



Hochschule für Forstwirtschaft
Rottenburg

Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Bachelorarbeit

Einrichtung eines Marteloskops in einer Naturwaldentwicklungsfläche der Hatzfeldt-Wildenburg'schen Verwaltung

Konstantin von Gemmingen-Guttenberg

Rappenberghalde 12

72108 Rottenburg

I. Allgemeine Angaben

Verfasser

Konstantin von Gemmingen-Guttenberg
Rappenberghalde 12
72108 Rottenburg-Weiler
konstantin.gemmingen@gmail.com

Studiengang: B.Sc. Forstwirtschaft, Vertiefungsrichtung Allgemeine Forstwirtschaft
Matr. Nr.: 201577

Erstprüfer

Herr Prof. Stefan Ruge
Professur für Botanik und Waldbau-Grundlagen
Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg

Zweitprüfer

Herr Dr. Franz Straubinger
Geschäftsführer der Hatzfeldt-Wildenburg'schen Verwaltung
Schloss Schönstein
57537 Wissen

Anschrift der Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg (HFR)

Schadenweilerhof
72108 Rottenburg a. N

Copyright © 2021

D-72108 Rottenburg

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form ohne schriftliche Genehmigung reproduziert oder über elektronische Systeme verbreitet werden. Die Genehmigung ist bei der HFR einzuholen. Bei gesperrten Arbeiten ist jegliche Art der Weiterverwendung verboten.

II. Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

an dieser Stelle möchte ich einige Worte des Dankes platzieren, da eine Bachelorarbeit zwar ein Werk ist, das den Namen des Verfassers trägt, doch im Hintergrund sorgen viele weitere Menschen für das Gelingen.

Einen besonderen Dank bin ich meinem guten Freund Lukas schuldig. Dank seiner Hilfe war es mir überhaupt erst möglich, das Marteloskop einzurichten. Trotz zeitweiser Genickstarre beim Blick in die Baumkronen und kalten Füßen war es mir stets ein Vergnügen, mit Dir auf der Fläche gewesen zu sein.

Des Weiteren danke ich Andreas Schuck und Sergey Zudin vom European Forest Institute. Sie schafften es aus einer Flut von Daten das gebrauchsfertige Marteloskop zu formen und standen mir, wie auch Thomas Boschen stets als Informanten zur Verfügung.

Bei meinen beiden Prüfern, Herrn Prof. Ruge und Herrn Dr. Straubinger möchte ich mich für die Bereitschaft zur Betreuung dieser Arbeit bedanken. Unsere Zusammenarbeit empfand ich durchweg als sehr angenehm.

Johanna, vielen Dank für Dich an meiner Seite.

Schlussendlich sende ich ein herzliches Dankeschön an meine Eltern, welche mich durch das gesamte Studium hinweg unterstützt haben. Auf Euer offenes Ohr kann ich mich immer verlassen und Eure kritischen Kommentare, kombiniert mit konstruktiven Ideen fordern und fördern mich!

Rottenburg-Weiler, Juni 2021

Konstantin von Gemmingen-Guttenberg

III. Abstract

This bachelor thesis describes establishing a training site, the standing tree stock, and its potential usage for training. These trainings aim at enabling foresters and other interested people to train stand treatments respecting financial and ecological criteria and particularly the detection of tree microhabitats (habitat structures that are used by specific species, e.g. black woodpecker cave). It is supposed to help foresters identify tree microhabitats during everyday marking so that they can better evaluate whether to harvest or leave the tree due to its ecological value.

Therefore, a marteloscope was set up in a natural forest development area. A marteloscope is a training area with the size of one hectare in which a number of tree-based parameters are recorded. First the borders are measured and marked. Within the borders all trees with a diameter breast high above 7 cm are tagged, measured and located. The timber quality and tree microhabitats are determined. After the records have been finished, data is uploaded to the *I+* Software by the European Forest Institute (EFI). From then on, the plot's data is available for the public.

The marteloscope *Strebenthal* is located in the forest district of Oberbirkholz that belongs to the Hatzfeldt-Wildenburg administration in the North-East of Rhineland-Palatinate. The tree stand is characterized by oaks in the upper layer with a share of 74 % stock. The european beech has its main occurrence in the mean- and understorey in which it has very high number of trees. It holds 19 % stock share. Further species found on the plot are hornbeam, common spruce and Scots pine. Result-related they are of no relevance.

In comparison with the valid yield tables the actual stem numbers are below the optimum value. Because of the higher diameter breast high, the sites base area and stock values are at about the level of the yield table.

Rather poor in terms of timber quality, the plot is rich in tree microhabitats. They are found in a great variety. Counting 614 trees in total, 218 trees accommodate 714 tree microhabitats.

Two different treatments are simulated, and specific training proposals are made. Addressees for the training are primarily foresters that deal with the economic and ecological functions of the forest on a daily basis. Furthermore, it can also be used by conservationists and other interested people. The participants have access to the collected dataset via a tablet. They can select single trees and decide what to do with the background knowledge about each tree.

IV. Zusammenfassung

Mit dieser Bachelorarbeit werden die Einrichtung einer Versuchsfläche und deren Bestand beschrieben, sowie Nutzungsmöglichkeiten für Fortbildungszwecke dargestellt. Das Ziel der Fortbildungen ist es, Bestandesbehandlungen unter Berücksichtigung betriebswirtschaftlicher und ökologischer Kriterien zu üben. Insbesondere das Erkennen sogenannter Baummikrohabitate (von bestimmten Arten genutzte, klar abgegrenzte Habitatstrukturen, Bsp. Schwarzspechthöhle) steht im Vordergrund, sodass diese Strukturen im forstlichen Alltag sicher erkannt und deren Relevanz bewertet werden können. So sollen Abwägungsprozesse über Ernte oder Belassen einzelner Bäume unter ökologischen und betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten eingeübt werden.

Deshalb wurde ein Marteloskop in einer Naturwaldentwicklungsfläche eingerichtet. Ein Marteloskop ist eine 1 ha große Waldfläche, in der eine Vielzahl von baumindividuellen Parametern erhoben werden. In einzelnen Arbeitsschritten werden die Grenzen eingemessen und markiert, sämtliche Bäume mit einem BHD oberhalb der Derbholzgrenze nummeriert und vermessen. Im Anschluss wird baumindividuell die exakte Position eingemessen, die Baummikrohabitate und die Qualität bestimmt. Die aus den Aufnahmen resultierenden Daten fließen in eine *I+* genannte Software des European Forest Institute (EFI) ein und stehen dort öffentlich zugänglich zur Verfügung.

Das im Revier Oberbirkholz der Hatzfeldt-Wildenburg'schen Verwaltung im Nordosten von Rheinland-Pfalz befindliche Marteloskop *Strebenthal* ist geprägt von einem Eichen-Oberstand, der den Flächenvorrat mit einem Anteil von 74 % dominiert. Die deutlich stammzahlreichere Rot-Buche kommt aufgrund ihres Hauptvorkommens in der Unter- und Mittelschicht auf 19 %. Sonstige vorkommenden Baumarten wie Hainbuche, Gemeine Fichte und die Wald-Kiefer nehmen ergebnisbezogen keine relevante Rolle ein.

Im Vergleich mit den gültigen Ertragstafeln liegt die tatsächliche Stammzahl unter dem Soll-Wert. Ein höherer BHD erwirkt jedoch Grundflächen- und Vorratswerte auf Höhe des Ertragstafelniveaus.

Neben vergleichsweise geringen Holzqualitäten ist die Fläche reich an Baummikrohabitaten. Sie kommen in einer großen Vielfalt vor und in Summe lassen sich an 218 von 614 Einzelbäumen 741 Baummikrohabitate finden.

Zwei unterschiedliche Bestandesbehandlungen werden simuliert und spezifische Trainingsvorschläge gemacht. Zur den Adressaten gehören ist in erster Linie Revierleitende, die nahezu täglich mit den Themen der ökonomischen und ökologischen Funktion des Waldes zu tun haben. Darüber hinaus Naturschützer, sowie interessierte Personen. Während der

Übungen stehen den Teilnehmenden sämtliche erhobenen Daten baumindividuell auf einem mobilen Endgerät zur Verfügung, sodass sie auf die für einen Eingriff notwendigen Informationen zurückgreifen können.

Inhaltsverzeichnis

II.	<u>Vorwort.....</u>	<u>II</u>
III.	<u>Abstract.....</u>	<u>III</u>
IV.	<u>Zusammenfassung.....</u>	<u>IV</u>
V.	<u>Abkürzungsverzeichnis</u>	<u>IX</u>
1	<u>Einleitung.....</u>	<u>1</u>
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung.....	2
2	<u>Stand des Wissens</u>	<u>3</u>
2.1	Das Marteloskop	3
2.2	Integrative Forstwirtschaft.....	4
2.3	Naturwaldentwicklungsfläche - Naturwaldreservat	5
2.4	Baummikrohabitate	6
3	<u>Hatzfeldt-Wildenburg'sche Verwaltung</u>	<u>8</u>
3.1	Betriebsstruktur	8
3.2	Eigentümerzielsetzung	8
4	<u>Material.....</u>	<u>9</u>
4.1	Lage der Marteloskopfläche	9
4.1.1	Lage und Klima	9
4.1.2	Geologie und Standort.....	9
4.1.3	Potenzielle natürliche Vegetation	11
4.1.4	Bisherige Aufnahmen der Fläche	11
5	<u>Methodik</u>	<u>12</u>
5.1	Einrichtung des Marteloskops	12
5.1.1	Flächenauswahl	12
5.1.2	Grenzen festlegen und markieren	13
5.1.3	Nummerierung und Artbestimmung der Bäume.....	15
5.1.4	Aufnahme der Stammfußkoordinaten.....	15
5.2	Aufnahme baumbezogener Daten	17

5.2.1	Brusthöhendurchmesser	17
5.2.2	Höhe des Kronenansatzes und Baumhöhe	17
5.2.3	Holzqualität	18
5.2.4	Baummikrohabitate	19
5.3	Berechnungen und Auswertung.....	20
5.3.1	Definitionen	20
5.3.2	Berechnungen	20
5.3.3	Berechnung der Grundfläche	21
5.3.4	Berechnung des Vorrats.....	21
5.3.5	Berechnung der verkaufsfähigen Holzvolumens	21
5.3.6	Berechnung der ökonomischen Werte.....	22
5.3.7	Berechnung der Habitatwerte.....	22
5.3.8	Berechnung der Stammfußkoordinaten	22
5.4	Veröffentlichung des Marteloskops.....	24
6	<u>Ergebnisse.....</u>	25
6.1	Strukturelle Ergebnisse.....	25
6.1.1	Flächengröße	25
6.1.2	Baumartenanteile.....	25
6.1.3	Stammzahl.....	26
6.1.4	Vergleich der Stammzahl mit Ertragstafelwerten	26
6.1.5	BHD-Verteilung.....	27
6.1.6	Vergleich BHD-Mittelwert mit Ertragstafelwerten	28
6.1.7	Baumhöhen	29
6.1.8	Grundfläche	31
6.1.9	Vergleich Grundfläche mit Ertragstafelwerten	31
6.1.10	Vorrat.....	32
6.1.11	Vergleich Vorrat mit Ertragstafelwerten	32
6.2	Holzqualitäten	33
6.3	Ökonomischer Wert	34
6.4	Baummikrohabitate.....	36

6.5	Wertvollste Bäume	38
<u>7</u>	<u>Diskussion.....</u>	<u>40</u>
7.1	Material.....	40
7.2	Methodik.....	40
7.3	Aufwandsschätzung	42
7.4	Ergebnisse.....	43
7.4.1	Baumarten	43
7.4.2	Stammzahl.....	43
7.4.3	BHD.....	44
7.4.4	Baumhöhe	44
7.4.5	Grundfläche und Vorrat.....	45
7.4.6	Verkaufsfähiges Holzvolumen und Holzqualität.....	45
7.4.7	Ökonomischer Wert.....	46
7.4.8	Baummikrohabitate	47
7.5	Eingriffssimulationen.....	48
7.6	Nutzungsmöglichkeiten als Fortbildungsinstrument.....	50
7.7	Ausblick: Wirksamkeit des Marteloskops als Fortbildungsinstrument.....	51
<u>8</u>	<u>Fazit.....</u>	<u>52</u>
<u>9</u>	<u>Abbildungsverzeichnis</u>	<u>53</u>
<u>10</u>	<u>Tabellenverzeichnis</u>	<u>54</u>
<u>11</u>	<u>Fotografieverzeichnis.....</u>	<u>54</u>
<u>12</u>	<u>Literaturverzeichnis</u>	<u>55</u>
<u>VI.</u>	<u>Anhang.....</u>	<u>X</u>
<u>VII.</u>	<u>Eidesstattliche Erklärung.....</u>	<u>XI</u>

V. Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
a	Jahr
ANW	Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft
BA	Baumart
BHD	Brusthöhendurchmesser, gemessen in 1,3 m Höhe
BMEL	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
BMH	Baummikrohabitat/e
cm	Zentimeter
EFI	European Forest Institute
Efm	Erntefestmeter, errechnet aus Vfm x Reduktionsfaktor
FAWF	Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Rheinland-Pfalz
FBZ	Forstliches Bildungszentrum
FFH	Fauna-Flora-Habitat
FSC	Forest Stewardship Council
ha	Hektar; $1 \text{ ha} \triangleq 10.000\text{m}^2$
Lkr.	Landkreis
m NN	Höhe über dem Meeresspiegel
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
m.R.	mit Rinde
P	Punkte (Habitatwertpunkte)
PNV	Potenzielle Natürliche Vegetation
QM	Quadrantenmittelpunkt
RVR	Rahmenvereinbahrungen für den Rundholzhandel in Deutschland
sog.	sogenannte
Vfm	Vorratsfestmeter
WET-RL	Richtlinie landesweiter Waldentwicklungstypen Baden- Württemberg

1 Einleitung

Alles begann mit einer Fortbildung am FBZ Hachenburg, von der mein betreuender Revierleiter im Praxissemester bei der Hatzfeldt-Wildenburg'schen Verwaltung, Thomas Boschen, zurückkam und mich fragte: „Möchtest Du ein Marteloskop einrichten? Ich hätte da einen interessanten Bestand.“

Mit der Einrichtung einer Versuchsfläche kann der Forstbetrieb in die Lage versetzt werden, Mitarbeitern und weiteren interessierten Menschen mit Hilfe erhobener Daten deren Erfahrungen mit einer integrierten Forstwirtschaft zu erweitern und mit anderen handelnden Akteuren auszutauschen. Bei einer Marteloskop-Fortbildung, an der ich am FBZ Hachenburg selbst teilnahm, nahm z.B. auch ein Landschaftspfleger als Angestellter eines Landkreises teil. Er, der sonst dafür zuständig ist, zu bewahren und zu pflegen, konnte nun erstmals einen Eingriff simulieren, in dem er primär auf die Wirtschaftlichkeit achten und nebenbei wertvolle Habitatbäume schonen konnte. Dabei hatte er sichtlich Freude. Dieses Beispiel veranschaulicht, welche Erfahrungen bzw. Erkenntnisse eine Fortbildung in einem Marteloskop erreichen kann.

1.1 Problemstellung

Die multifunktionale Forstwirtschaft befasst sich nicht nur mit der Holzproduktion und dem Holzverkauf allein. Andere, vor einigen Jahren kaum beachtete Aspekte finden Einzug in den Alltag der handelnden Akteure im Wald - sei es eine CO₂-Prämie oder der durch CoVID 19 verstärkte Besucherdruck im Wald. Auch die Dürrejahre 2018 bis 2020 (Marx 2021) in Verbindung mit großflächigem Ausfall der Fichte und anderen Baumarten in manchen Landesteilen sorgen dafür, dass die Bevölkerung ein gesteigertes Interesse am Wald hat und mitgestalten möchte.

Zudem rückt auch der naturschutzfachliche Aspekt des Waldes in den Vordergrund: Neben der Ausweisung von Wald-Nationalparks in einigen Bundesländern ist der Natur- und Artenschutz im Wirtschaftswald von hoher Relevanz. Ein monotoner „Fichten-Schwarzwald“ wirkt als Beispiel für eine veraltete Vorstellung von Forstwirtschaft. Ein gemischter und strukturreicher Wald, der vielen Tier- und Pflanzenarten einen Lebensraum bietet, wird gefordert. Hierfür benötigen die handelnden Akteure, allen voran die Revierleitenden fundierte Kenntnisse in sämtlichen Bereichen ihres Zuständigkeitsbereichs. Unter anderem Kenntnisse über die Bewirtschaftung unter Berücksichtigung ökologischer Ziele.

Insbesondere in von Eichen dominierten Wäldern nimmt die Habitatfunktion eine herausragende Rolle ein. Hintergrund ist, dass sehr viele Insekten die Eichen (*Quercus spec.*) besie-

deln und auch zahlreiche Pilzarten an und in ihnen ein Zuhause finden. Diese Gattung ist besiedelt wie keine Zweite und damit wichtig für die Biodiversität in unseren Wäldern. Von den 115 Urwaldreliktarten Deutschlands nutzen 66 Arten Eichen als Habitatbäume (LWF 2014). In Zeiten des massiven Artenschwundes sollte zumindest der Wald ein Ort sein, in dem mit positiven Beispielen vorangegangen wird und wertvolle Habitate erhalten und gefördert werden.

1.2 Zielsetzung

Das Ziel der Bachelorarbeit ist die Einrichtung einer Versuchsfläche einschließlich der Beschreibung des Bestandes sowie das Aufzeigen von Nutzungsmöglichkeiten für Fortbildungszwecke. Die detaillierte Erfassung zahlreicher Baummikrohabitate soll helfen, den Blick für diese besonderen ökologischen Strukturen zu schärfen.

Adressaten sind zum einen Revierleitende, denen eine Möglichkeit geboten werden soll, Erfahrungen mit Simulationen forstlicher Bestandesbehandlungen zu machen, ihr Wissen zu kalibrieren und zu erweitern. So können sie besser in die Lage versetzt werden, im forstlichen Alltag wertvolle, durch Baummikrohabitate begründete Strukturen zu erkennen und zu erhalten. Zum anderen ist das Marteloskop ein Angebot an die interessierte Öffentlichkeit, die mit Hilfe dieser besonderen Form der Versuchsfläche einen Einblick in die mögliche Koexistenz von Natur-/Artenschutz und der ertragsorientierten Forstwirtschaft erhalten können.

Hierfür wird ein Marteloskop in einer unbewirtschafteten Naturwaldentwicklungsfläche eingerichtet. Während der Aufnahmen werden die Bäume baumindividuell markiert, vermessen, die Holzqualität bestimmt und die Baummikrohabitate angesprochen. Damit wird jeder Baum individuell „bekannt“.

Die aus den Aufnahmen resultierenden Ergebnisse sollen ausgewertet und mit den *vorläufigen Referenztafeln für die Forsteinrichtung* (FAWF 2003) verglichen werden, um zu prüfen, ob und falls zutreffend, ob und wie sich die Bestandesstruktur aufgrund der Nichtbewirtschaftung der Naturwaldentwicklungsfläche verändert.

Nach Abschluss der Arbeit ist es geplant, die Fläche in das Versuchsflächennetzwerk des EFI aufzunehmen. Von da an steht es für Übungszwecke zur Verfügung.

2 Stand des Wissens

2.1 Das Marteloskop

Im Jahr 2013 wurde vom European Forest Institute (EFI) das Projekt *Integrate+* ins Leben gerufen. Dieses lief bis in das Jahr 2016 und wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) gefördert. Das Ziel war es, ein europäisches Netzwerk von Versuchsflächen anzulegen, welches alle Hauptwaldtypen abdeckt. Es bietet einzigartige Möglichkeiten für virtuelle Auszeichenübungen und stellt Informationen über praktische Ansätze zur Integration von Aspekten des Natur- und Artenschutzes in Wirtschaftswäldern bereit (EFI, 2014). Diese Versuchsflächen werden Marteloskope genannt.

Mit Marteloskopen wird die Entnahme bzw. das Belassen einzelner Bäume simuliert. Mit Hilfe vorher detailliert erfasster Baumparameter können die betriebswirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen analysiert, verglichen und diskutiert werden. Somit sind Marteloskope ein sehr geeignetes Instrument der Aus- und Fortbildung, um die Integration der Nutz- und Naturschutzfunktion von Waldbeständen zu analysieren, zu diskutieren und zu üben.

Der Begriff Marteloskop setzt sich aus dem französischen Wort *martelage* für das forstliche Auszeichnen und dem altgriechischen Begriff *σκοπεῖν* (*skopeîn*) für betrachten zusammen. Die Wortherkunft von *martelage* rührt daher, dass in Frankreich klassisch mit dem *marteau de forestier* (Markierhammer) ausgezeichnet wurde: dies ist ein Werkzeug mit einem Beilblatt und einer Schlagplatte mit dem Zeichen oder Wappen des Waldbesitzers. Er ermöglicht das fälschungssichere Markieren der zu fällenden Bäume und versichert dem Förster, dass nicht mehr Holz gefällt wird, als ausgezeichnet wurde. Auch heute noch findet der *marteau de forestier* beim Ab-Stock-Verkauf nach wie vor Verwendung.

Das Prinzip der Marteloskope wurde von französischen Privatwaldbesitzern erfunden, die sich zusammenfanden, um gemeinsam über waldbauliche Behandlungsvarianten zu diskutieren. Sie zeichneten aus (*marteler*) und sahen sich das Ergebnis an (*skopeîn*). Die heutige Verwendung nimmt sich dies als Beispiel und gibt der experimentellen Forstwirtschaft wissenschaftliche Daten an die Hand (EFI 2014).

