Kohlenstoffsequenzierung der Stadtwälder der Stadt Linz

Bachelorarbeit

verfasst von

Lukas Sevcik

Matr. Nr. 11824397

im Rahmen des Bachelorstudiums

Forstwissenschaften

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science

Wien, Mai 2024

Betreut von:
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.Mathias Neumann

Institut für Waldbau
Department für Wald und Bodenwissenschaften
der Universität für Bodenkultur

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin/ keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht.

Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandeln geahndet wird („Verwendung unerlaubter Hilfsmittel“) und weitere rechtliche Schritte nach sich ziehen kann.

Datum	Unterschrift

Vorwort

Im Rahmen dieser Arbeit konnte ich mir ein vertiefendes Fachwissen zur Berechnung von Kohlenstoffspeichern in Wirtschaftswäldern und Natura 2000 Schutzgebieten aneignen. Zusätzlich konnte ich mein Wissen bei der Erstellung eines Managementkonzeptes vertiefen.

Aus diesen Gründen möchte ich meine tiefste Dankbarkeit gegenüber Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Mathias Neumann zum Ausdruck bringen. Ihre engagierte, lehrreiche und hervorragende Betreuung hat mir wertvolle neue Perspektiven und Anregungen eröffnet. Sie haben mich stets unterstützt, wodurch eine gründliche und strukturierte Bearbeitung des Themas möglich wurde. Darüber hinaus standen sie jederzeit hilfsbereit zur Verfügung, um Fragen und Unklarheiten zu klären und ihr umfassendes Feedback trug maßgeblich dazu bei, dass die Arbeit ein hohes Qualitätsniveau erreichte.

Ein weiterer Dank gilt der Stadt Linz, insbesondere Ing. Günter Haderer und PhD. MSc. Oliver Schrot, welche mir bei Fragen jederzeit zur Verfügung standen. Weiters möchte ich mich für die zur Verfügungstellung der benötigten Daten und für die hervorragende Zusammenarbeit im Rahmen der Kohlenstoffanalyse bedanken.

Darüber hinaus möchte ich mich bei meiner Familie und Freunden bedanken, welche mich während meiner Bachelorarbeit unterstützt haben.

Zusammenfassung

Wälder erfüllen eine Vielzahl von Funktionen für die Gesellschaft. Sie dienen zur Holzproduktion, Erholung und Schutzfunktion. Durch den Klimawandel nimmt die Bedeutung der Wälder als möglicher Kohlenstoffspeicher zu.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Kohlenstoffsequenzierung für die Linzer Stadtwälder zu ermitteln. Diese können anschließend für Berechnungen zur Klimaneutralität herangezogen werden. Die Stadt Linz besitzt eine Waldfläche von 518,3 ha, welche sich in einen Wirtschaftswald mit 295,6 ha und eine nicht bewirtschaftete Natura 2000 Waldfläche unterteilt. Um die Kohlenstoffspeicherkapazität der Wälder zu ermitteln, wurde der gespeicherte Kohlenstoff in der lebenden Biomasse, in der Totholzbiomasse und im Boden berücksichtigt. Insgesamt wurden 369 Aufnahmepunkte in den Wäldern der Stadt Linz angelegt. Das liegende Totholz, sowie die Bodenauflage wurde auf 91 der 369 Erhebungspunkte aufgenommen. Anhand der erhobenen Daten wurde die Biomasse des Schaftes, der Stängel, der Trockenzweige, sowie die Laub- und Wurzelbiomasse berechnet. Liegendes Totholz und Stöcke wurden in Zersetzungsklassen unterteilt und ausgewertet.

Der gespeicherte Kohlenstoff in der Bodenauflage konnte mit Hilfe einer C/N-Analyse analysiert und ausgewertet werden. Die ermittelten Kohlenstoffspeicherkapazitäten wurden sowohl für den Wirtschaftswald, als auch für das Natura 2000 Waldgebiet separat ermittelt. Dies ermöglicht einen Vergleich zwischen bewirtschaften und nicht bewirtschafteten Waldgebieten. Anschließend wurde ein Bewirtschaftungskonzept für die wichtigsten bewirtschafteten Waldbestände erarbeitet, um die zukünftige Kohlenstoffspeicherkapazität zu erhöhen und die Bestandesstabilität zu verbessern. Langfristiges Ziel ist die Etablierung klimaresistenter Waldbestände mit einer hohen Kohlenstoffspeicherkapazität.

Abstract

Forests have many functions for society. They provide wood, recreation, and protection. Due to climate change, forests are becoming more important as carbon storage areas.

The goal of this bachelor's thesis is to find out, how much carbon the city forests of Linz can store. This information can be used to calculate climate neutrality. The city of Linz has 518.3 hectares of forest, divided into 295.6 hectares of managed forest and an unmanaged Natura 2000 forest area. To determine the carbon storage capacity of the forests, the stored carbon in living biomass, deadwood biomass, and soil was considered. A total of 369 survey points were set up in the forests of Linz. Deadwood and soil cover were recorded at 91 of these points. Using the collected data, the biomass of trunks, stems, dry branches, as well as leaves and roots, was calculated. Deadwood and stumps were classified and evaluated, based on their stage of decomposition.

The stored carbon in the soil cover was analyzed using a C/N (carbon/nitrogen) analysis. The carbon storage capacities were determined separately for the managed forest and the Natura 2000 forest area. This allows a comparison between managed and unmanaged forests. A management plan was then developed for the main managed forest areas to increase future carbon storage capacity and improve forest stability. The long-term goal is to establish climate-resistant forests with high carbon storage capacity.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort ii
Zusammenfassung iii
1 Einführung 1
1.1 Bedeutung von Wäldern für den Kohlenstoff Speicher 1
1.2 Klimawandel 2
1.3 Durchforstungen und Pflegeeingriffe 4
1.4 Außer-Nutzung-Stellung 5
1.5 Kohlenstoffspeicher im Totholz 6
1.6 Waldgebiet der Stadt Linz, Klima und natürliche Waldgesellschaft 7
2 Daten und Methodik 8
2.1 Felderhebungen 8
2.2 Bestanddaten 11
2.3 Kohlenstoff 12
2.3.1 Lebende Bäume 12
2.3.2 Totholz 17
2.3.3 Mineralboden und organischer Boden 21
2.4 Managementkonzept 24
2.4.1 Bestandesbeschreibung 24
2.4.2 Zielbaumarten 25
2.4.3 Maßnahmen 25
3 Ergebnisse 26
3.1 Kohlenstoff 26
3.1.1 Gesamter Kohlenstoffspeicher 26
3.1.2 Lebende Bäume 29
3.1.3 Totholz 31
3.1.4 Mineralboden und organischer Boden 33
3.2 Managementkonzept 34
3.2.1 Wirtschaftswald 34
3.2.1.1 Reinbestände 36
3.2.1.1.1 Fichte 39
3.2.1.1.2 Buche 42
3.2.1.1.3 Eiche 45
3.2.1.2 Mischbestände 48
3.2.1.2.1 Buche-Fichte 52
3.2.1.2.2 Buche-Eiche 54

3.2.1.2.3 Eiche-Fichte 56
3.2.1.3 Unbestockte Waldflächen 58
3.2.2 Natura 2000 Schutzgebiet 61
3.2.2.1 Reinbestände 63
3.2.2.1.1 Esche 66
3.2.2.1.2 Hybridpappel 68
3.2.2.1.3 Weide 70
3.2.2.2 Mischbestände 72
3.2.2.2.1 Esche-Hybridpappel 74
3.2.2.2.2 Ahorn-Esche 76
3.2.2.3 Unbestockte Waldflächen 78
4 Diskussion 81
4.1 Kohlenstoff 81
4.1.1 Vergleich der Kohlenstoffergebnisse in den zwei Waldgebieten 81
4.1.2 Vergleich der Kohlenstoffergebnisse mit anderen Waldgebieten 83
4.1.3 Folgen einer Außer-Nutzung-Stellung von 50 % der Waldgebiete 84
4.2 Managementkonzept 85
4.2.1 Herausforderungen 85
5 Literaturverzeichnis 86
6 Abbildungsverzeichnis 89
7 Tabellenverzeichnis 91

1 Einführung

1.1 Bedeutung von Wäldern für den Kohlenstoff Speicher

Wälder erfüllen eine Vielzahl von Funktionen. Sie dienen zur Erholung, Holzgewinnung und erfüllen eine Schutzfunktion. In Österreich sind 47,9% der Landfläche mit Wald bedeckt. Dies entspricht mehr als vier Millionen Hektar mit einem Holzvorrat von 1,2 Milliarden Vorratsfestmeter. Jährlich werden 89% des Zuwachses genutzt. (www.Waldinventur.at, 2024)

Im Zuge ihres Wachstums binden Bäume Kohlenstoff in ihrer Biomasse, welcher aus der Atmosphäre gewonnen wird. Sterben Bäume ab und es kommt zu einer Zersetzung des Holzes, wird der gespeicherte Kohlenstoff wieder frei und an die Atmosphäre abgegeben. Durch Auf- und Abbauprozesse entsteht in Naturwäldern ein Gleichgewicht zwischen freigesetzten und neu gebundenen Kohlenstoff. (Lal 2005; Luyssaert et al. 2008). Anders verhält sich dies bei einer Holzernte und anschließender Nutzung. Da im Holz gespeicherter Kohlenstoff erst durch eine Zersetzung in die Atmosphäre gelangt, dienen Holzprodukte als Produktspeicher, siehe Abbildung 1. Der Klimaschutzbeitrag ist abhängig von der Nutzungsdauer und Mehrfachnutzung des Holzproduktes. (Köhl et al. 2017). Holzprodukte ersetzen häufig alternative Materialien wie Ziegel, Stahl und Aluminium, welche im Gegensatz zu Holz sehr energieaufwendig produziert werden müssen. (Bergman et al. 2014)

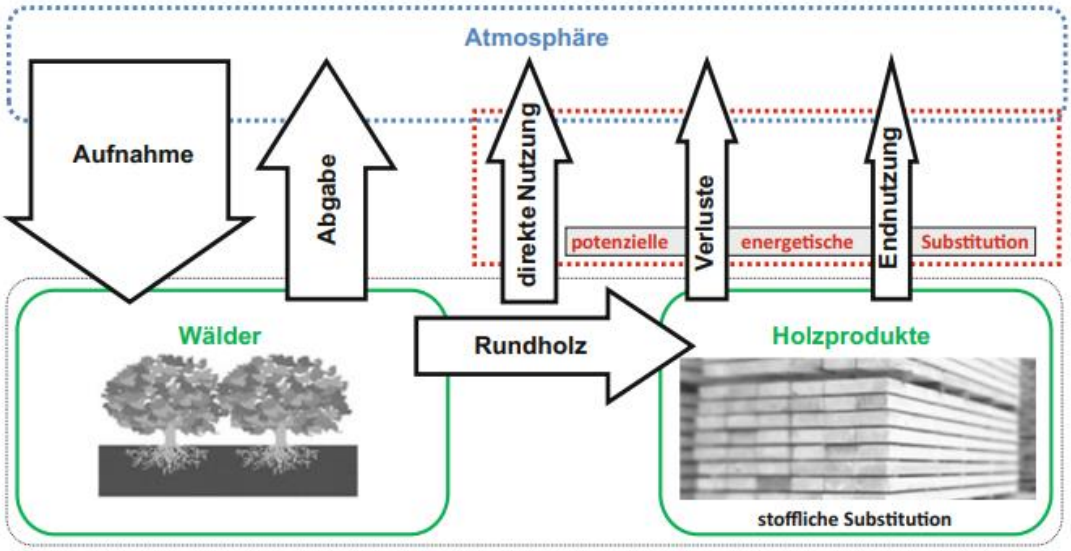

Abbildung 1: Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffflüsse. Die Größe der Pfeile ist proportional zu den Anteilen der Kohlenstoffflüsse. Quelle: Köhl et al.(2017)

1.2 Klimawandel

Die Bedeutung und Auswirkungen des Klimawandels nehmen in den letzten Jahren rasant zu. Für Oberösterreich ist mit einer mittleren Temperaturzunahme bei wirksamen Klimaschutzmaßnahmen von 2,3 °C bis zum Jahr 2100 zu erwarten. Im Business as usual Szenario ist eine Temperaturzunahme von 3,9 °C zu rechnen, siehe Abbildung 2. Auch die Verteilung und die Menge des Niederschlages wird sich langfristig verändern. In den Sommermonaten ist eine gleichbleibende Niederschlagsmenge zu erwarten, während diese in den Wintermonaten stark zunimmt. Daraus ergibt sich ein leicht erhöhter mittlerer Jahresniederschlag in beiden Szenarien, siehe Abbildung 3. (Chimani 2016). Durch die vermehrte Verlagerung des Niederschlages in die Wintermonate und einer gleichzeitigen Temperaturzunahme wird es auf längere Sicht in den Sommermonaten verstärkt Trockenperioden geben. Diese können der Vegetation stark zusetzen und Stresssituationen für die Pflanzen bringen. In weiterer Folge führen diese zu einer Schwächung des Immunsystems der Pflanzen, wodurch diese anfälliger gegenüber biotischen und abiotischen Schäden sind. (Tarkka & Hildebrandt 2020). Selbst bei erfolgreichen Klimaschutzmaßnahmen und einer maximalen Erwärmung von +2 °C im 21. Jahrhundert ist keine Baumart mehr ideal an die klimatischen Bedingungen angepasst. Dies führt verstärkt zu Stresssituationen und damit einhergehend zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Schädlingen. (Hartmut Graßl 2007). Durch die erhöhte Anfälligkeit geschwächter Bäume gegenüber Windwürfen, ist langfristig mit einer Zunahme von Windwurfflächen zu rechnen. (Graßl 2007).

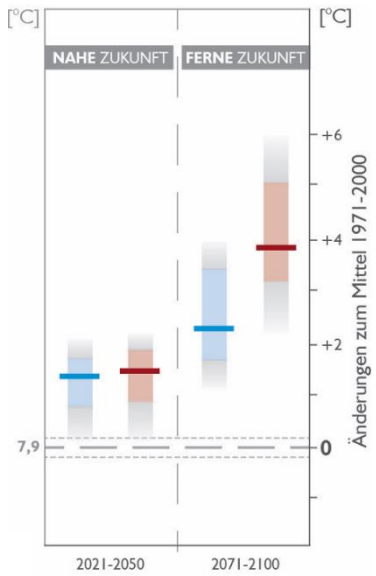

Abbildung 2: mittlere Temperaturzunahme bis 2050, sowie 2100 unter Annahme eines Klimaschutzszenarios und Business as usual. Quelle: (Chimani 2016).

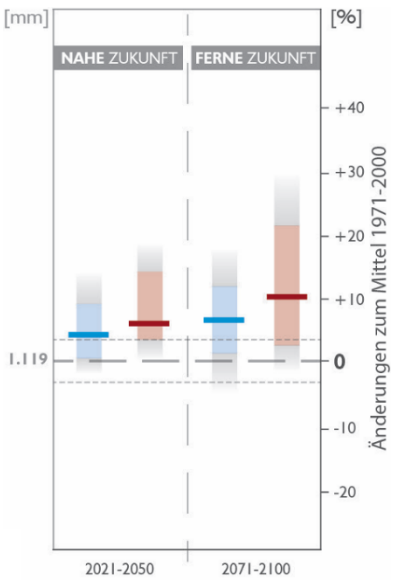

Abbildung 3: mittlere Niederschlagszunahme bis 2050, sowie 2100 unter Annahme eines Klimaschutzszenarios und Business as usual. Quelle: (Chimani 2016).

Eine Studie von Lexer & Seidl (2007) befasste sich mit dem veränderten Zuwachsverhalten unter verschiedenen Klimaänderungsszenarien. Unter Zuhilfenahme von Modellierungen konnte ein verstärkter Zuwachs von Laubbäumen ermittelt werden, während die Produktivität der Fichte abnahm. Das Hauptproblem für die Fichte ist ihre erhöhte Anfälligkeit gegenüber externen Einflüssen unter Trockenbedingungen. Anhand von Simulationen konnte Lexer & Seidl (2007) die Veränderung wichtiger potentieller natürlicher Waldtypen unter einer Temperaturzunahme von +2°C und einer Verringerung des Sommerniederschlages von -15% in Österreich ermitteln. Hier zeigte sich, dass Buchen- und Eichenbestände langfristig zunehmen werden, siehe Abbildung 4.

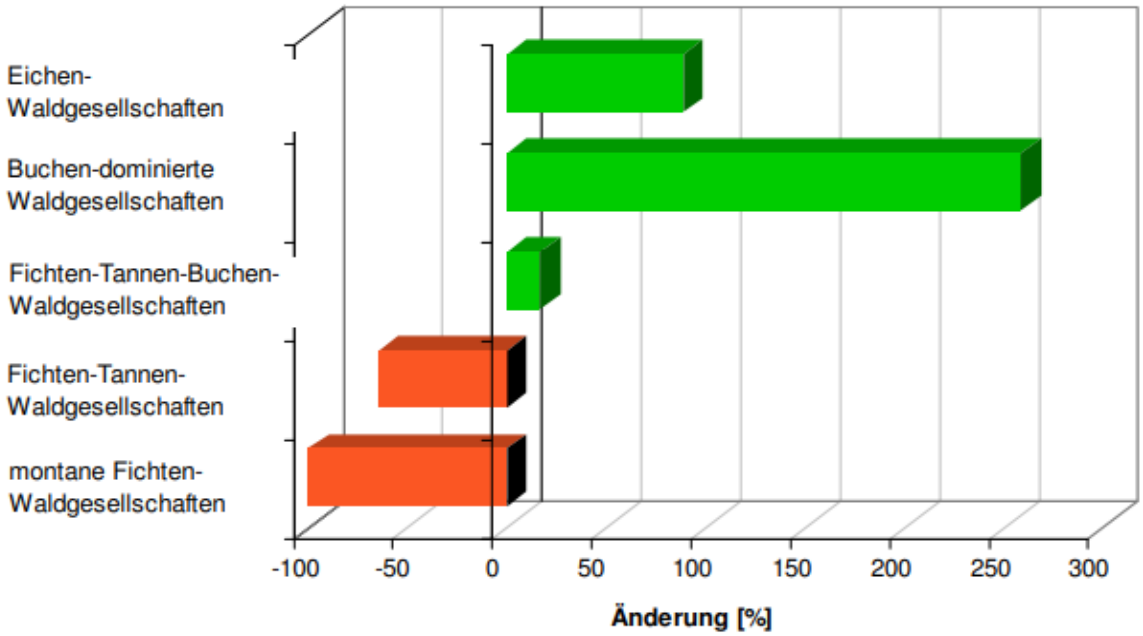

Abbildung 4: relative Veränderung natürlicher Waldtypen unter einem Klimaänderungsszenario (+2°C, -15% Sommerniederschlag)
Quelle: Lexer & Seidl, 2007

1.3 Durchforstungen und Pflegeeingriffe

Das Ziel menschlicher Eingriffe in den Bestand ist, die Stabilität des Bestandes zu erhöhen und die Vitalität der verbleibenden Bäume zu steigern. Dies ermöglicht eine bessere Resistenz gegenüber abiotischen und biotischen Gefahren. Mit regelmäßigen Durchforstungen kann eine höhere Einzelbaumstabilität, durch ein günstigeres Höhe-Durchmesser-Verhältnisses (HD-Verhältnis) erreicht werden. Dadurch verringert sich langfristig das Risiko von Windwürfen. Kurzfristige ist je nach Stärke des Eingriffes mit einem Anstieg der Anfälligkeit zu rechnen. Sehr starke Eingriffe führen zu einer kurzfristigen Erhöhung der Anfälligkeit. (Clasen & Knoke 2012) Durch Durchforstung kommt es zunächst zu einem Masseverlust und damit einhergehend zu einer Verringerung der Kohlenstoffspeicherkapazität. Dieser kann je nach Stärke des Eingriffs eine Verringerung des Bestandvorrat von 30% betragen. (Küsters, Utschig & Elke 2003), siehe Abbildung 5.

Bei Durchforstungen wird der Zuwachs auf weniger Individuen konzentriert, wodurch der Zuwachs des Einzelstammes steigt. Im gesamten Bestand nimmt der Biomassezuwachs kurzfristig ab. (Aoki 2008). Durch die Entnahme von Bäumen im Zuge einer Durchforstung nimmt der Konkurrenzdruck ab. (Vanomsen 2006). Eine Studie von Aoki aus dem Jahre 2008 befasste sich unter anderem mit dem Einfluss von Durchforstungen auf die Kohlenstoffspeicherung in den Wäldern Sibiriens. In Mischwäldern ergab sich bei einer langen Rotationslänge und einer 25% igen Durchforstung der höchste Kohlenstoffspeicher. Ein weiterer positiver Aspekt war ein effizienterer Wasserverbrauch in durchforsteten Beständen. (Ott 1966).

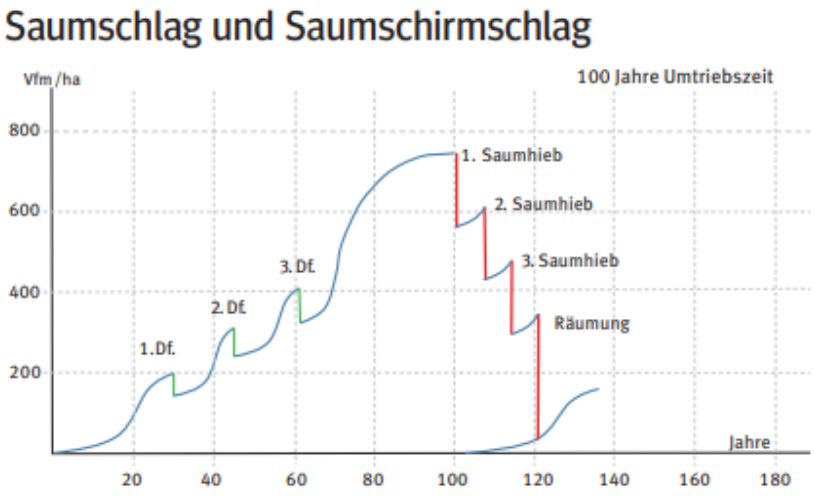

Abbildung 5: Vorratsentwicklung nach Durchforstungen und mehreren Saumschlägen
Quelle:https://ktn.lko.at/vorratsentwicklung-bei-verschiedenen-hiebsformen+2400+3973069 (abgerufen: 13.03.2023)

1.4 Außer-Nutzung-Stellung

Durch eine „Außer-Nutzung-Stellung“ der Wälder ergibt sich ein vorrübergehender Anstieg des Kohlenstoffspeichers, beginnend mit der Dickungsphase über die Schlusswaldphase bis zur Optimalphase. Nach der Optimalphase kommt es zu keinem nennenswerten Biomassezuwachs (Becker 2015), somit auch zu keiner weiteren Kohlenstoffspeicherung im System. Es stellt sich ein Gleichgewichtszustand zwischen Auf- und Abbauprozessen ein. (Köhl et al. 2017). Diese Gleichgewichtsphase erstreckt sich über die Plenterphase und Klimaxphase. Nach diesen Phasen setzt eine Zerfallsphase mit einem anschließenden Zusammenbruch ein, siehe Abbildung 6. (Becker 2015; Stolina & Zvolen 1969). In Wirtschaftswäldern werden die Bestände noch in der Optimalphase genutzt. (Becker 2015) Durch eine Bewirtschaftung mit anschließender Kaskadennutzung von Holzprodukten ergibt sich daher langfristig ein höherer Kohlenstoffspeicher. (Köhl et al. 2017).

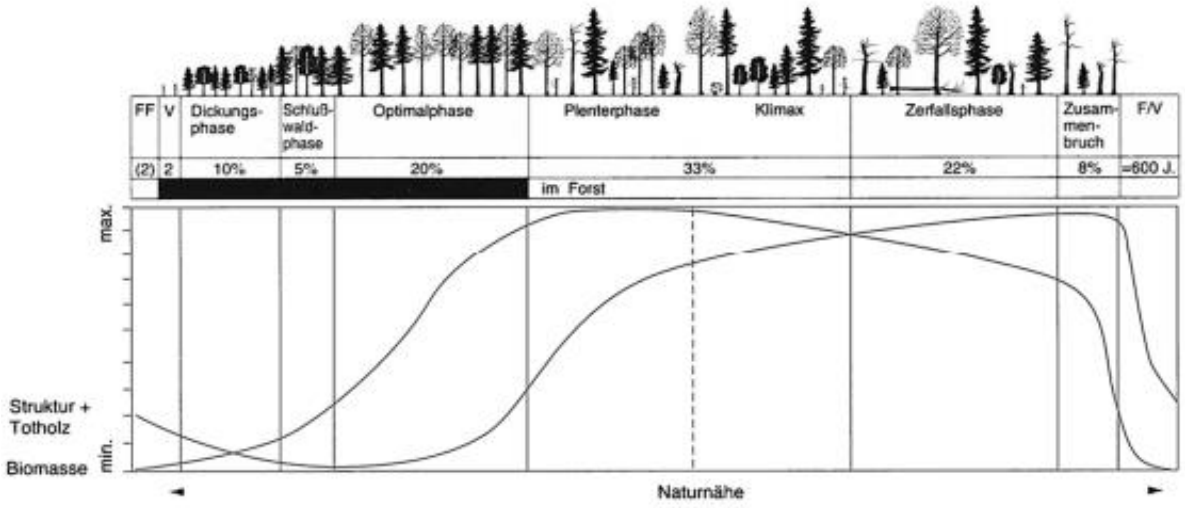

Abbildung 6: Biomasse und Totholzvorkommen in den einzelnen Bestandphasen der Waldentwicklung. Der Schwarze Balken kennzeichnet jene Zeitspanne einer forstlichen Umtriebszeit. Quelle: (Becker 2015)

1.5 Kohlenstoffspeicher im Totholz

Totholz erhöht die Biodiversität des Ökosystems (Chen et al. 2005) und dient zusätzlich als wichtiger Kohlenstoffspeicher. Beide Aspekte sind von zunehmender Bedeutung, gerade im Bezug auf den aktuellen Klimawandel und einer damit einhergehenden Verringerung der Biodiversität. (Klotz et al. 2023)

Der Anteil von Totholz in Beständen ist stark abhängig von vorhandenem Klima, Bestandesalter und der Zersetzungsgeschwindigkeit (Harmon & Chen 1991). Nach Brown (2002) ergibt sich ein Kohlenstoffspeicher von 10-20% des gesamten oberirdisch gespeicherten Kohlenstoffs im Totholz. Allgemein ergibt sich in Wirtschaftswäldern ein geringeres Totholzvorkommen als in Naturwäldern. (Klein et al. 2007) Die Totholzmasse nimmt mit Beginn der Plenterphase zu und erreicht sein Maximum am Ende der Zerfallsphase, siehe Abbildung 6. In Wirtschaftswäldern wird diese Phase nicht erreicht, da die Bestände bereits zuvor in der Optimalphase genutzt werden. (Becke 2015).

Um den Kohlenstoffgehalt, sowie die Bedeutung für die Biodiversität von Totholz genauer bestimmen zu können, ist eine Unterteilung in verschiedene Zerfallsklassen notwendig. Dabei ergibt sich in Naturwäldern eine gleichmäßige Verteilung von stark zersetztem und frischem Totholz. In Wirtschaftswäldern kommt es nach dem Einschlag und nach Durchforstungseingriffen zu einer starken Anreicherung von Totholz. (Klein et al. 2007)

1.6 Waldgebiet der Stadt Linz, Klima und natürliche Waldgesellschaft

Die Stadt Linz liegt in der gemäßigten Zone mit einer mittleren Seehöhe von 266 Hm. (www.stadtgeschichte.linz.gv.at). Die Waldfläche der Stadt Linz beträgt 518,3 ha und unterteilt sich in einen Wirtschaftswald mit 295,6 ha und einen Natura 2000 Schutzgebiet mit 222,7 ha. Der Wirtschaftswald erstreckt sich Großteils auf größere Waldflächen im Norden und im Süden der Stadt. Der Norden ist vereinzelt geprägt von steileren Hängen. Der höchste Punkt befindet sich auf dem Pipieterkogel mit einer Seehöhe von 567 Hm. Im Süden der Stadt sind die Waldgebiete flacher und erreichen eine Höhenlage von bis zu 337 Hm auf dem Schiltenberg. Die Natura 2000 Waldgebiete erstecken sich entlang der Donau und werden vorwiegend von Augebieten geprägt. Das Natura 2000 Waldgebiet befindet sich auf ungefähr 250 Hm. (www.topographic-map.com) Hier sind keine Bewirtschaftungseingriffe möglich.

Die mittlere Jahrestemperatur der Stadt Linz betrug im Jahr 2023 12,4°C und der Jahresniederschlag erreichte 883mm. (www.zamg.ac.at). Die Waldflächen der Stadt Linz befinden sich zwischen zwei Wuchsgebieten: dem Wuchsgebiet 9.1 (Mühlviertel) und dem Wuchsgebiet 7.2 (Nördliches Alpenvorland-Ostteil). Es ergibt sich eine kolline bis submontane Höhenstufe. Als natürliche Waldgesellschaften ergeben sich vorwiegend Stieleichen-Hainbuchenwälder, sowie in höheren Lagen Buchen-Tannenwälder. An nährstoffarmen Standorten kommt es zu einer natürlichen Verbreitung der Kiefer. Die Auwälder sind von der natürlichen Waldgesellschaft her mit Weiden, Grauerlen und Silberpappeln, sowie an selten überschwemmten Gebieten der Hartholz-Au mit Esche, Bergahorn und Stieleichen geprägt. (Kilian, Müller & Starlinger 1994)

2 Daten und Methodik

2.1 Felderhebungen

Um eine repräsentative Stichprobengröße zu erhalten, wurden 369 Erhebungspunkte angelegt, siehe Tabelle 1. Hierfür wurde ein Raster von 100x100 m über die Stadt Linz gelegt. Kam es zu einem Schnittpunkt eines Rasterpunktes mit einer Waldfläche der Stadt Linz, wurde dieser als Erhebungspunkt aufgenommen. Aufgrund der zu erwartenden geringeren Baumartenvariabilität und des mehrheitlich einheitlichen Alters von 70 Jahren, wurde im Natura 2000 Waldgebiet lediglich jeder zweite Schnittpunkt als Erhebungspunkt aufgenommen. In der nachstehenden Abbildung 7 sind die durchgeführten Erhebungspunkte abgebildet. Bei den roten Erhebungspunkten handelt es sich um jene im Wirtschaftswald. Die grünen Erhebungspunkte befinden sich im Natura 2000 Schutzgebiet. Die Felderhebungen wurden von der Firma „Synalp“ durchgeführt und die erhobenen Daten anschließend zur Auswertung zu Verfügung gestellt.

Die Ergebnisse der Kohlenstoffberechnungen wurden aufgrund der unterschiedlichen Bewirtschaftungsarten für den Wirtschaftswald und die Natura 2000 Schutzgebiete separat ausgewertet. Dies ermöglicht zusätzlich einen Vergleich zwischen bewirtschafteten und nicht bewirtschafteten Waldbeständen.

Markierung der Flächen

Für jede Fläche wurden 2-3 markante Bäume, in der Nähe des Probezentrums dauerhaft mittels Baummarkierungen gekennzeichnet. Zusätzlich wurden GPS-Koordinaten aufgenommen, wodurch es in Kombination mit den Baummarkierungen möglich ist, die Erhebungspunkte in Zukunft aufzusuchen und Folgeerhebungen durchzuführen.

Forststraßen und Besitzgrenzen

Erhebungspunkte, welche auf Forststraßen gelegen sind, wurden versetzt. Rückegassen wurden als Waldflächen gewertet und Erhebungspunkte daher nicht verlegt. An Besitzgrenzen wurde der Erhebungspunkt um 10 m nach Norden verschoben, sodass die Transsekte, zur Erhebung des Totholzes, sich innerhalb der Besitzgrenze befinden. Ist ein Verschieben nach Norden nicht möglich, wird im Uhrzeigersinn entlang der Himmelsrichtungen verschoben.

Tabelle 1: Anzahl der gesamten Erhebungspunkte in den jeweiligen Waldgebieten

	Wirtschaftswald	Natura 2000 Schutzgebiet	gesamtes Waldgebiet
Anzahl der Erhebungspunkte	237	132	369

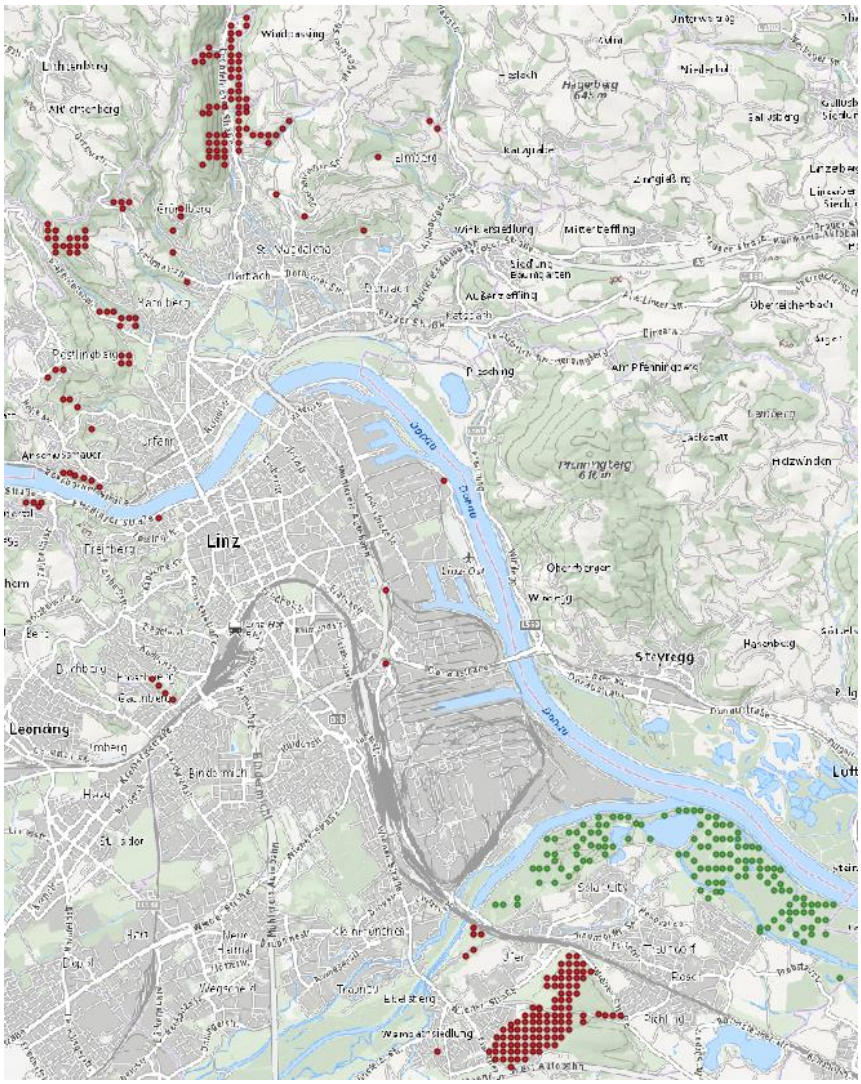

Abbildung 7: Kartendarstellung der Erhebungspunkte im Waldgebiet der Stadt Linz. Die roten Erhebungspunkte befinden sich im Wirtschaftswald. Die grünen Erhebungspunkte im Natura 2000 Schutzgebiet. Quelle: Eigendarstellung

Aufnahme ≥ 10 cm BHD

Um den Vorrat zu ermitteln, wurde eine Winkelzählmethode mit der Zählbreite (4) durchgeführt, siehe Abbildung 8. Aufgenommen wurden Bäume ≥ 10 cm BHD. Zusätzlich wurden die Baumarten und die Höhe des Zentralstammes erhoben. Die restlichen Baumhöhen wurden von der Firma „Synalp“ berechnet und die Daten zur Verfügung gestellt.

Aufnahme < 10 cm BHD

Mittels fixen Probekreises wurden Bäume < 10 cm BHD und einer Höhe von über 1,30 m aufgenommen. Dieser wurde an jedem fünften Erhebungspunkt durchgeführt. Der Radius des fixen Probekreises betrug 2,6 m, was einer Gesamtfläche von 21,24 m² entspricht, siehe Abbildung 8.

Gemessen wurden der BHD und die Höhe der erhobenen Bäume. Bei Sträuchern wurde nur der Einzelstamm aufgenommen, etwaige Äste wurden nicht aufgenommen. Zusätzlich wurde die Baumart bestimmt.

Mit einem BHD von < 5 cm wurde jede Baumart gezählt. Für die Berechnungen wurde anschließend ein mittlerer BHD von 2,495 cm herangezogen. Die Höhe wurde für jede Baumartenklasse einmal mit Hilfe des Zentralstammes gemessen. Bei Bäumen zwischen 5 und ≤ 10 cm wurden der BHD und die Höhe jedes Baumes einzeln gemessen.

2.2 Bestanddaten

Formzahl

Die Formzahl wird zur genaueren Volumenberechnung benötigt. Zur Ermittlung der Formzahl ≥10,4 cm BHD wird der Kronenansatz, sowie der Durchmesser in 30% der Baumhöhe benötigt. Diese wurden jedoch nicht erhoben. Aus diesem Grund wurde auf eine Formzahlformel zurückgegriffen, welche eigentlich für Bäume <10,4 cm BHD vorgesehen ist. Hier wird der BHD und die Baumhöhe benötigt. Die Formzahl für Bäume mit einem BHD ≥10 cm wurde mittels der Formel 1 ermittelt. Nicht vorhandene Koeffizienten für Nadelholzarten wurden mit jenen der Fichte ermittelt. Beim Laubholz wurden nicht vorhandene Koeffizienten mit jenen der Buche berechnet. Für Bäume <10 cm BHD, welche anhand des fixen Probekreises erhoben wurden, wurde eine Formzahl von 0,5 angenommen.

$$FF = c1 + c2 + ln^2(BHD) + \frac{c3}{h} + \frac{c4}{BHD} + \frac{c5}{BHDh^2} + \frac{c6}{BHD/h} + \frac{c7}{BHDh^2/h} \quad (1)$$

Dabei gilt: FF… Formzahl, BHD …Brusthöhendurchmesser [cm], h… Baumhöhe [m], Koeffizienten c0,c1,c2,c3,c4,c5,c6… wurden aus der Tabelle entnommen nach (Neumann et al., 2015, Schieler, 1988). Formel nach (Pollanschütz,1974)

Basale Grundfläche

Die basale Grundfläche gibt die durchschnittliche horizontale Grundfläche an, welche ein Baumstamm in 1,3 m Baumhöhe einnimmt. Zur Berechnung wird der Brusthöhendurchmesser benötigt. Für Bäume <10 cm und ≥10 cm BHD wurde Formel 2 herangezogen.

$$BA = (\frac{BHD}{100})^2 * \frac{\pi}{4} \quad (2)$$

Dabei gilt: BA…Basalbereich [m²], BHD…Brusthöhendurchmesser [m]

Repräsentierte Stammzahl

Diese gibt die repräsentierte Anzahl von Bäumen in der Winkelzählmethode an und wird zur Kohlenstoffberechnung der Bäume ≥ 10 cm BHD benötigt, siehe Formel 3.

$$n_{rep} = \frac{k}{BA} \quad (3)$$

Dabei gilt: n_{rep}… repräsentierte Stammzahl [ha^{-1}], BA… Basale Grundfläche [m²], k… Zählbreite der Winkelzählprobe (=4)

2.3 Kohlenstoff

2.3.1 Lebende Bäume

Stammvolumen

Das Stammvolumen, sowie die Biomasse wurde für die Bäume ≥10 cm BHD und <10 cm BHD gleich berechnet. Das Stammvolumen umfasst ausschließlich oberirdische Teile und setzt sich aus dem Stamm einschließlich der Rinde, dem Schaft und der Krone zusammen. Äste werden nicht berücksichtigt. Das Baumvolumen ermittelt sich aus der gemessenen Baumhöhe, sowie dem berechneten Basalbereich und dem Formfaktor, siehe Formel 4. Anschließend wurde die trockene Biomasse aus dem Volumen berechnet, siehe Formel 5. Aufgrund nicht vorhandener Koeffizienten in der Literatur wurden die Baumarten Walnuss, sowie sonstige Laubhölzer und sonstiges Weichholz mit den Koeffizienten der Buche berechnet. Für den Holunder wurden die Koeffizienten der Linde herangezogen.

$$V = FF * BA * h \quad (4)$$

Dabei gilt: V…Baumvolumen [m³], FF…Formzahl, h…Höhe [m]

$$dsm = V * wd * \frac{(100 - sf)}{100} \quad (5)$$

Dabei gilt: dsm …Stammbiomasse [kg], V… Stammvolumen [m^3], Koeffizienten wd [kg/m³], sf… wurden aus der Tabelle entnommen nach (Neumann et al. 2015, Wagenführer &Scheiber 1985.)

Trocken Ast Biomasse für Bäume ≥ 10 cm BHD

Die trockene Astbiomasse gibt die Biomasse in den Ästen an. Da die Kronenlänge nicht aufgenommen wurde, ist auf die Formel 6 nach Ledermann & Neumann 2006 zurückgegriffen worden. Diese benötigt die Baumhöhe, sowie den Brusthöhendurchmesser. Zur Berechnung wurden bei den Baumarten Lärche und Douglasie aufgrund nicht vorhandener Koeffizienten auf jene der Fichte zurückgegriffen. Die trockene Astbiomasse bei Laubhölzern wurde bis auf Eiche und Hainbuche mit den Koeffizienten der Buche ermittelt. Für Kiefern wurde auf die Formel 7 nach Hochbichler et al. 2006 zurückgegriffen.

$$dbm = l2 * e^{(b20+b21*\ln(BHD)+b22*\frac{h}{BHD})} \quad (6)$$

Dabei gilt: dbm …Trockene Astbiomasse [kg], BHD… Brusthöhendurchmesser [cm], h.. Baumhöhe [m], Koeffizienten l2,b20,b21,b22…wurden aus der Tabelle entnommen nach (Ledermann & Neumann 2006)

$$dbm = 1{,}0417 * e^{(-3{,}29559+2{,}16843*\ln(BHD)-0{,}14726*\ln(h)} \quad (7)$$

Dabei gilt: dbm …Trockene Astbiomasse [kg], BHD… Brusthöhendurchmesser [cm], h.. Baumhöhe [m], (Hochbichler et al. 2006))

Trockene Laub Biomasse für Bäume ≥ 10 cm BHD

Die trockene Laubbiomasse wurde für die Kiefer nach der Gleichung von Hochpichler et al. (2006) berechnet, siehe Formel 8. Für andere Baumarten wurde die trockene Laubbiomasse mit Hilfe der Funktion nach Burger (1947, 1949), modifiziert nach Lexer und Hönninger (2001) ermittelt, siehe Formel 9. Die Baumart Holunder wurde anhand der Koeffizienten der Linde berechnet. Für die Baumarten Walnuss, sonstiges Laubholz und sonstiges Weichholz wurden die Koeffizienten der Buche verwendet.

$$dfm = 1.0417 * e^{(-3.8876+1.5904*\ln(BHD)-0..2348*\ln(h))} \quad (8)$$

Dabei gilt für Kiefer: dfm… trockene Laubbiomasse [kg], BHD… Brusthöhendurchmesser [cm], h.. Baumhöhe [m]

$$dfm = a * BHD^b \quad (9)$$

Dabei gilt: dfm… trockene Laubbiomasse [kg], BHD… Brusthöhendurchmesser [cm], Koeffizienten a und b wurden aus Tabelle entnommen nach (Burger 1947,1949; modified by Lexer & Hönninger 2001)

Trockene Wurzelbiomasse für Bäume ≥ 10 cm BHD

Die trockene Wurzelbiomasse für die Kiefer wurde nach der Gleichung von Offenthaler & Hochbichler (2006) ermittelt, siehe Formel 10. Für alle anderen Baumarten wurde die Gleichung von Wirth et al. (2004), Bolte et al. (2004) und Offenthaler & Hochbichler (2006) herangezogen, siehe Formel 11. Die trockene Wurzelbiomasse von Tanne, Lärche und Douglasie wurde mit den Koeffizienten der Fichte berechnet. Beim Laubholz wurden, bis auf Eiche und Hainbuche, die Koeffizienten der Buche herangezogen.

$$drm = 0.038872 * BHD^{2.066783} \quad (10)$$

Dabei gilt für Kiefer: drm… trockene Wurzelbiomasse [kg], BHD… Brusthöhendurchmesser [cm]

$$drm = cf * e^{(a+b*\ln(BHD)+c*ln^2(BHD)+d*\ln(A))} \quad (11)$$

Dabei gilt: drm… trockene Wurzelbiomasse [kg], BHD…Brusthöhendurchmesser [cm], A…Alter in Jahren, Koeffizienten cf, a, b, c nach Tabelle 2

Tabelle 2: Koeffizienten nach zu Berechnung der Wurzelbiomasse nach (Wirth et al. 2004; Bolte et al. 2004; Offenthaler & Hochbichler 2006)

Species	**a**	**b**	**c**	**d**	**cf**
Picea abies, other conifers (non-Pines)	-8.3505	4.5683	-0.3301	0.2807	1.0406
Fagus sylvatica, Betula pendula, other broadleaf trees	-4.0000	2.3200	0	0	1.0800
Carpinus sp.	-3.8482	2.4879	0	0	1.0517
Quercus sp.	-3.9748	2.5232	0	0	1.0505

Kohlenstoffkalkulation

Anschließend wurden die einzelnen ermittelten Biomassen addiert und mit dem Kohlenstoffanteil multipliziert. Der Kohlenstoffanteil ist für Picea abies, Pinus sylvestris, Fagus sylvatica, Quercus robur, and Betula pendula mit 0,5 definiert. (Neumann et al. 2016). In dieser Arbeit wurde der Kohlenstoffgehalt für alle Baumarten mit 0,5 angenommen. Zur Berechnung der Kohlenstoffmasse im lebenden Baum wurde die trockene Stammbiomasse, Astbiomasse, Laubbiomasse und Wurzelbiomasse herangezogen, siehe Formel 12. (Neumann et al. 2016) Für Bäume <10 cm BHD wurde die Kohlenstoffmasse mit Hilfe der Stammbiomasse (dsm) und unter der Annahme eines Kohlenstoffgehaltes von 0,5 berechnet.

$$C_{tree,lebend} = CC * (dsm + dbm + dfm + drm) \quad (12)$$

Dabei gilt:$C_{tree,\ lebend}$… Kohlenstoffgehalt pro lebenden Baum [kg], CC…Kohlenstoffanteil [%], dsm… trockene Stammbiomasse [kg], dbm… trockene Astbiomasse [kg], dfm… trockene Laubbiomasse [kg], drm… trockene Wurzelbiomasse [kg]

Auf die Bestandesebene hochrechnen

Um den ermittelten Kohlenstoff pro Baum anschließend auf die Fläche hochzurechnen, wird für Bäume ≥10 cm BHD die Anzahl der repräsentierten Bäume pro Hektar benötigt, siehe Formel 3. Diese wird mit dem Kohlenstoffgehalt des Einzelbaumes multipliziert, siehe Formel 13.

$$C = C_{tree} * n_{rep} \quad (13)$$

Dabei gilt: C… Kohlenstoffgehalt pro Hektar [kg/ha], C_{tree}… Einzelbaum Kohlenstoffgehalt [kg], n_{rep}… Anzahl der repräsentierten Bäume pro Hektar [ha-1]

2.3.2 Totholz

Stehendes Totholz

Zur Bestimmung des stehenden Totholzes wurde auf die Erhebungen der toten Bäume ≥10 cm BHD zurückgegriffen. Anschließend wurden das Stammvolumen und die Stammbiomasse, wie in den Formeln 4 und 5 beschrieben, ermittelt. Als Formzahl wurde 0,5 angenommen. Zusätzlich wurde die Wurzelbiomasse mit den Formeln 10 und 11 berechnet. Anhand der trockenen Stammbiomasse und der trockenen Wurzelbiomasse wurde unter Annahme eines Kohlenstoffanteils von 50% der gespeicherte Kohlenstoff ermittelt, siehe Formel 13.

$$C_{tree,tot} = CC * (dsm + drm) \tag{14}$$

Dabei gilt: $C_{tree,tot}$… Kohlenstoffgehalt pro toten Baum [kg], CC…Kohlenstoffanteil [%], dsm… trockene Stammbiomasse [kg], drm… trockene Wurzelbiomasse [kg]

Liegendes Totholz

Um den im liegenden Totholz gespeicherten Kohlenstoff zu ermitteln, wurde das liegende Totholz an jedem fünften Erhebungspunkt aufgenommen. Hierbei wurde je ein Transsekt in Nord- und ein Transsekt in Ost-Richtung verlegt, siehe Abbildung 8. Diese zwei Transsekte wiesen eine horizontale Länge von je sieben m auf, was einer horizontalen Gesamtlänge der Transsekte von 14 m entspricht. Anschließend wurden alle Totholzstücke mit einem Durchmesser >2 cm gemessen. Der Durchmesser wurde jeweils am Schnittpunkt quer zur Mittellinie gemessen. Tothölzer mit einem Durchmesser von 2 - 4,99 cm wurden gezählt und mit einem mittleren Durchmesser von 1,495 cm erhoben. Tothölzer mit einem Durchmesser von >4,99 cm wurden einzeln gemessen und ausgewertet. Zusätzlich wurde zwischen Laubholz und Nadelholz unterschieden und das erhobene Totholz in fünf Zersetzungsklassen eingeteilt (Mathias Neumann et al. 2023).

Das Volumen wurde für jede Zersetzungsklasse nach Laub- und Nadelholz, mittels Formel 15, ermittelt. Anschließend wurde die Biomasse für jede der fünf Zersetzungsklassen bestimmt. Die Dichte der einzelne Zerfallsklassen wurden der Studie von Mathias Neumann et al (2023) entnommen, siehe Tabelle 3. Der Kohlenstoffgehalt an der Biomasse wurde mit 50 % angenommen.

$$V = \frac{\pi^2}{8*T} * d^2 \tag{15}$$

Dabei gilt: V…Totholzvolumen [m³], T… Transsektlänge[m], d… Totholzdurchmesser [m], (Preisinger 2022)

Tabelle 3: Beschreibung und Dichte der Zersetzungsklassen nach dem Zersetzungsgrad des Totholzes nach Nadel- und Laubholz. (Mathias Neumann et al 2023)

Zersetzungsgrad	Beschreibung	Nadelholz Totholz Dichte [kg/m³]	Laubholz Totholz Dichte [kg/m³]
1	frisch tot, Messer dringt nicht in Holz ein	511,0	481,8
2	Messer dringt wenige mm parallel zur Faser ein, aber nicht quer zur Faser	475,6	423,5
3	Messer dringt leicht parallel zur Faser bis 1 cm in das Holz ein, aber nur wenige mm quer zur Faser	342,9	453,9
4	Messer durchdringt mehrere Zentimeter unabhängig von der Richtung	339,0	363,7
5	Messer dringt vollständig ein, fehlende Rinde, pulvriger Zerfall erkennbar	283,6	238,0

Totholz Stöcke

Als Stöcke zählt das stehende Totholz unter einer Höhe von 1,30m. Diese wurden im Zuge der Totholzaufnahme ebenfalls erhoben. Hierbei wurde eine fixe Probefläche erhoben, welche sich jeweils 1 m nach links und rechts des Linientranssektes erstreckt. Um eine Doppelzählung von Stöcken zu verhindern, wurden diese erst ab einer Entfernung von einem Meter vom Erhebungspunkt aufgenommen. Dies entspricht einer Gesamtfläche von 24 m² welche erhoben wurde. Es wurden alle Stämme erhoben, wenn sich das Zentrum des Stockes innerhalb der erhobenen Fläche befand, siehe Abbildung 8. Von den erhobenen Stöcken wurden Durchmesser und Stockhöhe aufgenommen. Zur genauen Bestimmung der Biomasse wurden die erhobenen Stöcke ebenfalls in fünf Zersetzungsklassen unterteilt. Anschließend konnte anhand der Dichte die Biomasse ermittelt werden, siehe Tabelle 3. Der Kohlenstoffanteil wurde mit 50% der Biomasse angenommen.

Das Volumen pro ha (10000 m²) wurde mittels Formel 16 ermittelt.

$$V = \frac{R}{p} * \left(\frac{\frac{d}{2}}{100}\right)^2 * \pi * \frac{h}{100} \qquad (16)$$

Dabei gilt: V…Stockvolumen [m³], R…Referenzfläche [m²], p…Probefläche [m²], d… Totholzdurchmesser [m], h…Stockhöhe [m]

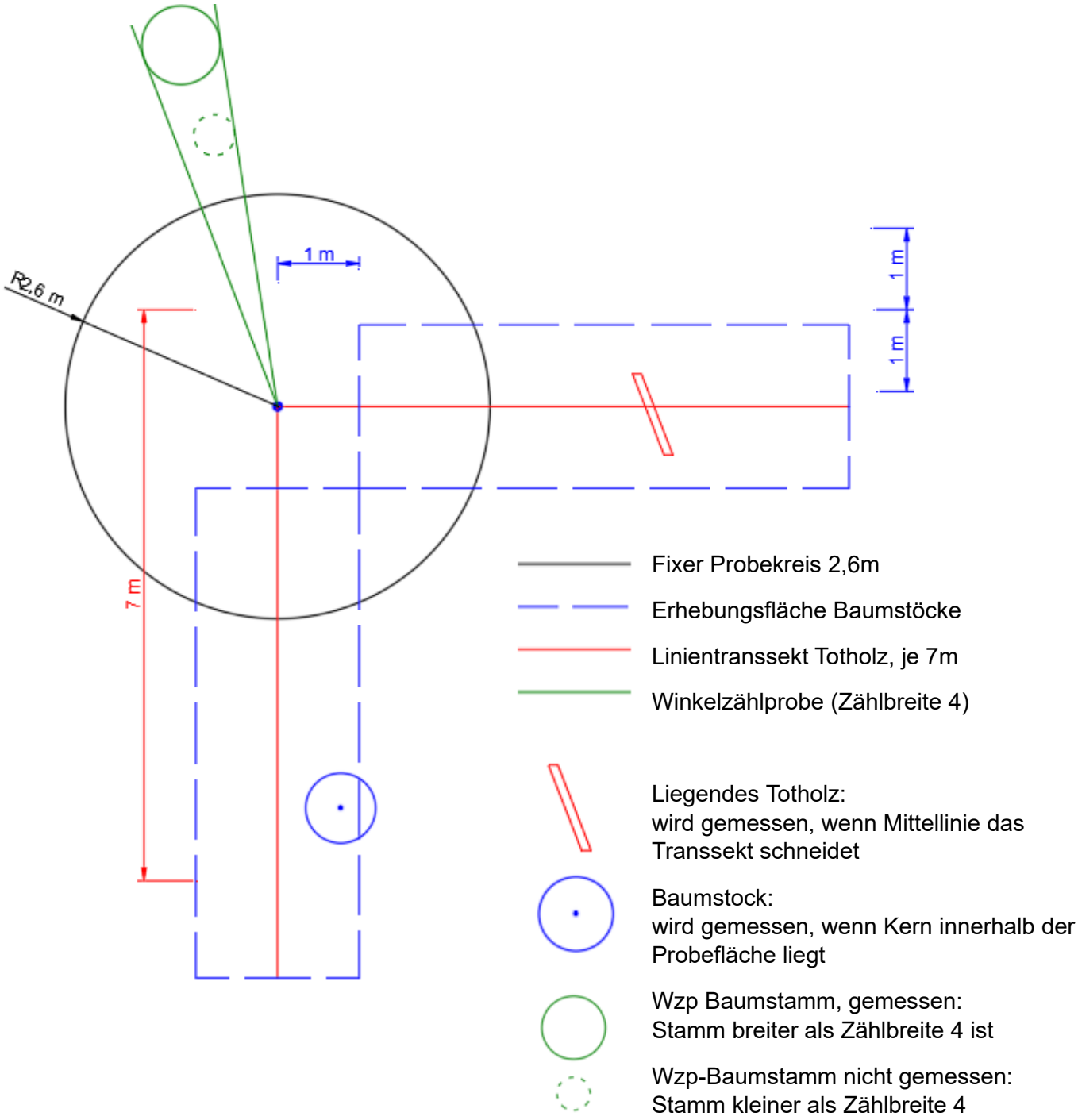

Abbildung 8: Graphische Darstellung des fixen Probekreises (schwarz), der Erhebungsfläche für Baumstöcke (blau), der Totholztranssekte zur Erhebung des liegenden Totholzes (rot) und der Winkelzählprobe (grün) an einem Erhebungspunkt. Quelle: Eigendarstellung

2.3.3 Mineralboden und organischer Boden

Der Kohlenstoffspeicher im Mineralboden wurde nicht erhoben. Um trotzdem Näherungswerte zu erhalten, wurde der Bodenkohlenstoff anhand der Literatur geschätzt. (Mutsch et al. 2006/07)

Um den Kohlenstoff im organischen Boden zu bestimmen, wurde an allen fünf Erhebungspunkten zusätzlich Proben der Auflage entnommen. Diese wurden jeweils am Ende der Totholztranssekte, sowie in der Nähe des Zentrums durchgeführt. Die Grundfläche der drei einzelnen erhobenen Bodenproben hatten eine Maße von 25x25 cm, was einer Gesamtfläche für jeden Erhebungspunkt von 0,1875 m² entspricht. Anschließend wurden die Bodenproben im Darrschrank bei 103 °C für 48 h getrocknet und das trockene Gesamtgewicht gemessen. Um genaue Aussagen über die Kohlenstoffspeicherkapazität zu erhalten wurden die Bodenproben in fünf Klassen unterteilt (siehe Tabelle 4 und 5) und danach jede Klasse erneut separat gewogen. Im Anschluss wurden 38 der 91 erhobenen Bodenproben unter Zuhilfenahme einer Mühle zermahlen und anhand einer C/N-Analyse ausgewertet. Zur Berechnung der Kohlenstoffspeicherkapazität des Bodens wurde der mittlere Kohlenstoffanteil jeder Klasse herangezogen.

$$Organischer\ Boden = \frac{m_{trocken}}{1000} * A \qquad (17)$$

Dabei gilt: Organischer Boden [T/ha], $m_{trocken}$…Trockengewicht [kg], A…Erhobene Gesamtfläche (0,1875) [m²]

Tabelle 4: Klassifizierung der Streu / organischem Boden

Klasse	Beschreibung	Anzahl / Erhebungen [n]	Mittlerer Kohlenstoffgehalt [%]
1	Feines Material <4mm	91	17,87
2	Mineralische Steine	69	0,00
3	Bewuchs, lebende Auflage	65	39,51
4	Grobes Material ≥4mm	91	38,66
5	Äste <6mm	91	50,89
6	Äste ≥6mm bis <20mm	90	52,09

Tabelle 5: Darstellung der Klassifizierung der Streu / organischem Boden.
Quelle: Eigendarstellung

Klasse: 1	Klasse: 2	Klasse: 3
Klasse: 4	**Klasse: 5**	**Klasse: 6**

C/N-Analyse

Zur Bestimmung des Kohlenstoffgehaltes und des C/N - Verhältnisses wurde eine C/N-Analyse unter Zuhilfenahme des Analysegerät „TRUSPEC CN“ der Firma „LECO“ durchgeführt. Ausgewertet wurden 38 Bodenerhebungspunkte. Es wurden die Bodenklassen 1,3, 4, 5 und 6 analysiert. Die Bodenklasse 2, welche aus mineralischem Material besteht, wurde nicht ausgewertet. Der Kohlenstoffgehalt dieser Klasse wurde mit null angenommen. Die analysierten Bodenproben wurden unter Zuhilfenahme des „TissueLyser II“ der Firma „QIAGEN“ fein zermahlen und zwischen 1 und 2 g jeder Bodenprobe eingewogen. Diese wurden anschließend ausgewertet.

Der Analyseprozess erfolgt in drei Phasen. In der ersten Phase werden alle atmosphärischen Gase, die das Analyseergebnis beeinflussen entfernt. In der zweiten Phase werden die Bodenproben bei 950 °C unter Zugabe von Sauerstoff verbrannt und im gasförmigen Zustand in die Phase 3 überführt. In dieser wird der C- und N-Gehalt ermittelt und in Prozent der Ausgangsmasse angegeben. Um die Kohlenstoffspeicherung zu erhalten, wurde von jeder erhobenen und ausgewerteten Klasse ein Mittelwert der Ergebnisse gebildet und mit dem Trockengewicht der Bodenproben multipliziert, siehe Formel 18.

$$C_{Streu} = m_{Bodenklasse} * CC \tag{18}$$

Dabei gilt: C_{streu} ist der Kohlenstoffgehalt der Streu, [tC/ha], $m_{Bodenklasse}$ ist die Masse der jeweiligen Bodenklasse [t/ha], CC ist der ermittelte Kohlenstoffanteil der jeweiligen Klasse [%]

2.4 Managementkonzept

2.4.1 Bestandesbeschreibung

Um ein Managementkonzept zur Bewirtschaftung erstellen zu können wurde zunächst die Baumartenmischung herangezogen. Diese erfolgte unter Zuhilfenahme des Programmes „R“ für Bäume ≥ 10 cm BHD und Bäume < 10 cm BHD. Anschließend wurde die Baumartenzusammensetzung der zwei häufigsten Baumarten in einem Bestand ermittelt. Bestände, welche einen Baumartenanteil von ≥ 80 % einer Baumart aufwiesen wurden als „Reinbestand“ klassifiziert, Bestände mit einem Anteil einer Baumart von > 0 - 80 % wurden als „Mischbestand“ ausgeschieden. Konnte kein Bewuchs ≥ 10 cm BHD erhoben werden, wurde die Fläche als „Unbestockte Fläche“ klassifiziert. Im Anschluss wurden für die ausgeschiedenen Bestände die mittlere Höhe, der mittlere BHD, das vorhandene Höhe-Durchmesserverhältnis (HD-Verhältnis), sowie die Stammzahl und die Kohlenstoffspeicherkapazität für die einzelnen Altersklassen bestimmt. Die Altersklasseneinteilung erfolgte gemäß Tabelle 6. Einzelne Standortsbedingungen wurden nicht berücksichtigt. Anhand dieser Bestandesgrößen wurde, unter Verwendung der Literatur, ein Managementkonzept erstellt.

Tabelle 6: Einteilung der Altersklassen

Altersklasse	Alter [Jahre]
0	Blöße
1	1-20
2	21-40
3	41-60
4	61-80
5	81-100
6	101-120
7	121-140

Stammzahl

Zur besseren Interpretation der Ergebnisse wurde die Stammzahl berechnet. Für Bäume ≥ 10 cm wurde die Formel 21 herangezogen. Zur Berechnung der Stammzahl für Bäume < 10 cm BHD wird die Einschlusswahrscheinlichkeit auf 1 ha (10 000m²) benötigt, siehe Formel 19. Diese gibt an, wie viele Bäume sich auf 1 ha befinden. Für Bäume < 10 cm BHD wird Formel 20 verwendet.

$$EWS = \frac{F}{10000} \tag{19}$$

Dabei gilt: EWS…Einschlusswahrscheinlichkeit pro ha, der Probefläche „F" [m²]

$$N_{<10cm\ BHD} = \frac{1}{EWS} \tag{20}$$

Dabei gilt: N… Stammzahl [ha^-1]

$$N_{\geq 10cm\ BHD} = \frac{k}{BA} \tag{21}$$

Dabei gilt: Zählbreite der Winkelzählprobe „k“ (=4), BA...Grundfläche

2.4.2 Zielbaumarten

Das Ziel ist es, stabile Mischbestände zu etablieren, welche als langfristiger Kohlenstoffspeicher dienen können. Zur Beurteilung der zukünftigen Baumarten wurde zunächst die potentielle natürliche Waldgesellschaft betrachtet. Aufgrund des Klimawandels wurde auch eine gewisse Resistenz gegenüber Trockenheit als Kriterium herangezogen. Die Zielbaumarten wurden anschließend unter Zuhilfenahme der Literatur bestimmt.

Wenn möglich ist auf eine Naturverjüngung der bereits etablierten Baumarten aufzubauen, sofern diese den Anforderungen entsprechen. Anderenfalls sind künstliche Verjüngungsmaßnahmen vorgesehen, um die gewünschten Zielbaumarten zu etablieren.

2.4.3 Maßnahmen

Für Altersklassen, welche viermal oder häufiger erhoben wurden, konnten separate Maßnahmenempfehlungen anhand von Literatur und persönlichen Einschätzungen erstellt werden. Für Altersklassen welche seltener erhoben wurden, ist aufgrund der geringen Aussagekraft der Aufnahmen keine separate Auswertung möglich.

3 Ergebnisse

3.1 Kohlenstoff

3.1.1 Gesamter Kohlenstoffspeicher

Im gesamten Linzer Waldgebiet konnte eine Kohlenstoffspeicherkapazität von 102.353 Tonnen ermittelt werden. Dies entspricht einem CO2 Equivalent von 375 293 Tonnen, siehe Tabelle 7. Im Wirtschaftswald werden 204,13 tC/ha auf einer Fläche von 295,6 ha gespeichert. Auf den Waldflächen des Natura 2000 Gebietes ergab sich ein leicht geringerer Kohlenstoffspeicher mit 188,55 tC/ha, siehe Tabelle 7.

Der größte Kohlenstoffspeicher ergibt sich im Boden sowohl im Wirtschaftswald mit 50,52 %, als auch im Natura 2000 Schutzgebiet mit 53,29 %. Der Bodenkohlenstoffspeicher setzt sich aus der ermittelten Auflage sowie Werten aus der Literatur für den Mineralboden zusammen.

Große Unterschiede ergaben sich bei den lebenden Bäumen, sowie dem Totholz. Die lebenden Bäume setzten sich aus Bäumen < 10 cm BHD und ≥ 10 cm BHD zusammen. Hier ergibt sich im Wirtschaftswald eine Speicherkapazität von 94,87 tC/ha, im Vergleich zu 73,75 tC/ha im Natura 2000 Schutzgebiet, siehe Tabelle 7.

Das Totholz setzt sich aus dem liegenden Totholz, stehendem Totholz und Stöcken zusammen. Der Anteil von im Totholz gespeichertem Kohlenstoff am gesamten Kohlenstoffspeicher ist im Natura 2000 Schutzgebiet mit 7,62 % anteilsmäßig bedeutender als im Wirtschaftswald mit einem Anteil von lediglich 3,13 %, siehe Abbildung 9.

Tabelle 7. Ergebnisse der Kohlenstoffberechnungen für lebende Bäume, Totholz und den Boden. Den gespeicherten Kohlenstoff in tC, sowie deren CO_2 eq.

	tC/ha		**tC**	**tCO_2 eq.**
	Wirtschaftswald	**Natura 2000**	**Wirtschaftswald**	**gesamtes Waldgebiet**
Lebende Bäume	94,87	73,75	44 468	163 048
Totholz	6,39	14,37	5 089	18 658
Mineralboden und Auflage	101,97	100,43	52 796	193 587
Gesamt	204,13	188,55	102 353	375 293

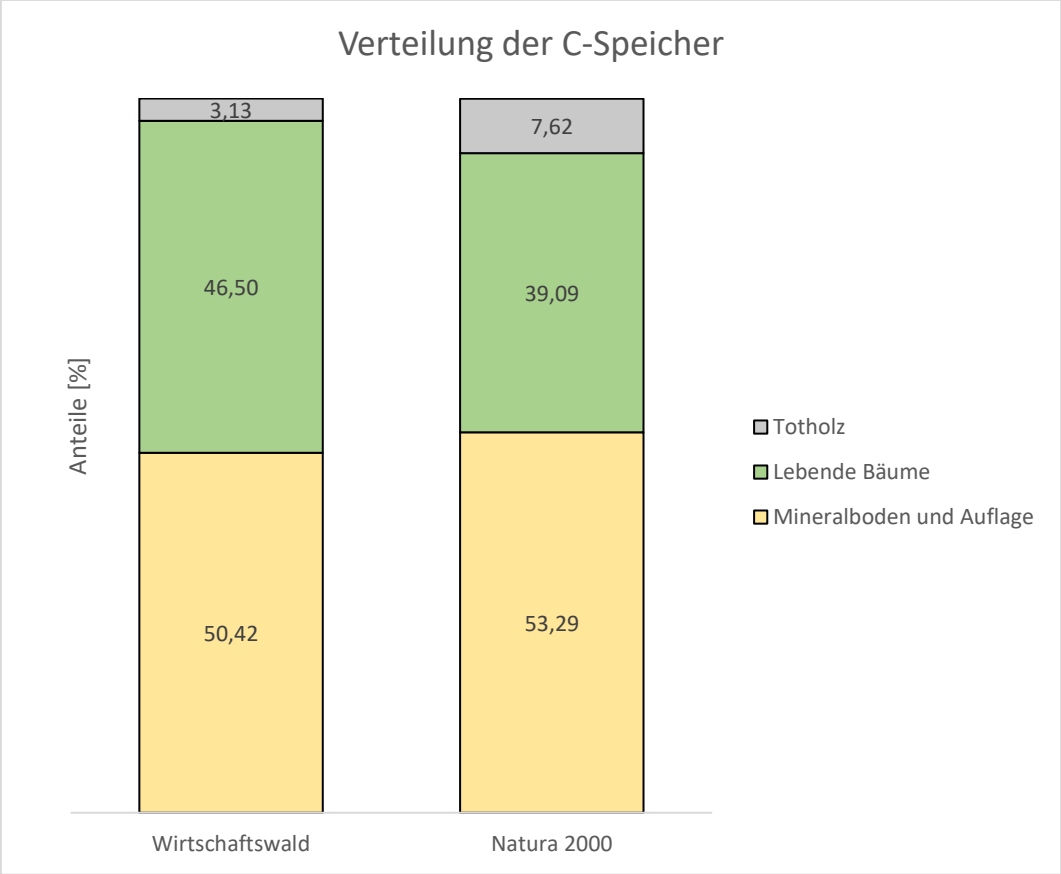

Abbildung 9: Verteilung des Kohlenstoffspeichers für die Klassen: „Totholz“, „lebende Bäume“ und „Mineralboden und Auflage“

Verteilung des Kohlenstoffes im lebenden Baum ≥ 10 cm BHD

Betrachtet man die Verteilung des Kohlenstoffspeichers in den lebenden Bäumen ≥ 10 cm BHD ergibt sich im Wirtschaftswald und Natura 2000 Schutzgebiet der größte Kohlenstoffspeicher im Stamm. Der geringste Speicher ergibt sich in den Blättern und Nadeln mit um die 0,50 % des Gesamtkohlenstoffspeichers. Die Äste machen im Natura 2000 Schutzgebiet mit 32,06% einen höheren Anteil aus als im Wirtschaftswald mit 15,78 %, siehe Abbildung 10.

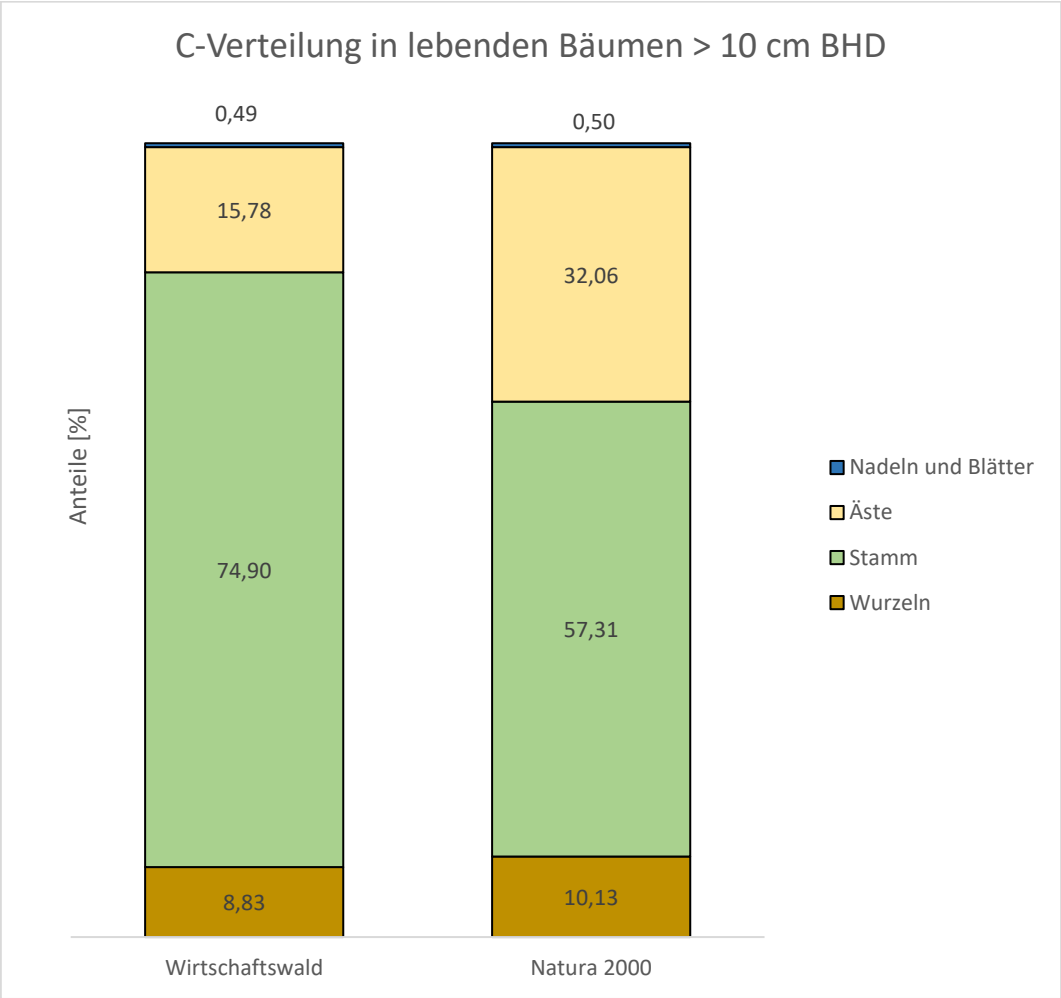

Abbildung 10: C-Verteilung in lebenden Bäumen ≥ 10 cm BHD

3.1.2 Lebende Bäume

Im lebenden Material ergab sich im Wirtschaftswald ein höherer Kohlenstoffspeicher als im Natura 2000 Schutzgebiet. Die Kohlenstoffspeicherung in Bäumen ≥ 10 cm BHD im Wirtschaftswald sind mit einem mittleren Kohlenstoffvorrat von 94,26 tC/ha höher als jene im Natura 2000 Schutzgebiet mit 72,15 tC/ha. Der größte Kohlenstoffvorrat ergibt sich in Bäumen ≥ 10 cm BHD. Betrachtet man die Verteilung des Kohlenstoffspeichers zwischen Bäume ≥ 10 cm BHD und Bäumen <10cm BHD, ergibt sich ein Anteil von 99,36 % für Bäumen ≥ 10 cm BHD im Wirtschaftswald und 98,63 % im Natura 2000 Schutzgebiet. Bäume < 10 cm BHD machen sowohl im Wirtschaftswald als auch im Natura 2000 Schutzgebiet nur einen geringen Anteil des gespeicherten Kohlenstoffes aus, siehe Tabelle 8. Die Verteilung des Kohlenstoffspeichers in den Bäumen ≥ 10 cm BHD nimmt mit zunehmendem Alter zu, bis es im hohen Alter zu einer Abnahme kommt, siehe Abbildung 11 und 12 für die jeweiligen Waldgebiete. Hier zeigt sich auch die Schwankung der Kohlenstoffvorräte an den einzelnen Erhebungspunkten.

Tabelle 8: Ergebnisse der Kohlenstoffberechnung für lebende Bäume mit einem BHD ≥ 10 cm und < 10 cm.

	Wirtschaftswald			**Natura 2000**		
	Mean C [t/ha]	**Sd [t/ha]**	**Anteil [%]**	**Mean C [t/ha]**	**Sd [t/ha]**	**Anteil [%]**
Bäume ≥10cm BHD	94,26	79,49	99,36	72,15	63,88	98,63
Bäume <10 cm BHD	0,61	1,21	0,64	1,6	1,45	2,16

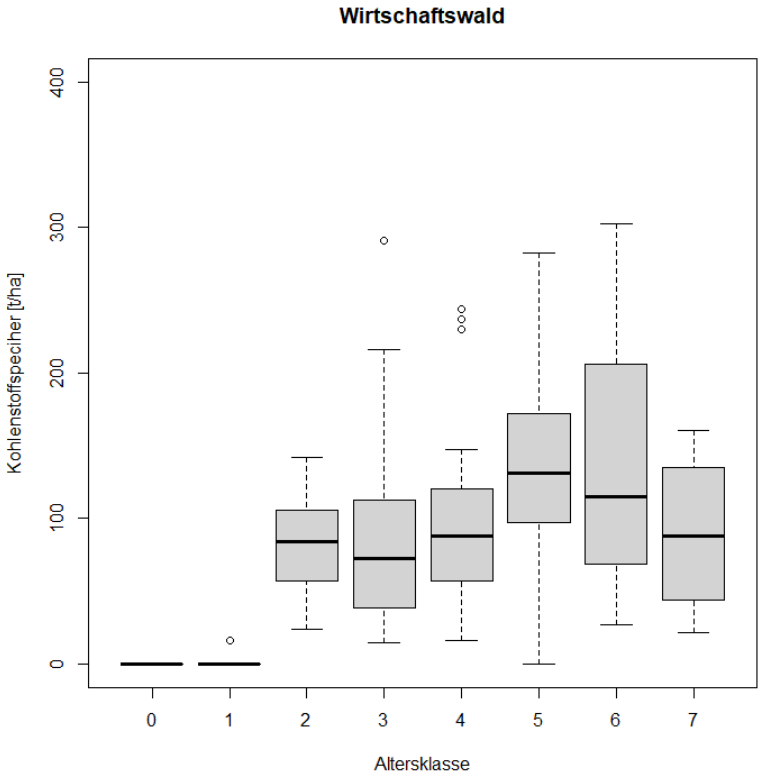

Abbildung 11: Kohlenstoffspeicherverteilung über die einzelnen Altersklassen im Wirtschaftswald, ≥ 10 cm BHD

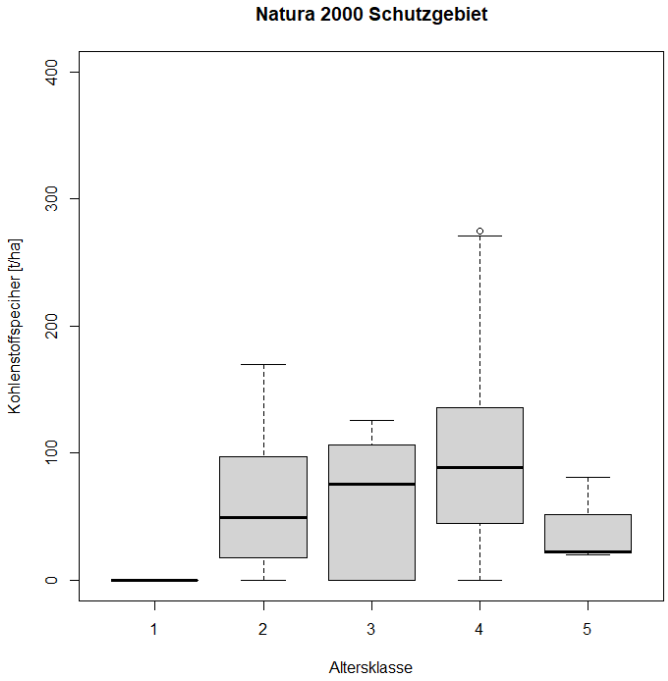

Abbildung 12: Kohlenstoffspeicherverteilung über die einzelnen Altersklassen im Natura 2000 Schutzgebiet, ≥ 10 cm BHD

3.1.3 Totholz

Das ermittelte Totholz setzt sich aus dem liegenden Totholz, dem stehenden Totholz und den Stöcken zusammen. Anteilsmäßig ist das liegende Totholz im bewirtschafteten Waldgebiet mit 73,71 % und im Natura 2000 Naturwaldgebiet mit 75,64 % am stärksten vertreten. Hier ergibt sich ein Kohlenstoffspeicher von 4,71 tC/ha im bewirtschafteten Waldgebiet und 10,87 tC/ha im Natura 2000 Waldgebiet, siehe Tabelle 9. Die geringste Bedeutung im Natura 2000 Waldgebiet nehmen die Totholzstöcke mit 0,35 % ein, siehe Abbildung 13.

Anhand von Auswertungen der fünf Zersetzungsklassen konnte die Bedeutung der einzelnen Klassen bestimmt werden. Es zeigt sich, dass die Zersetzungsklasse zwei sowohl im bewirtschafteten Waldgebiet, als auch im Natura 2000 Naturwald den größten Kohlenstoffspeicher darstellen, gefolgt von der Zersetzungsklasse drei. Die erste Zersetzungsklasse ist im bewirtschafteten Waldgebiet mit knapp unter 1% am geringsten vertreten. Allgemein ergibt sich eine kontinuierliche Abnahme der Kohlenstoffspeicherkapazität von der Zersetzungsklasse zwei bis zur Zersetzungsklasse fünf, siehe Abbildung 14.

Tabelle 9: Ergebnisse der Kohlenstoffberechnung für stehendes Totholz, liegendes Totholz und Stöcke.

	Wirtschaftswald			**Natura 2000**		
	Mean C [t/ha]	**Sd [t/ha]**	**Anteil [%]**	**Mean C [t/ha]**	**Sd [t/ha]**	**Anteil [%]**
stehendes Totholz	1,21	4,09	18,94	3,45	9,52	24,01
liegendes Totholz	4,71	11,09	73,71	10,87	20,91	75,64
Stöcke	0,47	1,27	7,34	0,05	0,24	0,35

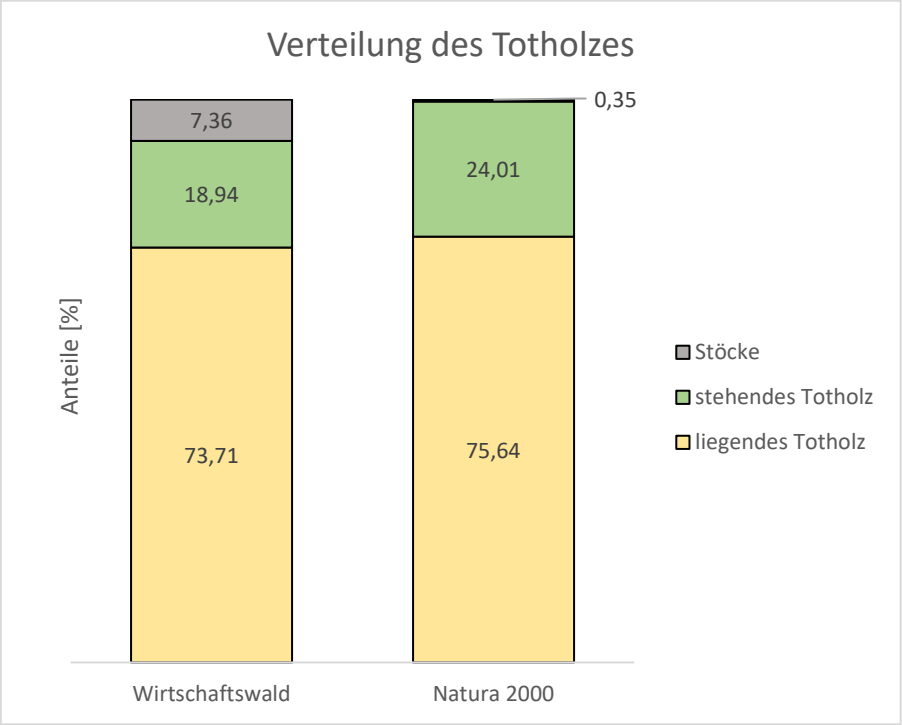

Abbildung 13: Verteilung des stehenden, liegenden Totholzes und der Stöcke im Wirtschaftswald und Natura 2000 Schutzgebiet

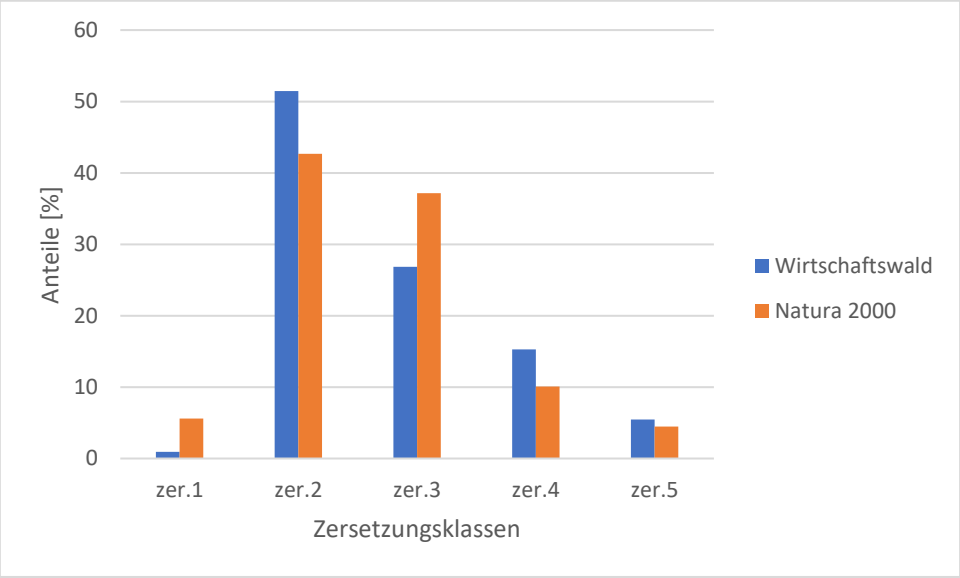

Abbildung 14: Verteilung des Kohlenstoffspeicher im liegenden Totholz über die fünf Zersetzungsklassen im Wirtschaftswald und Natura 2000 Schutzgebiet

3.1.4 Mineralboden und organischer Boden

Mineralboden

Aufgrund der sehr aufwendigen Durchführung von Bodenbohrungen wurde der Bodenkohlenstoffes anhand von Daten aus der Literatur geschätzt. Eine Studie von Franz Mutsch et al. führte im Jahre 2006/2007 mehrere Bodenbohrungen in Österreich durch und ermittelte unter anderem den Kohlenstoff im Mineralboden. Die Erhebungspunkte 406 705 und 411 704 sind die nächsten Erhebungspunkte in der Nähe des Linzer Waldgebietes und wurden daher für die Auswertungen herangezogen. Der Kohlenstoffspeicher bewegt sich zwischen 72 tC/ha und 132,3 tC/ha. Daraus wurde ein Mineralbodenspeicher von 100 tC/ha abgeleitet. Da der Mineralbodenkohlenstoff nicht berechnet werden konnte und in der Literatur keine Unterscheidung zwischen Natura 2000 Schutzgebieten und Wirtschaftswäldern vorhanden ist, wurden 100 t/ha sowohl im Wirtschaftswald als auch im Natura 2000 Schutzgebiet angenommen, siehe Tabelle 10.

Organischer Boden

Im organischen Boden ergibt sich im Wirtschaftswald ein gespeicherter Kohlenstoff von 1,97 tC/ha und im Natura 2000 Schutzgebiet 0,43 tC/ha. Der Anteil des im organischen Boden gespeicherten Kohlenstoffes vom gesamten Kohlenstoffspeicher im Boden ist mit knapp 2 % im Wirtschaftswald und unter 0,5 % im Natura 2000 Schutzgebiet gering, siehe Tabelle 10.

Tabelle 10: Ergebnisse der Kohlenstoffberechnung für die Bodenauflage und den tieferen Bodenschichten.

	Wirtschaftswald		**Natura 2000**		
	Mean C [t/ha]	**Sd [t/ha]**	**Mean C [t/ha]**	**Sd [t/ha]**	
Organischer Boden	1,97	1,53	0,43	0,12	
Mineralboden	100		100		Schätzung aus Literatur

3.2 Managementkonzept

3.2.1 Wirtschaftswald

Der Wirtschaftswald macht einen Anteil von 57,03 % der Waldfläche der Stand Linz aus. Dies entspricht 295,6 ha.

Altersklassenverteilung

In der nachstehenden Abbildung 15 ist die Häufigkeit der einzelnen Altersklassen im Wirtschaftswald dargestellt. Als Referenz wurde ein Normalwaldmodell hinzugefügt. Hierbei entspricht jeder Altersklasse ein einheitlicher Anteil. Dies ermöglicht eine nachhaltige Nutzung mit einem konstanten jährlichen Einschlag. Es zeigt sich, dass die Altersklassen 3 und 5 im Wirtschaftswald stärker vertreten sind. Die geringsten Anteile entfallen auf freie Flächen/Blöße und die Altersklasse 7.

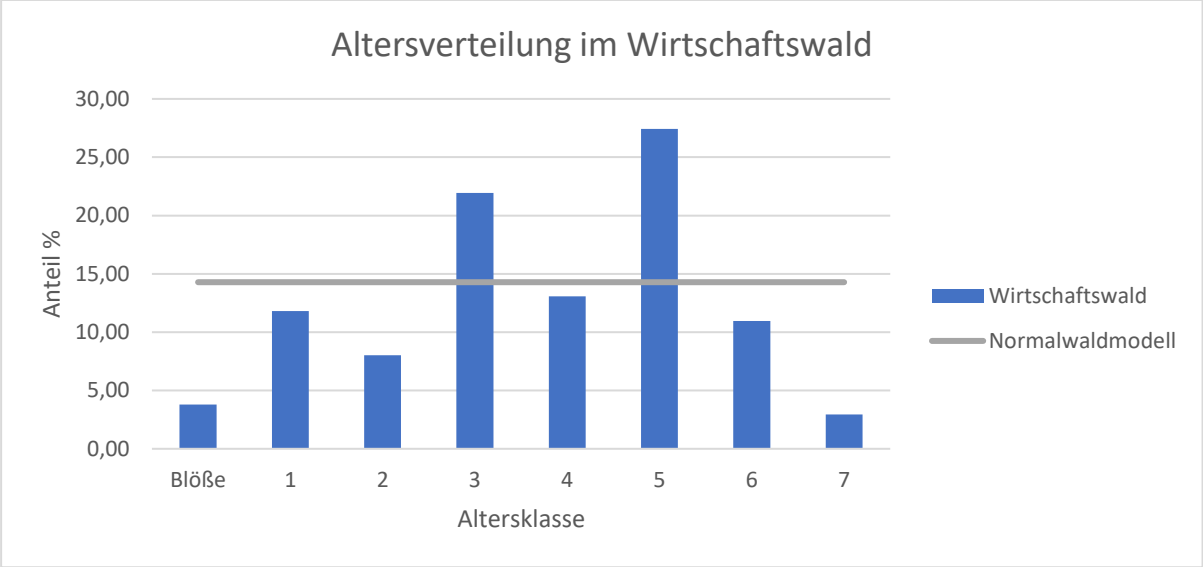

Abbildung 15: Verteilung der Altersklassen im Wirtschaftswald. Als Referenz wurde ein Normalwaldmodell hinzugefügt.

Verteilung der Bestände

Der Wirtschaftswald verteilt sich zu 45 % auf Mischbestände, 39 % auf Reinbestände und 16 % auf keinen Bewuchs ≥ 10 cm. Reinbestände setzen sich zu ≥ 80% aus einer Baumart zusammen, siehe Abbildung 16.

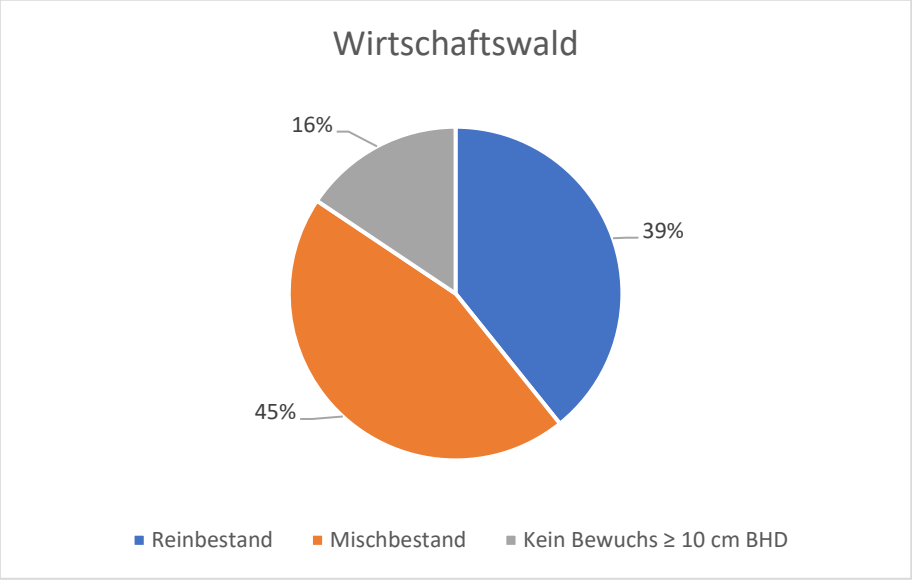

Abbildung 16: Verteilung des Wirtschaftswaldes nach Reinbestand, Mischbestand und kein Bewuchs.

3.2.1.1 Reinbestände

Ab einem Anteil von ≥ 80 % einer Baumart wurden einzelne Bestände als „Reinbestand“ klassifiziert. 39 % des Wirtschaftswaldes entfallen auf Reinbestände.

Verteilung der Bestände

Die Reinbestände verteilen sich zu 38 % auf Buchen-, 20 % Fichten- und 12 % Eichen-Reinbestände, siehe Tabelle 11. Für diese drei Bestandestypen wurden nachstehend ein Bewirtschaftungskonzepte erstellt.

Tabelle 11: Bestandesverteilung im Wirtschaftswald

Hauptbaumart	**Anteil vom Reinbestand [%]**
Buche	37,63
Fichte	20,43
Eiche	11,83
Ahorn	7,53
Esche	5,38
Hainbuche	4,30
sonstige	12,90

Verteilung der Kohlenstoffspeicherkapazität über dem Alter

Die Kohlenstoffspeicherkapazität nimmt bei Reinbeständen bis zu einem Alter von 110 Jahren zu. Im Alter von 130 Jahren kommt es zu einer starken Abnahme der Kohlenstoffspeicherkapazität. Innerhalb der einzelnen Altersklassen kommt es zu einer Streuung des gespeicherten Kohlenstoffs, siehe Abbildung 17.

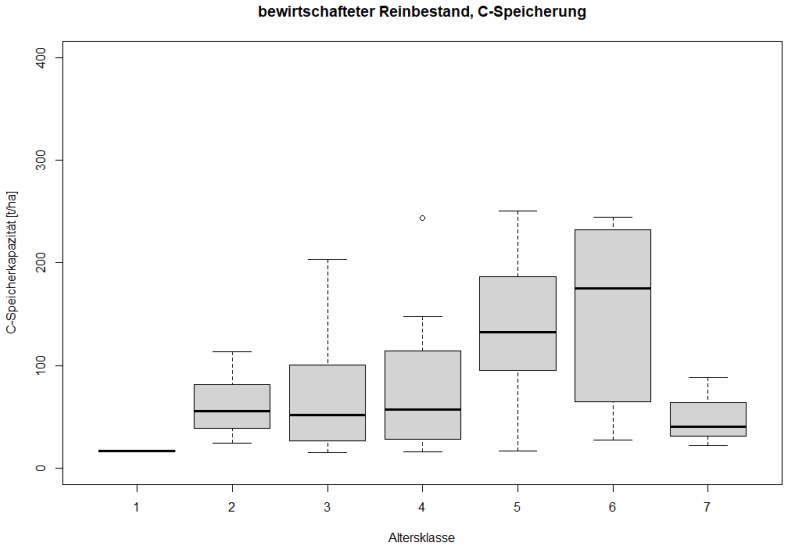

Abbildung 17: Kohlenstoffspeicherkapazität den Reinbeständen nach Altersklasse, ≥ 10 cm BHD.

Bäume < 10cm BHD

Bäume < 10 cm BHD wurden auf 21 Flächen erhoben. Auf 19 % der erhobenen Flächen im bewirtschafteten Reinbestand konnte eine Stammzahl von ≥ 2500 erhoben werden. Auf 9,5 % der Flächen wurde eine Stammzahl < 2500 erhoben, während 71,4 % der Flächen keine Bäume mit einem BHD < 10 cm aufweisen, siehe Tabelle 12.

Tabelle 12: Verteilung der Bäume <10 cm BHD im bewirtschafteten Reinbestand

Altersklasse	N = 0	N < 2500	N ≥ 2500	Erhobene Flächen (n)
Gesamt [%]	71,43	9,52	19,05	21
2 (n)	-	-	1	1
3 (n)	6	2	1	9
4 (n)	1	-	-	1
5 (n)	7	-	1	8
6 (n)	1	-	-	1
7 (n)	-	-	1	1

Verteilung der Baumarten ≥ 10 cm BHD und < 10 cm BHD

Die Verteilung der Baumarten ermöglicht Rückschlüsse auf zukünftige Baumarten. Die Fichte besitzt einen Anteil von 20 % unter den Bäumen ≥ 10cm BHD, jedoch keinen Anteil an Bäumen < 10 cm BHD. Auch die Buche ist unter den Bäumen ≥ 10 cm BHD mit fast 35 % stärker vertreten als < 10 cm BHD mit lediglich 15 %. Im Gegensatz dazu erreicht der Ahorn mit fast 25 % und die Esche mit 15 % einen höheren Anteil < 10 cm BHD, siehe Abbildung 18.

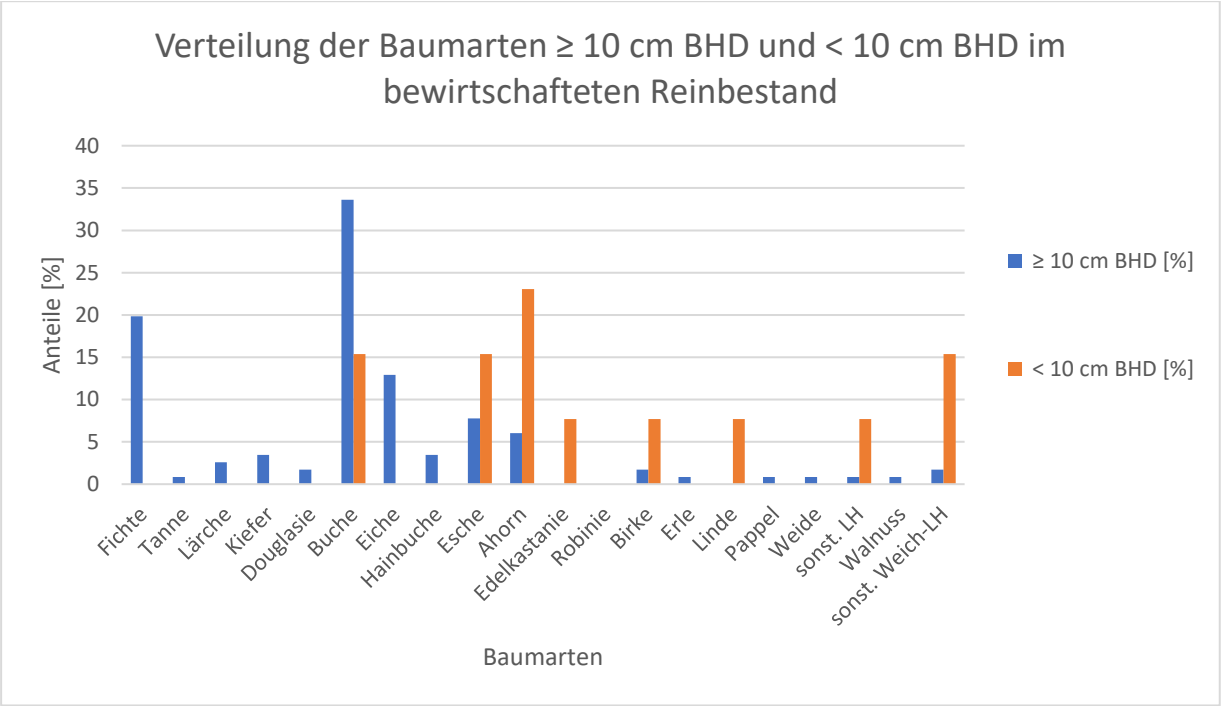

Abbildung 18: Verteilung der Baumarten ≥ 10 cm BHD und <10 cm BHD

3.2.1.1.1 Fichte

Tabelle 13: Allgemeine Informationen für Fichten-Reinbestände im Wirtschaftswald

Baumartenzusammensetzung	Anteil am Wirtschaftswald [%]	erhobene Flächen (n)	Zielbestockung
Fichte	8,02	19	Buche-Tanne

Ist-Zustand

Fichten-Reinbestände besitzen einen Fichten-Anteil von ≥ 80 % und nehmen 8,02 % des Wirtschaftswaldes ein, siehe Tabelle 13.

Die ermittelte Kohlenstoffspeicherkapazität in Bäumen ≥ 10 cm BHD beträgt 61,3 t/ha und ist damit geringer als in Buchen-Reinbeständen, siehe Tabelle 11 und 13. Die Bestände sind vorwiegend auf die Altersklassen drei und vier verteilt, während die ältesten Flächen in der Altersklasse 5 liegen. Die Stammzahl für Bäume ≥ 10 cm BHD liegt im Mittel bei 314. Das HD-Verhältnis liegt im Schnitt bei 0,64, siehe Tabelle 14.

Tabelle 14:: Mittelwerte und Standardabweichung der Fichten-Reinbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse

Fichte	AKL. 1	AKL. 2	AKL. 3	AKL. 4	AKL. 5	AKL. 6	AKL. 7	Mittel AKL. 1-7
Anteil [%], (n)	-	5,26 (1)	47,37 (9)	31,58 (6)	15,79 (3)	-	-	100 (19)
N [ha^{-1}]	-	175 ± 0	430 ± 214	176 ± 137	288 ± 247	-	-	314 ± 216
Mittel-Höhe [m]	-	17,4 ± 0	20,6 ± 3,22	24,7 ± 0,85	27,7 ± 2,01	-	-	22,9 ± 3,83
Mittel-BHD [cm]	-	30,8 ± 0	30,5 ± 4,43	40,7 ± 4,60	44,6 ± 7,87	-	-	36,0 ± 7,62
HD-Verhältnis	-	0,57 ± 0	0,68 ± 0,06	0,61 ± 0,06	0,63 ± 0,06	-	-	0,64 ± 0,07
C. [t/ha]	-	24,0 ± 0	68,1 ± 39,5	48,8 ± 34,7	78,4 ± 58,1	-	-	61,3 ± 40,1

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Mittel bis langfristig ist mit einem Absterben der Fichten zu rechnen. Dies ist bedingt durch ihre hohe Anfälligkeit gegenüber abiotischen und biotischen Schäden. Im Bezug auf den Klimawandel und damit einhergehenden längeren Trockenperioden, Starkniederschlägen und Orkanwinden kommt es zu starken Stresssituationen für die flachwurzelnde Fichte. Durch diese Stressfaktoren steigt auch das Risiko eines Borkenkäferbefalls und es kann zu großflächigen Schadereignissen kommen. Es ist davon auszugehen, dass sich vorwiegend Laubbäume wie Buche, Ahorn und vereinzelt Nadelbäume etablieren werden.
(Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Soll-Zustand

Langfristiges Ziel ist ein zweischichtiger Mischbestand aus Buche und Tanne. An nährstoffarmen Standorten ist ebenfalls die Kiefer verstärkt zu etablieren. Diese ist ideal an geringe Nährstoffverfügbarkeit und Trockenheit angepasst. Der zweischichtige Mischbestand setzt sich aus einer Oberschicht und einer Unterschicht zusammen. Als Schattenbaumart lässt sich die Tanne gut unter Schirm verjüngen. Je nach Standortbedingungen ist eine Mischung mit geringen Anteilen von Fichte und Eiche möglich. Nebenbaumarten, welche die Hauptbaumarten nicht negativ beeinflussen, sind zu erhalten, um die Artenvielfalt zu erhöhen und die Bestandestabilität zu steigern. Bei starkem Wildverbiss in der Verjüngung sind gezielt Maßnahmen zu ergreifen. Durch einen mehrschichtigen Mischbestand ist es möglich, die Kohlenstoffspeicherkapazität zu erhöhen.
(Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Eingriffsmöglichkeiten in Altersklasse 3

In dieser AKL. ist eine hohe Stammzahl mit 430,2 und ein erhöhtes HD-Verhältnis mit 0,68 vorhanden. Daher sollte in den kommenden Jahren mit Durchforstungen eingegriffen werden, um die Bestandesstabilität zu erhöhen. Große Eingriffe sollten in dieser AKL. nicht mehr durchgeführt werden, um die Anfälligkeit gegenüber Windwürfe nicht zu erhöhen. Durch diese Eingriffe ist kurzfristig mit einer Verringerung der Kohlenstoffspeicherkapazität in diesen Beständen zu rechnen. In den 50- bis 60-jährigen Beständen können erste verjüngungseinleitende Maßnahmen mittels Schirmschlägen durchgeführt werden, um eine natürliche Verjüngung zu etablieren. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020)

Eingriffsmöglichkeiten in Altersklasse 4

Diese Bestände sollten kurz bist mittelfristig genutzt werden, auch um das Risiko abiotischer und biotischer Schäden zu minimieren. Vereinzelt kann in den jüngeren Beständen dieser Altersklasse versucht werden, mit Hilfe von Schirmschlägen eine Verjüngung einzuleiten. In den älteren Beständen dieser Altersklasse ist es ratsam, den Bestand vollständig zu nutzen, da verjüngungseinleitende Maßnahmen in alten Fichtenbeständen das Risiko von Windwürfen stark erhöht. Anschließend ist eine neue Bestandgründung mit der gewählten Zielbestockung erforderlich, welche durch Naturverjüngung oder Kunstverjüngung erfolgen kann. Die Tanne ist sehr anfällig gegenüber Verbiss, daher kann es erforderlich sein Schutzmaßnahmen zu treffen. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020)

3.2.1.1.2 Buche

Tabelle 15: Allgemeine Informationen für Buchen-Reinbestände im Wirtschaftswald

Baumartenzusammensetzung	Anteil am Wirtschaftswald [%]	erhobene Flächen (n)	Zielbestockung
Buche	14,77	35	Buche-Eiche

Ist-Zustand

Buchen-Reinbestände weisen einen Buchenanteil von ≥ 80 % auf und bedecken 14,77 % des Wirtschaftswaldes, siehe Tabelle 15.

65 % der Buchen-Reinbestände weisen eine Altersklasse von fünf auf. Die Altersklassen zwei, drei und vier machen einen Anteil von 2,86 % bis 5,71 % aus. Das mittlere HD-Verhältnis liegt bei 0,54, während das höchste HD-Verhältnis bei 0,63 liegt. Die höchste Stammzahl für Bäume ≥ 10 cm BHD befindet sich in der Altersklasse zwei mit 935, während in Altersklasse drei die geringste Stammzahl mit 119 vorliegt. Im Mittel ergibt sich eine Kohlenstoffspeicherkapazität von 149 t/ha in Buchen-Reinbeständen, siehe Abbildung 16.

Tabelle 16: Ergebnisse der Buchen-Reinbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse und im Mittel

Buche	AKL.1	AKL.2	AKL.3	AKL.4	AKL.5	AKL.6	AKL.7	Mittel AKL. 1-7
Anteil [%], (n)	-	5,71 (2)	2,86 (1)	5,71 (2)	65,71 (23)	20,00 (7)	-	100 (35)
N [ha^{-1}]	-	935 ± 15,6	119 ± 0	152 ± 195	544 ± 303	242 ± 241	-	471 ± 328
Mittel-Höhe [m]	-	14,0 ± 4,40	19,8 ± 0	24,3 ± 2,37	21,1 ± 2,65	26,9 ± 4,52	-	22,0 ± 4,32
Mittel-BHD [cm]	-	22,2 ± 6,40	37,8 ± 0	50,9 ± 12,2	38,8 ± 6,79	56,6 ± 11,4	-	42,1 ± 11,7
HD-Verhältnis	-	0,63 ± 0,02	0,52 ± 0	0,49 ± 0,07	0,55 ± 0,06	0,48 ± 0,05	-	0,54 ± 0,06
C. [t/ha]	-	82,1 ± 44,03	49,9 ± 0	84,6 ± 89,13	156 ± 53,4	178 ± 79,6	-	149 ± 65,3

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Die Bestände werden sich weiter entwickeln und Kohlenstoff speichern. Die jährliche Kohlenstoffzunahme wird mit zunehmendem Alter abnehmen, da ältere Bestände einen geringeren Zuwachs verzeichnen als junge Bestände. Die Buchen werden langfristig erhalten bleiben. Sie sind nicht sehr windanfällig und aktuell nicht stark von biologischen Schädlingen betroffen. Längere Trockenperioden können jedoch zu einzelnen Ausfällen der Buchen führen. Die dabei entstehenden Lücken werden überwiegend von Buchen und Eichen geschlossen werden. Die Gefahr eines großflächigen Ausfalles des ganzen Bestandes ist gering. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Soll-Zustand

Langfristiges Ziel ist ein zweischichtiger Mischbestand aus Buchen und Eichen. Buchen sind resistent gegenüber einer Vielzahl von abiotischen und biotischen Schädigungen, jedoch anfällig gegenüber langen Trockenperioden, während die Eiche eine sehr trockenresistente Baumart ist. Eine Kombination aus Buchen und Eichen würde somit die Bestandesstabilität erhöhen. Durch einen gesunden zweischichtigen Mischbestand ist von einer erhöhten Kohlenstoffspeicherkapazität auszugehen. Die Eiche muss gegebenenfalls mittels Kunstverjüngung in den Bestand eingebracht werden. Vereinzelte Nebenbaumarten sind zu erhalten, diese beeinträchtigen nicht die Wuchsleistung und erhöhen die Biodiversität und Bestandesstabilität. Aufgrund der hohen Konkurrenz der Buche gegenüber der Eiche ist eine Förderung der Eiche notwendig, um die angestrebte Zielbestockung und Baumartenmischung zu erhalten. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Eingriffsmöglichkeiten in Altersklasse 5

Um langfristig auf Naturverjüngung zurückgreifen zu können, sind verjüngungseinleitende Maßnahmen erforderlich. Besonders vitale Bäume sollten während der Verjüngungsphase erhalten bleiben und dienen so als zukünftige Samenbäume. Zusätzlich bieten diese einen gewissen Schutz für die Verjüngung. Als Verjüngungsform empfiehlt sich ein Schirmschlag. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020)

Eingriffsmöglichkeiten in Altersklasse 6

Mittelfristig sind diese Bestände zu nutzten. Sofern vorhanden, kann auf die bestehende Naturverjüngung ein neuer Bestand mit der gewählten Zielbestockung aufgebaut werden. Sofern keine Naturverjüngung vorhanden ist, ist eine Verjüngung durch Schirmschläge einzuleiten. Hierbei werden 1-2 Schirmschläge in einem Abstand von einigen Jahren vor der Endnutzung durchgeführt. Vereinzelt werden Schutzmaßnahmen oder künstliche Setzungen nötig sein, um die gewünschte Zielbestockung zu erreichen. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020)

3.2.1.1.3 Eiche

Tabelle 17: Allgemeine Informationen für Eichen-Reinbestände im Wirtschaftswald

Baumartenzusammensetzung	Anteil am Wirtschaftswald [%]	erhobene Flächen (n)	Zielbestockung
Eiche	4,64	11	Eichen-Buchen

Ist-Zustand

Die Eichen-Reinbestände weisen einen Eichen-Anteil von ≥ 80 % auf und bedecken 4,64 % des Wirtschaftswaldes, siehe Tabelle 17.

Die Flächen weisen zu 36,36 % die Altersklassen drei und 4 auf, während die Altersklassen fünf, sechs und sieben jeweils nur 9,09 % der Fläche ausmachen. Die Stammzahl beträgt im Mittel 133 mit einer Standardabweichung von 178. Die geringste Stammzahl liegt in der AKL. sechs vor, mit 6,65. Das HD-Verhältnis beträgt im Mittel 0,5, während das geringste HD-Verhältnis 0,37 beträgt. Die Kohlenstoffspeicherkapazität beträgt im Mittel 91,9 T/ha. Die höchste C-Speicherung beträgt 157 t/ha in der Altersklasse fünf und am geringsten mit 64,5 in der Altersklasse sechs, siehe Tabelle 18.

Tabelle 18: Ergebnisse der Eichen Reinbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse und im Mittel

Eiche	AKL.1	AKL.2	AKL.3	AKL.4	AKL.5	AKL.6	AKL.7	Mittel AKL.1-7
Anteil [%], (n)	-	-	36,36 (4)	36,36 (4)	9,09 (1)	9,09 (1)	9,09 (1)	100 (11)
N [ha^{-1}]	-	-	217 ± 281	50,6 ± 31,8	144 ± 0	6,65 ± 0	27,5 ± 0	133 ±178
Mittel-Höhe[m]	-	-	16,8 ± 7,53	27,4 ± 1,97	24,7 ± 0	32,0 ± 0	25,8 ± 0	23,6 ± 7,09
Mittel-BHD [cm]	-	-	29,9 ± 11,5	56,7 ± 6,61	47,1 ± 0	87,5 ± 0	63,0 ± 0	49,5 ± 19,8
HD-Verhältnis	-	-	0,49 ± 0,03	0,49 ± 0,03	0,52 ± 0	0,37 ± 0	0,41 ± 0	0,50 ± 0,14
C. [t/ha]	-	-	52,9 ± 39,3	122 ± 85,4	157 ± 0	64,5 ± 0	88,0 ± 0	91,9 ± 64,4

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Eichen können ein Alter von bis zu 400 Jahre erreichen. Auch längere Trockenperioden kann die Eiche in der Regel gut überstehen. Daher ist davon auszugehen, dass die Eichen Reinbestände werden. Die Gefahr großflächiger Ausfälle ist gering. Aufgrund der geringen Konkurrenz der Eiche gegenüber der Buche an den meisten Standorten, ist langfristig davon auszugehen, dass sich der Buchenanteil gegenüber der Eiche erhöhen wird.
(Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Soll-Zustand

Ziel ist ein zweischichtiger Bestand mit vorwiegend Eichen und Buchen in der Oberschicht, sowie Ahorn als dienende Baumart in der Unterschicht. Eichen sind sehr gut an Trockenperioden gewöhnt und eignen sich daher ideal als an den Klimawandel angepasste Baumart. Eichen sollten daher in den Beständen einen höheren Anteil als Buchen ausmachen. Um die Bestandestabilität zu erhöhen, ist eine zusätzliche Mischung mit Nebenbaumarten wie Ahorn oder Hainbuche erstrebenswert. Dies ermöglicht auch einen besseren Schutz gegenüber externen Einflüssen und kann als zusätzlicher Kohlenstoffspeicher dienen. Nebenbaumarten, welche das Bestockungsziel nicht negativ beeinflussen, sind zu erhalten und erhöhen die Biodiversität in den Beständen. Ziel ist, je nach Standort, eine Umtriebszeit bei Eichen von 160 Jahren. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Eingriffsmöglichkeiten in Altersklasse 3

Je nach Standortbedingungen sind leichte Eingriffe nötig. Hierbei werden im Rahmen von Durchforstungen zukünftige Bedränger der Eiche entfernt. Gerade bedrängende Fichten sind zu entfernen, da diese als schnellwachsende Baumart die Eiche verdrängen. Diese Eingriffe können in jungen Jahren und je nach Intensität der Bedränger alle 2 - 3 Jahre durchgeführt werden. Es empfiehlt sich, eine Buchenverjüngung zu entwickeln. Diese beschatten den Stamm der Eiche, wodurch diese eine höhere Qualität erreichen kann. Zusätzlich dient eine weitere Buchenschicht als Kohlenstoffspeicher. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020)

Eingriffsmöglichkeiten in Altersklasse 4

Es sind keine Maßnahmen erforderlich. Entnahmen sollten aufgrund der geringen Stammzahl in dieser Altersklasse nicht durchgeführt werden. Aufgrund des sehr guten HD-Verhältnisses ist allgemein von stabilen Beständen auszugehen. Sofern Bestandeslücken vorhanden sind, können diese mit der Zielbestockung ergänzt werden. Dies kann natürlich oder künstlich erfolgen. Durch ein Schließen der Bestandeslücken kann auch die Stammzahl erhöht und die Bestandesstabilität weiter gesteigert werden. Weiters führt ein Schließen der Bestandeslücken zu einer erhöhten Kohlenstoffspeicherkapazität (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020)

3.2.1.2 Mischbestände

Diese Bestände weisen einen Anteil >0 und <80% einer Baumart auf. Die bewirtschafteten Mischbestände machen einen Anteil von 45% des gesamten Wirtschaftswaldes aus, dies entspricht einer Fläche von 133,02 ha.

Verteilung der Bestände

Die Mischbestände unterteilen sich zu 11,21% auf Buchen-Fichten, 9,35% auf Buchen-Eichen und 7,48% auf Eichen-Fichten Mischbestände. Für diese drei Klassen wurde nachstehend ein Bewirtschaftungskonzept ermittelt. Die restlichen Bestände entsprechen jeweils einem Anteil von unter 5% des Mischbestandes und wurden nicht näher betrachtet, siehe Tabelle 19.

Tabelle 19: Bestandes-Anteile der bewirtschafteten Mischbestände

Hauptbaumart	**Anteil vom Mischbestand [%]**
Buche-Fichte	11,21
Buche-Eiche	9,35
Eiche-Fichte	7,48
Buche-Esche	4,67
Esche-Ahorn	4,67
Esche-Hainbuche	4,67
Buche-Kiefer	3,74
Buche-Hainbuche	3,74
Eiche-Esche	3,74
Buche-Ahorn	3,74
Eiche-Hainbuche	3,74
Lärche-Douglasie	2,80
sonstige	36,45

Verteilung der Kohlenstoffspeicherkapazität über das Alter

Betrachtet man die Verteilung des Kohlenstoffspeichers der Bäume ≥10 cm BHD zeigt sich ein leichter Anstieg mit zunehmender Altersklasse. Dieser ist aber deutlich schwächer ausgeprägt als in bewirtschafteten Reinbeständen. Die Streuung ist in der Altersklasse sechs am höchsten. In der höchsten Altersklasse sieben nimmt die Streuung stark ab und der mittlere Kohlenstoffvorrat ist leicht höher als jener der Altersklasse 6, siehe Abbildung 19.

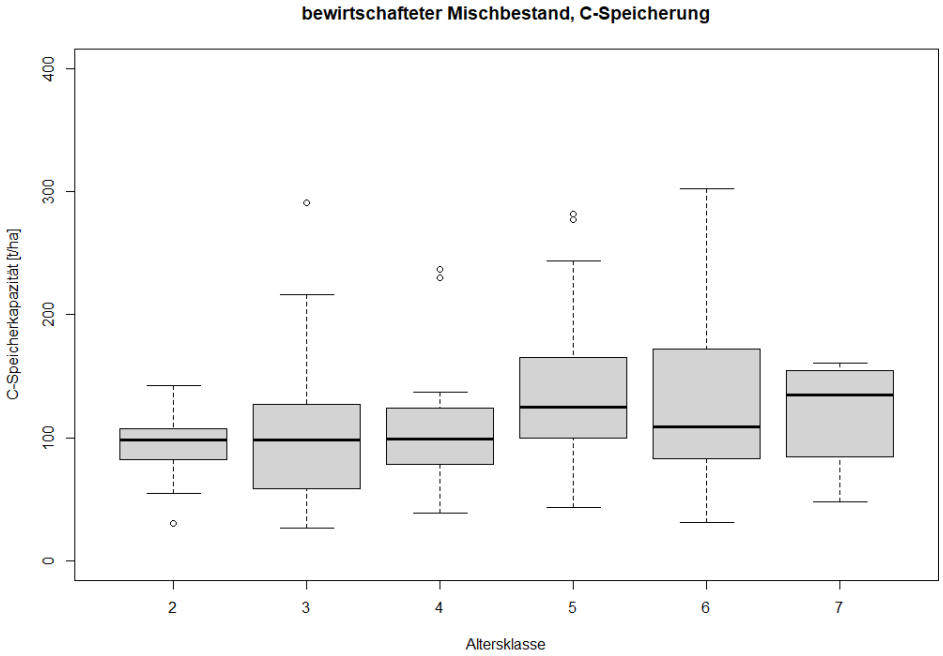

Abbildung 19: Kohlenstoffspeicherkapazität der Mischbestände nach Altersklasse, ≥ 10 cm BHD.

Verjüngung <10cm BHD

Die Bäume mit einem BHD < 10 cm wurden auf 20 Flächen erhoben. Auf 55 % der erhobenen bewirtschafteten Mischbestände sind keine Bäume < 10 cm vorhanden. Eine Stammzahl von < 2500 wurde auf 30 % erhoben, während auf 15 % der Flächen eine Stammzahl von ≥ 2500 erhoben wurde, siehe Tabelle 20.

Tabelle 20: Verteilung der Bäume < 10 cm BHD im bewirtschafteten Reinbestand

Altersklasse.	**N = 0**	**N <2500**	**N ≥2500**	**Erhobene Flächen (n)**
Gesamt [%]	55,00	30,00	15,00	20
2 (n)	-	1	-	1
3 (n)	1	1	1	3
4 (n)	3	-	-	3
5 (n)	4	-	1	5
6 (n)	2	4	1	7
7 (n)	1	-	-	1

Verteilung der Baumarten ≥10 cm BHD und <10 cm BHD

In der nachstehenden Abbildung 20 sind die vorkommenden Baumarten ≥10 cm BHD und <10 cm BHD dargestellt. Während der Ahorn auf 60 % der erhobenen Flächen <10 cm BHD vorhanden ist, beträgt sein Anteil ≥10 cm BHD lediglich 10 %. Der Anteil der Buche reduziert sich von 20% unter Bäumen ≥10 cm BHD auf 5% <10 cm BHD. Eiche, Esche und Fichte sind auf keiner der erhobenen Flächen <10cm BHD vorhanden, siehe Abbildung 20.

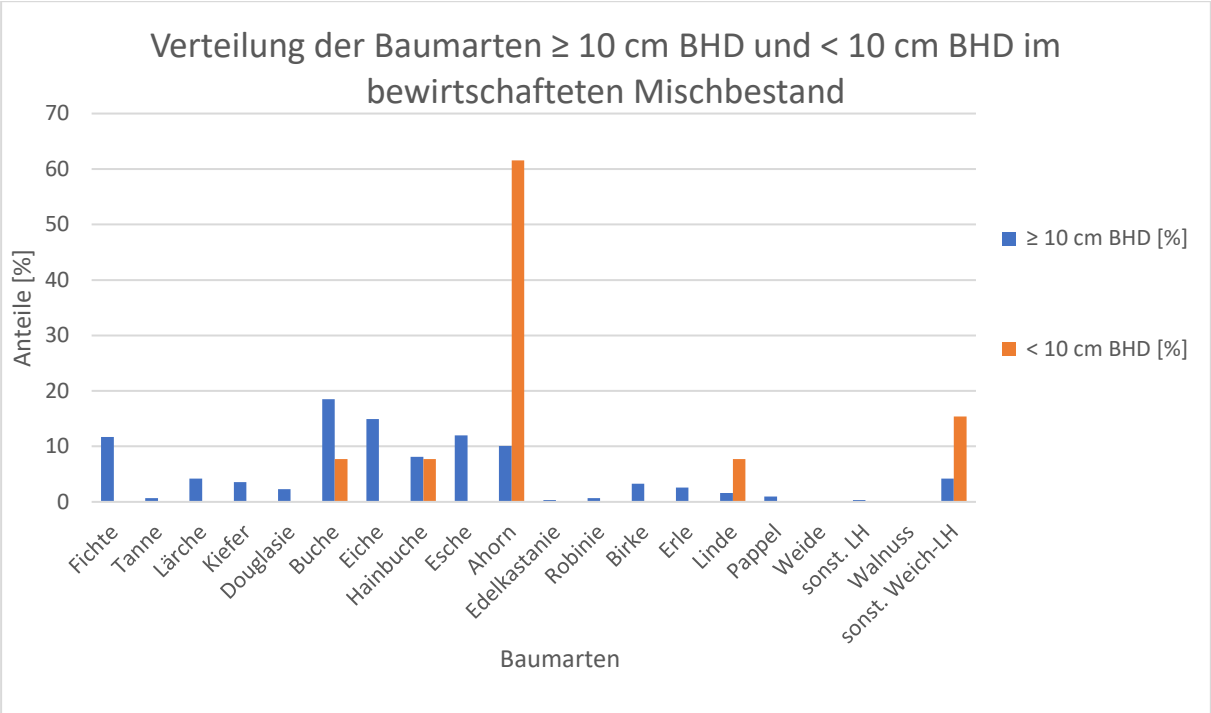

Abbildung 20: Verteilung der Baumarten ≥ 10cm BHD und <10 cm BHD

3.2.1.2.1 Buche-Fichte

Tabelle 21: Allgemeine Informationen für Buchen-Fichten-Mischbestände im Wirtschaftswald

Baumartenzusammensetzung	Anteil vom Wirtschaftswald [%]	Erhobene Flächen (n)	Zielbestockung
Buche-Fichte	5,06	12	Buchen-Tannen

Ist-Zustand

Es handelt sich um Buchen-Fichten-Mischbestände, welche 5,06 % des Wirtschaftswaldes ausmachen. Die Anzahl der erhobenen Flächen beträgt 12, siehe Tabelle 21.

Diese verteilen sich zu jeweils 8% auf die Altersklassen 2 und 3, sowie 25% auf die Altersklassen 4 und 5. Die Altersklasse 5 macht einen Anteil von 33,33% aus. Das HD-Verhältnis liegt zwischen 0,34 in der Altersklasse 3 und 0,71 in der Altersklasse 2. Die Stammzahl liegt in den Altersklassen 3 bis 6 vorwiegend zwischen 265 und 327, während sie in der Altersklasse 2 bei 1146 liegt. Die Kohlenstoffspeicherkapazität liegt zwischen 97 und 109 t/ha. Lediglich die Altersklasse 6 weist einen höheren Kohlenstoffspeicher mit 121 t/ha auf, siehe Tabelle 22.

Tabelle 22: Ergebnisse der Buchen-Fichten-Mischbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse und im Mittel.

Buche-Fichte	AKL. 1	AKL. 2	AKL. 3	AKL. 4	AKL. 5	AKL. 6	AKL. 7	Mittel AKL. 1-7
Anteil [%], (n)	-	8,33 (1)	8,33 (1)	25,00 (3)	25,00 (3)	33,33 (4)	-	100 (12)
N [ha^{-1}]	-	1146 ± 0	327 ± 0	289 ± 164	265 ± 99,7	311 ± 214	-	365 ± 283
Mittel-Höhe [m]	-	18,2 ± 0	17,3 ± 0	24,6 ± 1,48	23,6 ± 2,20	25,3 ± 6,23	-	23,4 ± 4,40
Mittel-BHD [cm]	-	25,9 ± 0	50,9 ± 0	46,6 ± 10,1	43,8 ± 8,61	45,5 ± 9,09	-	44,2 ± 9,57
HD-Verhältnis	-	0,71 ± 0	0,34 ± 0	0,54 ± 0,08	0,55 ± 0,08	0,56 ± 0,06	-	0,54 ± 0,10
C. [t/ha]	-	104 ± 0	99,1 ± 0	97,0 ± 31,3	109 ± 11,2	121 ± 36,7	-	109 ± 25,9

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Ohne menschliche Eingriffe ist von einem allmählichen Absterben der Fichten auszugehen. Besonders in älteren Beständen sind Fichten einem erhöhten Risiko ausgesetzt. Mittel- bis langfristig werden sich Buchen durchsetzen und in den entstehenden Lücken die Fichte ersetzen. Es ist anzunehmen, dass sich ein Buchen-Reinbestand etablieren würde, gemischt mit geringen Anteilen Ahorn. Die Kohlenstoffspeicherkapazität würde sich kurzfristig durch den Ausfall der Fichten verringern. Buchen sind keinen erhöhten biotischen oder abiotischen Gefahren ausgesetzt und würden daher unter normalen Umständen noch viele Jahrzehnte wachsen. Lange Trockenperioden können allerdings zu einem Absterben einzelner Buchen führen. Der jährliche Zuwachs nimmt mit zunehmendem Alter ab, wodurch die jährlich neu gebundene Kohlenstoffmenge abnimmt.
(Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Soll-Zustand

Ziel ist ein klimaresistenter 2-schichtiger Mischbestand. Als Zielbestockung empfiehlt sich ein Buchen-Tannen-Mischwald, wobei die Buche einen natürlich bedingten erhöhten Anteil aufweisen wird. Als Nebenbaumarten können Ahorn, Hainbuche oder Ulme dienen. Durch gezielte regelmäßige Pflegeeingriffe soll das Wachstum gefördert werden, was langfristig eine höhere Kohlenstoffbindung ermöglicht. Tannen müssen zunächst künstlich eingebracht werden. Bei Buche und Ahorn kann voraussichtlich mit Naturverjüngung gearbeitet werden. Da es sich bei der Buche je nach Standortbedingungen um eine sehr konkurrenzstarke Baumart handelt, ist es nötig die anderen Baumarten zu fördern und die Buche vereinzelt zurückzudrängen. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Eingriffsmöglichkeiten in Altersklasse 6

Diese Bestände werden kurz bis mittelfristig genutzt. Hierbei werden sowohl Buchen, als auch Fichten genutzt. Da es sich hier mit einem HD-Verhältnis von 0,5 um vorwiegend stabile Bestände handelt, können Schirmschläge durchgeführt werden, um eine Verjüngung einzuleiten. Hier empfiehlt es sich, 1-2 Schirmschläge vor der Endnutzung durchzuführen und anschließend aufbauend auf der Naturverjüngung eine neue Bestandgründung durchzuführen. Vereinzelt sind künstliche Nachbesserungen und das Einbringen weiterer Baumarten erforderlich. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020)

3.2.1.2.2 Buche-Eiche

Tabelle 23: Allgemeine Informationen für Buchen-Eichen-Mischbestände im Wirtschaftswald

Baumartenzusammensetzung	Anteil vom Wirtschaftswald [%]	Erhobene Flächen (n)	Zielbestockung
Buche-Eiche	4,64	11	Buchen-Eichen

Ist-Zustand

Buchen-Eichen-Mischbestände machen einen Anteil von 4,64 % des Wirtschaftswaldes aus. Es wurden 11 Flächen erhoben, siehe Tabelle 23.

Die Buchen-Eichen-Mischbestände verteilen sich auf die Altersklassen 3,4,5 und 6, wobei die Altersklasse 5 mit einem Anteil von 54,55% am stärksten vertreten ist. Das HD-Verhältnis liegt zwischen 0,40 in der Altersklasse 6 und 0,62 in der Altersklasse 3. Die höchste mittlere Höhe ist mit 27,7 in der Altersklasse 4, während die geringste mittlere Höhe in der Altersklasse 3 liegt. Die mittlere Stammzahl beträgt 411, während sie in der Altersklasse 4 bei 64,6 und in der Altersklasse 6 bei 802 liegt. Die Kohlenstoffspeicherkapazität liegt im Mittel bei 188 t/ha. Die höchste Kohlenstoffspeicherkapazität ist in der AKL 6 mit 360 t/ha. Der geringste Kohlenstoffspeicher ergab sich in der AKL 4 mit 83,4 t/ha, siehe Tabelle 24.

Tabelle 24: Ergebnisse der Buchen-Eichen-Mischbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse und im Mittel

Buche-Eiche	AKL. 1	AKL. 2	AKL. 3	AKL. 4	AKL. 5	AKL. 6	AKL. 7	Mittel AKL.1-7
Anteil [%], (n)	-	-	18,18 (2)	9,09 (1)	54,55 (6)	18,18 (2)	-	100 (11)
N [ha^{-1}]	-	-	802 ± 662	64,6 ± 0	219 ± 165	772 ± 1068	-	411 ± 512
Mittel-Höhe [m]	-	-	19,1 ± 1,34	27,7 ± 0	24,7 ± 3,23	23,9 ± 0,82	-	23,8 ± 3,46
Mittel-BHD [cm]	-	-	30,9 ± 1,16	48,8 ± 0	48,7 ± 6,40	63,7 ± 22,3	-	48,2 ± 13,4
HD-Verhältnis	-	-	0,62 ± 0,02	0,57 ± 0	0,51 ± 0,05	0,40 ± 0,13	-	0,51 ± 0,09
C. [t/ha]	-	-	194 ± 136	83,4 ± 0	146 ± 71,9	359 ± 411	-	188 ± 171

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Sowohl Buchen als auch Eichen sind keinen akuten abiotischen oder biotischen Gefahren ausgesetzt und können ein hohes Alter erreichen. Daher ist davon auszugehen, dass diese Bestände weiterwachsen und Kohlenstoff binden werden. Langfristig nimmt die jährliche Kohlenstoffbindung durch ein verlangsamtes Wachstum im hohen Alter jedoch ab. In entstehenden Lücken wird sich vorwiegend Naturverjüngung mit Buchen, Eichen und Ahorn entwickeln. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Soll-Zustand

Ziel ist ein klimafitter 2-schichtiger Mischbestand aus Buchen und Eichen, gemischt mit Nebenbaumarten wie Ahorn und Hainbuche. Es soll vorwiegend auf Naturverjüngung zurückgegriffen werden. Bei Buchen ist eine Umtriebszeit von 120 Jahren zu empfehlen, während bei Eichen eine Umtriebszeit von 160 Jahren anzustreben ist. Einzelne Nebenbaumarten sollten erhalten bleiben, um die Biodiversität und Bestandesstabilität zu erhöhen. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Eingriffsmöglichkeiten in Altersklasse 5

Hier können erste Schirmschläge bei den Buchen durchgeführt werden. Dies ermöglicht das Aufkommen von Naturverjüngung. Es kann je nach Standort nötig sein, die Eichenverjüngung zu fördern und die Buchenverjüngung in gewissen Bereichen zurückzudrängen. Die Eingriffe finden in zeitlichen Abständen statt. Die vorhandenen Eichen werden noch nicht genutzt. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020)

3.2.1.2.3 Eiche-Fichte

Tabelle 25: Allgemeine Informationen für Eichen-Fichten-Mischbestände im Wirtschaftswald

Baumartenzusammensetzung	Anteil vom Wirtschaftswald [%]	Erhobene Flächen (n)	Zielbestockung
Eiche-Fichte	3,38	8	Buchen-Eichen

Ist-Zustand

Diese Bestände setzen sich aus Eichen und Fichten zusammen und machen einen Anteil von 3,38% des Wirtschaftswaldes aus, was einer Fläche von 9,98 ha entspricht. Es wurden insgesamt 8 Erhebungen durchgeführt, siehe Tabelle 25.

Die Eichen-Fichten-Mischbestände sind zu 62,50 % in der Altersklasse 4 vertreten. Der Rest verteilt sich zu je 12,50 % auf die Altersklassen 2,5 und 6. