Darunter befindet sich zwischen Stamm und erstem Steilast eine mit Wasser füllbare Baumhöhlung (CV44), auch Dendrotelm genannt. Da der Baum direkt neben einer Rückegasse steht, wurde der Wurzelanlauf vermutlich bei Holzernte- oder Holzrückemaßnahmen beschädigt, wodurch das Splintholz freigelegt wurde (IN11). Im Laufe der Zeit faulte das Holz und es bildete sich eine kleine Mulmhöhle mit Bodenkontakt (CV21). Der ökologisch zweitwertvollste Baum ist eine Eiche (Nummer 2153) im Quadranten 2 mit 96 Habitatpunkten und neun Mikrohabitaten. Diese Eiche ist zugleich der stärkste, vorratsreichste, und mit rund 800 € der ökonomisch wertvollste Baum auf der Fläche. In der Krone waren unter anderem drei nicht besonnte, starke Totäste (DE13) und Pilze (EP21) zu finden. Der drittwertvollste Baum ist eine Buche (Nummer 1155) im Quadranten 1 mit einem Habitatwert von 94 Punkten. Die

Tabelle 8: Übersicht über die zehn ökologisch wertvollsten Bäume.

Nummer	Baumart	Zustand	BHD	Habitatwert [Punkte]	Anzahl der Mikrohabitate	Ökonomischer Wert
1119	Elsbeere	lebend	46 cm	98	6	156,37 €
2153	Eiche	lebend	55 cm	96	9	784,83 €
1155	Buche	tot	25 cm	94	6	25,52 €
4080	Feld-Ahorn	lebend	29 cm	71	5	17,62 €
3243	Kirsche	lebend	29 cm	62	5	36,30 €
4091	Kiefer	tot	19 cm	62	6	7,43 €
4007	Kiefer	tot	15 cm	58	5	4,89 €
4088	Kiefer	tot	15 cm	58	5	4,44 €
1227	Buche	tot	11 cm	52	4	2,34 €
1059	Kiefer	tot	19 cm	50	4	8,35 €

Tatsache, dass diese Buche sowie weitere fünf der zehn ökologisch wertvollsten Bäume tot sind, zeigt wiederum, wie hoch der Einfluss des Totholzes am ökologischen Wert eines Bestandes ist.

Abbildung 36 zeigt die Karte des Marteloskops mit Blick von oben auf den Quadranten 1 rechts oben, Quadranten 2 rechts unten, Quadranten 3 links unten und Quadranten 4 links oben. Die Kreise stellen die Bäume dar, die Farbe der Kreise steht für die zwölf verschiedenen Baumarten. Der Durchmesser eines Kreises wird durch den Habitatwert des Baums bestimmt. Das heißt die Elsbeere (Nummer 1119, in der Karte hellblau im oberen rechten Eck) hat somit den größten Durchmesser aller Kreise. Bäume, die einen Habitatwert von 0 Punkten haben, werden nicht angezeigt. Es wird sichtbar, dass es in jedem Quadranten neben vielen weniger ökologisch wertvollen Bäumen einzelne andere gibt, die ökologisch besonders wertvoll sind. So stechen im Quadranten 1 die Elsbeere (hellblau) und die Buche (dunkelblau), im Quadranten 2 die Eiche (orange), im Quadranten 3 eine Kirsche (rot) und im Quadranten 4 Feld-Ahorne (dunkellila) und Kiefern (neongrün) hervor. Bei den Hainbuchen (hellviolett) gibt es zwar keinen Einzelbaum mit einem besonders hohen Habitatwert, allerdings gibt es zahlreiche Bäume mit mittleren Habitatwerten.

Abbildung 37 zeigt Fotos von vier Beispielen von Mikrohabitaten, die auf der Marteloskopfläche vorgefunden wurden. Hier sind auch die beiden häufigsten Habitate, das freiliegende Splintholz (IN11) und der Moosbewuchs (EP31), abgebildet.



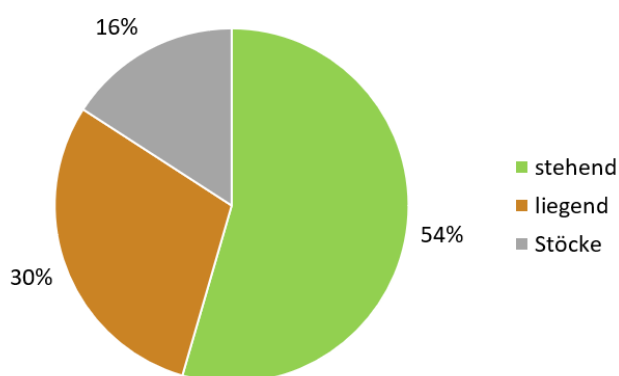
Abbildung 37: Fotos von Mikrohabitaten. Links oben: Kleine Mulmhöhle mit Bodenkontakt (CV21) an einer Buche. Rechts oben: Freiliegendes Splintholz (IN11) an einem Feld-Ahorn. Links unten: Stammspalte (GR13) an einem Feld-Ahorn. Rechts unten: Moosbewuchs (EP31) an einem Feld-Ahorn. Fotos: Markus Täufer.

3.4.2 Totholz

Die gesamte Totholzmenge im Marteloskop beträgt $11,23 \text{ m}^3/\text{ha}$. Mehr als die Hälfte davon entfällt auf das Volumen der 30 stehenden, toten Bäume, etwa ein Drittel ist liegendes Totholz. Der Anteil des oberirdischen Stockholzvolumens am gesamten Totholzvolumen beläuft sich auf rund 16 %. Insgesamt 159 Stöcke verteilen sich nahezu gleichmäßig auf die vier Quadranten mit durchschnittlich je 40 Stöcken.

Tabelle 9: Totholzvolumen und Anzahl der Totholzobjekte nach Quadrant und Totholztyp.

	stehend		liegend		Stöcke		Gesamt	
	m ³ /ha	N/ha	m ³ /ha	N/ha	m ³ /ha	N/ha	m ³ /ha	N/ha
Quadrant 1	1,45	9	0,68	23	0,35	33	2,48	65
Quadrant 2	0,42	4	0,56	20	0,43	43	1,41	67
Quadrant 3	0,93	7	1,56	27	0,47	40	2,96	74
Quadrant 4	3,33	10	0,53	17	0,53	43	4,38	70
Gesamt	6,12	30	3,33	87	1,78	159	11,23	276

**Abbildung 38:** Anteile der Totholztypen am gesamten Totholzvolumen.

Das Totholzvolumen ist nicht gleichmäßig auf die vier Quadranten verteilt (vgl. Tabelle 9 und Abbildung 39). Während der Quadrant 2 nur rund 13 % des gesamten Totholzvolumens beinhaltet, entfällt rund 39 % auf den Quadranten 4. Die Quadranten 1 und 3 enthalten jeweils rund ein Viertel des gesamten Totholzvolumens. Auffällig sind die hohen Anteile des liegenden Totholzes im Quadranten 3 und des stehenden Totholzes im Quadranten 4. Die Menge des liegenden Totholzes im Quadranten 3 ist beeinflusst durch die Versuchsfläche der Universität Würzburg. Hier wurden einige wenige Bäume, darunter eine stärkere Buche, zu Versuchszwecken gefällt. Insgesamt liegt das Volumen des liegenden Totholzes im Quadranten 3, das zu Versuchszwecken gefällt wurde, bei 0,62 m³, was etwa 40 % des gesamten liegenden Totholzvolumens im Quadranten 3 entspricht. Der hohe Anteil des stehenden Totholzes im Quadranten 4 stammt überwiegend aus abgestorbenen Fichten mit einem Einzelbaumvolumen von zum Teil über 1,00 m³ (vgl. Abbildung 41).

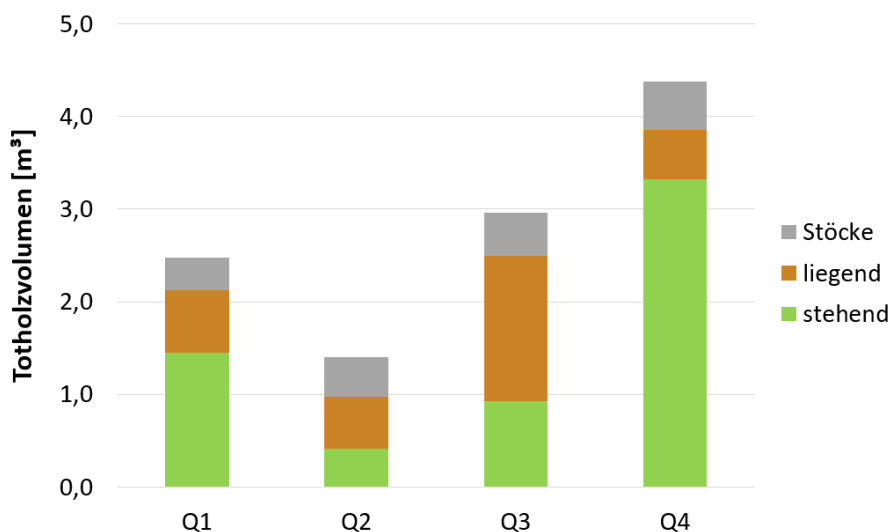


Abbildung 39: Totholzvolumen nach Quadrant und Totholztyp.



Abbildung 40: Fotos von Totholz. Links: Stock mit Ameisennest. Rechts: Liegendes Totholz mit Pilzbewuchs. Fotos: Links: Markus Täufer. Rechts: Moritz Schmidt.

Rund 90 % des stehenden Totholzvolumens ist Nadelholz (63 % Fichte und 25 % Kiefer). Das gesamte Totholzvolumen des Marteloscops besteht zu etwa 35 % aus stehendem Fichtentotholz. Das einzig nennenswerte stehende Laubtotholz befindet sich im Quadranten 1 (vgl. Abbildung 41). Hier hat die Buche (Nummer 1155), welche auch der Baum mit dem dritthöchsten Habitatwert des Marteloscops ist, mit 0,50 m³ einen großen Anteil.

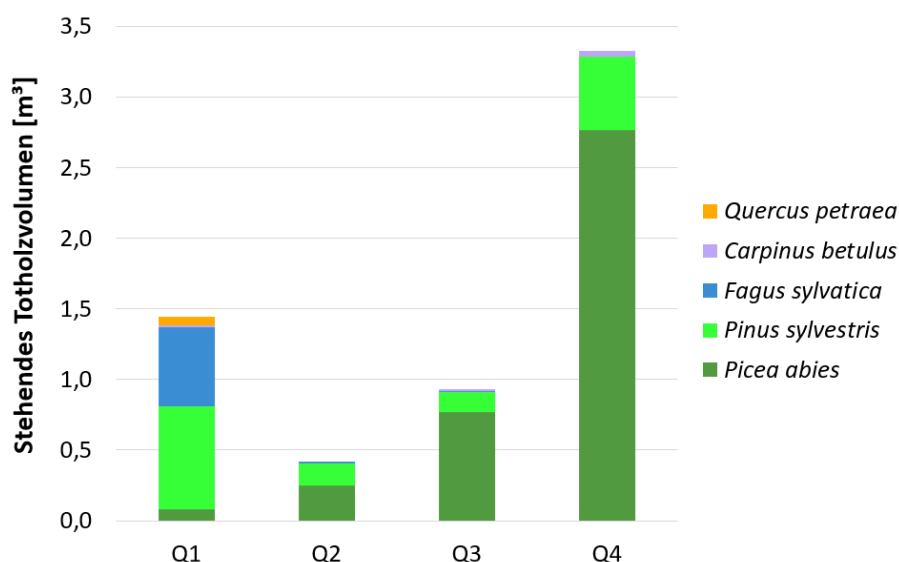


Abbildung 41: Stehendes Totholzvolumen nach Quadrant und Baumart.

3.5 Ergebnisse der Eingriffssimulationen

Alle Probanden markierten erhaltene und entnommene Bäume mit den farbigen Markierbändern, zusätzlich zur Auszeichnung in der App.

Die fünf Probanden, die auf der gesamten Marteloskopfläche auszeichneten, benötigten im Schnitt 2,5 h. Die acht Probanden, die einzelne Quadranten mit 0,25 ha auszeichneten, benötigten im Schnitt 1 h.

Die Ergebnisse der Auszeichnungen auf dem ganzen Hektar sind in Tabelle 10 dargestellt. Bei der Anzahl der ausgewählten Zukunftsbäume herrscht eine große Spreitung von 38 bis 101 Stück. Die Eingriffe fanden überwiegend hochdurchforstungsartig statt, lediglich Proband 1 zeigt einen niederdurchforstungsartigen Trend bei der Auszeichnung. Die Eingriffsstärken bewegen sich allesamt auf einem ähnlichen Niveau zwischen 16 % und 23 % entnommener Grundfläche.

Bei den quadrantenbezogenen Auszeichnungen auf 0,25 ha wurde nach der Auszeichnung für jeden Quadranten reihum über Entscheidungen zu Einzelbäumen unter Einbezug der *I+Trainer* App diskutiert. Dabei konnten die Waldbesitzenden auf in der App hinterlegte ökonomische und ökologische Werte der Einzelbäume zurückgreifen. Themen wie der Klimawandel im Wald und das Vertragsnaturschutzprogramm Bayern kamen zur Sprache.

Tabelle 10: Ergebnisse der Auszeichnungen auf der gesamten Marteloskopfläche.

Proband	1	2	3	4	5
Gruppe	Forstfachpersonal	Studierende	Forstfachpersonal	Studierende	Studierende
Entnahmemenge [Efm]	70,7	74,1	65,4	50,1	65,3
N Z-Bäume	38	101	79	66	98
N Habitatbäume	17	10	10	37	11
N Entnahmebäume	177	122	111	80	118
Biotopwert Habitatbäume	640	225	310	992	166
Biotopwert Entnahme	654	407	380	218	357
Geldwert [€]	4061	4790	4189	3363	4272
Durchforstungsart	0,72	0,49	0,51	0,48	0,54
Eingriffsstärke	0,23	0,23	0,21	0,16	0,21

4 Diskussion

4.1 Bewertung des Aufnahmeverfahrens

Die Datenerhebungen im Gelände erfolgten im Zeitraum vom 13.02.2023 bis 24.02.2023. Die Aufnahme fand also im unbelaubten Zustand statt. Dies erleichterte vor allem die Aufnahme der Baumhöhen und der Baummikrohabitate ungemein. Insgesamt beanspruchte die gesamte Aufnahme 69 Stunden (für zwei Personen also 138 Stunden), also etwa neun Arbeitstage, wovon 55 Stunden (etwa 80 % des Gesamtzeitaufwands) auf die Aufnahme der einzelbaumspezifischen Parameter entfielen. Bezogen auf 1058 Bäume auf der Marteloskopfläche beanspruchte die Aufnahme aller einzelbaumspezifischen Parameter durchschnittlich also etwa 3 Minuten pro Baum. Die restlichen 14 Stunden entfielen auf das Einmessen und Markieren der Fläche, die Aufnahme des Totholzes, die Bodenansprache und weitere organisatorische Tätigkeiten.

Da die Datenaufnahme im Gelände analog auf Papier erfolgte, mussten alle Daten in die Excel-Datei händisch übertragen werden. Mit diesen Daten wurden weitere Größen, wie das Einzelbaumvolumen oder der ökonomische Wert eines jeden Baums, berechnet. Die vollständig ausgefüllte Datei wurde an das EFI übermittelt. Die Zeit von der Dateneingabe und -weiterverarbeitung bis zur endgültigen Übermittlung an das EFI umspannte etwa 25 Stunden pro Person (für zwei Personen also 50 Stunden), also etwa drei Arbeitstage.

Bei der Datenaufnahme im Gelände wurden einige Schritte, die nach der empfohlenen Vorgehensweise vom EFI getrennt durchgeführt werden, zusammengefasst, sodass auf möglichst effiziente Weise die Daten erhoben werden konnten. So wurde beispielsweise das Georeferenzieren der Bäume mit der Aufnahme von Baumart, BHD und Zustand und der Nummerierung kombiniert, was problemlos möglich war und deutlich Zeit einsparte. Die Aufnahme der Baummikrohabitate wurde vor der Qualitätseinteilung durchgeführt. So konnte auf zweifaches Absuchen nach Merkmalen, die sowohl ein Mikrohabitat als auch ein qualitätsminderndes Merkmal darstellen, wie beispielsweise freiliegendes Splintholz, verzichtet werden und bei der Qualitätseinteilung auf die bereits dokumentierten Merkmale zurückgegriffen werden. Auf diese Weise konnte die gesamte Einrichtung des Marteloscops von der Auswahl der Fläche bis zur Datenübermittlung an das EFI innerhalb von insgesamt etwa drei Wochen mit zwei Personen recht zügig durchgeführt werden. Dieser

Arbeitsaufwand scheint auf den ersten Blick beachtlich zu sein, ist jedoch bei einer Anwendungszeit des Marteloscops von mindestens fünf Jahren und den erhofften Lernerfolgen für Übende in diesem Zeitraum sicherlich gerechtfertigt.

Bei der Anwendung des Marteloscops durch die Probanden stellte sich heraus, dass eine zweiseitige Beschriftung der Bäume mit den Baumnummern das Auszeichnen und die gleichzeitige Eingabe in die *I+ Trainer* App beschleunigen würde und die Grenzen des Marteloscops im Gelände schneller erkennbar wären. Auch wäre es möglicherweise sinnvoller gewesen, wenn eine Außengrenze der Marteloskopfläche nicht parallel zur Forststraße, sondern parallel zu den Rückegassen verlaufen würde, da in der Praxis in der Regel blockweise, das heißt von Rückegasse zu Rückegasse, ausgezeichnet wird. So könnte die Übersichtlichkeit gesteigert und das Probeauszeichnen beschleunigt werden. Diese Kritikpunkte haben jedoch keinen negativen Einfluss auf den Nutzen des Marteloscops. Aufgrund der Witterung sollten die Nummerierungen auf den Bäumen in wenigen Jahren nachgebessert werden und bei Möglichkeit auch auf der anderen Seite des Baums angebracht werden.

4.2 Bewertung der erhobenen naturalen Daten

Die bundesweite Treibhausgasinventur 2017 errechnete für die Altersklasse von 41 bis 60 Jahren eine durchschnittliche Stammzahl/ha von 687 Individuen (Thünen-Institut, 2017). Im Vergleich dazu ist die Stammzahl von 1028 lebenden Bäumen auf der ein Hektar großen Marteloskopfläche für ein gemitteltes Alter von 47 Jahren ein überdurchschnittlicher Wert. Begründung hierfür ist zuerst die reichliche natürliche Verjüngung der heute zwischenständigen Hainbuchen, die über die ganze Fläche verteilt ist. Darüber hinaus liegt die letzte größere Holzerntemaßnahme mit 300 Efm auf der gesamten Abteilungsfläche von 12,3 ha bereits 8 Jahre zurück. Die Pflegedringlichkeit im Bestand ist also erhöht, weswegen sich der Bestand sehr gut für die Einrichtung eines Marteloscops eignet.

Auf der Marteloskopfläche stocken zwölf verschiedene Baumarten. Bei der BWI 2012 kamen lediglich an 60 % der Aufnahmepunkte in Bayern drei oder mehr Baumarten vor (Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2012). Das Vorkommen von zwölf verschiedenen Baumarten auf nur einem Hektar Waldfläche ist damit ein für bayerische Verhältnisse außergewöhnlich hoher Wert. Auch die Bayerischen Staatsforsten streben mit

dem sogenannten 4-Baum-Konzept eine Erhöhung des Mischwaldanteils an. Dieses Konzept hat zum Ziel, im bayerischen Staatswald auf lange Sicht pro Bestand mindestens vier Baumarten mit einem Anteil von mindestens 5 % zu etablieren, um klimatolerante Mischwälder zu schaffen (*Waldbauhandbuch Bayerische Staatsforsten. Baumartenwahl*, 2020). Das Marteloskop Sailershausen II könnte somit exemplarisch für die Umsetzung des Konzepts herangezogen werden.

Bei Betrachtung der Baumartenanteile fällt der hohe Anteil an Laubmischbaumarten auf: Hainbuche, Feld-Ahorn, Vogelkirsche, Winter-Linde, Elsbeere und Spitz-Ahorn nehmen zusammen 30,3 % der Gesamtfläche für sich ein. Dass viele verschiedene Mischbaumarten im Bestand vorkommen, ist zunächst nicht außergewöhnlich. Auf wärmegetönten und wechselfeuchten Standorten büßt die zumeist vorherrschende Rot-Buche an Konkurrenzfähigkeit ein. Dies führt zu einem diverseren Baumartenportfolio der Wälder, als es in kühl-feuchten Buchenwäldern der Fall ist (Walentowski & Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2006; Kölling, 2012). Der hohe Anteil der Mischbaumarten und vor allem die große Menge an qualitativ gut veranlagten Exemplaren stellen jedoch ein besonderes Merkmal des Marteloskops Sailershausen II dar. Darüber hinaus wird den genannten Baumarten eine überwiegend positive Existenzprognose im Hinblick auf klimatische Änderungen ausgestellt (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 2020). Insbesondere Feld-Ahorn und Elsbeere gehen im Sämlingsstadium und auch im fortgeschrittenen Alter unterschiedlich mit Trockenheitsphasen um und sind daher recht anpassungsfähig (Kunz et al., 2016; Walentowski et al., 2017). Die Relevanz solcher seltenen Mischbaumarten wird in Zukunft zunehmen: Die Eichenarten gelten zwar als gewappnet für einen Anstieg der Temperaturen, doch ihr Produktionsrisiko ist bereits zum jetzigen Zeitpunkt durch ihren biotischen Schadkomplex erhöht (Kölling, 2012). Daher erscheint es in Anbetracht der in Kapitel 1 skizzierten Benefits einer Baumartenmischung im Wald nur vernünftig, bisher seltene Mischbaumarten stärker in die Waldbewirtschaftung zu integrieren. Das Marteloskop Sailershausen II erscheint mit seinem Baumartenportfolio daher sehr gut geeignet, das Management gemischter Bestände zu trainieren.

Die bereits im Gelände auffallende Struktur des Bestandes spiegelt sich auch in der Auswertung der erhobenen Daten wider: Die Stammzahlverteilungskurve über dem BHD zeigt eine abnehmende Ausstattung der Durchmesserklassen mit Zunahme des BHD und weist Ähnlichkeit zur Plentergleichgewichtskurve auf (Abbildung 14: Stammzahlverteilung

des Marteloskops). Die Plenterung ist bei der heutigen Bewirtschaftung von Laubwäldern natürlich keine übliche Betriebsform. Dennoch ist die bestehende Bestandesstruktur für das ausgewiesene Ziel der Arbeit sehr wichtig. Wie eingangs in 1 erwähnt, trägt eine hohe Baumartenvielfalt zur Produktionssicherheit von Wäldern bei. Der „Treiber“ dieses Effekts ist die asynchrone Wuchsdynamik der unterschiedlichen Baumarten (Schnabel et al., 2021). Das zeigt, dass die strukturelle Diversität von Beständen das Anpassungsvermögen an klimatische Veränderungen erhöht. Auch diese ist im Marteloskop gut abgebildet.

Der mit dem Faktor 1,35 errechnete laufende Zuwachs des Marteloskops von 10,9 Efm/ha*Jahr erscheint etwas hoch. Zwar darf der Anteil und die Wuchsleistung des Nadelholzes auf der Fläche nicht unterschätzt werden. Dennoch ist die Zuwachsberechnung mittels Ertragstafeln und Korrekturfaktoren gewiss mit Unsicherheiten behaftet. Eine Folgeinventur der Marteloskopfläche in fünf bis zehn Jahren könnte den errechneten Zuwachs präzisieren.

4.3 Bewertung der ökonomischen Werte

Der monetäre Wert des Bestandes ohne Abzug der Holzerntekosten beläuft sich auf rund 18.000 €. Würde die Marteloskopfläche beispielsweise mit einem Fichten-Reinbestand mit denselben Vorratswerten der Fichte bestockt sein, würde der holzerntekostenfreie Bestandeswert mit demselben Durchschnittsholzpreis von 64 €/fm für die Fichte insgesamt rund 30.000 € betragen. Der ökonomische Wert des Marteloskopbestandes ist deshalb so gering, weil nahezu sämtliches Laubholzvolumen aufgrund der schwachen Dimensionen ins Brennholz sortiert wurde. Bei zunehmendem Dickenwachstum der Stämme werden durch Stärkeklassensprünge auch die Holzerlöse zunehmen.

Zahlreiche Bäume, darunter Eichen, Kirschen, Hainbuchen, Feld-Ahorne und Linden, finden aktuell zwar nur Verwendung als Brennholz, haben aber bei einem Durchmesserzuwachs hohes Potenzial, wertvolle Stämme zu produzieren. Grund dafür sind die Wipfelschäftigkeit der Stämme und vor allem die Astfreiheit. Je höher die astfreie Schaftlänge ist, desto länger ist potenziell der sägefähige Stammabschnitt und damit ökonomisch wertvoller der Baum. Andererseits ist dadurch das Kronenprozent niedriger, womit sich der Schwerpunkt des Baums nach oben verlagert und dadurch das Schadensrisiko steigt. Hier gilt es ein

ausgewogenes Mittelmaß zwischen den beiden Parametern zu finden. In jedem Fall sollte die Stabilität des Baums und des Bestands dem ökonomischen Wert vorgezogen werden.

Bei der Anwendung dieses Marteloscops geht es in erster Linie also nicht um das Erzielen möglichst hoher Geldbeträge bei möglichst geringem Habitatverlust. Das Erlernen und Trainieren vom Umgang mit solchen Beständen mit dem Ziel, die Vielfalt und damit die Resilienz des Bestands gegenüber den Folgen des Klimawandels zu erhalten und gleichzeitig das qualitative Potenzial des Bestands zu fördern, steht im Vordergrund.

Die endgültige qualitative Einteilung eines Stamms erfolgt in der Praxis immer am liegenden Stamm, da nur auf diese Weise Merkmale, die die Holzqualität mindern, im Inneren des Stamms an der Schnittfläche erkannt werden können (beispielsweise Ringschäle, Kernfäule, Risse). Die Beurteilung der Holzqualität am stehenden Stamm, wie es bei der Einrichtung eines Marteloscops erfolgt, birgt also das Risiko, dass wichtige Holzfehler nicht erkannt werden und somit der ökonomische Wert des Baums deutlich überschätzt werden kann.

4.4 Bewertung der ökologischen Werte

Auf der Marteloskopfläche wurden insgesamt 520 Mikrohabitate mit einem Habitatwert von insgesamt 4152 Punkten dokumentiert. Vergleicht man diese Werte mit beispielsweise dem etwa 1 km entfernten Marteloskop Sailershausen, stellt man fest, dass die Werte im Marteloskop Sailershausen II vergleichsweise sehr hoch sind. Beim Marteloskop Sailershausen handelt es sich um einen Eichen-Buchen-Bestand im starken Baumholz mit einer zweiten Schicht bestehend aus überwiegend Buche und mit einer Gesamtstammzahl von 235. Dieses Marteloskop beinhaltet 198 Mikrohabitate mit einem Gesamtwert von 2125 Punkten (EFI, 2021). Im Marteloskop Sailershausen II entfällt rund ein Drittel des Habitatwerts zu etwa gleichen Teilen auf das freiliegende Splintholz (IN11) und den Moosbewuchs (EP31). Beide Mikrohabitatstrukturen haben einen geringen Einzelhabitatwert. Im Marteloskop Sailershausen hingegen wurden am häufigsten Totholz (DE) und Höhlen (CV) dokumentiert. Diesen Mikrohabitatstrukturen wird ein höherer Habitatgrundwert zugerechnet. Im Marteloskop Sailershausen sind also weniger Einzelmikrohabitate zu finden, dafür haben diese einen höheren Einzelwert. Das Marteloskop Sailershausen II hingegen hat aufgrund der hohen Stammzahl viele einzelne Mikrohabitatstrukturen, die aber einen geringeren Einzelwert besitzen.

Die Tatsache, dass das freiliegende Splintholz (IN11) und der Moosbewuchs (EP31) die häufigsten Habitatstrukturen sind, lässt auch weitere Rückschlüsse zu: Das freiliegende Splintholz wurde zumeist wahrscheinlich bei den vergangenen Holzerntemaßnahmen durch Fäll- und Rückeschäden verursacht. Hier sollte bei den nächsten Durchforstungen stärker darauf geachtet werden, weitere Schäden am verbleibenden Bestand möglichst zu vermeiden, um das qualitative Potenzial des Bestands nicht zu verringern. Der starke Moosbewuchs, der vor allem bei den Eichen und im Quadranten 4 bei den Feld-Ahornen auftritt, zeugt von einem feuchten Bestandsinnenklima.

Beim Vergleich der Mikrohabitatwerte zwischen lebenden und toten Bäumen wird der ökologische Wert von Totholz erkennbar. Obwohl nur 3 % aller stehenden Bäume tot sind, entfallen auf diese 3 % insgesamt 20 % des gesamten Habitatwerts. Bei jeder Baumart, von der mindestens ein Baum auf der Fläche tot ist (Fichte, Kiefer, Buche, Hainbuche und Eiche), ist der Anteil der Habitatwerte an toten Bäumen am gesamten Habitatwert höher als der Anteil der Baumanzahl an toten Bäumen an der gesamten Baumanzahl. Besonders hoch ist der Anteil der Habitatwerte, der an toten Bäumen auftritt, bei der Kiefer (68 %) und bei der Fichte (45 %). Dies zeigt, dass beim Nadelholz der ökologische Wert überwiegend durch abgestorbene Bäume bestimmt wird. Der Habitatwert an der Kiefer und der Fichte werden hauptsächlich durch freiliegendes Splintholz (IN1), Rindentaschen (BA1) und Totholz (DE1) gebildet (vgl. Abbildung 31 (oben) in Verbindung mit Abbildung 32 (oben)), also Strukturen, die vor allem am stehenden Totholz auftreten.

Dass die beiden ökologisch wertvollsten Bäume auch in der Liste der zehn ökonomisch wertvollsten Bäume vertreten sind, zeigt, dass es Konfliktbäume gibt. Allerdings sind acht der zehn Bäume sowohl in der Liste der ökonomisch als auch in der Liste der ökologisch wertvollsten Bäume jeweils ökologisch bzw. ökonomisch eher geringwertig. Bei der Holzernte ökonomisch wertvoller Bäume werden dem Bestand also nicht zwangsläufig auch viele Habitatpunkte entzogen. So ist Ökonomie und Ökologie in der Forstwirtschaft durchaus vereinbar.

Das Prinzip der Beurteilung des ökologischen Werts nach der Vorgehensweise, die bei der Einrichtung eines Marteloscops vom EFI vorgegeben ist und auch in dieser Arbeit angewandt wurde, ist ein Versuch, den Wert ökologischer Strukturen an Einzelbäumen in Zahlen zu fassen, was generell komplex und in gewisser Weise auch subjektiv ist. Ob beispielsweise

vier stark bemooste Eichen (EP31, 4 * 4 Punkte = 16 Punkte) oder eine in Folge einer Holzerntemaßnahme stark beschädigte Fichte mit vier freiliegenden Splintholzflächen (IN11, 4 * 4 Punkte = 16 Punkte) wertvoller sind als eine kleine Spechthöhle (CV11, 12 Punkte), die neben Kleinspechten und anderen Vögeln auch Fledermäusen Lebensraum bietet (Bütler et al., 2020), ist fraglich. Auch das Vorkommen seltener Baumarten oder einzelner Mischbaumarten in Reinbeständen wird nicht berücksichtigt, obwohl dadurch die Biodiversität eines Bestands gesteigert wird. Außerdem kann nicht sichergestellt werden, dass alle Habitatstrukturen, vor allem in der Krone, vom Boden aus erkannt oder die Größen richtig eingeschätzt wurden. Nichtsdestotrotz kann bei der Anwendung des Marteloscops das Achten auf und Erkennen von Mikrohabitatstrukturen geübt und vertieft werden und bei anschließender Auswertung der Ergebnisse überprüft werden, ob dem Bestand durch den Eingriff ökologisch wertvolle Strukturen entnommen worden wären.

Vergleicht man den Totholzvorrat im Marteloskop Sailershausen II mit dem Ergebnis der dritten Bundeswaldinventur (BWI 3), so stellt man fest, dass das Marteloskop mit insgesamt 11,2 m³ etwa nur die Hälfte der Menge an Totholz des bundesweiten Durchschnitts von 20,6 m³ hat (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), 2018). Das im Vergleich geringe Totholzvolumen im Marteloskop ist hauptsächlich auf das noch junge Bestandsalter und die Bestandsstruktur zurückzuführen. Trotz der hohen Stammzahl verfügen die meisten Bäume noch über eine ausreichende Assimilationsfläche, weshalb nur wenige Bäume abgestorben sind. Auch wenn ein Baum einmal abstirbt, fällt er aufgrund der noch geringen Dimensionen wenig ins Gewicht und verrottet schneller als Holz stärkerer Dimensionen. Die Anteile des liegenden Totholzes am Gesamtotholzvolumen beläuft sich bei der BWI 3 auf 50 %, das stehende Totholz und das Stockholz stellen jeweils etwa ein Viertel dar. Im Marteloskop hingegen entfällt mehr als die Hälfte des Gesamtotholzvolumens auf das Volumen des stehenden Totholzes. Dies liegt vor allem daran, dass schon einzelne abgestorbene stärkere Fichten ein großes Einzelbaumvolumen und dadurch viel Anteil am Gesamtotholzvolumen haben. Bei den Vergleichen mit den Ergebnissen der BWI 3 muss jedoch beachtet werden, dass die Volumenberechnung des liegenden Totholzes und des Stockholzes im Marteloskop nicht mit denselben Formeln der BWI 3 erfolgt sind. Durch eine Inventurstudie wurde die Vergleichbarkeit der Volumenformeln für Totholz überprüft, mit dem Ergebnis, dass es teilweise Unterschiede bei den Totholzvolumina durch Berechnung über die Walzen- bzw. Kegelstumpfvolumenformel

gibt (Riedel et al., 2017). Die Verwendung des Mittendurchmessers statt der Durchmesser des stärkeren und schwächeren Endes zeigt nach dieser Inventurstudie hingegen keinen signifikanten Unterschied. Aufgrund der schwachen Dimensionen und des geringeren Anteils des liegenden Totholzes im Marteloskop hätte die Berechnung der Totholzvolumina mit den in der BWI 3 verwendeten Parametern und Formeln anstatt mit den hier verwendeten nur geringe Differenzen zur Folge.

4.5 Bewertung der Eingriffssimulation

Die Herausforderung bei der Planung der Eingriffssimulation war die Frage nach der Formulierung der Aufgabenstellung. Bei einer detaillierten Aufgabenstellung mit festen Vorgaben wie Erntemenge wäre eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse am ehesten gewährleistet gewesen. Andererseits wären die Probanden in ihrem persönlichen Eingriffsstil beschränkt worden. Die Rahmenvorgabe Wertholzproduktion und die FSC-Vorgabe von zehn Habitatbäumen pro Hektar sollten einen Kompromiss zwischen der persönlichen Freiheit beim Auszeichnen und einer gemeinsamen Diskussionsgrundlage über waldbauliche Entscheidungen darstellen.

Da die Probanden sowohl mit dem Tablet als auch mit Markierband ausgezeichnet haben, dauerte die Auszeichnung länger als in der forstlichen Praxis und auch länger, als es in der Planung veranschlagt wurde. Dies lag nach Aussage der Probanden hauptsächlich an der hohen Stammzahl des Marteloskops und an der Komplexität des Bestandes. Außerdem konnte pro Quadranten bzw. pro Bestandesblock zwischen zwei Rückegassen immer nur ein Proband auszeichnen, da die mit Markierband gebündelten Bäume sonst die Auszeichnungen anderer Probanden behindert oder potenziell verfälscht hätten. Wird also nicht nur mit der App, sondern auch mit Farbbändern ausgezeichnet, so gilt es, dies in der Organisation einer Auszeichnenübung zu berücksichtigen.

Da Baumartenzusammensetzung und Bestandesstruktur in den vier Quadranten variierte und somit unterschiedliche Ausgangsbedingungen vorlagen, ist eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Hochrechnung quadrantenbezogener Auszeichnungen auf einen Hektar nicht gewährleistet. Bei den acht quadrantenbezogenen Auszeichnungssimulationen auf 0,25 ha stand daher das Diskutieren von Einzelbaumentscheidungen im Vordergrund.

Aufgrund der geringen Anzahl an Probanden, die an der Auszeichensimulation teilnahmen, und der daraus resultierenden geringen Stichprobengröße wurde eine statistische Auswertung des Auszeichenverhaltens und insbesondere ein Vergleich der Probandengruppen bereits im Vorhinein ausgeschlossen. Der Fokus der Auszeichensimulationen lag darauf, die Funktionalität des Marteloskops als waldbauliches Trainingstool zu prüfen. Außerdem sollten die durch das digitale Auszeichnen erhobenen Daten als fundierte Grundlage für die Diskussion der Probanden über waldbauliche Einzelbaumentscheidungen dienen.

Als verbesserungsfähigen Punkt an der *I+ Trainer* App sahen viele Probanden an, dass pro Baum nur ein Erhaltungs- oder Entnahmegrund in der App ausgewählt werden kann, wenngleich die Entnahme oder der Erhalt des Baums aus Sicht der Probanden mehrere Funktionen erfüllte. Auch wurde mehrmals angemerkt, dass in die Ergebnis-PDF-Datei eine Stammfußkarte eingebracht werden könne. Diese könnte alle erhaltenen und entnommenen Bäume farblich darstellen. Somit wäre eine Abschätzung der räumlichen Verteilung von Zukunfts- und Habitatbäumen möglich und ein Gesamtüberblick über das eigene räumliche Auszeichenverhalten sichtbar.

Insgesamt konnte die Auszeichnung mit der *I+ Trainer* App die waldbaulichen Diskussionen bereichern, da am Einzelbaum durch Abrufen in der App der ökonomische Wert mit dem ökologischen Wert des Baumes abgewogen werden kann. Auch konnten aus der Beobachtung heraus die Ergebnisse der Studie von Spinelli et. al. (2016) bestätigt werden, dass vor allem innerhalb der Probandengruppen große Uneinigkeit über zu entnehmende Bäume herrschte und der kleinste gemeinsame Nenner der Probanden oft bei den erhaltenen oder geförderten Bäumen lag. Dies mag jedoch auch an der Tatsache gelegen haben, dass qualitativ gut veranlagte Bäume auf der Marteloskopfläche in der waldbaulichen Behandlung der Vergangenheit bereits erkennbar freigestellt wurden und somit für viele Probanden klassische Zukunftsbäume darstellten.

5 Schlussbemerkung und Ausblick

Das Thema Marteloskop kann im Lauf der letzten Jahre einen enormen Anstieg an forstlicher Forschungsbereitschaft verzeichnen. Allein im Rahmen des *I+*-Projekts von EFI sind mittlerweile 206 Marteloskope in 24 verschiedenen Ländern eingerichtet worden (Stand März 2023). Somit kann die vorliegende Arbeit keine grundlegenden neuen forstwissenschaftlichen Erkenntnisse verzeichnen. Dennoch trägt das im Rahmen der Arbeit eingerichtete Marteloskop dazu bei, die waldbaulichen Verhältnisse in einer stark von der Klimaänderung beeinflussten Region in Bayern abzubilden.

Aufgrund der Dynamik des Bestandes werden reale waldbauliche Eingriffe in den kommenden Jahren nötig sein. Auch aus Gründen des Waldschutzes werden möglicherweise einige Nadelbäume entnommen werden. Mikrohabitatstrukturen werden neu auftreten, andere werden verschwinden. Um eine möglichst aktuelle Datengrundlage gewährleisten zu können, werden Folgeinventuren in fünf bis spätestens zehn Jahren unumgänglich sein. Die zum aktuellen Zeitpunkt neueste *I+* Software des EFI beinhaltet neben der Auswahl von Erhalt und Entnahme von Bäumen auch das aktive Anreichern von Totholz. Dabei wäre es denkbar, das Totholzvolumen eingehender aufzunehmen, etwa nach der Aufnahmeanweisung der Bundeswaldinventur, um möglichst vergleichbare Werte zu erhalten. Auch wäre es interessant, die Holzerntekosten nach Baumart und Dimension beim ökonomischen Wert des Bestandes mit einzuberechnen. Außerdem existiert nach Beendigung einer Auszeichensimulation in der App *I+ Trainer* die Möglichkeit, Ergebnisse von Auszeichensimulationen auf einen EFI-Server hochzuladen. Bei einer ausreichenden Menge an Auszeichenergebnissen und einem Zugang zu EFI-Daten wäre eine statistisch gesicherte Analyse des Auszeichenverhaltens auf der Marteloskopfläche denkbar.

Es ist empfehlenswert, die Auszeichenübungen mit mehreren Probanden gleichzeitig durchzuführen. Bei anschließender Besprechung und Auswertung können so die individuellen Vorgehensweisen und Meinungen der Probanden ausgetauscht und diskutiert und eventuell neue Kenntnisse und Sichtweisen über waldbauliche Entscheidungen erlangt werden. So entsteht für jeden Teilnehmer ein Mehrwert. Gerade in Zeiten des Klimawandels herrscht in der forstlichen Praxis oft Unsicherheit, beispielsweise über die Baumartenwahl oder waldbauliche Vorgehensweisen bei Durchforstungen. Als beispielhafter Bestand für die Zukunft mit einer hohen Baumartenvielfalt kann dies im Marteloskop Sailerhausen II somit

geübt und diskutiert werden. Das Prinzip des Marteloscops hat großes Potenzial, nicht nur für erfahrene Förster und Revierleitende, sondern auch für Forststudierende und angehende Förster im Vorbereitungsdienst sowie für Privatwaldbesitzende und andere Interessierte, das waldbauliche Management von Waldbeständen unter Berücksichtigung der ökonomischen und ökologischen Parameter zu üben und zu vertiefen.

Fakt ist, dass der Klimawandel fortschreitet und in Deutschland erhebliche Auswirkungen auf den Wald hat. Die Forstbranche ist angehalten, Erfahrungswerte zum Umgang mit diesen Auswirkungen zu sammeln, um ein angepasstes und fundiertes Management der Wälder zu gewährleisten. Globale Akteure wie FSC fordern, dass dieses Management den Wald nicht nur im Sinne der Holzproduktion, sondern unter Einbezug weiterer Waldfunktionen behandeln soll (FSC Deutschland, 2018). Objekt der Untersuchung war das Marteloskop-Lehrkonzept, angewandt auf einen nach Lehrmeinung anpassungsfähigen Waldbestand, der sich in einer klimatisch vorausschreitenden Region Bayerns befindet. Das im Rahmen der Arbeit eingerichtete Marteloskop Sailershausen II verbindet diese drei Bereiche und kann womöglich einen kleinen Beitrag zur Bewältigung dieser Herausforderung leisten.

Literaturverzeichnis

Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Schweinfurt. (2018). *Managementplan für das FFH-Gebiet Wässernachtal (5928-371): Teil II Fachgrundlagen*.

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. (2020). *Praxishilfe: Klima—Boden—Baumartenwahl* (Bd. 2).

Bayerische Staatsforsten AöR (Hrsg.). (2020). *Waldbauhandbuch Bayerische Staatsforsten. Baumartenwahl* (S. 10).

Bayerisches Landesamt für Umwelt. (2023). *UmweltAtlas Bayern*. UmweltAtlas. <https://www.umweltatlas.bayern.de>

Bayerisches Staatsministerium der Finanzen und für Heimat. (2023). *BayernAtlas*. BayernAtlas. <https://www.bayernatlas.de>

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.). (2018). *Hilfstafeln für die Forsteinrichtung*.

Brang, P., Spathelf, P., Larsen, J. B., Bauhus, J., Boncčina, A., Chauvin, C., Drössler, L., García-Güemes, C., Heiri, C., Kerr, G., Lexer, M. J., Mason, B., Mohren, F., Mühlethaler, U., Nocentini, S., & Svoboda, M. (2014). Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 87(4), 492–503. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu018>

Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV). (2011). *Aufnahmeanweisung für die dritte Bundeswaldinventur (BWI³)* (2. Aufl.).

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). (2018). *Der Wald in Deutschland: Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur*.

Bütler, R., Lachat, T., Krumm, F., Kraus, D., & Larrieu, L. (2020). *Taschenführer der Baummikrohabitate: Beschreibung und Schwellenwerte für Feldaufnahmen*. Eidg. Forschungsanstalt WSL.

Derks, J., Schuck, A., Krumm, F., & Kraus, D. (2020). *Guidelines for establishing I+ marteloscopes*. European Forest Institute.

Deutscher Wetterdienst. (2023). *Vegetationszeit*. <https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaueberwachung/phaenologie/produkte/vegetationszeit/vegetationszeit.html>

EFI. (2021). *Marteloskop Informationsblatt: Marteloskop Sailershausen*.

Elmqvist, T., Folke, C., Nyström, M., Peterson, G., Bengtsson, J., Walker, B., & Norberg, J. (2003). Response diversity, ecosystem change, and resilience. *Frontiers in Ecology and the*

- Environment*, 1(9), 488–494. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2003\)001\[0488:RDECAR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2003)001[0488:RDECAR]2.0.CO;2)
- European Forest Institute. (2020). *History: From Integrate to INFORMAR*. <https://informar.eu/history>
- Ewald, J. (2007). *Zeigerarten-Ökogramm*. FH Weihenstephan.
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). (2020). *Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR)*.
- FSC Deutschland. (2018). *Deutscher FSC-Standard 3.0*. https://www.fsc-deutschland.de/wp-content/uploads/2020-02-04-Deutscher-FSC-Standard_3-0.pdf
- FVA Baden-Württemberg. (2003). *Das Sorten- & Volumenprogramm BDAT*. <https://www.fva-bw.de/daten-tools/tools/das-sorten-volumenprogramm-bdat>
- Gustafsson, L., Baker, S. C., Bauhus, J., Beese, W. J., Brodie, A., Kouki, J., Lindenmayer, D. B., Löhmus, A., Pastur, G. M., Messier, C., Neyland, M., Palik, B., Sverdrup-Thygeson, A., Volney, W. J. A., Wayne, A., & Franklin, J. F. (2012). Retention Forestry to Maintain Multifunctional Forests: A World Perspective. *BioScience*, 62(7), 633–645. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.7.6>
- Haglöf Sweden AB. (2007). *Users Guide Vertex IV and Transponder T3*.
- Hanewinkel, M., Albrecht, A., & Schmidt, M. (2015). *Können Windwurfschäden vermindert werden? Eine Analyse von Einflussgrößen*.
- Jactel, H., Gritti, E. S., Drössler, L., Forrester, D. I., Mason, W. L., Morin, X., Pretzsch, H., & Castagneyrol, B. (2018). Positive biodiversity–productivity relationships in forests: Climate matters. *Biology Letters*, 14(4), 20170747. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2017.0747>
- Julius-Maximilians-Universität Würzburg (Hrsg.). (2018). *Universitätsforstamt Sailershausen*. <https://www.uni-wuerzburg.de/aktuelles/einblick/single/news/im-wald-der-universitaet-1/>
- Kölling, C. (2012). *Muss es immer Eiche sein?* 88(47/2012).
- Kölling, C., Taeger, S., Falk, W., & Mellert, K.-H. (2015). *Der Feldahorn als Anbaualternative im Waldumbau: Klima- und Bodenansprüche*. (LWF Wissen 77, S. 22–29).
- Kraft, G. (1884). *Beiträge zur Lehre von den Durchforstungen, Schlagstellen und Lichtungshieben*.
- Kraus, D., Bütler, R., Krumm, F., Lachat, T., Larrieu, L., Mergner, U., Paillet, Y., Rydkvist, T., Schuck, A., & Winter, S. (2016). *Katalog der Baummikrohabitate—Referenzliste für Feldaufnahmen*.

- Kraus, D., Bütler, R., Lachat, T., Larrieu, L., Mergner, U., Paillet, Y., Rydkvist, T., Schuck, A., & Winter, S. (2016). *Katalog der Baummikrohabitate – Referenzliste für Feldaufnahmen* (M. Stangl, Übers.). integrateplus.org
- Kraus, D., & Krumm, F. (Hrsg.). (2013). *Integrative Ansätze als Chance für die Erhaltung der Artenvielfalt in Wäldern*. European Forest Institute.
- Kraus, D., Schuck, A., Krumm, F., Bütler, R., Cosyns, H., Courbaud, B., Larrieu, L., Mergner, U., Pyttel, P., Varis, S., Wilhelm, G., Witz, M., Zenner, E., & Zudin, S. (2018). *Seeing is building better understanding—The Integrate+ Marteloscopes*.
- Krumm, F., Schuck, Andreas, & Rigling, Andreas. (2020). *How to balance forestry and biodiversity conservation? - A view across Europe* (S. 213891396 bytes, KB) [PDF]. European Forest Institute. <https://doi.org/10.16904/ENVIDAT.196>
- Kunz, J., Räder, A., & Bauhus, J. (2016). Effects of drought and rewetting on growth and gas exchange of minor European broadleaved tree species. *Forests*, 7(10), 239.
- Landesamt für Landwirtschaft. (2023). *Agrarmeteorologie Bayern*. [https://www.wetter-by.de/Internet/AM/NotesBAM.nsf/\(XP_StationABC_All\)/72c10fb8d98a5524c1257393002bc2ac?OpenDocument&TableRow=3.7#3](https://www.wetter-by.de/Internet/AM/NotesBAM.nsf/(XP_StationABC_All)/72c10fb8d98a5524c1257393002bc2ac?OpenDocument&TableRow=3.7#3).
- Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. (2012). *Zusammenfassung der Ergebnisse*. <https://www.lwf.bayern.de/bwi/080777/index.php>
- Landratsamt Haßberge. (1987). *Landschaftsschutzgebiet Wässernach-Tal*.
- Mantel, K. (1990). *Wald und Forst in der Geschichte: Ein Lehr- und Handbuch*. Schaper.
- Müller, J. (o. J.). *Enhancing the structural diversity between patches for improving multidiversity and multifunctionality in production forests*.
- Müller, M. G. (2022). *Patient Wald. Ist unser Wald noch zu retten?* (Vom Glück der Ressource: Wald und Forstwirtschaft im 21. Jahrhundert). Oekom Verlag.
- O'Brien, L., Derks, J., & Schuck, A. (2022). *The use of marteloscopes in science: A review of past research and suggestions for further application*. European Forest Institute.
- Pommerening, A., Vítková, L., Zhao, X., & Ramos, C. P. (2015). Towards Understanding Human Tree Selection Behaviour. *Results from the Swedish University of Agricultural Sciences*, 9.
- Pretzsch, H., Biber, P., Schütze, G., Uhl, E., & Rötzer, T. (2014). Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. *Nature Communications*, 5(1), 4967. <https://doi.org/10.1038/ncomms5967>
- Pyttel, P., Kraus, D., Schuck, Andreas, Krumm, F., & Bauhus, J. (2018). *Mit „Marteloscopen“ lehren und lernen*. 4/2018.

- Rebel, K. (1922). *Waldbauliches aus Bayern* (Bd. 1). Huber.
- Referendarsjahrgang 15/17. (2016). *Operat Universitätswald Sailerhausen 2015* (S. 136). Forstschule Lohr a.Main.
- Riedel, T., Henning, P., Kroihner, F., Polley, H., Schmitz, F., & Schwitzgebel, F. (2017). *Die dritte Bundeswaldinventur (BWI 2012). Inventur- und Auswertungsmethoden*.
- Rittershofer, F. (1994). *Waldpflege und Waldbau: Für Studierende und Praktiker* (1. Aufl). Rittershofer.
- Ruhm, W., & Schönauer, H. (2011). Auf die Kronenlänge kommt es an—Waldbau mit der Lärche. In *BFW-Praxisinformation Nr. 25: Lärche*.
- Schnabel, F., Liu, X., Kunz, M., Barry, K. E., Bongers, F. J., Bruelheide, H., Fichtner, A., Härdtle, W., Li, S., & Pfaff, C.-T. (2021). Species richness stabilizes productivity via asynchrony and drought-tolerance diversity in a large-scale tree biodiversity experiment. *Science advances*, 7(51), eabk1643.
- Schuck, A., Kraus, D., Krumm, F., & Schmitt, H. (2015). *Integrate+ Marteloskope – Kalibrierung waldbaulicher Entscheidungen*.
- Schuck, A., Kraus, D., Krumm, F., & Zudin, S. (2020). *Marteloscopes – a key instrument for fact-based learning, understanding, and the exchange of knowledge on forests and their management* (S. 256–259).
- Schuck, A., Krumm, F., & Kraus, D. (2015). *Integrate+ Marteloscopes—Description of parameters and assessment pocedures*.
- Soucy, M., Adégbidi, H. G., Spinelli, R., & Béland, M. (2016). Increasing the effectiveness of knowledge transfer activities and training of the forestry workforce with marteloscopes. *The Forestry Chronicle*, 92(04), 418–427. <https://doi.org/10.5558/tfc2016-076>
- Spathelf, P., Bolte, A., & Maaten, E. C. D. van der. (2015). *Is Close-to-Nature Silviculture (CNS) an adequate concept to adapt forests to climate change?* (S. 161–170). <https://doi.org/10.3220/LBF1452526188000>
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Pari, L., & Soucy, M. (2016). Comparing Tree Selection as Performed by Different Professional Figures. *Forest Science*, 62(2), 213–219. <https://doi.org/10.5849/forsci.15-062>
- Stark, H. (2023, Februar 20). *Qualitative Einteilung des Holzes in lokal verkaufsfähige Sortimenten* [Persönliche Kommunikation].
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S., & Mosseler, A. (2009). Forest resilience, biodiversity, and climate change. *A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest*

ecosystems. *Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal. Technical Series*, 43(1), 1–67.

Thünen-Institut. (2017). *BUNDESWALDINVENTUR ERGEBNISDATENBANK*.
<https://bwi.info/start.aspx>

Treutlein, U. (2014). *Wälder gestalten für die Zukunft*. 102, 4–5.

Universitätsforstamt Sailershausen. (1969). *Auszug aus dem Revierbuch 1969 des Universitätswaldes Sailershausen*.

Universitätsforstamt Sailershausen. (1990). *Auszug aus dem Revierbuch 1990 des Universitätswaldes Sailershausen*.

Universitätsforstamt Sailershausen. (2006). *Forstbetriebskarte Universitätswald Sailershausen—Standortseinheiten* [Map].

Universitätsforstamt Sailershausen. (2007). *Auszug aus dem Revierbuch 2007 des Universitätswaldes Sailershausen*.

Universitätsforstamt Sailershausen. (2015a). *Ausschnitt der Forstbetriebskarte 2015 des Universitätswaldes Sailershausen* [Map].

Universitätsforstamt Sailershausen. (2015b). *Auszug aus dem Revierbuch 2015 des Universitätswaldes Sailershausen*.

Universitätsforstamt Sailershausen. (2023a). *Ausschnitte der Forstbetriebskarten 1969 und 1990 des Universitätswaldes Sailershausen* [Map].

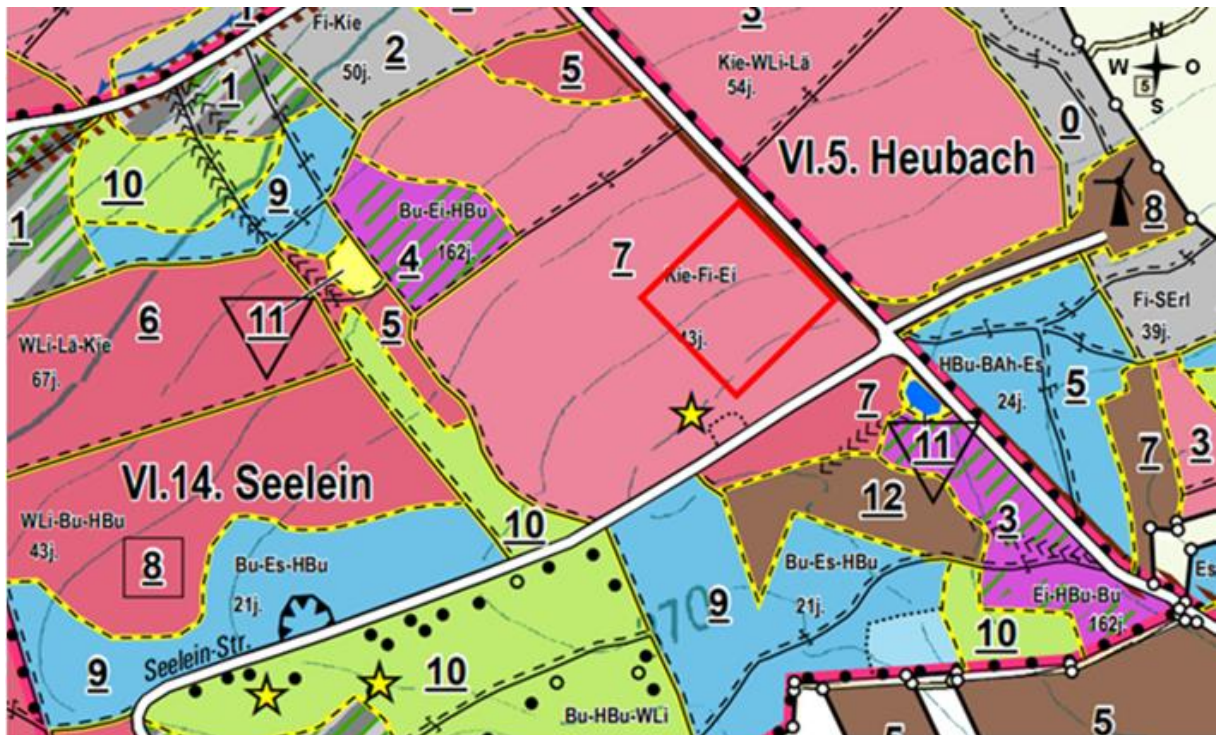
Universitätsforstamt Sailershausen. (2023b). *Verkaufsstatistik—Holzart/Güte/SKI (2017-2023)*.

Walentowski, H., & Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.). (2006). *Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns: Ein auf geobotanischer Grundlage entwickelter Leitfaden für die Praxis in Forstwirtschaft und Naturschutz* (2., überarb. Aufl). Verl. Geobotanica.

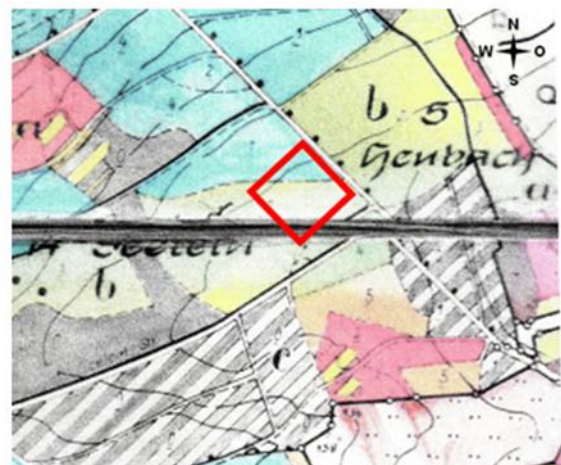
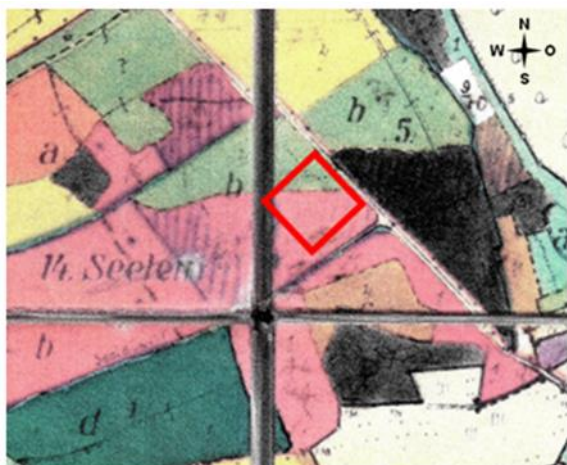
Walentowski, H., Falk, W., Mette, T., Kunz, J., Bräuning, A., Meinardus, C., Zang, C., Sutcliffe, L. M. E., & Leuschner, C. (2017). Assessing future suitability of tree species under climate change by multiple methods: A case study in southern Germany. *Annals of Forest Research*, 101–126. <https://doi.org/10.15287/afr.2016.789>

Walentowski, H., Fischer, A., Kölling, C., Türk, W., Rumpel, A., & Ewald, J. (2020). *Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns: Ein auf geobotanischer Grundlage entwickelter Leitfaden für die Praxis in Forstwirtschaft und Naturschutz* (4. überarbeitete Auflage). Verlag Geobotanica.

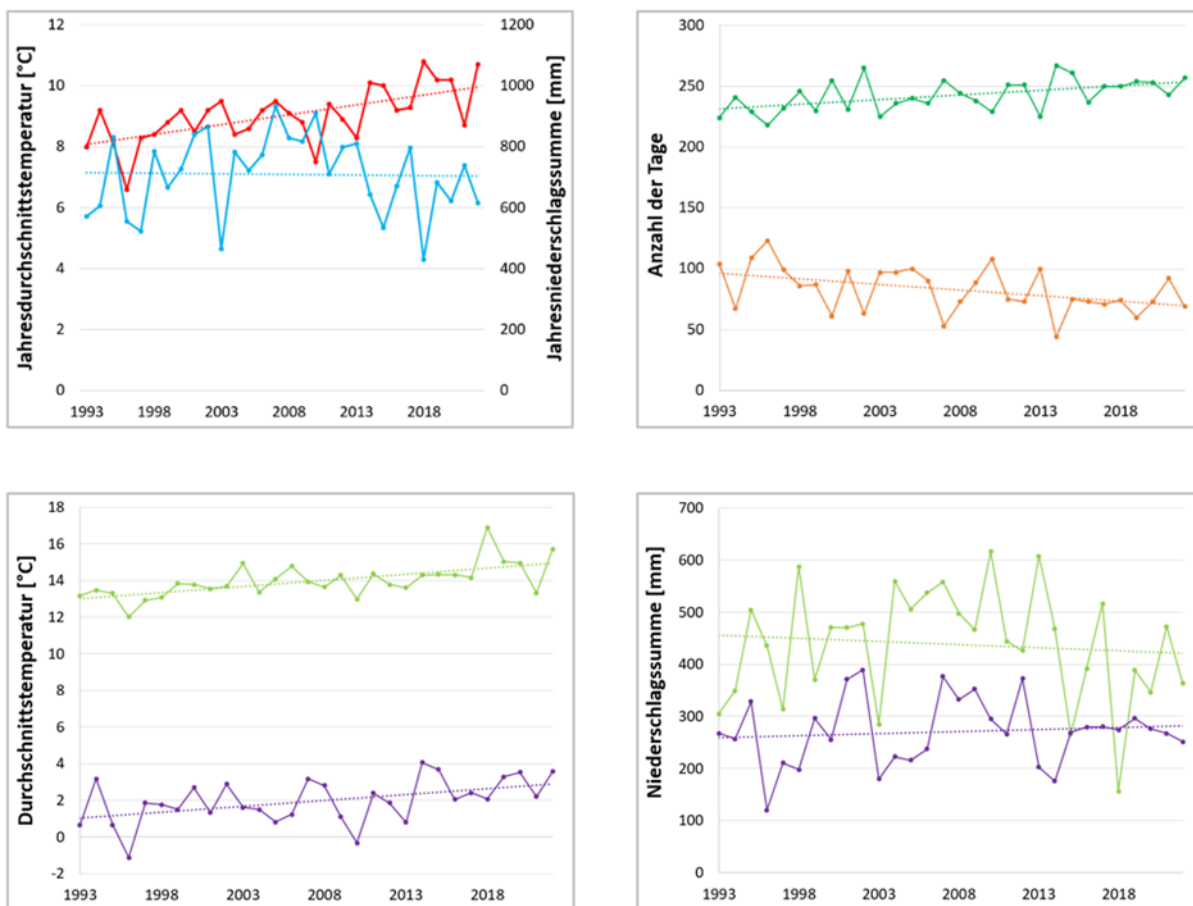
Anhang



Anhang 1: Lage des Marteloskops in der Forstbetriebskarte aus dem Jahr 2015 (Universitätsforstamt Sailershausen, 2015a).



Anhang 2: Lage des Marteloskops in den Forstbetriebskarten aus den Jahren 1969 (links) und 1990 (rechts) (Universitätsforstamt Sailershausen, 2023a).



Anhang 3: Klimadaten der Wetterstation Köslau im Zeitraum 1993-2022 mit jeweiliger Trendlinie (punktiert) (Landesamt für Landwirtschaft, 2023). Links oben: Jahresdurchschnittstemperatur (rot) und Jahresniederschlagssumme (blau). Rechts oben: Jährliche Vegetationstage (grün) und jährliche Frosttage (orange). Links unten: Durchschnittstemperatur im Zeitraum von April-Oktober (hellgrün) und von November-März (lila). Rechts unten: Niederschlagssumme im Zeitraum von April-Oktober (hellgrün) und von November-März (lila).

Anhang 4: Liste der Baummikrohabitate mit den Wertigkeiten (S = Grundwert, R = Seltenheitswert, D = Wert für die Entwicklungsdauer, G = Gesamtwert) (Kraus, Bütler, Lachat, et al., 2016).

Mikrohabitatgruppe	Mikrohabitattyp		Merkmale	Wertigkeit			
	Code	Mikrohabitat		S	R	D	G
Spechthöhlen	CV11	Spechthöhle	Ø = 4 cm	2	4	2	12
	CV12	Spechthöhle	Ø = 5 - 6 cm	3	4	3	21
	CV13	Spechthöhle	Ø > 10 cm	4	4	4	32
	CV14	Fraßlöcher	Ø ≥ 10 cm	1	3	1	4
	CV15	Höhlenetagen	≥ 3 Spechthöhlen	5	5	5	50
Stamm- und Mulmhöhlen	CV21	Mulmhöhle mit Bodenkontakt	Ø ≥ 10 cm	2	5	5	20
	CV22	Mulmhöhle mit Bodenkontakt	Ø ≥ 30 cm	5	5	5	50
	CV23	Mulmhöhle ohne Bodenkontakt	Ø ≥ 10 cm	2	5	4	18
	CV24	Mulmhöhle ohne Bodenkontakt	Ø ≥ 30 cm	5	5	4	45
	CV25	Halboffene Stammhöhle	Ø ≥ 30 cm, Niederschlag kann eindringen, mit / ohne Mulm	2	4	4	16
	CV26	Hohler Stamm	Ø ≥ 30 cm, Öffnung nach oben, mit / ohne Bodenkontakt	1	4	4	8
Asthöhlen	CV31	Faulhöhle	Ø ≥ 5 cm, durch Astabbruch entstanden	1	4	4	8
	CV32	Faulhöhle	Ø ≥ 10 cm, durch Astabbruch entstanden	4	4	4	32
	CV33	Hohler Ast	Ø ≥ 10 cm, röhrenartige Form	4	5	4	36
Dendrotelme und wassergefüllte Baumhöhlungen	CV41	Dendrotelm am Stammfuß	Ø ≥ 3 cm, kann sich mit Wasser füllen	1	2	4	6
	CV42	Dendrotelm am Stammfuß	Ø ≥ 15 cm, kann sich mit Wasser füllen	2	3	4	14
	CV43	Dendrotelm in der Krone	Ø ≥ 5 cm, kann sich mit Wasser füllen	3	3	4	21
	CV44	Dendrotelm in der Krone	Ø ≥ 15 cm, kann sich mit Wasser füllen	4	3	4	28
Insektengalerien und Bohrlöcher	CV51	Insektengalerie	Galerie mit einzelnen kleinen Bohrlöchern	1	3	1	4
	CV52	Große Bohrlöcher	Ø ≥ 2 cm	4	4	1	20
Freiliegendes Splintholz	IN11	Freiliegendes Splintholz	25 - 600 cm ² , Zerfallsstufe < 3	1	1	3	4
	IN12	Freiliegendes Splintholz	> 600 cm ² , Zerfallsstufe < 3	2	1	3	8
	IN13	Freiliegendes Splintholz	25 - 600 cm ² , Zerfallsstufe = 3	3	1	3	12
	IN14	Freiliegendes Splintholz	> 600 cm ² , Zerfallsstufe = 3	4	1	3	16
Freiliegendes Kernholz / Stamm- und Kronenbruch	IN21	Stammbruch	Ø ≥ 20 cm an der Bruchstelle, am lebenden Baum, Holzersetzung ist sichtbar	2	4	3	14
	IN22	Freiliegendes Kernholz	≥ 300 cm ² , durch Kronen- oder Zwieselabbruch, am lebenden Baum	4	4	3	28
	IN23	Starkastabbruch	Ø ≥ 20 cm an der Bruchstelle, Abbruch eines Starkasts oder eines Stämmelings, am lebenden Baum	4	3	3	24
	IN24	Zersplitterter Stamm	Ø ≥ 20 cm an der Bruchstelle, durch Windbruch	4	5	3	32
Risse und Spalten	IN31	Riss	Länge ≥ 30 cm, Breite > 1 cm, Tiefe > 10 cm, freiliegender Splint	2	5	5	20
	IN32	Riss	Länge ≥ 100 cm, Breite > 1 cm, Tiefe > 10 cm, freiliegender Splint	3	5	5	30

	IN33	Blitzrinne	Rinnenbildung durch Blitzschlag, freiliegender Splint	4	5	5	40
	IN34	Brandnarbe	≥ 600 cm ² , verkohltes Holz sichtbar	4	5	5	40
Rinden- taschen	BA11	Rindentaschen (Öffnung nach unten)	Breite > 1 cm, Tiefe > 10 cm, Höhe > 10 cm	3	5	5	30
	BA12	Rindentaschen (Öffnung nach oben)	Breite > 1 cm, Tiefe > 10 cm, Höhe > 10 cm, können Mulm beinhalten	1	5	5	10
Rinden- struktur	BA21	Grobe Rindenstruktur	Baumartenspezifisch	1	3	3	6
Totäste / Kronen- totholz	DE11	Totast besonnt	∅ 10 - 20 cm, Länge ≥ 50 cm	1	3	4	7
	DE12	Totast besonnt	∅ > 20 cm, Länge ≥ 50 cm	2	3	4	14
	DE13	Totast nicht besonnt	∅ 10 - 20 cm, Länge ≥ 50 cm	1	2	4	6
	DE14	Totast nicht besonnt	∅ > 20 cm, Länge ≥ 50 cm	2	2	4	12
	DE15	Abgestorbene Kronenspitze	∅ ≥ 10 cm	1	3	3	6
Stamm- fußhöhlen	GR11	Stammfußhöhle	∅ ≥ 5 cm, natürlicher Hohlraum am Wurzelanlauf (keine Verletzung oder Faulhöhle)	1	1	2	3
	GR12	Stammfußhöhle	∅ ≥ 10 cm, natürlicher Hohlraum am Wurzelanlauf (keine Verletzung oder Faulhöhle)	1	1	2	3
	GR13	Stammspalte	Länge ≥ 30 cm, natürliche Spalte höher am Stamm (keine Verletzung oder offener Riss)	2	2	2	8
Hexen- besen	GR21	Hexenbesen	∅ > 50 cm	2	5	3	16
	GR22	Wasserreißer	Dichte Anhäufung	3	3	3	18
Krebse und Maser- knollen	GR31	Krebsartiges Wachstum	∅ > 20 cm, raue Rindenoberfläche, Rindenschäden	2	4	2	12
	GR32	Krebs im Zerfallsstadium	∅ > 20 cm, nekrotisches Gewebe sichtbar	2	2	2	8
Pilzfrucht- körper	EP11	Einjährige Porlinge	∅ > 5 cm	3	4	2	18
	EP12	Mehrjährige Porlinge	∅ > 10 cm	4	5	4	36
	EP13	Ständerpilze und Champignonartige	∅ > 5 cm	2	3	2	10
	EP14	Große Ascomyceten (Schlauchpilze)	∅ > 5 cm	4	5	4	36
Myxo- myceten	EP21	Myxomyceten (Schleimpilze)	∅ > 5 cm	3	4	2	18
Epiphy- tische Krypto- und Phanero- game	EP31	Epiphytische Moose	Bedeckungsgrad > 25 %, Moose bzw. Lebermoose	1	3	1	4
	EP32	Epiphytische Blatt- und Strauchflechten	Bedeckungsgrad > 25 %, Blatt- oder Strauchflechten	2	4	2	12
	EP33	Lianen	Bedeckungsgrad > 25 %, Lianen / Kletterpflanzen	3	5	3	24
	EP34	Epiphytische Farne	> 5 Farnwedel	2	3	3	12
	EP35	Misteln	In der Baumkrone	3	5	4	27
Nester	NE11	Nester größerer Wirbeltiere	∅ > 80 cm, Nester von Adler, Schwarz- oder Weißstorch, Graureiher	4	4	3	28
	NE12	Nester kleinerer Wirbeltiere	∅ > 10 cm, Nester von kleinen Vogelarten, Haselmaus, Eichhörnchen	1	2	2	4
	NE21	Nester wirbelloser Tiere	Larvennester, Holzameise, Wildbienen	3	5	3	24
Saft- und Harzfluss	OT11	Saftfluss	> 50 cm, deutlich sichtbar, vorwiegend an Laubbäumen	4	5	3	32
	OT12	Harzfluss und Harztaschen	> 50 cm, deutlich sichtbar, vorwiegend an Nadelbäumen	1	3	2	5
Mikro- böden	OT21	Mikroboden (Krone)	Ablagerung abgestorbener Epiphyten und alter nekrotischer Rinde	4	5	4	36
	OT22	Mikroboden (Rinde)	Ablagerung abgestorbener Epiphyten und alter nekrotischer Rinde	3	5	3	24

Anhang 5: Mindestzopfdurchmesser für ein lokal verkaufsfähiges Stammholzstück nach Baumart (H. Stark, persönliche Kommunikation, 20. Februar 2023).

Baumart	Mindestzopfdurchmesser m. R. [cm]
Lärche	18
Fichte	15
Kiefer	18
Buche	27
Hainbuche	27
Eiche	25
Feld-Ahorn	27
Linde	27
Kirsche	28
Birke	27
Elsbeere	25
Spitz-Ahorn	27

Anhang 6: Rindenabzugswerte nach der RVR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), 2020). Für Hainbuche, Linde, Birke, Kirsche und Spitz-Ahorn wurden die Werte der Buche und für Feld-Ahorn und Elsbeere die Werte der Eiche angewendet.

Baumart	Mittendurchmesser m. R. [cm]	Rindenabzug [cm]
Lärche	bis 20	1
	21 bis 31	2
	32 bis 42	3
	43 bis 53	4
	ab 54	5
Fichte	bis 26	1
	27 bis 50	2
	ab 51	3
Kiefer	bis 20	1
	21 bis 36	2
	37 bis 62	3
	ab 63	4
Buche, Hainbuche, Linde, Birke, Kirsche, Spitz-Ahorn	bis 41	1
	ab 42	2
Eiche, Feld-Ahorn, Elsbeere	bis 20	1
	21 bis 31	2
	32 bis 42	3
	43 bis 53	4
	ab 54	5

Anhang 7: Durchschnittliche Holzpreise aus der Holzverkaufsstatistik des Universitätsforstamtes Sailershausen im Zeitraum 2017-2023 (Universitätsforstamt Sailershausen, 2023b). Aufgeführt sind nur die für diese Arbeit relevanten Baumarten, Qualitäten und Stärkeklassen.

Stärkeklasse	0	1a	1b	2a	2b	3a	3b	4	5	
Mittendurchmesser o. R. [cm]	0-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-49	50-59	
Baumart	Qualität	Holzpreis [€/fm]								
Lärche	B			58,50	71,30	88,36	97,69	112,42	125,46	
	D			43,76	43,76	46,69	55,08	64,03	60,62	
	BH	20,00	27,21	32,00	22,73	30,00	31,00	31,00	30,26	
Fichte	B			65,79	66,33	70,48	72,46	74,29	78,22	
	D			49,69	49,69	49,69	49,69	49,69	49,69	
	BH	6,69	9,09	19,80	15,78	24,84	23,69	25,00	25,00	
Kiefer	B			50	54,53	63,62	67,80	70,02	70,25	
	D			15,00	15,00	18,70	17,96	27,44	15,00	
	BH	32,42	32,43	32,43	32,43	32,43	32,43	32,43	32,43	
Buche	B				60,04	64,72	68,35	82,75	61,59	
	BH	47,87	51,13	51,60	51,28	51,90	53,32	53,74	50,62	
Hainbuche	BH	33,68	49,40	50,86	51,13	51,40	47,93	55,59	50,00	
Eiche	A							480,00	550,23	706,56
	B			89,32	72,23	92,31	166,23	234,10	342,60	
	C				59,07	68,34	92,84	120,11	154,56	
	BH	28,24	39,57	44,25	48,59	49,63	49,67	52,37		
Feld-Ahorn	B				60,00	63,75	64,85	81,01		
	BH	15,92	21,14	41,99	41,03	57,58				
Linde	B				56,79	61,35	70,02	79,65	88,04	
	BH	30,00	39,02	39,02	39,02	39,02	39,02	39,02		
Kirsche	B					80,00	67,72	28,00	65,00	
	C					46,35	43,22	65,00		
	BH	40,00	45,32	45,32	45,32	45,32	45,32	45,32		
Birke	B				57,50	58,39	66,82	73,06	80,00	
	BH	40,00	49,83	47,59	40,44	40,00				
Elsbeere	B				31,60	55,53				
	C				62,56	85,37				
	BH	50,00	58,00	58,00	58,00	58,00	58,00	58,00		
Spitz-Ahorn	BH	28,44	28,44	28,44						

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Arbeit selbständig erstellt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt haben. Soweit wir auf fremde Materialien, Texte oder Gedankengänge zurückgegriffen haben, enthalten unsere Ausführungen vollständige und eindeutige Verweise auf die Urheber und Quellen. Alle weiteren Inhalte der vorgelegten Arbeit stammen von uns im urheberrechtlichen Sinn, soweit keine Verweise und Zitate erfolgen. Uns ist bekannt, dass ein Täuschungsversuch vorliegt, wenn die vorstehende Erklärung sich als unrichtig erweist.

Freising, den 15. Mai 2023



Moritz Schmidt



Markus Täufer

Abstract

Moritz Schmidt, Markus Täufer

Einrichtung und Anwendung eines Marteloskops im Universitätswald Sailershausen

Bachelorarbeit, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Wald und Forstwirtschaft,
Mai 2023, 114 Seiten

Ziel der Bachelorarbeit war die Einrichtung eines 1 ha großen Marteloskops in einem laubholzreichen und durchmischten Bestand jüngeren Alters und eine darauffolgende Prüfung der Eignung als waldbauliche Schulungsfläche in Form einer Auszeichensimulation mit Probanden unterschiedlichen forstlichen Hintergrunds. Das Marteloskop soll geeignet sein, als waldbauliches Trainingstool für Akteure der Forstbranche zu dienen und insbesondere den Umgang mit artenreichen Mischbeständen unter dem Einfluss des Klimawandels zu erlernen. Bei der Suche nach einem geeigneten Waldbestand fiel die Wahl auf einen gemischten Nadelholz-Buchen-Eichen-Bestand mit Edellaubholz. Die Arbeit wurde im Wald des Universitätsforstamts Sailershausen der Julius-Maximilians-Universität Würzburg durchgeführt. Das Universitätsforstamt Sailershausen versteht sich als Wertholz produzierender Forstbetrieb und zeichnet sich durch seine hohe Baumartenvielfalt insbesondere bei Laubbaumarten, nährstoffreiche und von geringen Jahresniederschlägen dominierte Wuchsstandorte sowie eine Offenheit gegenüber Wissenschaft und Forschung aus. Die Methodik der Arbeit gliedert sich in zwei Teile. Der erste Teil betrifft die Einrichtung der Marteloskopfläche mit Datenaufnahme in Anlehnung an die Marteloskop-Richtlinie des European Forest Institute (EFI) im Gelände sowie eine Analyse der Daten nach waldwachstumskundlichen, ökonomischen und ökologischen Parametern. Der zweite Teil umfasst Planung und Durchführung einer Eingriffssimulation im Marteloskop. Diese wurde in Form einer Auszeichenübung und unter Verwendung der I+ Trainer App von Forstfachpersonal, Forststudierenden und Waldbesitzenden durchgeführt. Ergebnis der Arbeit ist ein eingerichtetes und auf seine Funktionalität getestetes Marteloskop. Dieses kann unter Verwendung der Software und Serverdaten von EFI zum Trainieren eines vom Klimawandel beeinflussten Waldbaus von interessierten Personen genutzt werden.

The aim of the bachelor thesis was the establishment of a 1 ha marteloscope in a hardwood-rich and mixed stand of younger age and a subsequent test of its suitability as a silvicultural training area in the form of a thinning simulation with test persons of different professional backgrounds in forestry. The marteloscope should be suitable to serve as a silvicultural training tool for forestry stakeholders to learn how to manage especially species-rich mixed stands under the influence of climate change. In the search for a suitable forest stand, a mixed conifer-beech-oak stand with deciduous hardwoods was chosen. The work was carried out in the Sailershausen University Forest of the Julius-Maximilians-University of Würzburg. The Sailershausen University Forest sees itself as a forestry operation producing valuable timber and is characterized by its high tree species diversity, especially in deciduous species, nutrient-rich growing sites dominated by low annual precipitation, and openness to science and research. The methodology of the work is divided into two parts. The first part concerns the establishment of the marteloscope plot with data collection in the field following the EFI's marteloscope guideline and an analysis of the data according to forest growth, economic and ecological parameters. The second part includes planning and implementation of an intervention simulation in the marteloscope. This was carried out in the form of a sign exercise and using the I+ Trainer app by forestry personnel, forestry students and forest owners. The result of the work is a marteloscope that has been set up and tested for functionality. This can be used to train climate change influenced silviculture by interested individuals using EFI's software and server data.