Mittlerweile gibt es europaweit ca. 120 Marteloskope. Jede dieser Flächen ist nach demselben Grundgerüst aufgebaut. Ein Marteloskop ist eine 1 ha große Fläche mit einer quadratischen Grundfläche von 100x100 m. Sie wird zu Zwecken der besseren Orientierung in vier Quadranten aufgeteilt, in denen Parameter der Holzmasse, der Qualität und Baummikrohabitate baumindividuell erhoben werden (Derks et al. 2020). Die erhobenen Daten werden durch das EFI in die *I+* Software eingefügt, sodass sie digital auf einem Tablet für Übungen im Wald zur Verfügung stehen.

Als vielfältig einsetzbares Werkzeug ist ein Marteloskop nicht nur für Weiterbildungen von Forstpraktikern geeignet, sondern bietet darüber hinaus großes Potenzial für die Kommunikation mit Nicht-Forstleuten. Es ermöglicht, im Austausch mit einer interessierten Öffentlichkeit und politischen Entscheidungsträgern am praktischen Beispiel zu veranschaulichen, wie unterschiedliche Dimensionen von Schutz- und Nutzfunktionen in forstliche Entscheidungsmuster integriert werden können. Der Integrate+ Projektslogan „seeing is better understanding“ erinnert an das Prinzip von J.H. Pestalozzi, welcher beschrieb, dass der Mensch beim Lernen mit Kopf, Herz und Hand das Wissen am besten verinnerlicht. Im Wald stehend, sämtliche Eindrücke wirken auf Körper und Geist und zusätzlich mit dem Tablet in der Hand, lässt sich mit dem Marteloskop umfassender lernen.

Darüber hinaus haben Wissenschaftler durch die Einrichtung, Nutzung und den Erhalt von Marteloskop-Versuchsflächen die Möglichkeit, Daten und Simulationen über trade-offs und Interessenskonflikte zwischen den unterschiedlichen Funktionen einer integrativen Waldbewirtschaftung zu erhalten. Die daraus resultierenden Erkenntnisse kommen wiederum den Forstpraktikern zu Gute (vgl. Kraus et al. 2011).

2.2 Integrative Forstwirtschaft

Die Forstwirtschaft ist geprägt von der Nutzung der nachhaltigen Ressource Holz. Holz bindet Kohlenstoff, kann als Brennstoff verwendet werden und ist ein vielseitig einsetzbarer Baustoff. Schon 1713 erkannte und beschrieb der sächsische Oberberghauptmann Hannß Carl von Carlowitz in seinem Buch *Sylvicultura oeconomica*, dass es eine „continuirliche, beständige und nachhaltende Nutzung“ benötigt, damit es auch Folgegenerationen möglich ist Holz nutzen zu können. Heute, gut 300 Jahre später, ist die Nachhaltigkeit ein omnipräsenter Begriff, der durch die drei Säulen Ökonomie, Ökologie und Soziales definiert wird. Weil die Forstwirtschaft nachhaltig betrieben werden soll, ist sie gefordert, die Belange jeder Säule zu erfüllen.

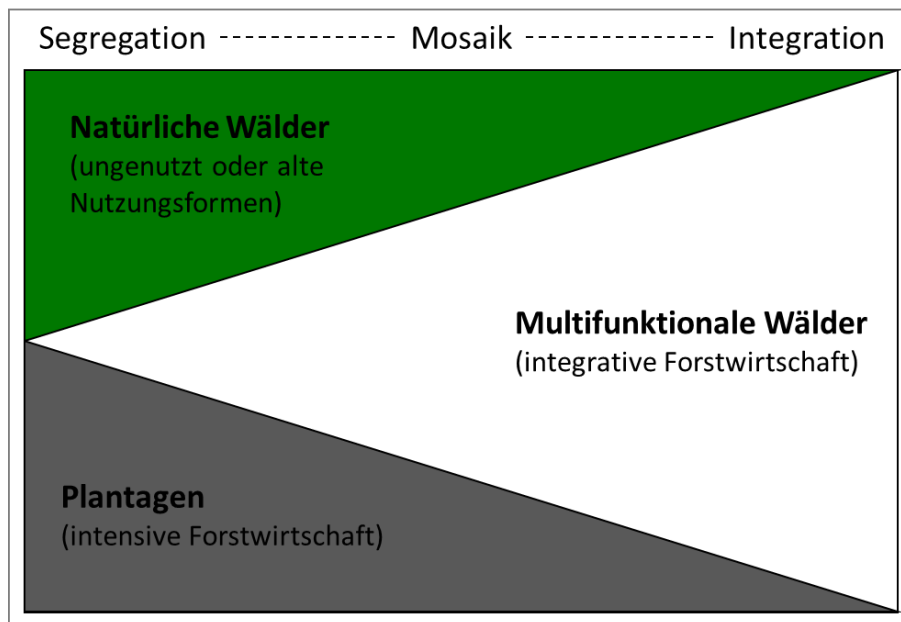


Abbildung 1: Ansätze der Forstwirtschaft nach Larsen 2020.

Um das Ziel der nachhaltigen Bewirtschaftung zu erfüllen, gibt es verschiedene Ansätze. Zwischen großräumiger Segregation und vollständiger Integration sämtlicher Interessen, gibt es verschiedene Zwischenstufen. Während segregative Ansätze jedem Interesse eine separierte Fläche zuweisen und keine Abwägung von Nutzungsinteressen stattfindet, setzt die integrative Forstwirtschaft voraus, dass alle Funktionen auf derselben Fläche erfüllt werden. In integrativen Ansätzen findet eine Abwägung von Nutzungsinteressen statt (Schurr 2020).

In Deutschland existiert vorwiegend das Prinzip der kleinflächigen Segregation. Während der Wirtschaftswald alle Waldfunktionen bereitstellt, sind kleine Vorrangflächen für die Erfüllung einer bestimmten Funktion ausgegliedert. Da das System auf einem einheitlichen Flächenmanagement beruht, erfordert es vom Bewirtschafter umfangreiche Kenntnisse in vielen Bereichen. Im Bereich des Natur- und Artenschutzes dient das Marteloskop-Flächennetzwerk dazu, diese Kenntnisse zu fördern.

2.3 Naturwaldentwicklungsfläche - Naturwaldreservat

FSC zertifizierte Forstbetriebe in Deutschland sind dazu verpflichtet, einen Teil ihrer Betriebsfläche als Naturwaldentwicklungsfläche auszuweisen bzw. über Flächen mit besonderer Naturschutzfunktion zu verfügen. Je nach Eigentumsart und Betriebsgröße beträgt der Anteil zwischen mindestens 5 % und 10 %. Im Nicht-Staatswald können Ökokonto- oder Vertragsnaturschutzflächen angerechnet werden. Naturwaldentwicklungsflächen sind von direkten menschlichen Eingriffen ungestörte Flächen, die unter besonderer Berücksichtigung der Biotopwertigkeit und des Entwicklungspotenzials für den Natur- und Artenschutz ausgewählt werden (FSC Deutschland 2020). Bis auf wenige Maßnahmen finden in ihnen keine Nutzungseingriffe statt.

Der Schutzstatus ist nicht zwingend öffentlich-rechtlich bindend, sondern dient dazu, die Kriterien der Zertifizierung zu erfüllen. Idealerweise ist eine Einzelfläche größer als 25 ha, mindestens jedoch 0,3 ha groß. Der dauerhafte Erhalt der Flächen wird in der Zielsetzung des Betriebes verankert und im Kartenmaterial dargestellt (FSC Deutschland 2020).

Ähnlich, jedoch mit dem entscheidenden Unterschied der öffentlich-rechtlichen Verbindlichkeit, gibt es gemäß dem Landeswaldgesetz Rheinland-Pfalz (LWaldG) § 19 Naturwaldreservate. Diese sind Waldflächen, in denen eine ungestörte natürliche Entwicklung von Waldlebensgemeinschaften gesichert und beobachtet werden soll. Handlungen, welche dem Schutzzweck entgegenlaufen, sind verboten. Ihr Hauptzweck ist die Erhaltung der Lebensräume und der darin befindlichen genetischen Vielfalt, sowie die besondere Bedeutung der Flächen für die waldökologische Forschung (MUEEF 2005).

Die obere Forstbehörde nennt darüber hinaus Kriterien, die bei der Ausweisung eines Naturwaldreservats zu berücksichtigen sind. Da eine ungestörte natürliche Entwicklung gesichert werden soll, ist es relevant, typische Waldgesellschaften auszuwählen und eine Mindestgröße von 20 ha anzustreben (Landesforsten RLP 2021). Vielfältige Randeinflüsse durch ungünstige Ausformung, geringe Flächengrößen und eventuelle menschliche Störungen aller Art sind zu vermeiden.

In ihrer Zielsetzung sind Naturwaldentwicklungsflächen und Naturwaldreservate einander sehr ähnlich. Dem Wald soll die Möglichkeit geboten werden, sich ungestört zu entwickeln. Während Naturwaldreservate einen öffentlich-rechtlichen Schutzstatus besitzen, haben diesen Naturwaldentwicklungsflächen nicht. Sie sind lediglich Voraussetzung für eine FSC Zertifizierung. Unter Umständen können Flächen sowohl als Naturwaldentwicklungsfläche sowie als Naturwaldreservat ausgewiesen sein.

2.4 Baummikrohabitate

In nahezu allen bewirtschafteten Wäldern mangelt es an sehr alten Bäumen und der Zerfallsphase von Naturwäldern. Ein überragender Anteil der Biodiversität im Wald ist jedoch vorrangig, zum Teil sogar ausschließlich, an genau diese Elemente gebunden und angewiesen. Dies gilt vor allem für xylobionte Arten, also Arten, die an Holz als Lebensraum gebunden sind (Kraus et al. 2016).

Deshalb ist es notwendig, diese Elemente zu erkennen und sie bei Maßnahmen nach Möglichkeit zu erhalten und zu fördern. Sie werden Baummikrohabitate genannt und sind klar abgegrenzte Habitatstrukturen, die von einer oder mehreren Arten als Zufluchts-, Brut-, Überwinterungs- oder Nahrungsstätte genutzt werden (vgl. Bütler et al. 2020). Baummikrohabitate sind somit ein wesentlicher Bestandteil des Natur- und Artenschutzes im Wald und werden daher bei der Einrichtung eines Marteloskops aufgenommen.

Es gibt verschiedene Auslöser für die Entstehung von Baummikrohabitaten. Zu den biotischen zählen alle tierischen-, pflanzlichen- oder pilzlichen Auslöser, die entweder bestehende Wunden nutzen, selbst Öffnungen in die Schutzschicht Rinde hineinarbeiten oder epiphytisch auf dem Baum wachsen, ohne ihn zu stören (sog. Aufsitzerpflanzen). Doch auch der Baum selbst kann durch seine Wuchsform Baummikrohabitate schaffen. Darüber hinaus und oft Initialauslöser für besonders wertvolle Baummikrohabitate sind abiotische Ursachen, zu denen Blitzeinschläge und Starkastabbrüche gehören.

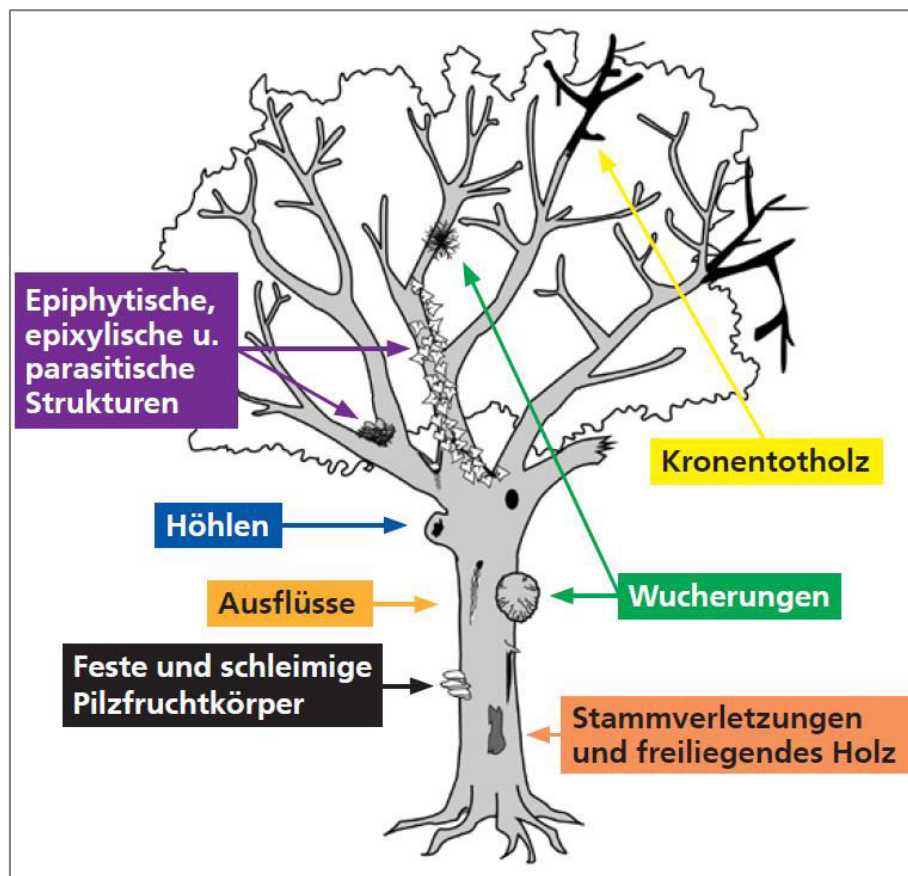


Abbildung 2: Auswahl einiger Baummikrohabitate (Büttler et al. 2020).

3 Hatzfeldt-Wildenburg'sche Verwaltung

3.1 Betriebsstruktur

Die Hatzfeldt-Wildenburg'sche Verwaltung ist mit einer Fläche von 15.058 ha einer der größten Privatwaldbesitzer in Deutschland. Neben vier Forstrevieren im nördlichen Rheinland-Pfalz, dem Kerngebiet der gräflichen Familie von Hatzfeldt-Wildenburg, ergänzen seit 2001 in Brandenburg und seit 2012 in Thüringen zwei weitere Forstreviere den Besitz der Hatzfeldt-Wildenburg'schen Verwaltung (vgl. Hatzfeldt 2020). Während die Reviere im Kerngebiet (Lkr. Altenkirchen) bis zu den Dürrejahre 2018-2020 stark von der Baumart Fichte geprägt waren, ist das Revier Massow (Lkr. Dahme-Spreewald) ein klassisch brandenburgischer Kiefern-Wirtschaftswald, der sukzessive in einen artenreichen Mischwald umgebaut wird. Beichlingen, das thüringische Revier (Lkr. Sömmerda) am Nordrand des Thüringer Beckens ergänzt mit seinen vielfältigen Laubwäldern das Portfolio des Betriebs.

3.2 Eigentümerzielsetzung

Dem Leitbild der Hatzfeldt-Wildenburg'schen Verwaltung nach ist der Wald naturgemäß zu bewirtschaften. Darum ist der Betrieb Mitglied in der Arbeitsgemeinschaft Naturgemäße Waldwirtschaft (ANW) und folgt deren Leitbild:

„Die Grundidee naturgemäßer Waldwirtschaft liegt in der ganzheitlichen Betrachtung des Waldes als dauerhaftes, vielgestaltiges, dynamisches Ökosystem. Die naturgemäße Waldwirtschaft strebt an, durch Nutzung der in Waldökosystemen ablaufenden natürlichen Prozesse die Waldbewirtschaftung zu optimieren. Sie erreicht dies durch eine Verbindung ökologischer und ökonomischer Erfordernisse.“ (ANW 2021)

Nach rund 30 Jahren naturgemäßer Waldwirtschaft und einer Bejagung anhand von waldbaulich- und ökologischen Kriterien unter der Leitung von Dr. Franz Straubinger, ist der Erfolg vorzeigbar. Ehemals einschichtige Altersklassenbestände haben sich dank artenreicher Naturverjüngung in Mischbestände der nächsten Waldgeneration entwickelt.

Hermann Graf von Hatzfeldt, der aktuelle Eigentümer war von 1991-2000 Landesgruppenvorsitzender der ANW RLP und von 1998-2007 Vorsitzender der Arbeitsgruppe Deutschland des FSC. Mit dieser Tätigkeit ging auch die Zertifizierung des eigenen Waldes einher und somit ist heute die gesamte Waldfläche nach den Grundsätzen von FSC Deutschland zertifiziert.

4 Material

4.1 Lage der Marteloskopfläche

4.1.1 Lage und Klima

Die Marteloskopfläche befindet sich im Hatzfeldt-Wildenburg'schen Revier Oberbirkholz, Abteilung 206 und ist Teil einer 10 ha großen Naturwaldentwicklungsfläche. Sie liegt auf der Gemarkung der Verbandsgemeinde Wissen im Landkreis Altenkirchen im nordöstlichen Rheinland-Pfalz und somit im Wuchsgebiet 41 Bergisches Land, Wuchsbezirk 41.05 Mittelsieg-Bergland. Dieses reicht von Nordrhein-Westfalen nach Rheinland-Pfalz hinein (Wald & Holz NRW 2021). Nach Osten hin grenzt das Wuchsgebiet 40 Sauerland und südlich des Flusses Sieg das Wuchsgebiet 47 Westerwald an.

Für den Referenzzeitraum 1981-2010 lag der Niederschlag an der Messstation 5625 Birken-Honigsessen im jährliche Mittel bei 1.073 mm pro Jahr und einer über das Jahr gesehen annähernd ausgeglichenen Niederschlagsverteilung mit einem leichten Peak im Winter (DWD 2020). Die Durchschnittstemperatur beträgt 8,5 °C. Mit einer Höhe der Marteloskopfläche von 295 m NN ist die Fläche höhenzonal als kollin einzustufen. Eine stark hügelige Landschaft mit charakteristischen Seifen (schluchtartige Kerbtäler) prägt das Land.

4.1.2 Geologie und Standort

Die Verbandsgemeinde Wissen ist Teil des Nationalen Geoparks Westerwald-Lahn-Taunus, der zum rechtsrheinischen Teil des Rheinischen Schiefergebirges gehört. Dort finden sich neben erdzeitlich jungen Gesteinsschichten bis zu 400 Mio. Jahre alte Sedimentgesteine aus dem Devon (vgl. Geopark WLT 2021). Zu diesen gehören unter anderem die Grauwacken, auf denen die Marteloskopfläche liegt.

Aufgrund einer fehlenden differenzierten Standortskartierung werden Bodenart und Bodentyp unter Zuhilfenahme eines Bohrstocks ermittelt und mit örtlichen Erfahrungswerten abgeglichen. Auf Zeigerpflanzen konnte im Rahmen der Aufnahmen im November nicht zurückgegriffen werden.



Foto 1: Bohrstockprobe aus dem oberen Bereich (eigene Aufnahme).

Die Fläche ist sehr schwach bis stark in nordwestliche Richtung geneigt und weist somit standörtlich differenzierte Verhältnisse auf. Während der obere Bereich mittelgründig ist und der mineralische Untergrundhorizont (auch C-Horizont genannt) ab ca. 40 cm Tiefe ansteht, ist der Ober- (A-Horizont) und Unterbodenhorizont (B-Horizont) im unteren Teil der Fläche deutlich mächtiger. Mit einem tiefer als 70 cm befindlichen Untergrundhorizont ist der Boden dort tiefgründig. Über die gesamte Fläche hinweg lässt sich der Bodentyp als podsolige Braunerde bestimmen, da der Oberboden eine charakteristische, durch Huminstoffe bedingte Dunkelfärbung aufweist und der mineralische Unterbodenhorizont ebenfalls teilweise humusangereichert ist. Aufgrund einer geringen Lagerungsdichte und einem je nach Position am Hang unterschiedlich tiefen Beginn des hohen Skelettgehalts, ist der Boden für die hauptvorkommenden Baumarten Rot-Buche und Eichen gut durchwurzelbar.

Als Bodenart wird ein schluffiger Sand bestimmt. Auf ihm prägt ein typischer Moder aus fester Eichen- und Rot-Buchenstreu die Humusform. Die Kombination aus schluffigem Sand und

Moder verdeutlicht eine Mesotrophie.

Die Hangneigung beeinflusst den Boden und damit auch die Wasserhaushaltsstufe. Angrenzend an die untere Grenze des Marteloscops befindet sich eine temporär wasserführende Rinne. Sie sorgt für eine Entwässerung des Hangs. Es ist anzunehmen, dass die Fläche im oberen Teil als mäßig trocken einzustufen ist, während der untere, stärker geneigte Teil der Fläche mäßig frisch bis frisch ist.

4.1.3 Potenzielle natürliche Vegetation

Als potenzielle natürliche Vegetation (PNV) wird die modellhafte Vorstellung der Vegetation verstanden, die unter heutigen (gegenwärtigen) Standortbedingungen ohne menschlichen Einfluss an einem Standort zu erwarten ist. Der Zeithorizont, unter dem sich die PNV einstellt, ist unbegrenzt (Hein 2018). Diese modellhafte Vorstellung ist deshalb interessant, da sie aufzeigt, wie eine möglichst naturnahe Bestockung aussehen kann.

Auf Grundlage der Daten des Landesamts für Umwelt Rheinland-Pfalz lässt sich der Großteil des Kerngebiets der Hatzfeldt-Wildenburg'schen Verwaltung als Hainsimsen-Buchenwald (*Luzulo fagetum*) bestimmen, so auch der Bereich der Marteloskopfläche. Lediglich die Flächen entlang der in die Sieg entwässernden Bäche und die Sieghänge selbst sind als Stieleichen-Hainbuchenwald (*Galio carpinetum*) kartiert (vgl. LfU 2021).

Der FFH-Lebensraumtyp [9110] Hainsimsen-Buchenwald ist in allen Vegetationsschichten artenarm, da die typische Flora auf basenarmen Standorten nur vergleichsweise wenige Pflanzenarten „bereitstellt“ (LUWG 2014). Typisch sind mäßig frische bis mäßig trockene, zumindest im Oberboden saure Standorte mit Moder (Breunig et al. 2018).

4.1.4 Bisherige Aufnahmen der Fläche

Bei einer aus der Nutzung genommenen Fläche stellt sich stets die Frage der Opportunitätskosten: Wählt man Option A, so entfällt die Möglichkeit, Option B zu wählen. Im Falle der hier untersuchten Naturwaldentwicklungsfläche ist dies ein Verzicht des Ertrags aus der Holznutzung, um die Voraussetzung für eine Zertifizierung zu erfüllen. Auf welche finanziellen Erträge im vorliegenden Fall verzichtet wird, untersuchte Tobias Miller 2017 im Zuge einer Waldbewertung.

Hierzu wurde ein Probennetz mit 20 Punkten à 0,1 ha über die 9,97 ha große Fläche gelegt. An diesen Punkten wurden alle Bäume mit einem BHD >25 cm vermessen und die Stammholzqualitäten anhand der Rahmenvereinbahrungen für den Rundholzhandel in Deutschland (RVR) ermittelt. Zur Modellierung der Wertentwicklung nach 10 und 20 Jahren wurde auf Bestandessortentafeln zurückgegriffen.

Mit einem gemittelten jährlichen Zuwachs der Baumarten Rot-Buche und Eichen von 9,5 Vfm/ha/a, wachsen im zehnjährigen Forsteinrichtungsturnus 95 Vfm/ha, beziehungsweise 76,3 Efm/ha zu. Rechnet man diesen zehnjährigen Zuwachs als Hiebssatz und verrechnet ihn mit den Aufarbeitungskosten und dem aus dem Holz zu erzielenden Erlös, so ergibt sich nach Berechnungen von T. Miller ein Verzicht von 8.550 €/ha im Jahrzehnt.

5 Methodik

5.1 Einrichtung des Marteloskops

5.1.1 Flächenauswahl

Die ursprüngliche Idee zur Einrichtung eines Marteloskops in einer Naturwaldentwicklungsfläche kam von Revierleiter Thomas Boschen. Ziel sollte sein, auf der Marteloskopfläche möglichst viele wertvolle Baummikrohabitate in einem standortstypischen Eichen-Rot-Buchen-Mischbestand zu erfassen. Dies hat den Vorteil, dass die Auswirkungen verschiedener Behandlungssimulationen bei der Nutzung des Marteloskops deutlicher erkennbar werden und so ein guter Lerneffekt bei den Anwendenden erzielt werden kann.

Außerdem bietet eine Naturwaldentwicklungsfläche für das Marteloskop die Sicherheit, dass in den folgenden Jahren keine Nutzung in ihr stattfindet. Somit steht das Marteloskop für einen längeren Zeitraum ohne aufwendige Korrekturen für Übungszwecke zur Verfügung.

Der erste Flächenbegang im September 2020 diente zum Kennenlernen der gesamten Naturwaldentwicklungsfläche und Vorauswahl einer möglichst geeigneten Fläche von einem Hektar Größe für die Einrichtung eines Marteloskops.

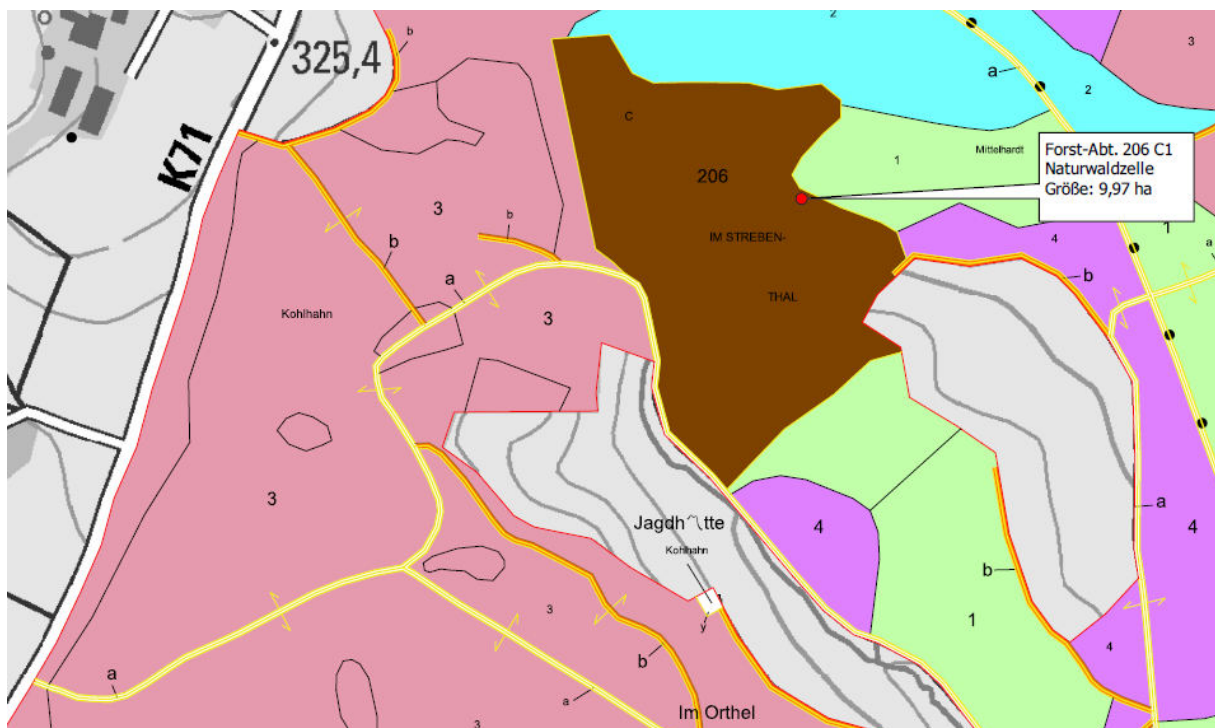


Abbildung 3: Lage der Naturwaldfläche 206 im Strebenthal (Hatzfeldt).

Vom Forstweg aus steigt die Fläche steil an und wird ab einer Geländekante deutlich ebener. Von diesem Hang mit südwestlicher Exposition wird aufgrund der trockeneren Standortverhältnisse und der sich von der restlichen Fläche unterscheidenden Vegetation Abstand gehalten. Eine im Zentrum der Naturwaldentwicklungsfläche vorzufindende Rinne verläuft vom

Forstweg aus in nordöstliche Richtung und stellt eine natürliche Grenze dar. Zu ihr wird Abstand gehalten.

Der Rest der Fläche weist keine weiteren Hindernisse oder besondere Strukturen auf. Die Einrichtung einer repräsentativen Marteloskopfläche ist somit möglich.

5.1.2 Grenzen festlegen und markieren

Innerhalb dieser Naturwaldentwicklungsfläche können mit hinreichendem Abstand zu den natürlich vorgegebenen Grenzen die Marteloskop-Außengrenzen festgelegt werden.

Für das Marteloskop wird eine 1 ha große Fläche gesucht, deren Grundfläche im Idealfall quadratisch ist und somit Seitenabmessungen von 100x100 m aufweisen soll. Das erleichtert die spätere Aufnahme und Orientierung auf der Fläche.

Für das Einmessen der späteren Punkte und alle mit dem Marteloskop verbundenen Aufnahmen sind zwei Personen von Vorteil.

Im Offenland ist es gängig, eine Fläche per RTK (Real Time Kinematic) genau einzumessen. Hierfür wird eine Basisstation benötigt, deren Position genau bekannt ist. Die Position im Gelände wird mit einem Rover (mobile GPS-Antenne) ermittelt, welcher Kontakt zur Basisstation und den GPS-Satelliten (Global Positioning System) aufnimmt. Die Position wird über ein mobiles Endgerät in Echtzeit angezeigt. Im Wald dagegen ist eine zentimetergenaue Verwendung solcher Systeme (noch) nicht üblich.

Neben einer Suunto Taschenbussole mit einer Kreisteilung von 360 °, wird ein 50 m langes Bandmaß verwendet. Die Taschenbussole ermöglicht es bis auf 0,5 ° genau den Winkel zu bestimmen, sodass dieser exakt um 90 ° auf die anliegende Seite übertragen werden kann. Mit dem Bandmaß kann die Entfernung zum nächsten Fixpunkt auf 0,01 m genau ermittelt werden. Dazu bleibt eine Person mit der Taschenbussole und dem Bandmaßende am bereits festgelegten Punkt und navigiert Person zwei in die gewünschte Richtung. Damit das Bandmaß straff und in der Flucht bleibt, kann es unter Umständen nötig sein, nochmals zurück und auf der anderen Seite eines Baumes vorbeizugehen. In unübersichtlichem oder deckungsreichen Gelände kann es vorkommen, dass Hilfspunkte eingelegt werden müssen, wobei hier genauestens darauf zu achten ist, dass der Winkel im Folgenden exakt übertragen wird.

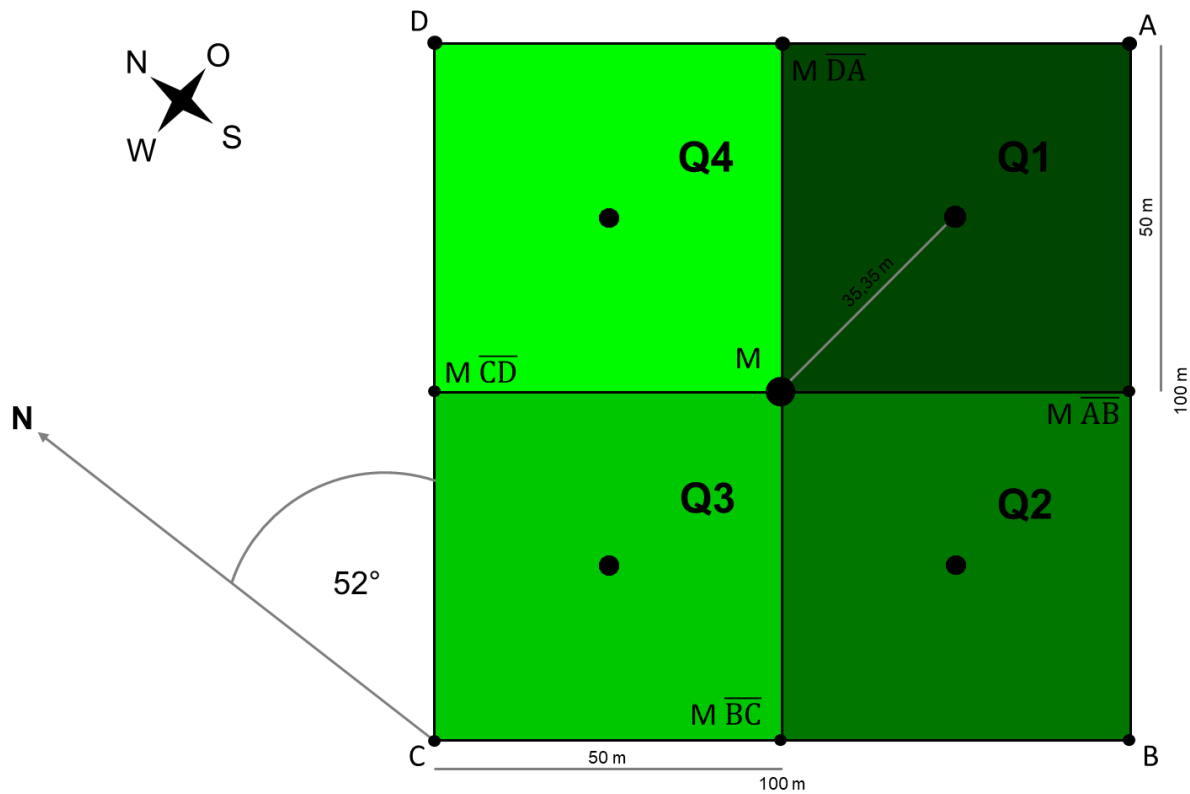


Abbildung 4: schematische Darstellung des Marteloskop Strebenthal (eigene Darstellung).

Jede Außenecke und jede dazwischenliegende Mitte werden während der Aufnahme mit einem Fluchtstab markiert und später durch einen farbigen Holzpfehl dauerhaft festgelegt. Zusätzlich wird im Zentrum der Fläche die Mitte M eingemessen. Damit und den zuvor auf der Außengrenze gesetzten Pfählen, ergeben sich die für die Baum-Aufnahmen essenziellen Quadranten. Sämtliche Daten werden für jeden Quadranten einzeln aufgenommen. Die Bezugsquelle ist jeweils der Quadrantenmittelpunkt. Dieser wird per Triangulation eingemessen und ist von jedem Eckpunkt eines Quadranten 35,35 m entfernt.



Foto 2: Stichgräben (eigene Aufnahme).

An jeder Außenecke werden ein Eisenstab im Boden versenkt und zusätzlich Stichgräben angelegt. Damit können die Flächengrenzen für zukünftige Aufnahmen wiederaufgefunden werden, auch wenn die Holzpfehle verrotten sind. Die Stichgräben werden rechtwinklig zueinander auf der Grenze ausgehoben. Sie sind einen Meter lang und mindestens 30 cm breit und tief. Deren Aushub wird entlang der Gräben außerhalb der Marteloskopfläche zu einem Wall aufgehäuft. Während die Gräben an den Punkten C und D aufgrund des tief anstehenden Untergrundhorizonts einen leichten Aushub ermöglichen, gestaltet sich der Aushub an den Eckpunkten A und B schwieriger.

5.1.3 Nummerierung und Artbestimmung der Bäume

Als Vorbereitung für sämtliche weiteren Aufnahmeschritte wird jeder einzelne Baum oberhalb der Derbholzgrenze, also mit einem BHD von über 7 cm m.R. nummeriert und die Baumart bestimmt. Außerdem wird in diesem Arbeitsschritt die Höhe des BHD auf 1,3 m Höhe markiert und der BHD gemessen. Dieser letzte Teilschritt wird in Kap. 5.3.1 Brusthöhendurchmesser beschrieben.



Foto 3: BHD Markierung und Nummernplättchen (eigene Aufnahme).

In Quadrant 1 beginnend, wird zuerst dessen Grenze mit Absperrband markiert. Somit muss nicht bei jedem Grenzbaum kontrolliert werden, ob er innerhalb oder außerhalb des Quadranten liegt. Daraufgehend wird im nördlichen Eck des Quadranten begonnen, die Bäume zu nummerieren. Hierzu wird ein Kunststoffplättchen mit einem Aluminiumnagel in den Baum geschlagen. Es werden Aluminiumnägel verwendet, da diese nicht mit dem Holz reagieren. Somit werden größere Schäden und ein daraus folgender Wertverlust vermieden. Jeder Baum wird in die Richtung, von der man die Fläche aus begeht, sichtbar nummeriert (hier in Richtung Südwest). Innerhalb des Quadranten werden die Bäume im Uhrzeigersinn markiert.

Alternativ zur Markierung der Bäume mit Plättchen und Nägeln, kann jeder Baum mit Farbe markiert werden. Dies erfordert jedoch trockene Verhältnisse beim Auftrag und weist selbst bei trockenem Auftrag eine begrenzte Dauerhaftigkeit auf. Deshalb wird im vorliegenden Fall die Plättchenvariante gewählt. Zudem möchte der Waldeigentümer die Verwendung von Farbe im Wald auf ein Minimum reduzieren. Diesem Wunsch kann somit nachgekommen werden.

5.1.4 Aufnahme der Stammfußkoordinaten

In einem nächsten Schritt müssen die zuvor markierten Bäume eingemessen werden. Für diesen Aufnahmeschritt wird - wie beim Festlegen der Außengrenze - eine Suunto Taschenbussole verwendet. Zusätzlich empfiehlt sich der Einsatz eines Haglöf Vertex IV mit dazugehörigem Transponder T3. Mit ihm lassen sich Entfernungen bis ca. 35 m zentimetergenau messen.

Der Vertex IV ist laut Angabe des Herstellers Haglöf das modernste und aktuellste Messinstrument auf dem Vermessungssektor. Er dient vorzugsweise zur Höhenmessung von stehenden Objekten, meistens Bäumen. Ebenfalls können damit die direkte Distanz, die Horizontaldistanz, Winkel und Gefälle bestimmt werden. Dank der verwendeten Ultraschall-Messtechnik kann der Vertex auch in deckungsreichem Gelände verwendet werden, da sich

der Ultraschall den kürzesten Weg um Hindernisse herum zum Transponder sucht (Haglöf Sweden AB 2007).

Am Quadrantenmittelpunkt (QM, s. Abbildung 4) wird der Haglöf-Transponder mit einem 360° Adapter aufgestellt. Mit Hilfe des Transponders auf dem Adapter und dem Vertex ist es möglich, die Entfernung jedes einzelnen Baumes zum QM zu ermitteln. Doch zuvor muss der Vertex mit einem Bandmaß auf exakt 10,00 m kalibriert werden. Dabei ist darauf zu achten, dass sich der Vertex vor der Kalibrierung an die korrekte Außentemperatur anpassen kann. Dieser Vorgang kann bis zu 10 Minuten dauern (Haglöf Sweden AB 2007).

Für die Darstellung jedes einzelnen Baums auf der Fläche mit Hilfe der I+ Software müssen sowohl die Entfernung des Stammfußzentrums zum QM als auch der Winkel zum QM gemessen werden. Der Winkel wird mit der Taschenbussole ermittelt. Während eine Person für die Datenmessung zuständig ist (Messperson), notiert die zweite Person die Daten baumindividuell (Notierperson).



Abbildung 5: Vertex IV mit Transponder T3 und Adapter auf Stativ (Haglöf Sweden AB 2007).

5.2 Aufnahme baumbezogener Daten

Die Vollaufnahme der Marteloskopfläche wurde im November 2020 durchgeführt. In der laubfreien Zeit lassen sich alle relevanten Daten erheben und die Baummikrohabitate auch in der Baumkrone ohne Sichtbehinderung bestimmen.

5.2.1 Brusthöhendurchmesser

Von den Baumparametern hat der Durchmesser einen sehr großen Einfluss auf das Volumen der Bäume, da er bei der Grundflächen- und damit auch bei der Volumenberechnung als Quadrat eingeht. In der Forstwirtschaft wird der Durchmesser eines stehenden Baumes in 1,3 m Höhe gemessen und als Brusthöhendurchmesser (BHD) bezeichnet (Kramer und Akça 2008, S. 46). Der BHD wird mit einer kalibrierten Messkluppe mit einem Messbereich von 0-80 cm gemessen.

Um sicherstellen zu können, dass der BHD jedes Baumes auf genau 1,3 m Höhe gemessen wird, wird ein Messstock von 1,3 m Länge verwendet. Dieser wird an der Hangoberseite an den Baum gestellt. Diese Höhe wird mit einem Reißer als $\perp$ auf der Baumrinde markiert. Hierbei ist es wichtig, dass ausschließlich die äußerste Rindenschicht die Borke angerissen wird, sodass der Bast im Idealfall nicht sichtbar wird. Bei der Rot-Buche ist das aufgrund des dünnen Abschlussgewebes (oder Rinde) schwierig. Dem Baum sollte jedoch keine Verletzung zugefügt werden.

An der markierten Stelle wird der BHD mit der Messkluppe gemessen. Dazu wird der Baum mit zwei zueinander senkrecht stehenden Messungen, möglichst des kleinsten und des größten Durchmessers gekluppt. Fällt die Messstelle auf einen Astquirl oder sonst unregelmäßiges Stammteil, so wird der Durchmesser aus dem arithmetischen Mittel der Messungen, in jeweils gleicher Entfernung oberhalb und unterhalb der Messstelle, ermittelt. Beim Messen des Durchmessers und bei der Berechnung des Mittels wird nach unten auf ganze Zentimeter gerundet (Bischoff et al. 2015, S. 498).

5.2.2 Höhe des Kronenansatzes und Baumhöhe

Der Kronenansatz wird als Stammansatz des untersten lebenden Primärastes (also keine Wasserreiser) definiert. Für das Laubholz herrscht zu dieser Definition Einigkeit. Für das Nadelholz gibt es jedoch teilweise abweichende Ansichten (vgl. Kramer und Akça 2008, S. 44). Für die Aufnahmen im Marteloskop *Strebenthal* wird beim Laubholz der unterste lebende Primärast, beim Nadelholz der erste lebende Astquirl mit mindestens drei lebenden Ästen verwendet.

Die Baumhöhe ist allgemein definiert als der Höhenunterschied zwischen der Baumspitze und dem Baumfußpunkt (Kramer und Akça 2008, S. 5). Sie wird wie der BHD benötigt, um

den Vorrat des Einzelbaumes zu berechnen. Bei allen Methoden zur Messung der Baumhöhe muss die wirkliche Kronenspitze angepeilt werden und nicht das am höchsten wirkende Kronenteil.

Für die Baumhöhenmessungen wird das Haglöf Vertex IV mit dem Transponder T3 verwendet. Das Vertex wird wie in Kap. 5.2.3 Aufnahme der Stammfußkoordinaten kalibriert und ist im Anschluss einsatzbereit. Ist der Transponder auf der Höhe des BHD platziert, entfernt sich die Messperson mit dem Vertex, bis sie die Kronenspitze einsehen kann. Von diesem Punkt aus wird zuerst der Transponder angepeilt und mit den nächsten Messungen der Kronenansatz und die Baumhöhe ermittelt. Dabei können mit dem Vertex mehrere Messungen vorgenommen werden. Es errechnet die Höhen und addiert die voreingestellte Höhe des Transponders dazu. Das Ergebnis wird auf dem Display des Geräts angezeigt. Bei unplausibel wirkenden Werten wird die Messung von einer anderen Stelle wiederholt. Sind der Kronenansatz und die Baumhöhe gemessen, werden sie von der Notierperson dokumentiert.

In Fällen, in denen ein Baum abgestorben ist, wird auf die Kronenansatzmessung verzichtet.

5.2.3 Holzqualität

Damit aus den gemessenen, volumenbezogenen Parametern ein finanzieller Wert errechnet werden kann, wird zusätzlich die Holzqualität der stehenden Bäume eingeschätzt. Hierfür wird die Rahmenvereinbarung für den Rohholzhandel in Deutschland (RVR) verwendet.

Für jede vorkommende Baumart wird das spezifische Merkblatt der Qualitätssortierung Stammholz verwendet. Die darin beschriebenen Merkmale werden für jeden Baum erfasst, sodass die Holzqualität möglichst objektiv geschätzt werden kann. Sämtliches Holz, welches nicht in die Kategorie Stammholz hineinfällt, wird als Brennholz bewertet. Hierzu gehören geringe Stammdimensionen, sowie Abschnitte, die nur einen geringen Anteil verwendbares Holzvolumen aufweisen.

Die Einschätzung der Holzqualität am stehenden Stamm ist jedoch nur mit Einschränkung möglich, da Schäden im Stamm nur unzureichend erfasst werden können. Es wird davon ausgegangen, dass die Bäume keine inneren Mängel oder Schäden aufweisen. Wenn aufgrund der Wuchsform (Bsp: „Flaschenhals“) oder äußerlich erkennbarer Stammfäule innere Schäden zu erwarten sind, so wird der betroffene Stammabschnitt dem Brennholz zugerechnet.

Die errechneten Volumina und Holzqualitäten werden mit ortsüblichen Sortimentspreisen verrechnet, sodass jeder Baum einen ökonomischen Wert bekommt.

5.2.4 Baummikrohabitate



Foto 4: Bsp. für ein Baummikrohabitat: CV23 - mit Mulm gefüllte Baumhöhle ohne Bodenkontakt.

Neben dem ökonomischen Wert ist bei einem Marteloskop der ökologische Wert von besonderer Bedeutung. Um diesen bewerten zu können, werden die Baummikrohabitate baumindividuell anhand der Kategorien des Katalogs der Baummikrohabitate erhoben (siehe Kraus et al. 2016). Die Aufnahme erfolgt vom Boden aus rein visuell unter Zuhilfenahme von Ferngläsern, damit auch kleine Baummikrohabitate in der Baumkrone bestimmt werden können. Jeder Baum wird von allen Seiten betrachtet.

Eine Person erfasst die Merkmale vom Stammfuß bis zum Kronenansatz, während die andere Person die Merkmale im Kronenraum erfasst (Derks et al. 2020, S. 14). Bei Abgrenzungsschwierigkeiten wird gemeinsam eine Entscheidung getroffen. Bestimmte Baummikrohabitate werden anhand von Codes in die Liste der nummerierten Bäume aufgenommen.

5.3 Berechnungen und Auswertung

5.3.1 Definitionen

Die vorkommenden Eichenarten Stiel-Eiche (*Quercus robur* L.) und Trauben-Eiche (*Quercus petraea* [Matt.] Liebl.) werden, da sie auf der Fläche nicht eindeutig voneinander zu trennen sind, unter dem Begriff Eiche (*Quercus spec.*) zusammengefasst. Weitere vorkommende Laubbaumarten sind die Rot-Buche (*Fagus sylvatica* L.), die Hainbuche (*Carpinus betulus* L.), sowie zwei Nadelbaumarten, die Gemeine Fichte (*Picea abies* L.) und die Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris* L.).

In den Auswertungen liegt der Fokus auf den beiden hauptsächlich vorkommenden Baumarten Eiche und Rot-Buche. Hainbuche, Fichte und Wald-Kiefer werden aufgrund des marginalen Anteils nicht einzeln ausgewertet. In Gesamtübersichten und Grafiken sind sie jedoch aufgeführt.

Zur Zusammenfassung der einzelnen Bäume in Gruppen werden folgende Begriffe verwendet: Schwachholz (7-24,9 cm BHD), Mittelholz (25-50 cm BHD), Starkholz (über 50 cm BHD). Der Oberschicht werden Bäume zugeordnet, die in das oberste Drittel der Oberhöhe hineinreichen. Bäume aus der Mittel- und Unterschicht reichen dementsprechend bis in das mittlere, beziehungsweise unterste Drittel hinein.

Für waldwachstumskundliche Vergleiche der erhobenen Daten mit Ertragstafeln werden *Vorläufige Referenztafeln für die Forsteinrichtung* (FAWF 2003) für Rheinland-Pfalz verwendet. Sie wurden für die Eiche auf der Grundlage der Ertragstafeln von JÜTTNER 1955 und für die Rot-Buche auf der Grundlage der Ertragstafeln von SCHOBER 1967 erstellt. Nachfolgend werden die Tabellen der „mäßigen Durchforstung“ zu Vergleichen herangezogen, da diese im Gegensatz zu den Referenztafeln der „starken Durchforstung“ eine gewisse Vergleichbarkeit mit den Werten der nicht bewirtschafteten Naturwaldentwicklungsfläche ermöglichen.

Die von JÜTTNER und SCHOBER erstellten Ertragstafeln (mäßige Durchforstung) weisen vier Ertragsklassen auf, von denen die Ertragsklasse I die wuchsstärkste und die Ertragsklasse IV die wuchsschwächste Klasse darstellt. Ausgehend von dem aus der Forsteinrichtung übernommenen Alter und der Mittelhöhe des Bestandes wird die Ertragsklasse ermittelt. Der Anteil der Eiche umfasst alle Eichen auf der Fläche und beträgt 87 Flächen-%. Der ertragsklassenwirksame Anteil der Rot-Buchen ist auf die Oberschicht beschränkt (17 %). Auf dieser Grundlage erfolgen die Berechnungen der Flächenanteile und Vergleiche.

5.3.2 Berechnungen

Sämtliche Berechnungen beruhen auf den Daten der aktuellen Aufnahmen. Vergleichsdaten werden als solches gekennzeichnet und fließen in die Ergebnisse ein.

Die benötigten Berechnungen für die Darstellung des Marteloskops in der I+ Software wurden von Sergey Zudin und Andreas Schuck, Mitarbeitern des EFI durchgeführt. Sie haben auch die verschiedenen Themenkarten des Marteloskops angefertigt.

5.3.3 Berechnung der Grundfläche

Die Grundfläche eines Bestandes ist die Summe der Grundflächen aller Bäume des Bestandes, normalerweise bezogen auf die Bruthöhe und ausgedrückt in m² pro Hektar (Bachmann 2021). Mit einer Winkelzählprobe, oder wie im vorliegenden Fall durch Vollklappung, wird die Grundfläche gemessen. Sie dient als Entscheidungshilfe forstlicher Maßnahmen wie bspw. der Festlegung der Entnahmestärke.

Formel 1: Grundflächenformel für einen Bestand.

$$G \text{ (m}^2\text{/ha)} = \sum_{k=1}^n g_k$$

Zur Berechnung der Grundfläche des Einzelbaumes wird die Kreisformel des Durchmessers auf Bruthöhe 1,30 m berechnet. Dafür wird der BHD in Metern verwendet.

Formel 2: Grundfläche des Einzelbaums auf Bruthöhe (1,30 m).

$$G = \frac{\pi}{4} * BHD^2$$

5.3.4 Berechnung des Vorrats

Zur Ermittlung des Vorrats eines Einzelbaums wird die Grundfläche mit der Baumhöhe und der baumartspezifischen Formzahl multipliziert.

Formel 3: Volumenformel für den Einzelbaum.

$$V \text{ (Vfm)} = G * FH$$

Der Derbholzmassenvorrat der Marteloskopfläche entsteht aus der Addition der 614 errechneten Einzelbaumvolumina und wird in Vorratsfestmetern angegeben.

5.3.5 Berechnung der verkaufsfähigen Holzvolumens

Für die Berechnung der Holzverkaufswerte wird zuerst das verkaufsfähige Holzvolumen in Erntefestmetern jedes, während der Güteansprache eingeschätzten Stammabschnitts einzeln errechnet. Mit einem baumartindividuellen Verjüngungsfaktor (Durchmesserabnahme in cm/m) wird ausgehend des BHD und der Abschnittslänge der Mittendurchmesser jedes Abschnitts berechnet.

Die tatsächliche Masseberechnung erfolgt mit der Volumenformel eines Zylinders.

Formel 4: Volumenformel zur Berechnung der Erntefestmeter des Einzelbaums.

$$V (Efm) = \frac{\pi}{40.000} * (BHD/2)^2 * h$$

5.3.6 Berechnung der ökonomischen Werte

Nun wird die verkaufsfähige Holzmasse in Erntefestmeter je Stammabschnitt mit einer bestimmten Qualität ermittelt. Multipliziert mit ortsüblichen Preisen (siehe Anhang Tabelle 12) erhält jeder Baum einen ökonomischen Gesamtwert.

5.3.7 Berechnung der Habitatwerte

Formel 5: Berechnung der Habitatwerte (Kraus et al. 2018).

$$H_i = \sum_{j=1}^n N_j * S_j * (R_j * D_j)$$

Für die Berechnung der Habitatwerte H_i wird die erhobene Anzahl der Baummikrohabitate j baumindividuell (i = Baum) je Baummikrohabitat mit einer Wertigkeit S , einem Seltenheitswert R und einer Entwicklungsprognose D verrechnet. Somit wird ermöglicht, dass die ökologischen Werte einzelner Bäume verglichen werden können.

Die drei Aspekte Seltenheitswert, Entwicklungsprognose und Wertigkeit sind vom EFI für 64 unterschiedliche Baummikrohabitate festgelegt. Sie erhalten Werte von 1 bis 5.

Tabelle 1: Bewertungsschema der Baummikrohabitate.

Bewertungsaspekt	Wert: 1	Wert: 5
Seltenheitswert	Sehr häufig	Sehr selten
Entwicklungsprognose	Schnell / sehr häufige Ereignisse	Sehr Langsam / sehr seltene Ereignisse
Wertigkeit	Kleines Baummikrohabitat innerhalb der Gruppe	Sehr großes Baummikrohabitat innerhalb der Gruppe

Ein Höhleneingang mit einem Ø von 4 cm (CV11) wird bspw. mit 2 bewertet, ein Höhleneingang mit einem Ø > 10 cm (CV14) mit 4 Punkten.

5.3.8 Berechnung der Stammfußkoordinaten

Die gemessene Entfernung und der Azimut jedes einzelnen Baumes zum QM werden in x- und y-Werte umgerechnet, damit jeder Baum in einer Karte dargestellt werden kann. Hierfür wird zunächst der Azimut von der Abweichung der y-Achse der Fläche von Norden bereinigt und der Radiant berechnet.

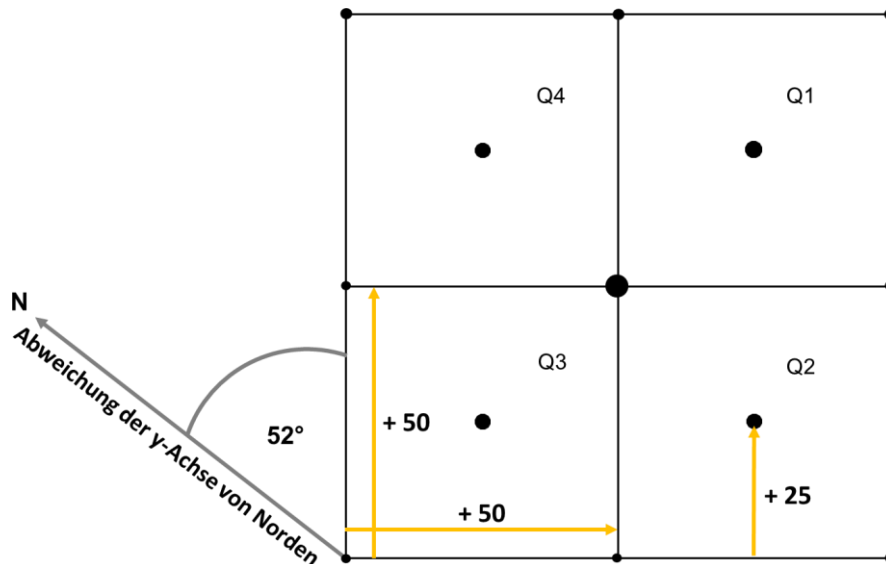


Abbildung 6: Visualisierung der Stammfußkoordinatenberechnung.

Daraufhin wird der Sinuswert des Radianen und durch die Multiplikation mit der Entfernung zum QM wird der x-Wert im berechneten Quadranten errechnet. Auf diesen Wert wird der Wert 25 (da vom QM aus gemessen) addiert. Damit eine Darstellung in der Gesamtkarte möglich wird, wird in den Quadranten 1 und 2 der Wert 50 dazu addiert. Das muss geschehen, damit sie rechts neben den Quadranten 3 und 4 dargestellt werden.

Formel 6: Berechnung der Baumpositionen in der Marteloskopkarte am Bsp. x-Wert Baum Nr. 1.

$$\frac{(191,5^\circ - 52^\circ)}{360^\circ} * 2\pi = 2,4347$$

$$\sin(2,4347) * -32,14 = -20,8733$$

$$-20,8733 + 25 + 50 = 54,1267 = x$$

Für die Berechnung der y-Werte wird die gleiche Berechnung, jedoch mit dem Kosinus des Radianen durchgeführt. Den y-Werten der Quadranten 1 und 4 wird wiederum der Wert 50 aufaddiert, sodass sie in der Karte oberhalb der Quadranten 2 und 3 dargestellt werden.

Als Gesamtergebnis entsteht eine Karte der Marteloskopfläche, auf der alle Bäume dargestellt sind. Für jeden Baum sind die erhobenen und berechneten Werte und Informationen hinterlegt. Weitere Karten sind Themenkarten, welche beispielsweise den ökologischen Wert oder den Vorrat darstellen.

5.4 Veröffentlichung des Marteloskops

Das Marteloskop Strebenthal ist mitsamt verschiedener Karten und umfangreichen Hintergrundinformationen über die *I+* Software zur Verfügung gestellt. Ein Steckbrief ist über <http://iplus.efi.int/> abzurufen.

Eigens für die Darstellung von Marteloskopen entwickelt, wird die *I+ Trainer* Software auf mobile Android basierte Endgeräten heruntergeladen und betrieben (vgl. EFI 2019). Sie ermöglicht die Verwendung der Daten im Wald. Voraussetzung hierfür ist das Herunterladen der Flächendaten mit einem vom EFI oder dem Waldbesitzer ausgegebenen flächenindividuellen Passwort. Eine zusätzliche *I+ Manager* Anwendung erlaubt es dem Einrichter und Verwalter eines Marteloskops, Veränderungen am Datensatz vorzunehmen und durchgeführte Übungen auszuwerten.

Bevor ein Marteloskop veröffentlicht wird, werden sämtliche möglichen Fehlerquellen vom Einrichter geprüft und von den Mitarbeitern des EFI korrigiert, sodass die Fläche fehlerfrei und uneingeschränkt für Übungen zur Verfügung steht.

Durch kontinuierliche Veränderungen im Wald wird es nach einigen Jahren erforderlich, die Daten der Marteloskopfläche erneut aufzunehmen, damit die Software den Status quo widerspiegelt. Mögliche Beispiele für Veränderungen sind der durch Wachstum veränderte BHD, der Ausfall von Einzelbäumen oder die Entstehung weiterer Baummikrohabitate.

6 Ergebnisse

6.1 Strukturelle Ergebnisse

6.1.1 Flächengröße

Das Marteloskop *Strebenthal* liegt in der Naturwaldentwicklungsfläche in der Abteilung 206 *Im Strebenthal* und weist eine Größe von 1,0 ha auf (100 x 100 m).

6.1.2 Baumartenanteile

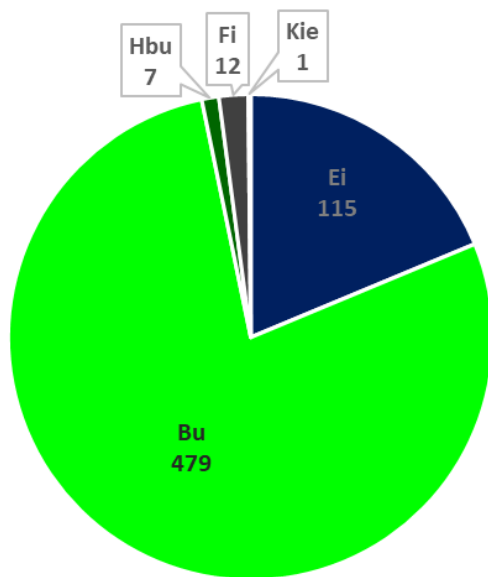
Charakteristisch für den Waldbestand im Marteloskop *Strebenthal* ist der zwei- bis mehrschichtige Aufbau, der in der Oberschicht durch Eichen und in der Mittel- und Unterschicht von Rot-Buchen geprägt ist. Außerdem befinden sich Hainbuchen, Gemeine Fichten und eine Wald-Kiefer auf der Fläche.

Tabelle 2: Baumartenanteile des Marteloskops Strebenthal nach Anzahl, Grundfläche und Volumen.

BA	N	G	V
Ei	19 %	69 %	74 %
Bu	78 %	29 %	24 %
Hbu	1 %	1 %	1 %
Fi	2 %	1 %	1 %
Kie	0 %	0 %	0 %
Summe	100 %	100 %	100 %

Während die Eiche mit 19 % einen geringen Anteil der Stammzahl einnimmt, ist sie die prägende Baumart der Grundfläche und des Vorrats. Die Rot-Buche hat mit 78 % den größten Anteil in der Stammzahl, aber mit jeweils unter 30 % einen geringen Grundflächen- und Vorratsanteil. Diese Zahlen zeigen die Dominanz der Eiche in der Oberschicht und der stärkeren Dimension. Eiche und Rot-Buche machen gemeinsam in allen Kategorien 97-98 % aus.

Als weitere Laubbaumart neben Eiche und Rot-Buche hat die Hainbuche jeweils einen Anteil von 1 % in den Kategorien Stammzahl, Grundfläche und Vorrat. Die Nadelbaumarten Fichte und Wald-Kiefer nehmen nur einen geringen Anteil ein.



6.1.3 Stammzahl

Insgesamt stehen 614 Bäume (> 7 cm BHD) auf der 1,0 ha großen Marteloskopfläche.

Zudem wird erhoben, ob ein Baum tot oder lebendig ist. Insgesamt sind 45 Bäume abgestorben. Neben 38, meist schwachen, abgestorbenen Rot-Buchen, sind drei Eichen und vier Fichten abgestorben.

Abbildung 7: Stammzahl je Baumart.

6.1.4 Vergleich der Stammzahl mit Ertragstafelwerten

Für das Alter der Eiche 140 Jahre beträgt die Idealstammzahl der Ertragsklasse 1,5 131 Bäume/ha. Die Ist-Stammzahl weicht davon ab und beträgt 115 Bäume/ha. Ebenso der Ist-Wert der Rot-Buche für das Alter 150 weicht vom Ertragsklassenwert ab und zählt 17 anstatt 31 Bäume/ha.

Tabelle 3: Stammzahl-Vergleich der Ertragstafelwerte mit den Ist-Werten.

	Ei	Bu
Alter	140 J.	150 J.
Anteil	87 %	13 %
EKL	1,5	3
Stammzahl EKL	131 Stk./ha	31 Stk./ha
Stammzahl IST	115 Stk./ha	17 Stk./ha
Vgl. EKL IST	88 %	55 %

Vergleichend liegen die Stammzahlen des Marteloskops *Strebenthal* innerhalb der Naturwaldentwicklungsfläche unter den Ertragstafelwerten.

6.1.5 BHD-Verteilung

Die Verteilung der Brusthöhendurchmesser liegt zwischen 7 cm und 73 cm.

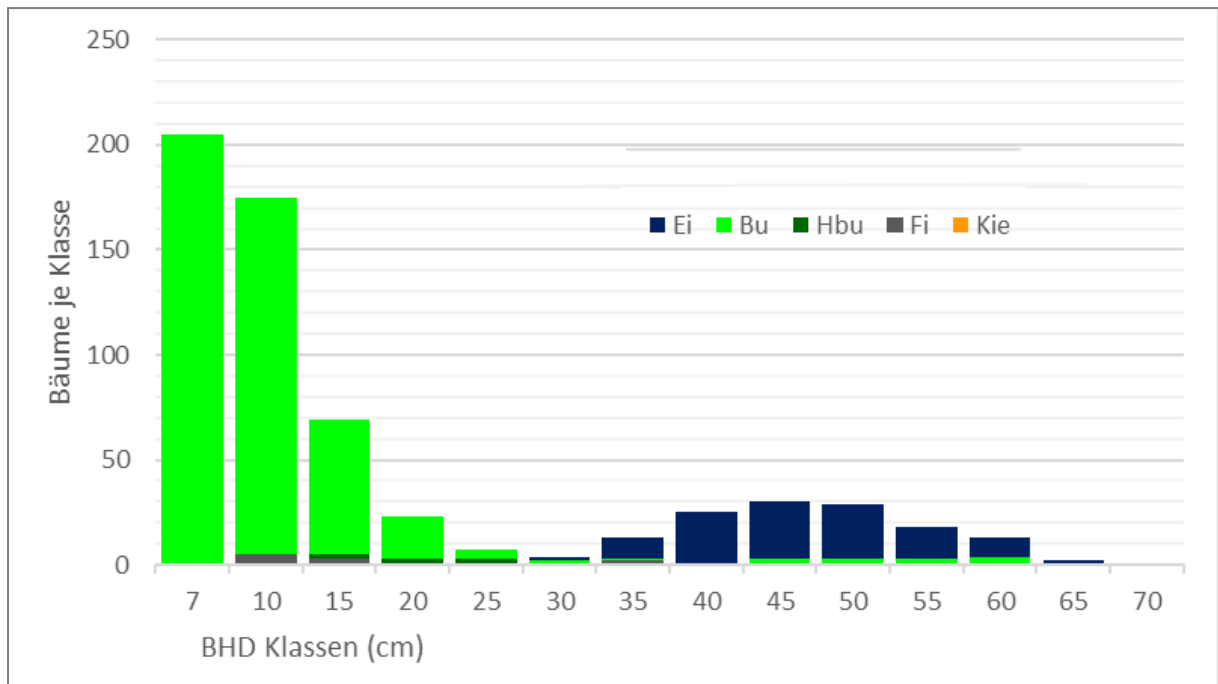


Abbildung 8: BHD-Verteilung nach Baumarten.

Für die Darstellung in den Abbildungen wurden die BHD in Klassen (à 5 cm) eingeteilt, deren Klassenuntergrenze jeweils die Klasse benennt. Als Ausnahme beinhaltet die stammzahlreichste Klasse 7 Bäume zwischen der Kluppschwelle 7 cm und 9,9 cm.

Das arithmetische Mittel aller BHD beträgt 19,8 cm, der Median 12 cm. Somit befinden sich 50 % der gemessenen BHD ober- und unterhalb von 12 cm. Der Modalwert beschreibt den am häufigsten gemessenen BHD. Er liegt bei 8 cm.

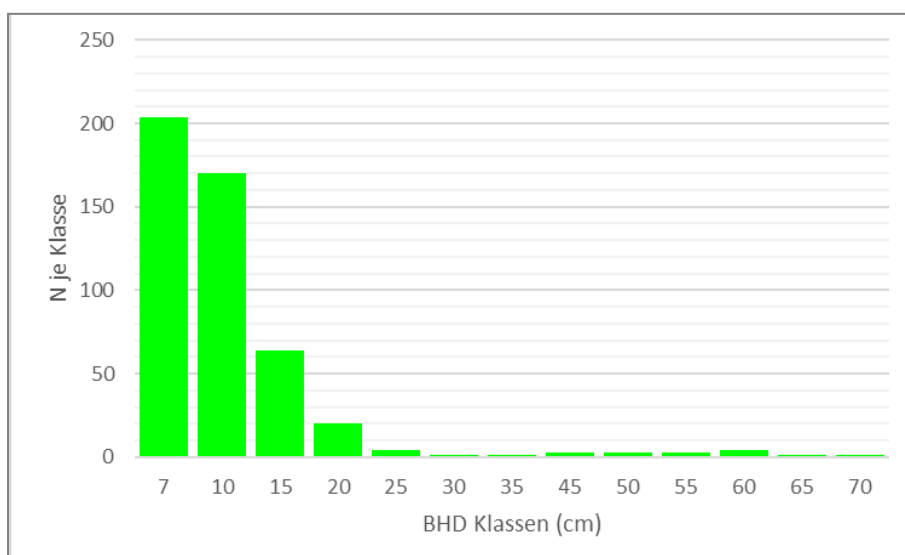


Abbildung 9: BHD-Verteilung Rot-Buche.

Die Rot-Buche ist die prägende Baumart des Schwachholzes, stellt aber auch den Einzelbaum mit dem größten Durchmesser (73 cm). Ab dem Beginn des Mittelholzes ist die Rot-Buche in jeder BHD-Klasse, außer in Klasse 40, zwar vertreten, aber nur mit wenigen Einzelbäumen je Klasse.

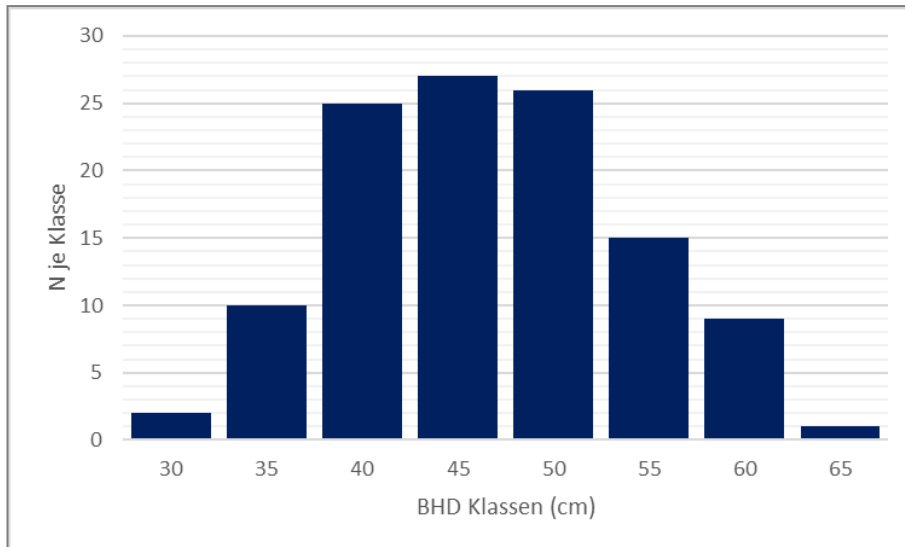


Abbildung 10: BHD-Verteilung Eiche.

Die BHD-Verteilung der Eiche reicht von 30 cm bis 68 cm und weist eine Verteilung ähnlich der Normalverteilung auf. In den Klassen 40, 45 und 50 befinden sich 67 % der Eichen. Die Starkholzklassen 50 cm und größer beinhalten 53 Bäume, entsprechend einem Anteil von 46 % aller Eichen.

Im direkten Vergleich der arithmetischen Mittel der Eiche und der Rot-Buche zeigt sich die beschriebene Differenzierung des Bestandes. Während der Mittelwert der Eichen mit 48,5 cm nahe der Grenze zum Starkholz liegt, sind die Rot-Buchen mit durchschnittlich 12,9 cm hauptsächlich im Schwachholz vertreten.

Hainbuchen, Fichten sowie die eine Wald-Kiefer treten im Hinblick auf die Gesamtfläche kaum in Erscheinung.

6.1.6 Vergleich BHD-Mittelwert mit Ertragstafelwerten

Tabelle 4: BHD-Vergleich der Ertragstafelwerte mit den Ist-Werten.

	Ei	Bu
Alter	140 J.	150 J.
Anteil	87 %	13 %
EKL	1,5	3
EKL-BHD	46,6 cm	41,3 cm
IST-BHD	48,5 cm	54,0 cm

Die BHD-Durchschnitte von Eiche und Rot-Buche weichen von den Ertragstafelwerten ab. Der BHD-Durchschnitt der Eichen ist um 2,1 cm höher als es die Ertragstafel angibt. Der BHD-Durchschnitt der Rot-Buchen weicht um 12,7 cm nach oben von den Ertragstafelwerten ab. Dies hängt mit der geringen Stammzahl in der Altersstufe 150 Jahre der Marteloskopfläche zusammen.

6.1.7 Baumhöhen

Die Verteilung der Baumhöhen liegt zwischen 5,1 m und 35 m.

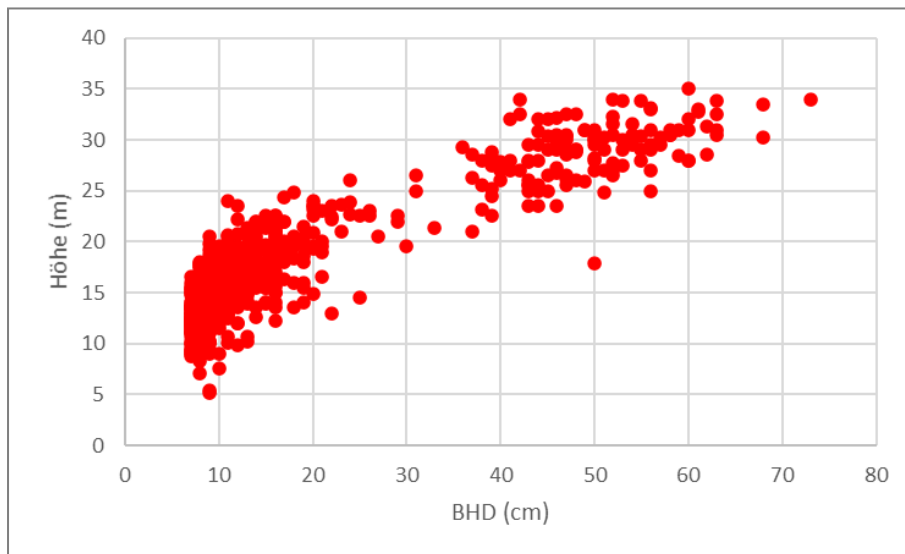


Abbildung 11: Baumhöhen über dem BHD (alle Baumarten).

Die in der Abbildung 11 dargestellten Punkte stellen die Höhe über dem BHD aller Einzelbäume dar. Auffällig ist die Zweiteilung der Werte, zwischen Ober- (oberstes 1/3) und Mittel- bzw. Unterschicht (unterstes 1/3), welche aufgrund der BHD-Verteilung zustande kommt. Während die Höhen in den niedrigen Durchmesserbereichen bis zu 15 m zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Wert einer BHD-Stufe (1 cm) auseinanderliegen, liegen die Werte in den höheren Durchmesserklassen maximal 10 m in der Höhe auseinander.

Der Punkt 50 cm (BHD), 17,9 m (Höhe) weicht deutlich von den übrigen Werten der Punktwolke ab. Es handelt sich hierbei um eine abgestorbene Eiche ohne Krone (Nr. 467).

Die arithmetische Mittelhöhe aller 614 Bäume beträgt 18,5 m, während Median mit 16,5 m und Modalwert mit 14 m deutlich darunter liegen.

Die WEISEsche Oberhöhe kann zur Abgrenzung von Behandlungstypen verwandt werden. Sie wird als h_0 bezeichnet und beinhaltet die höchsten 20 % eines Bestandes. Im Marteloskop *Streben* sind das 123 Bäume und h_0 beträgt 29,34 m. Nach der WET-RL, würde sich der Bestand somit im Übergang von der Altdurchforstung in die Vorratspflege befinden.

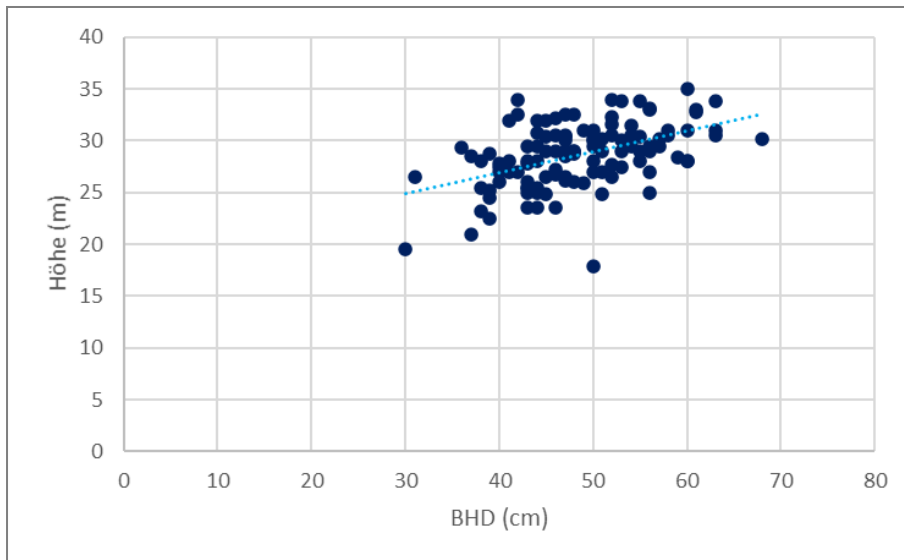


Abbildung 12: Baumhöhen über dem BHD der Eichen.

Die Punktwolke der Eiche in der Abbildung 12 wirkt kompakt. Ohne die Eiche Nr. 467 beträgt die Differenz zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Baum 15,5 m, während die Differenz der BHD bei 38 cm liegt. Die arithmetische Mittelhöhe der Eichen beträgt 28,6 m und liegt 10,1 m über dem Gesamtdurchschnitt.

Aufgrund der annähernden Normalverteilung der BHD ist in der Abbildung 12 eine lineare Trendlinie eingefügt. Sie stellt die Zunahme der Höhe mit steigendem BHD dar. Das ist nur möglich, da alle Eichen ein ähnliches Alter aufweisen.

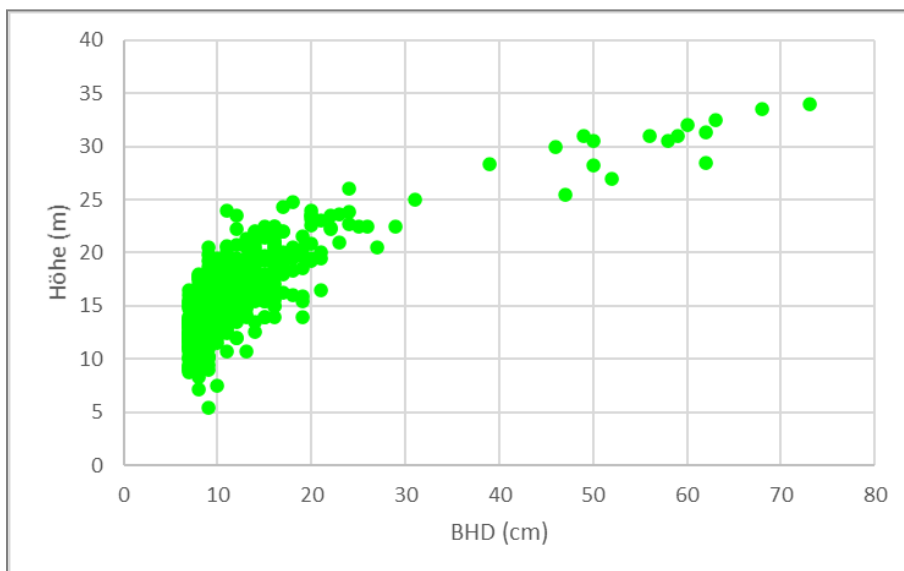
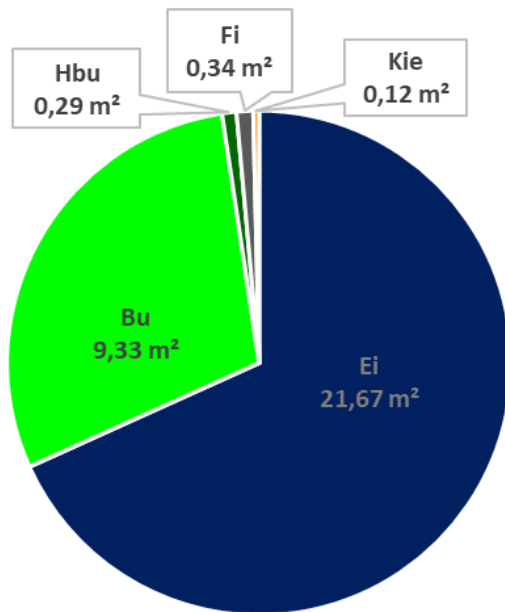


Abbildung 13: Baumhöhen über dem BHD der Rot-Buchen.

Abbildung 13 stellt die Baumhöhen über dem BHD der Rot-Buchen dar und lenkt den Fokus auf das häufige Vorkommen der Rot-Buche < 25 m Höhe. Im Bereich > 25 m befinden sich 18 Rot-Buchen. Die arithmetische Mittelhöhe von 16,2 m verdeutlicht das Hauptvorkommen

der Rot-Buche in der Unter- und Mittelschicht. Dennoch weist die Rot-Buche eine große Differenz zwischen 5,4 m des niedrigsten Baumes und 34 m des höchsten Baumes auf.



6.1.8 Grundfläche

Die Grundfläche aller Einzelbäume beträgt in Summe 31,75 m². Anteilsmäßig liegt die Eiche (21,67 m²) mit einem Anteil von über 2/3 der Grundfläche deutlich vor den anderen Baumarten.

9,33 m² Grundfläche der Rot-Buche, machen sie mit 29 % Anteil zur zweitstärksten Baumart vor Fichte, Hainbuche und Wald-Kiefer.

Der Baum mit der höchsten Grundfläche ist die Rot-Buche Nr. 190 mit einer Grundfläche von 0,42 m² (BHD: 73 cm).

Abbildung 14: Grundflächenverteilung aller Baumarten (m²).

6.1.9 Vergleich Grundfläche mit Ertragstafelwerten

Tabelle 5: Grundflächenvergleich der Ertragstafelwerte mit den Ist-Werten.

	Ei	Bu
Alter	140 J.	150 J.
Anteil	87 %	13 %
EKL	1,5	3
EKL-m²	22,2 m²	4,1 m²
IST-m²	21,7 m²	4,0 m²
Vgl. EKL-IST	98 %	97 %

Die Grundflächen der Ertragstafel und der Marteloskopfläche sind nahezu identisch. Mit 98 % und 97 % liegen Eiche und Rot-Buche nur marginal unter den Soll-Werten der Ertragstafel.

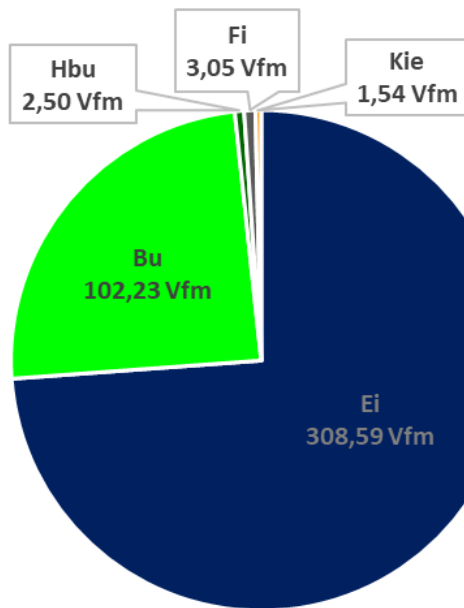


Abbildung 15: Vorratsverteilung aller Baumarten (Vfm).

6.1.10 Vorrat

Der Gesamtvorrat im Marteloskop *Strebenthal*, liegt bei 417,91 Vfm.

Der Vorrat der Eiche beträgt 308,59 Vfm (74 %). Der Vorratsanteil ist somit größer als der Grundflächenanteil.

Die Baumart mit dem zweithöchsten Volumen ist die Rot-Buche mit 102,23 Vfm (24 %). Die restlichen 2 % entfallen auf Hainbuche, Fichte und Wald-Kiefer.

Die Rot-Buche Nr. 190, ist wie auch bei der Grundfläche, der Baum mit dem höchsten Wert. Ihr Vorrat beträgt 6,69 Vfm.

6.1.11 Vergleich Vorrat mit Ertragstafelwerten

Tabelle 6: Vorratsvergleich der Ertragstafelwerte mit den Ist-Werten.

	Ei	Bu
Alter	140 J.	150 J.
Anteil	87 %	13 %
EKL	1,5	3
EKL-Vol.	341,1 Vfm	60,9 Vfm
IST-Vol.	308,6 Vfm	58,1 Vfm
Vgl. EKL-IST	90 %	95 %

Nach JÜTTNER beträgt der Eichen Soll-Vorrat der Ertragsklasse 1,5 mäßige Durchforstung 341,1 Vfm/ha. Der Ist-Vorrat der Marteloskopfläche reicht mit 308,6 Vfm/ha auf 90 % an diesen Wert heran.

Für die Rot-Buche beträgt der Soll-Vorrat nach SCHOBBER für die Ertragsklasse 3 mäßige Durchforstung 60,9 Vfm/ha. Mit einem Ist-Vorrat von 58,1 Vfm/ha weist die Rot-Buche 95 % des Soll-Vorrats auf.

6.2 Holzqualitäten

Die errechnete verkaufsfähige Holzmasse beträgt 359,71 Efm und entspricht 86 % des Gesamtvorrats 417,91 Vfm.

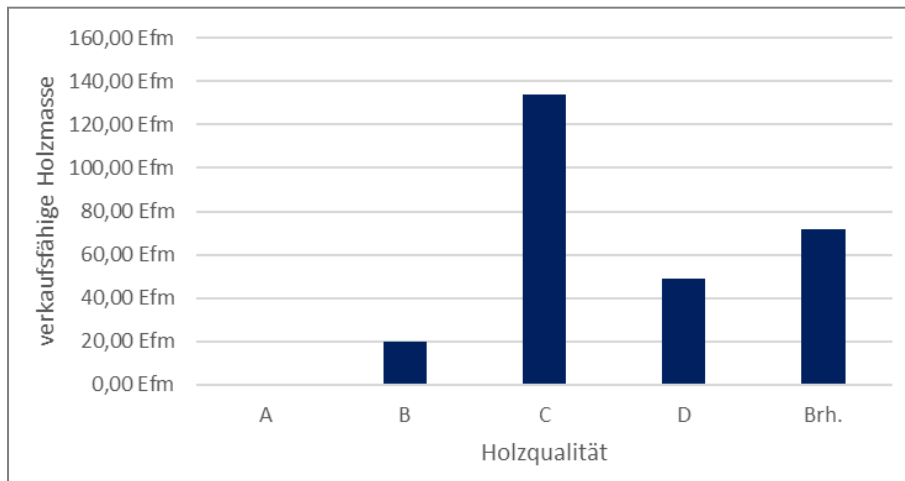


Abbildung 16: verkaufsfähige Holzmasse der Eiche je Holzqualität (Efm).

Abbildung 16 zeigt die Verteilung der verkaufsfähigen Holzmasse der Eiche je Holzqualität. In Summe ist eine Holzmasse von 274,46 Efm Eichenholz in den Qualitäten B, C; D und Brennholz verkaufsfähig. Verglichen mit 308,59 Vfm entfallen 89 % des Vorrats auf verkaufsfähige Sortimente.

Neben einem geringen Anteil der Qualität B (7 %), fällt die Säule der Qualität C ins Auge. Die darin befindliche Holzmasse beträgt 134,18 Efm und hat einen Anteil von 49 % am verkaufsfähigen Eichenholz. Der D-Anteil beträgt 18 % und der Brennholzanteil 26 %. Holzqualität A ist nicht vorhanden.

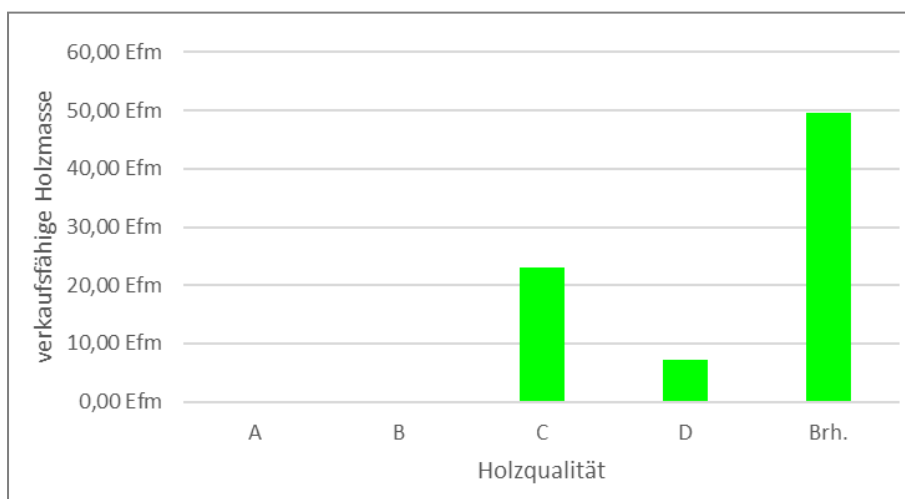


Abbildung 17: verkaufsfähige Holzmasse der Rot-Buche je Holzqualität (Efm).

Insgesamt ist eine Masse von 79,71 Efm Holz der Rot-Buche verkaufsfähig. Neben einem Großteil von 49,55 Efm (62 %) Brennholz, entfallen 23,06 Efm (29 %) auf die Qualität C. Die restlichen 7,1 Efm (9 %) gelten als D-Holz. Holzqualitäten A und B sind nicht vorhanden.

Grund des hohen Anteils der Qualität Brennholz bei der Rot-Buche ist ihr hoher Schwachholz-Anteil. Der Anteil verkaufsfähigen Holzes der Rot-Buche beträgt 78 %, neun Prozentpunkte unter dem Wert der Eiche.

Bei der Hainbuche fällt ausschließlich Brennholz an. Die Baumarten Fichte und Wald-Kiefer weisen geringe Erntefestmeterwerte auf. Sie weisen Holz in den Qualitäten B, C, D und Brennholz auf.

6.3 Ökonomischer Wert

Der errechnete ökonomische Gesamtwert (d.h., des geschätzten Holzverkaufswertes) des Marteloskopbestandes *Strebenthal* beträgt 28.396,85 €.

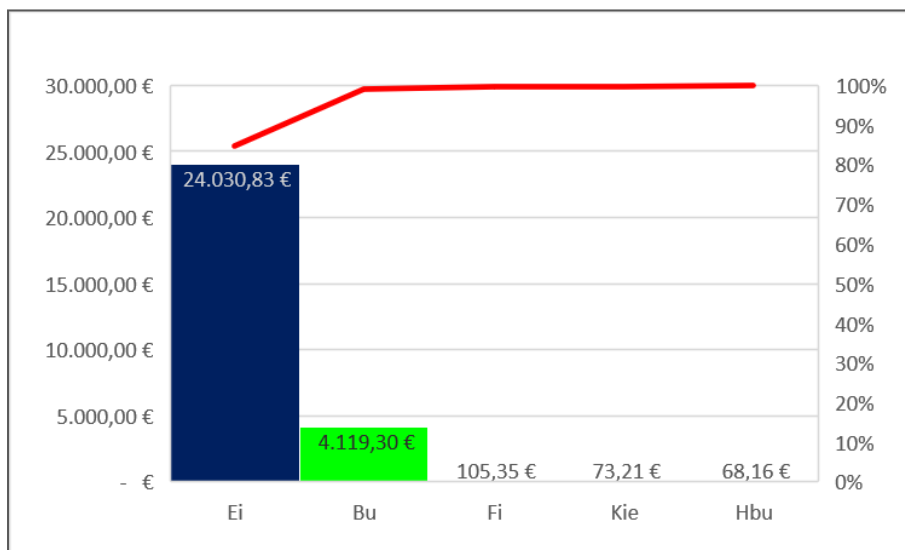


Abbildung 18: ökonomischer Gesamtwert je Baumart.

In der Abbildung 18 wird die Zusammensetzung des ökonomischen Gesamtwerts dargestellt. Während die Balken den addierten ökonomischen Wert aller Einzelbäume einer Baumart angeben, zeigt die rote Linie den jeweiligen Anteil einer Baumart am Gesamtwert.

Als wertprägende Baumart der Fläche macht die Eiche mit 24.030,83 € den größten Anteil von 84,6 % aus. Zusammen mit der Rot-Buche, deren verkaufsfähige Holzmasse einen ökonomischen Wert von 4.119,30 € ausmacht, nehmen die beiden Baumarten 99 % des ökonomischen Gesamtwerts ein.

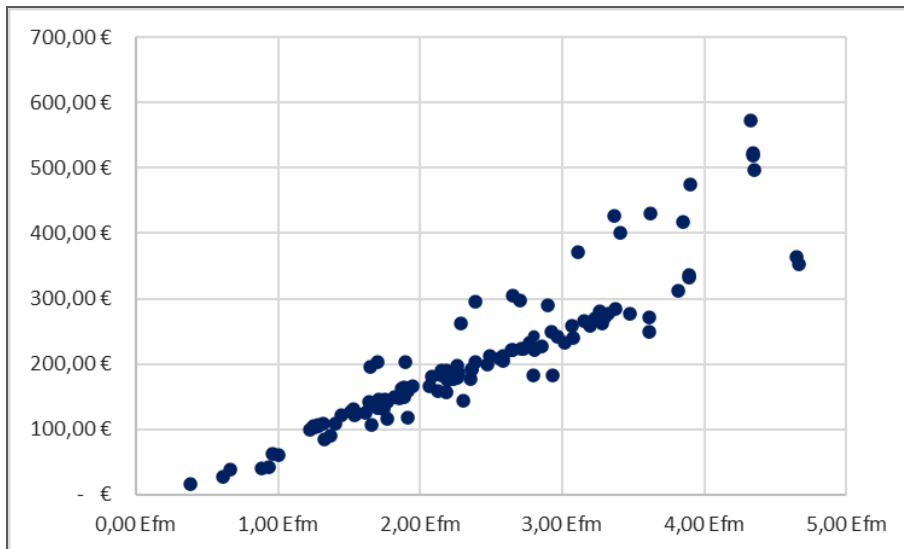


Abbildung 19: Einzelbaumwerte der Eichen über der verkaufsfähigen Holzmasse.

Die Abbildung 19 visualisiert baumindividuell die Korrelation der verkaufsfähigen Holzmasse und der Höhe des ökonomischen Werts der Eiche. Grundsätzlich festzuhalten ist der mathematische Zusammenhang: je stärker ein Baum ist, desto wertvoller ist er, da er mehr verkaufsfähige Holzmasse hat. Das zeigen die blauen Punkte. Zusätzlich fällt auf, dass es abweichende Punkte von einer gedachten, linear verlaufenden Linie gibt. Liegt ein Punkt unterhalb dieser Linie, ist es eine Eiche mit einem D-Holz Abschnitt, während ein blauer Punkt oberhalb der gedachten Linie eine Eiche mit B-Holz Abschnitt darstellt.

6.4 Baummikrohabitate

Zum Zeitpunkt der Erhebung wurden 741 Baummikrohabitate an 218 Bäumen erfasst und kartiert. Verrechnet mit der Wertigkeit der einzelnen Baummikrohabitate ergibt sich ein errechneter ökologischer Gesamtwert von 6.193 Punkten. Den Baummikrohabitaten sind Mikrohabitatcodes zugeordnet (siehe Anhang Tabelle 13).

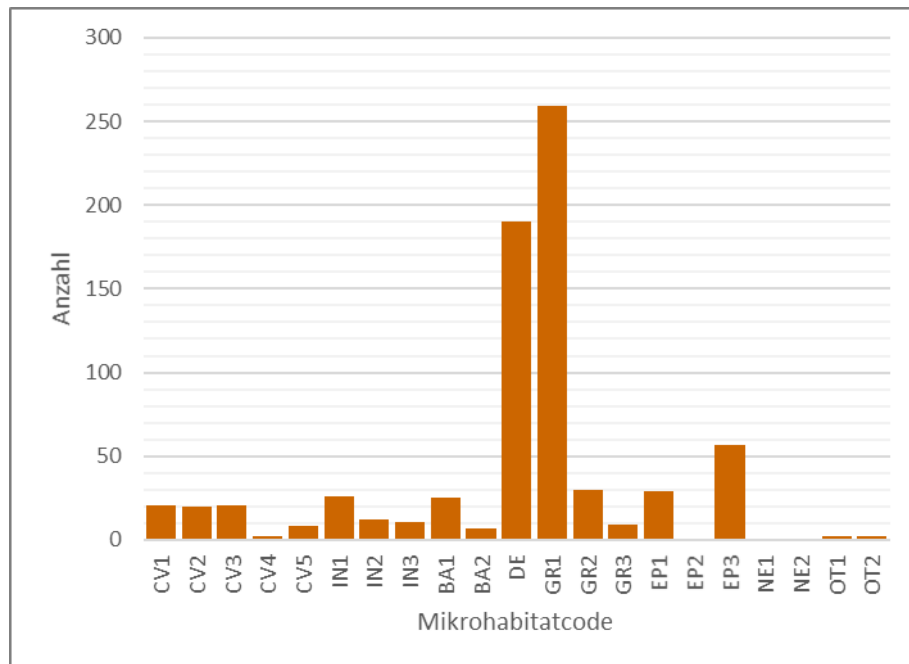


Abbildung 20: Baummikrohabitate nach Codes.

In der Abbildung 20 treten die Balken der Mikrohabitatcodes GR1, DE und EP3 besonders in den Vordergrund. Mit 259 erhobenen Stammfußhöhlen führt der Code GR1 die Liste der häufigsten Baummikrohabitate an. Totäste und Kronentotholz (DE) werden 190-mal vorgefunden. Der Code EP3 steht für Epiphytische Krypto- und Phanerogame, eine Gruppe, die Aufsitzer- Blüten- (Bsp. Lianen, Efeu. etc.) und Nichtblütenpflanzen (Moose, Flechten, Farne) umfasst. In diese Kategorie fallen 57 gezählte Baummikrohabitate, ausschließlich Moose.

Alle weiteren Mikrohabitatcodes wurden bis zu 30-mal erfasst. Zwei Ausnahmen stellen hier die Codes EP2 (Myxomyceten = Echte Schleimpilze) und NE2 (Nester wirbelloser Tiere) dar. Es wurden keine Baummikrohabitate gefunden, welche in diese Kategorien hineinfallen.

Im *Katalog der Baummikrohabitate* als besonders wertvoll bewertet, befinden sich vier Höhlenetagen (CV15), drei Stammhöhlen mit einem Durchmesser von > 30 cm inklusive Bodenkontakt (CV22) und eine mit Mulm gefüllte Stammhöhle ohne Bodenkontakt mit einem Durchmesser > 30 cm (CV24) auf der Fläche. Eine weitere Besonderheit ist eine Blitzrinne (IN33) an Baum Nr. 270.

Tabelle 7: Habitatwert je Baumart.

BA	Bäume/BA	Habitatwert	Ø Habitatwert/Baum
Ei	115	4.563 P	39,7 P
Bu	479	1.564 P	3,3 P
Hbu	7	62 P	8,9 P
Fi	12	4 P	0,3 P
Kie	1	0 P	0,0 P
Summe	614	6.193 P	10,1 P

Die Eiche ist mit 4.563 Punkten diejenige Baumart mit dem höchsten Habitatwert gesamt und weist durchschnittlich 39,7 Punkte je Baum auf. Zwar haben alle Rot-Buchen gemeinsam einen Habitatwert von 1.564 Punkten, aufgrund der hohen Stammzahl aber einen geringen durchschnittlichen Habitatwert je Baum. 8,9 Punkte je Baum bringen die Hainbuche im Durchschnitt der Habitatwertpunkte je Baum auf den zweiten Platz hinter der Eiche. Fichte und Wald-Kiefer weisen nur ein, beziehungsweise keine Baummikrohabitate und somit nur 4 Punkte auf.

6.5 Wertvollste Bäume

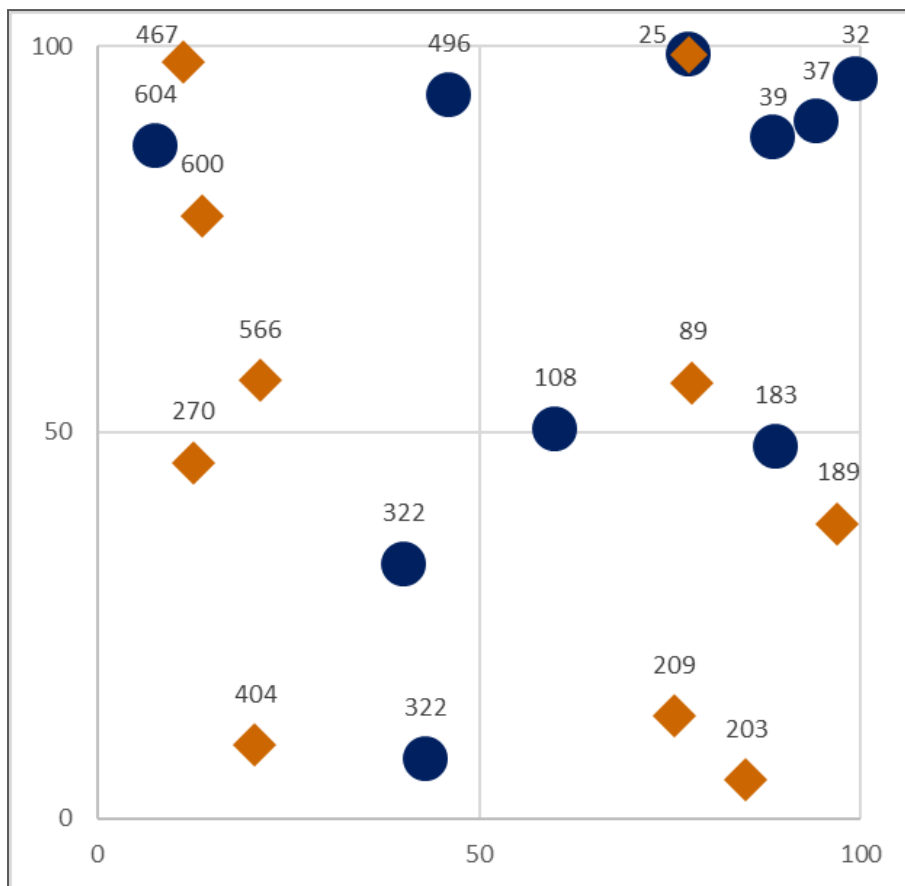


Abbildung 21: Karte der ökonomisch und ökologisch wertvollsten Bäume.

Blaue Punkte stellen die 10 ökonomisch wertvollsten Bäume (allesamt Eichen) des Marteloscops *Strebenthal* dar. Während die drei ökonomisch wertvollsten Bäume Nr. 25 (572,40 €), 32 (522,48 €) und 39 (518,86 €) und Baum Nr. 37 sich in geringer Entfernung zueinander befinden, stehen die restlichen sechs der ökonomisch wertvollsten 10 Bäume auf der Fläche verteilt.

Die hellbraunen Rauten stellen die 10 ökologisch wertvollsten Bäume dar. Neben drei Rot-Buchen, weisen sieben Eichen die meisten Baummikrohabitate auf. Baum Nr. 203, eine Rot-Buche, ist der Baum mit den meisten Habitatpunkten: 219. Alle ökologisch wertvollsten 10 Bäume sind unregelmäßig auf der Marteloskopfläche verteilt.

Tabelle 8: Rangliste der ökonomisch wertvollsten 10 Bäume.

Baum Nr.	Ökon. Rang	€	Ökol. Rang	Habitatwert
25	1	572,40 €	3	160 P
32	2	522,48 €	114	12 P
39	3	518,86 €	49	42 P
496	4	496,26 €	81	24 P
322	5	475,51 €	157	6 P
108	6	431,01 €	85	21 P
604	7	427,24 €	55	36 P
372	8	417,95 €	90	18 P
183	9	400,54 €	152	6 P
37	10	371,43 €	31	63 P

Tabelle 9: Rangliste der ökologisch wertvollsten 10 Bäume.

Baum Nr.	Ökol. Rang	Habitatwert	Ökon. Rang	€
203	1	219 P	111	111,87 €
209	2	176 P	100	133,34 €
25	3	160 P	1	572,40 €
566	4	159 P	74	177,67 €
189	5	154 P	16	315,82 €
270	6	130 P	70	183,16 €
467	7	126 P	129	42,11 €
600	8	125 P	17	311,58 €
404	9	125 P	53	203,99 €
89	10	118 P	120	99,49 €

Zwischen den wertvollsten 10 Bäumen beider Kategorien gibt es eine Überlappung. Der ökonomisch wertvollste Baum Nr. 25 ist gleichzeitig der Baum mit dem dritthöchsten Habitatwert. Alle weiteren Bäume, die in einer der obigen Tabellen gelistet sind, sind entweder ökonomisch oder ökologisch besonders wertvoll.

Die ökonomisch wertvollsten 10 Bäume haben einen errechneten Holzwert von 4.633,67 € und nehmen somit einen Anteil von 16,3 % des verkaufsfähigen Gesamtwerts ein. Im Vergleich zu den ökologisch wertvollsten 10 Bäumen ist das mehr als das Doppelte. Sie erreichen einen summierten ökonomischen Wert in Höhe von 2.151,42 €. Im Hinblick auf den Habitatwert ist es umgekehrt: 388 Punkte zu 1.492 Punkten der wertvollsten 10 Bäume.

7 Diskussion

7.1 Material

Für den Vergleich von Klimaveränderungen werden internationale klimatische Referenzzeiträume von 30 Jahren verwendet. Bis ins Jahr 2020 wurde der Zeitraum 1961-1990 als Referenzzeitraum verwendet. Seit 2021 ist der gültige Referenzzeitraum 1991-2020. Für den Bereich der Marteloskopfläche *Strebenthal* gibt es neben älteren Daten, Daten für den Zeitraum 1981-2010. Diese fanden Verwendung, um die Niederschlagsverhältnisse besser darzustellen als dies mit dem Referenzzeitraum 1961-1990 möglich ist.

Die verwendete Jahresdurchschnittstemperatur von 8,5 °C wurde dem Exkursionsführer der Hatzfeldt-Wildenburg'schen Verwaltung entnommen, da für Wissen (Sieg) wenige Daten vorliegen. Neben Daten von climate-data.org (1999-2019: 9,5 °C), ist die Jahresdurchschnittstemperatur 10,1 °C von wetterdienst.de für den Zeitraum 05/2016-04/2021 erheblich durch die Hitzejahre 2018, 2019 und 2020 geprägt. Für die nahegelegene Wetterstation des DWD Hilgenroth (Stationsnummer 2211) beträgt die Jahresdurchschnittstemperatur für den Zeitraum 1981-2010 9,0 °C (DWD 2021). Die verschiedenen Daten deuten sehr deutlich auf eine durch den Klimawandel bedingte Erwärmung der Region in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten hin.

7.2 Methodik

Damit ein repräsentatives Ergebnis erzielt werden kann, ist es nötig, die Aufnahme sämtlicher Parameter mit dem besten verfügbaren Werkzeug und mit großer Sorgfalt durchzuführen. Dennoch ist und bleibt jede Entscheidung ein Abwägungsprozess, welchen es kritisch zu hinterfragen gilt.

Das Einmessen der Grenzen und Eckpunkte des Marteloskops wurde mit Bandmaß und Taschenbussole durchgeführt. Diese sind unkompliziert in der Handhabung, können jedoch in Folge von Abnutzungserscheinungen oder falscher Handhabung zu Messfehlern führen. Außerdem ist eine Darstellung der Fläche innerhalb einer Umgebungskarte nur mit großem Aufwand realisierbar. Demzufolge würde es sich anbieten auf ein GPS gestütztes System zurückzugreifen, das mit Hilfe eines RTK-Rovers die Eckpunkte einmisst. Außerdem könnte das Einmessen der Einzelbäume mit derselben Technik geschehen, anstatt wie vorliegend mit einem Vertex IV und einer Taschenbussole. Somit würde sich der Aufwandaufwand erheblich verringern, da die Bäume direkt in einer Baumkarte dargestellt werden könnten. Dies könnte zu einer erheblichen Vereinfachung der Einrichtung eines Marteloskops führen und ein Wiederauffinden der Grenzen auf Dauer sicherstellen.

Läge der Fokus des Marteloscops rein auf der Verwendung als Übungsfläche zum Erkennen von Baummikrohabitaten und der damit verbundenen Abwägung der Ernte, wäre die Aufnahme der unteren BHD-Klassen nicht nötig gewesen. Dennoch wurde die forstlich übliche Kluppschwelle von 7 cm verwendet, um das Marteloskop für alle erdenklichen Übungen einzurichten.

Während es für die meisten Aufnahmeschritte von Vorteil ist, diese in der laubfreien Zeit vorzunehmen, wird es dadurch nahezu unmöglich, eine Unterscheidung der Eichenarten Stiel- und Trauben-Eiche vorzunehmen. Da jedoch sowohl in der Holzverwendung als auch hinsichtlich der Baummikrohabitate keine Unterscheidung der beiden Arten vorgenommen wird, ist es ausreichend, lediglich die Gattung Eiche zu nennen.

Der ökonomische Wert eines Baumes kann im theoretischen Fall einer Fällung und anschließenden Verkauf vom errechneten Erlös abweichen. Grund dafür ist die Ungewissheit des inneren Zustandes. Dies stellt jedoch kein Problem für die Verwendung des Marteloscops dar, da die Vergleichbarkeit der Einzelbäume durch die rein äußerliche Qualitätsansprache möglich ist.

Wie auch die Qualitätsansprache, ist die Ansprache der Baummikrohabitate keine Messung. Vom Boden aus lassen sich beispielsweise Aststärken, die Durchmesser von Höhleneingängen im Stamm- und Kronenbereich oder die Breite von Rindentaschen nicht messen. Es bedarf einer sorgfältigen Einschätzung und Erfahrung, um möglichst objektiv zu bewerten. Trotz dieser Beachtung können unter Umständen einzelne Baummikrohabitate in eine falsche Kategorie eingeordnet worden sein oder blieben unentdeckt. Von einem systematischen Fehler ist aufgrund der Aufnahme zu zweit nicht auszugehen.

Ein Optimierungsgedanke der Einrichtung von Marteloscopen wäre eine Software, welche eine Eingabemaske für die Datenaufnahme vorweist. In Verbindung mit einer verarbeitenden Software könnte jedes Aufnahmeteam ohne aufwendige Anschlussarbeiten des EFI IT-Teams ein Marteloskop einrichten.

Die auf JÜTTNER (Eiche) und SCHOBER (Rot-Buche) basierenden *Vorläufigen Referenztafeln für die Forsteinrichtung* für Rheinland-Pfalz der FAWF sind für den Vergleich von mäßig oder stark durchforsteten Reinbeständen konzipiert. Nicht jedoch für den Vergleich mit einer gemischten, nicht bewirtschafteten Naturwaldentwicklungsfläche. Dennoch ist ein solcher Vergleich sinnvoll und interessant, da somit der Unterschied zu bewirtschafteten Flächen hinsichtlich veränderter Zuwächse etc. quantifizierbar wird.

Der Referenzbestand für den Ertragstafelvergleich beinhaltet alle Eichen und Rot-Buchen mit einem gemessenen BHD > 30 cm. Bei diesen Bäumen ist davon auszugehen, dass sie das in der Forsteinrichtung beschriebene Alter aufweisen und somit ein Vergleich möglich ist.

7.3 Aufwandsschätzung

Der Aufwand der Einrichtung eines Marteloscops ist groß: Zwei Wochen waren zwei Personen damit beschäftigt, sämtliche Parameter nach einem zuvor ausgearbeiteten Plan zu erheben, um diese gewonnenen Daten im Anschluss vom IT-Team des EFI in die I+ Anwendungen einfügen zu lassen. Verrechnet man theoretisch die Arbeitszeit (2 Pers. à 80 h) auf der Fläche mit einem Stundensatz von 15 €, ergeben sich reine Arbeitszeitkosten von 2.400 € (exkl. LNK). Zusätzlich kommen Material-, Vorbereitungs- und Nachbereitungskosten dazu. Daher soll im Kapitel 7.7 der Frage nachgegangen werden, ob der Aufwand den Nutzen rechtfertigt.

Wie in vielen Bereichen gibt es keine klare Antwort auf diese Frage. Wird eine eingerichtete Marteloskopfläche nicht zu Trainingszwecken verwendet und verliert zunehmend an Aktualität, so ist der Aufwand selbstverständlich zu groß.

Wird jedoch ein eingerichtetes Marteloskop für vielfältige Übungen und Anwendungen genutzt und werden zusätzlich Veränderungen dokumentiert, sodass die Aktualität der Daten gewahrt bleibt, kann ein Marteloskop einen sehr hohen Nutzen erbringen: Es zeigt den Personen, die auf der Marteloskopfläche Auszeichnen üben, sofort auf dem Tablet sämtliche entscheidungsrelevanten Parameter der Durchforstungssimulation an. Damit kann die Integration betriebswirtschaftlicher und ökologischer Parameter im praktischen forstlichen Handeln hervorragend eingeübt und weiter verbessert werden. So können Auszeichnenübungen in Marteloscopen einen wirksamen Beitrag für eine integrative Forstwirtschaft leisten.

7.4 Ergebnisse

7.4.1 Baumarten

Mit fünf beteiligten Baumarten ist das Marteloskop *Strebenthal* eine scheinbar gemischte Fläche. Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch die Zweiteilung der Eiche und der Rot-Buche mit zusammen 97 % der Stammzahl. Während die Eichen der Oberschicht vermutlich menschlich bedingt wachsen, ist die Rot-Buche im Hainsimsen-Buchenwald namensgebend und natürlicherweise vorhanden. Als die dominante Baumart in der Verjüngung zeigt sie das deutlich, da sie neben ein paar sehr wenigen Hainbuchen und Fichten keine anderen Baumarten zulässt. Somit entspricht der sich aktuell entwickelnde Zustand weitgehend der PNV.

In der Naturwaldentwicklungsfläche soll dem Wald die Möglichkeit geboten werden, sich ohne direkten menschlichen Einfluss zu entwickeln. Dies bedarf langer Zeiträume und es ist ungewiss, wie Eigentümerentscheidungen in Zukunft aussehen werden oder was Extremwetterereignisse beziehungsweise das Klima anrichten. Auf lange Sicht wird sich die Eiche als Halblichtbaumart ohne menschliche Eingriffe nicht verjüngen können. Rot-Buchen sterben in der Oberschicht ab, dominieren aber als Schattbaumart die Unter- und Mittelschicht. Es ist zu erwarten, dass diese in Zukunft das Erscheinungsbild des Bestandes maßgeblich prägen werden.

Angrenzende Nachbarbestände der Naturwaldentwicklungsfläche bestanden ehemals aus reiner Fichte, welche mittlerweile durch Stürme, Trockenheit und zweierlei Fichtenborkenkäferarten (Buchdrucker, Kupferstecher) verschwunden sind. Zwar ist die Fichte in der Mischung mit anderen Baumarten stabiler als im Reinbestand, dennoch ist ihre Zukunft außerhalb ihrer autochthonen Herkunftsgebiete fraglich. So auch in der Naturwaldentwicklungsfläche *im Strebenthal*.

7.4.2 Stammzahl

Je stärker durchforstet wird, desto geringer ist die Stammzahl und höher der Einzelbaumdurchmesser. Diese gedankliche Gleichung trifft bis zum kritischen Bestockungsgrad auch für einen Gesamtbestand zu, ist aber nicht auf das Marteloskop *Strebenthal* übertragbar.

Im Vergleich liegt die tatsächliche Stammzahl unter dem Wert der Ertragstafel. Der Hintergrund ist nicht bekannt, weshalb nur vermutet werden kann, dass dies aufgrund einer starken Nutzung vor der Umwidmung als Naturwaldentwicklungsfläche basiert. Ein weiteres Indiz für diese Annahme ist die homogen aufgelaufene Naturverjüngung der Rot-Buche, welche in der Abbildung 22 als kleine grüne Punkte dargestellt ist.

7.4.3 BHD

Alle BHD-Klassen zwischen 7 und 70 cm weisen Bäume auf. In den Klassen mit wenigen Bäumen, sind einzelne BHD-Werte nicht vertreten.

Die Abbildung 22 stellt die Baumartenverteilung auf der Fläche dar und zeigt deutlich die Eichen als gelbe große Punkte im Oberstand und die vielen als kleine grüne Punkte dargestellten Rot-Buchen des Unterstandes. Neben der innigen Mischung der Durchmesser und damit in Verbindung stehend, der Eichen und Rot-Buchen, fällt die untere rechte Ecke auf. In ihr stehen vornehmlich starke Rot-Buchen ohne erhobenen Unterstand. Er ist an dieser Stelle zwar vorhanden, aber nur unterhalb der Kluppschwelle.

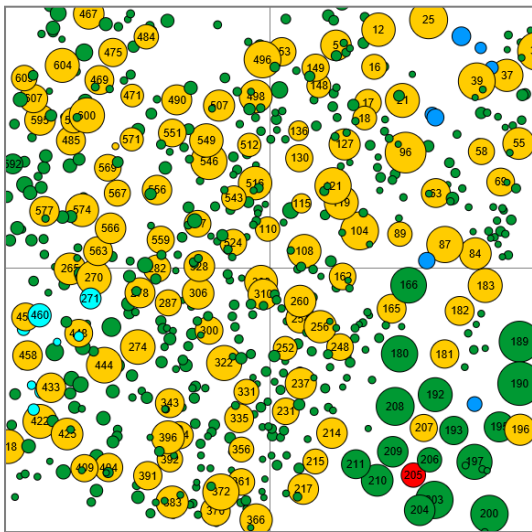


Abbildung 22: Stammfußkarte nach Baumarten getrennt; Größe der Kreise anhand des BHD (EFI 2021).

Im Vergleich zu den Ertragstafelwerten liegt der BHD Ist-Wert der Eiche bei 104 % des Ertragstafelwerts und somit nur unwesentlich darüber, während der Ist-Wert der Rot-Buche 130 % des Ertragstafelwerts beträgt. Dieser deutlich höhere Wert basiert auf der geringen Stammzahl in der Altersstufe 150 Jahre der Marteloskopfläche und ist somit wenig aussagekräftig. In Summe weisen die Bäume der Oberschicht einen etwas über den Ertragswerten liegenden BHD auf.

7.4.4 Baumhöhe

Es ist bekannt, dass sich der Durchmesserzuwachs eines Baumes durch Eingriffe beeinflussen lässt, das Höhenwachstum jedoch weniger (vgl. Gutschick 1975, S. 31). Daher wird für Vergleiche mit Ertragstafeln die Höhe in Abhängigkeit zum Alter verwendet. Während diese Gesetzmäßigkeit im einschichtigen Altersklassenwald zutrifft, beeinflusst der Kronenschirm das Höhenwachstum im mehrschichtigen Wald.

In den Punktwolken der Abbildung 11-13 wird die Beeinflussbarkeit des Dickenwachstums erkennbar. Während die schwächeren Durchmesser in ihrer Höhe stärker streuen, liegen die Höhen der stärkeren Durchmesser näher beieinander. Sie sind gemeinsam in die Höhe ge-

wachsen und weisen auf die Standortsgüte hin. Die schwächeren Durchmesser hingegen haben mit dem Kronendruck von oben zu kämpfen.

7.4.5 Grundfläche und Vorrat

Eine geringere Stammzahl ergibt im Umkehrschluss einen größeren, dem Einzelbaum zur Verfügung stehenden, Kronenraum. Den nutzen die Bäume für verstärktes Wachstum, weshalb der durchschnittliche BHD der ertragskundlich betrachteten Bäume über dem der Ertragstafel liegt. Die Ergebnisse des Marteloskop *Strebenthal* bestätigen dies: Die Grundfläche liegt trotz geringerer Stammzahl auf Ertragstafelniveau, während der Vorrat gering unter Ertragstafelniveau liegt.

Der Grundflächenanteil der Eiche liegt bei $\frac{2}{3}$, ihr Vorratsanteil beträgt knapp $\frac{3}{4}$. Die Rot-Buche hingegen weist anteilmäßig einen geringeren Vorrat im Vergleich zur Grundfläche auf. Gründe für den höheren Grundflächenanteil der Eiche sind der Stammzahlreichtum und durchmesserstarke Bäume der Oberschicht. Die geringen Höhen der Unter- und Mittelschicht beeinflussen dagegen den Vorratsanteil negativ.

7.4.6 Verkaufsfähiges Holzvolumen und Holzqualität

Die Berechnung des verkaufsfähigen Holzvolumens in Efm aus dem Gesamtvorrat in Vfm erfolgte auf Grundlage von Reduktionsfaktoren des EFI. Im Vergleich zu dem als Faustzahl verwendeten Wert 0,8, den von JÜTTNER verwendeten Reduktionsfaktor 0,765 für die Eiche und von SCHÖBER verwendeten Reduktionsfaktor 0,85 für die Rot-Buche, wirkt der durchschnittliche Reduktionsfaktor 0,86 hoch.

Im direkten Vergleich der Baumarten weist die Eiche einen hohen Stammholzanteil auf, welcher einen Reduktionsfaktor von 0,89 erwirkt und Grund für den hohen durchschnittlichen Reduktionsfaktor ist. Dagegen führt der große Anteil der Rot-Buche im Schwachholzbereich zu einem Reduktionsfaktor von 0,79.

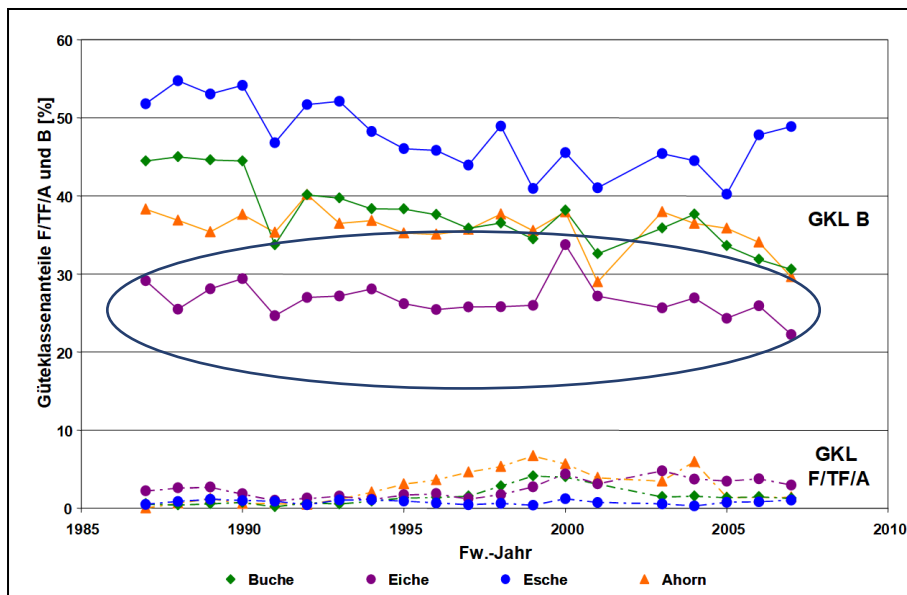


Abbildung 23: Entwicklung der Güteklassenanteile F/TF/A und B am Gesamteinschlag im Staatswald Baden-Württemberg (Forststat. Jahrbuch LFV BW 1987–2007; verändert).

Verglichen mit der Abbildung 23 aus dem Forststatistischen Jahrbuch 1987-2007 der LFV BW ist der Anteil des B-Holzes der Eiche im Marteloskop Strebenthal mit 7 % gering. Dieser Umstand und kein Holz der Qualität A lassen vermuten, dass die letzte Nutzung vor der Ausweisung als Naturwaldentwicklungsfläche dazu diente, die wertvollen Stämme vor dem natürlichen Zerfall zu sichern. Unter Umständen kann dies einzelstammweise geschehen sein, was auch die geringere Ist-Stammzahl gegenüber der Ertragstafelstammzahl erklären kann. Doch nach wie vor ist die Marteloskopfläche mit regelmäßig verteilten Eichen bestockt, weshalb die Aussage von Dr. Straubinger nachvollziehbar erscheint, dass die Fläche als Naturwaldentwicklungsfläche gewählt wurde, da durch ihre Ausweisung ökonomisch kein allzu großer Verlust entsteht.

7.4.7 Ökonomischer Wert

Um den ökonomischen Wert zu berechnen, wurden ortsübliche Preise verwendet. Sie sind von ständigen Schwankungen betroffen, weshalb keine Garantie auf die Aktualität gegeben werden kann. Eher ist der ökonomische Wert eine Annäherung, die als Basis für Vergleiche innerhalb des Marteloskops zu verstehen ist.

Die insgesamt 46 abgestorbenen Bäume sind in sämtlichen Ergebnissen mit inbegriffen. Während sie ökologisch eine gewisse Bedeutung als Totholz haben, sind sie ökonomisch praktisch wertlos. Ihr berechneter Anteil ist mit 3,6 Efm und 159,2 € zwar gering, dennoch eine gewisse Verfälschung des verkaufsfähigen ökonomischen Werts der Fläche. Sie trotzdem als Bestandteil der Ergebnisse zu belassen, ist eine Entscheidung, um die Ergebnisse und die Softwaredaten des EFI identisch zu lassen.

7.4.8 Baummikrohabitate

Im Vergleich zu anderen eichendominierten Marteloskopen wurden im Marteloskop *Streben-thal* viele Baummikrohabitate gefunden. Das führt zu einem hohen Habitatwert. Der Gedanke, das Marteloskop in eine Naturwaldentwicklungsfläche zu legen, um eine Vielzahl an Baummikrohabitaten erfassen zu können, scheint sich somit als richtig zu erweisen.

Neben der Eiche ist die Rot-Buche trotz ihres geringen Starkholzanteils eine bedeutende Baumart der Baummikrohabitate. Allein unter den ökologisch wertvollsten 10 Bäumen befinden sich drei Rot-Buchen.

Kommen alle 479 Rot-Buchen auf 1.564 Habitatpunkte, ergibt das im Durchschnitt einen Wert von 3,3 Habitatpunkten je Rot-Buche. Wählt man jedoch die 17 stärksten Rot-Buchen (> 30 cm BHD), so vervielfacht sich der durchschnittliche Habitatwert je Baum auf 57,4 Punkte. Dieser Wert liegt über dem Durchschnitt aller Eichen (39,7 P). Somit ist es auch hinsichtlich der Baummikrohabitate ökologisch sinnvoll, eine Mischung verschiedener Baumarten zu haben und für zukünftige Bestände anzustreben.

Es wird deutlich, dass eine unbewirtschaftete Fläche viele Baummikrohabitate aufweisen kann. Doch wie kann ein Baummikrohabitatkonzept im Wirtschaftswald optimal angewendet werden? Lassen sich Baummikrohabitate sogar fördern?

Lässt man ökonomisch uninteressante, aber ökologisch interessante Bäume bereits im jüngeren Stadium als Kristallisationskerne stehen, können um sie herum im weiteren Bestandesverlauf Habitatbaumgruppen entstehen. Ihre Entwicklung kann unter Umständen durch absichtlich geschaffene Verletzungen gefördert werden, um eine Eintrittspforte für eine Vielzahl von Lebewesen zu schaffen. Wie und unter welchen sicherheitstechnischen Gesichtspunkten das möglich ist, muss jeweils im Konkreten analysiert werden.

Ergänzt werden kann das Konzept der Habitatbaumgruppen mit Einzelbäumen, die sich durch im Laufe der Zeit entwickelnde, besondere Baummikrohabitate hervorheben. Sie werden während des Auszeichnens entdeckt und dauerhaft markiert.

Es ist anzunehmen, dass weitere Aufnahmen der Marteloskopfläche in der Zukunft zusätzliche Baummikrohabitate dokumentieren werden. Denn eine stete Entwicklung zeichnet die Baummikrohabitate aus.

7.5 Eingriffssimulationen

Mit zwei Eingriffssimulationen soll exemplarisch aufgezeigt werden, welche betriebswirtschaftlichen und ökologischen Ergebnisse resultieren können. Diese sollen zudem kurz verglichen und diskutiert werden.

Folgende Eingriffe wurden simuliert:

1. Entnahme der 10 ökonomisch wertvollsten Bäume
2. Eichen-Vorratspflege und Entnahme von Rot-Buchen

Die simulierte *Entnahme der 10 ökonomisch wertvollsten Bäume* nutzt ausschließlich Eichen. Sie stellen mit hohen Stammvolumina und einem B-Anteil aufgrund ihres höheren Marktpreises die ökonomisch wertvollsten Bäume im Bestand. Die Rot-Buche hingegen kann auch bei sehr starken Dimensionen wegen niedriger Marktpreise nicht in die Liste der 10 ökonomisch wertvollsten Bäume hineinreichen. Die ökonomisch wertvollste Rot-Buche ist die Nummer 190 mit 350,12 €. Sie rangiert auf dem 13. Platz.

Dass es unter den jeweils 10 wertvollsten ökonomischen und ökologischen Bäumen lediglich einen Zielkonfliktbaum zwischen dem ökonomischen und ökologischen Bestandesziel gibt, zeigt, dass es auf dieser Fläche theoretisch möglich ist, eine auf Holzproduktion ausgelegte Forstwirtschaft zu betreiben und dem Naturschutz im Bestand Folge zu leisten. Integrierte Forstwirtschaft erscheint also in diesem Bestand möglich.

Zwar werden über den Zeitraum einer Bestandesnutzung mehr als nur zehn Bäume je Hektar geerntet, doch helfen bereits wenige Habitatbäume, seltenen Arten einen Lebensraum zu bieten. Dieser Gedankengang wird unter anderem von Landesforstverwaltungen aufgegriffen, die in ihren Altholzkonzepten in der Reifephase eine Ausweisung von ca. 15 Bäumen je 3 ha als Habitat-/Biotopbaumgruppen fordern.

In einer zweiten Eingriffssimulation wird *Rot-Buchen Starkholz geerntet und zudem die Eichen im Sinne einer Vorratspflege* gepflegt. Dabei wird auf die Wertträger geachtet und maximal ein Bedränger je Wertträger entnommen. In Summe werden nicht mehr als 60 Efm/ha geerntet.

Tabelle 10: Eingriffssimulationen.

Simulati-on	Stammzahl-entnahme	Efm	Erlös	BMH
1	10 Stk.	38,62 Efm	4.633,67 €	388 P
2	23 Stk.	58,19 Efm	4.407,55 €	720 P

Im direkten Vergleich der Simulationen wird der Unterschied deutlich. Werden in der Simulation 1 die Top 10 Wertträger geerntet, entsteht ein Durchschnittserlös von 120 €/Efm, während der Durchschnittserlös in der Simulation 2 45 €/Efm darunterliegt. Der Gesamterlös ist auf einem ähnlichen Niveau.

Da der Großteil der dimensionsstarken Bäume im Marteloskop *Strebenthal* Baummikrohabitate aufweisen, ergibt eine Entnahme von mehr Bäumen einen höheren Verlust von Baummikrohabitaten. Um diesen Verlust zu verhindern, sollte es Ziel sein, einen gewünschten Erlös oder eine geforderte Erntemenge über möglichst wenige, baummikrohabitatarme Bäume zu erreichen. In der Praxis hat eine solche Vorgehensweise den zusätzlichen Vorteil, dass durch hohe Stückmassen die Erntekosten verringert werden.

Tabelle 11: Verbleibender Bestand nach Eingriffssimulationen.

Simulation	Verbleibende Stammzahl	Verbleibender Vorrat	Verbleibender Wert	Verbleibende BMH
1	604 Stk.	321,09 Efm	23.763,18 €	5855 P
2	591 Stk.	301,52 Efm	23.989,30 €	5473 P

Die Auswirkungen der Eingriffssimulationen auf den verbleibenden Bestand werden in der Tabelle 11 deutlich. Während der verbleibende Bestandeswert der Simulation 1 lediglich mit 226,12 € gering unter dem verbleibenden Bestandeswert der Simulation 2 liegt, ist der Effekt der simulierten Eingriffe hinsichtlich der verbleibenden Baummikrohabitate stärker. Eine Differenz von 382 Habitatpunkten sorgt für eine deutliche Verschlechterung der Habitatsituation der Simulation 2 gegenüber der Simulation 1. Ökologisch gesehen ist somit die Simulation 1 die zu Wählende.

Betrachtet man den ökonomischen Faktor der simulierten Eingriffe, so ist ebenfalls Simulation 1 im Vorteil, da durch die höhere Stückmasse ein höherer Erlös entsteht.

Weitere Ansätze lassen sich im Marteloskop *Strebenthal* üben und das dort gewonnene Wissen kann in die Alltagspraxis übernommen werden. Jedoch ist stets darauf zu achten, dass Erkenntnisse aus Übungen nur für diesen Bestand gelten und keine Allgemeingültigkeit besitzen. Im Zweifel sind sie mit Ergebnissen anderer Versuchsflächen oder Untersuchungen abzugleichen.

7.6 Nutzungsmöglichkeiten als Fortbildungsinstrument

Das Marteloskop *Strebenthal* sollte vordringlich zum Training des Erkennens von Baummikrohabitaten und der Abwägung von Zielsetzungen dienen. Des Weiteren kann diese Marteloskop für viele weitere Trainingsmodelle verwendet werden. Konkrete Beispiele hierfür sind:

- Fachlich unterschiedliche Gruppen (Bsp. Naturschützer - Revierleiter) sollen denselben Eingriff simulieren. Im Anschluss soll die jeweils fremde Simulation präsentiert und erläutert werden.
- (Fachlich gemischte) 2er Teams sollen einen ökonomisch orientierten Pflegeeingriff simulieren. Was sind die ökologischen Folgen?
- (Fachlich gemischte) 2er Teams sollen einen ökologisch schonenden Pflegeeingriff simulieren. Was sind die ökonomischen Folgen?
- Verjüngungsplanung hin zu Eiche. Welche einzelnen Schritte sind nötig, sodass das Ziel erreicht werden kann? Ist das Vorgehen ökonomisch und ökologisch sinnvoll?

Im Anschluss an jede Übung sollte ein Ergebnis präsentiert und diskutiert werden, um offene Fragen zu klären und weitere Anregungen einzubringen. Dabei hilft die *I+ Manager* Software, mit derer sich die Ergebnisse auswerten lassen.

Neben den Nutzungsmöglichkeiten dürfen die Nutzungsgrenzen eines Marteloskops nicht ungenannt bleiben. Für die Berechnung der Baummikrohabitate ist jedes Einzelne von ihnen mit einer Entwicklungsprognose versehen, welche nicht zusätzlich einzeln dargestellt wird. Zudem lässt sich die Entstehung zukünftiger Baummikrohabitate nicht vorhersagen. Daher ist die Betrachtung der Baummikrohabitate eine Betrachtung des Status quo.

Um Zuwachswerte ergänzt, wäre es möglich, die zukünftige Vorratsentwicklung, Höhenentwicklung etc. darzustellen. Diese Werte fehlen, weshalb auch hier keine Prognose möglich ist.

Das Marteloskop hat seine Stärke darin, den erhobenen Ist-Zustand darzustellen und Üben, den die direkte Auswirkung ihres Handelns zu veranschaulichen. Darüber hinaus ist es nicht möglich, mittel- oder langfristige Auswirkungen des Handelns darzustellen. Hierfür fehlen die Daten.

7.7 Ausblick: Wirksamkeit des Marteloscops als Fortbildungsinstrument

Bereits im Kapitel 7.3 Aufwandsschätzung wird die Frage gestellt, unter welchen Umständen sich die Einrichtung eines Marteloscops lohnt. Neben dem Versuch, diese Frage über die Intensität der Nutzung zu beantworten, ließe sie sich ebenfalls über die Wirksamkeit einer Übung im Marteloskop für die Integrative Forstwirtschaft beantworten. Cosyns et al. (2020) und viele weitere Quellen gehen darauf ein, welchen Einfluss der berufliche Hintergrund (Naturschützer oder Förster) auf die Entscheidungsfindung bezüglich Entnahme oder Belassen von Bäumen hat. Eine Grundvoraussetzung ist, dass Teilnehmende der Übung einen Fortbildungswillen zeigen. Zudem wird die These formuliert, dass Marteloskope ein großes Potenzial haben, gewohnte Routinen zu überdenken. Doch inwieweit dies tatsächlich getan wird und welche Wirkung Marteloskope im Konkreten haben, ist nach aktuellem Kenntnisstand nicht durch wissenschaftliche Daten belegt. In diesem Bereich besteht weiterhin Forschungsbedarf beispielsweise zur Frage, wie sich das Handeln von Teilnehmern einer Übung im Marteloskop hinsichtlich des Erkennens und Belassens von Baummikrohabitaten im Abwägungsprozess zur wirtschaftlichen Nutzung von Einzelbäumen verändert.

Darüber hinaus werden Marteloskopdaten vermehrt in der Forschung verwendet. Meist geht es um die Vereinbarkeit von Natur-/Artenschutz in bewirtschafteten Wäldern sowie um die Auswirkungen von Baummikrohabitaten auf die Biodiversität. Dafür werden alle inventarisierten Daten öffentlich zugänglich zur Verfügung gestellt.

8 Fazit

Mit dem Marteloskop *Strebenthal* gelang es, ein Marteloskop einzurichten, das mit seinem Reichtum an Baummikrohabitaten eine Fortbildungsfläche zur Verfügung stellt, auf der das Erkennen von Baummikrohabitaten sehr gut geübt werden kann.

Die Bestockung entspricht den in der näheren Umgebung vorherrschenden Lebensraumtypen Hainsimsen-Buchenwald und Stieleichen-Hainbuchenwald. Die Naturnähe ist somit gewährleistet. Rot-Buchen kommen in allen Bestandesschichten vor. Die Eiche dominiert die Oberschicht und ist der maßgebende Faktor des Reichtums an Baummikrohabitaten. Neben sich schnell entwickelnden und häufig vorkommenden Baummikrohabitaten gibt es auch solche, die sich sehr langsam entwickeln und sehr selten vorkommen. Hierzu gehören sämtliche große Höhlungen.

Vergleicht man die strukturellen Ergebnisse mit den *vorläufigen Referenztafeln für die Forsteinrichtung*, liegt der Ist-Wert Stammzahl je Hektar der Versuchsfläche unter dem Soll-Wert der Ertragstafel. Durch höhere Durchmesserwerte ergeben sich Grundflächen- und Vorratswerte auf Höhe des Ertragstafelniveaus.

Die Auswertung zeigt: Unter den 10 ökonomisch und ökologisch wertvollsten Bäumen gibt es lediglich einen Zielkonfliktbaum. Das macht deutlich, dass in diesem Bestand Schutzziele neben wirtschaftlichen Zielen existieren können. Zwar gilt das primär für die Marteloskopfläche selbst, aber diverse Altholzkonzepte der verschiedenen Bundesländer bauen auf genau diesem Prinzip auf. Schon wenige Habitatbäume je Hektar leisten einen gewissen Beitrag zum Natur- und Artenschutz.

Die Eiche weist lediglich geringe Anteile B-Qualität als beste Holzqualität auf, die Rot-Buche besitzt bestenfalls einen geringen Anteil C-Qualität. Somit ist es nachvollziehbar, dass diese mittlerweile ökologisch wertvolle Fläche *im Strebenthal* als Naturwaldentwicklungsfläche ausgewiesen wurde. Die Entwicklung der Baummikrohabitate wäre vermutlich in einem Wirtschaftswald nicht in dem Maße möglich gewesen. Es ist zu hoffen, dass auch folgende Eigentümergenerationen an der Naturwaldentwicklungsfläche *im Strebenthal* festhalten und somit eine Weiterentwicklung und Zunahme der Baummikrohabitate ermöglichen.

Mit den Simulationen wird deutlich: Je mehr Entnahmebäume ausgewählt werden, desto höher ist der Verlust der Baummikrohabitate. Der ökonomische Entnahmewert ist aufgrund höherer Entnahmemengen, bzw. -werte in beiden Simulationen ähnlich.

Das Marteloskop als Fortbildungsinstrument macht simuliertes Handeln sichtbar und dank der visualisierten Ergebnisse die Auswirkungen quantifizierbar. „Seeing is better understanding“.

9 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Ansätze der Forstwirtschaft nach Larsen 2020.....</i>	<i>5</i>
<i>Abbildung 2: Auswahl einiger Baummikrohabitate (Bütler et al. 2020).</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 3: Lage der Naturwaldfläche 206 im Strebenthal (Hatzfeldt).</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 4: schematische Darstellung des Marteloskop Strebenthal (eigene Darstellung).</i>	<i>14</i>
<i>Abbildung 5: Vertex IV mit Transponder T3 und Adapter auf Stativ (Haglöf Sweden AB 2007).....</i>	<i>16</i>
<i>Abbildung 6: Visualisierung der Stammfußkoordinatenberechnung.</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 7: Stammzahl je Baumart.</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 8: BHD-Verteilung nach Baumarten.....</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 9: BHD-Verteilung Rot-Buche.....</i>	<i>27</i>
<i>Abbildung 10: BHD-Verteilung Eiche.</i>	<i>28</i>
<i>Abbildung 11: Baumhöhen über dem BHD (alle Baumarten).</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 12: Baumhöhen über dem BHD der Eichen.</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 13: Baumhöhen über dem BHD der Rot-Buchen.....</i>	<i>30</i>
<i>Abbildung 14: Grundflächenverteilung aller Baumarten (m²).</i>	<i>31</i>
<i>Abbildung 15: Vorratsverteilung aller Baumarten (Vfm).</i>	<i>32</i>
<i>Abbildung 16: verkaufsfähige Holzmasse der Eiche je Holzqualität (Efm).</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 17: verkaufsfähige Holzmasse der Rot-Buche je Holzqualität (Efm).</i>	<i>33</i>
<i>Abbildung 18: ökonomischer Gesamtwert je Baumart.</i>	<i>34</i>
<i>Abbildung 19: Einzelbaumwerte der Eichen über der verkaufsfähigen Holzmasse.....</i>	<i>35</i>
<i>Abbildung 20: Baummikrohabitate nach Codes.</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 21: Karte der ökonomisch und ökologisch wertvollsten Bäume.</i>	<i>38</i>
<i>Abbildung 22: Stammfußkarte nach Baumarten getrennt; Größe der Kreise anhand des BHD (EFI 2021).....</i>	<i>44</i>
<i>Abbildung 23: Entwicklung der Güteklassenanteile F/TF/A und B am Gesamteinschlag im Staatswald Baden-Württemberg (Forststat. Jahrbuch LFV BW 1987–2007; verändert).....</i>	<i>46</i>

10 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Bewertungsschema der Baummikrohabitate.</i>	22
<i>Tabelle 2: Baumartenanteile des Marteloskops Strebenthal nach Anzahl, Grundfläche und Volumen.</i>	25
<i>Tabelle 3: Stammzahl-Vergleich der Ertragstafelwerte mit den Ist-Werten.</i>	26
<i>Tabelle 4: BHD-Vergleich der Ertragstafelwerte mit den Ist-Werten.</i>	28
<i>Tabelle 5: Grundflächenvergleich der Ertragstafelwerte mit den Ist-Werten.</i>	31
<i>Tabelle 6: Vorratsvergleich der Ertragstafelwerte mit den Ist-Werten.</i>	32
<i>Tabelle 7: Habitatwert je Baumart.</i>	37
<i>Tabelle 8: Rangliste der ökonomisch wertvollsten 10 Bäume.</i>	39
<i>Tabelle 9: Rangliste der ökologisch wertvollsten 10 Bäume.</i>	39
<i>Tabelle 10: Eingriffssimulationen.</i>	48
<i>Tabelle 11: Verbleibender Bestand nach Eingriffssimulationen.</i>	49
<i>Tabelle 12: Verwendete Holzpreise je Baumart und Holzqualität in €/Efm (Hatzfeldt).</i>	X
<i>Tabelle 13: Mikrohabitatcodes und dazugehörige Bezeichnungen der Baummikrohabitatgruppen.</i>	X

11 Fotografiieverzeichnis

<i>Foto 1: Bohrstockprobe aus dem oberen Bereich (eigene Aufnahme).</i>	10
<i>Foto 2: Stichgräben (eigene Aufnahme).</i>	14
<i>Foto 3: BHD Markierung und Nummernplättchen (eigene Aufnahme).</i>	15
<i>Foto 4: Bsp. für ein Baummikrohabitat: CV23 - mit Mulm gefüllte Baumhöhle ohne Bodenkontakt.</i>	19

12 Literaturverzeichnis

ANW (2021): Die Ziele der ANW. Arbeitsgemeinschaft naturgemäße Waldwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.anw-deutschland.de/eip/pages/unsere-ziele.php>, zuletzt aktualisiert am 15.03.2021, zuletzt geprüft am 15.03.2021.

Bischoff, G.; Blaschke, M.; et al. (2015): Der Forstwirt. 6., aktualisierte Aufl. Stuttgart (Hohenheim): Ulmer.

Breunig, T.; Demuth, S.; Wahl, A.; Grüttner, A.; Gerstner, H.; Dümas, J.; Schwandner, J. (2018): Arten, Biotope, Landschaft. Schlüssel zum Erfassen, Beschreiben, Bewerten. 5. Aufl. Karlsruhe: LUBW. Online verfügbar unter <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/94209>, zuletzt geprüft am 18.03.2021.

Bütler, R.; Lachat, T.; Krumm, F.; Kraus, D.; Larrieu, L. (2020): Taschenführer der Baummikro-habitate. Beschreibung und Schwellenwerte für Feldaufnahmen. Birmensdorf, CH: Eidg. Forschungsanstalt WSL.

Cosyns, Hannes; Joa, Bettina; Mikoleit, Ronja; Krumm, Frank; Schuck, Andreas; Winkel, Georg; Schulz, Tobias (2020): Resolving the trade-off between production and biodiversity conservation in integrated forest management: comparing tree selection practices of foresters and conservationists. In: *Biodivers Conserv* 29 (13), S. 3717–3737. DOI: 10.1007/s10531-020-02046-x.

Derks, J.; Schuck, A.; Krumm, F.; Kraus, D. (2020): Guidelines for establishing I+ marteloscopes. EFI. Online verfügbar unter <http://iplus.efi.int/documentation.html>.

DWD (2020): CDC/observations_germany/climate/multi_annual/mean_81-10. Online verfügbar unter https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/multi_annual/mean_81-10/, zuletzt aktualisiert am 30.03.2020, zuletzt geprüft am 16.03.2021.

DWD (2021): Temperatur: vieljährige Mittelwerte 1981-2010. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp_8110_fest.html.html%3Fview%3DnasPublication, zuletzt aktualisiert am 11.02.2021, zuletzt geprüft am 03.05.2021.

EFI (2014): What are Marteloscopes? EFI. Online verfügbar unter <http://www.integrateplus.org/media-center/project-documents.html>. EFI (2021): InfoSheet Strebenthal. Online verfügbar unter <http://iplus.efi.int/marteloscopes-data.html>, zuletzt geprüft am 10.05.2021.

FSC Deutschland (2020): Deutscher FSC-Standard, vom 13.02.2020. Fundstelle: FSC Wald-Zertifizierung. Online verfügbar unter <https://www.fsc-deutschland.de/de-de/wald/waldstandards>.

Geopark WLT (2021): Geologie im Geopark. GEOPARK Westerwald-Lahn-Taunus. Online verfügbar unter <https://geopark-wlt.de/geologie-im-geopark>, zuletzt aktualisiert am 16.03.2021, zuletzt geprüft am 16.03.2021.

Gutschick, V. (Hg.) (1975): Der Forstbetriebsdienst. Unter Mitarbeit von R. Bauer, P. Dietz, K.-H. Fuhrmann, W. Geibel, H. Heckel, G. Schäfer und E. Schönfelder. 6. Aufl. München, Bern, Wien: BLV-Verlagsgesellschaft.

Haglöf Sweden AB (2007): Bedeinungsanleitung für Haglöf Vertex IV und Transponder T3. Langsele/Schweden, zuletzt geprüft am 23.03.2021.

Hatzfeldt (2020): Waldwirtschaft. Hatzfeldt-Wildenburg'sche Verwaltung. Online verfügbar unter <https://www.hatzfeldt.de/waldwirtschaft.html>, zuletzt aktualisiert am 07.12.2020, zuletzt geprüft am 15.03.2021.

Hein, S. (2018): pnV. Waldbau I. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, 2018.

Kramer, H.; Akça, A. (2008): Leitfaden zur Waldmesslehre. 5., überarb. Aufl. Frankfurt, M.: Sauerländer.

Kraus, D.; Bütler, R.; Krumm, F.; Lachat, T.; Larrieu, L.; Mergner, U. et al. (2016): Katalog der Baummikrohabitate. Referenzliste für Feldaufnahmen. EFI. Online verfügbar unter <http://iplus.efi.int/documentation.html>.

Kraus, D.; Krumm, F.; Schuck, A. (2011): Integrate+ Project proposal. Establishing a European network of demonstration sites for the integration of biodiversity conservation into forest management. EFI. Online verfügbar unter <http://www.integrateplus.org/media-center/project-documents.html>.

Landesforsten RLP (2021): Naturwaldreservate. Online verfügbar unter <https://www.wald.rlp.de/de/bewahren/naturschutz-im-wald/naturwaldreservate/>, zuletzt aktualisiert am 11.03.2021, zuletzt geprüft am 11.03.2021.

Larsen, B. (2020): Segregated - Mosaik - Integrated. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/info/events/international-conference-forests-biodiversity-and-climate_en, zuletzt geprüft am 13.04.2021.

LfU (2021): Kartendienste LfU. Heutige potentielle natürliche Vegetation. Landesamt für Umwelt Rheinland-Pfalz. Online verfügbar unter <https://map-final.rlp-umwelt.de/Kartendienste/index.php?service=hpnv>, zuletzt aktualisiert am 17.03.2021, zuletzt geprüft am 17.03.2021.

LUWG (2014): Vegetationskundliche Standortkarte Rheinland-Pfalz. Erläuterungen zur Karte der heutigen potentiellen natürlichen Vegetation. Unter Mitarbeit von Peter Wahl, Michael Bushart und Claudia Röter-Flechner. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz. Mainz, zuletzt geprüft am 17.03.2021.

MUEEF (2005): Landeswaldgesetz. LWaldG, vom 28.09.2005.

Schurr, C. (2020): Der Wald als Ressource für Produktion und Daseinsfürsorge. Produkte - Leistungen - Funktionen. Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, zuletzt geprüft am 12.04.2021.

Wald & Holz NRW (2021): Wuchsgebiet 41: Bergisches Land. Zahlen und Fakten. Hg. v. Wald & Holz NRW. Online verfügbar unter <https://www.wald-und-holz.nrw.de/wald-in-nrw/wuchsgebiete/bergisches-land>, zuletzt aktualisiert am 16.03.2021, zuletzt geprüft am 16.03.2021.

VI. Anhang

Tabelle 12: Verwendete Holzpreise je Baumart und Holzqualität in €/Efm (Hatzfeldt).

BA	B	C	D	Brh.
Ei	200 €	100 €	70 €	45 €
Bu	93 €	65 €	55 €	
Hbu	/	/	/	
Fi	60 €	50 €	30 €	25 €
Kie				

Tabelle 13: Mikrohabitatcodes und dazugehörige Bezeichnungen der Baummikrohabitatgruppen.

Mikrohabitatcode	Baummikrohabitatgruppe
CV1	Spechthöhlen
CV2	Stamm- und Mulmhöhlen
CV3	Asthöhlen
CV4	Dendrotelme und wassergefüllte Baumhöhlungen
CV5	Insektengallerien und Bohrlöcher
IN1	Freiliegendes Splintholz
IN2	Freiliegendes Kernholz / Stamm- und Kronenbruch
IN3	Risse und Spalten
BA1	Rindentaschen
BA2	Rindenstruktur
DE	Totäste / Kronentotholz
GR1	Stammfußhöhlen
GR2	Hexenbesen
GR3	Krebse und Maserknollen
EP1	Pilzfruchtkörper
EP2	Myxomyceten
EP3	Epiphytische Krypto- und Phanerogame
NE1	Nester von Wirbeltieren
NE2	Nester wirbelloser Tiere
OT1	Saft- und Harzfluss
OT2	Mikroböden

VII. Eidesstattliche Erklärung

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

Konstantin von Gemmingen

Rappenberghalde 12

72108 Rottenburg

Rottenburg, den 24. Juni 2021

Konstantin von Gemmingen-Guttenberg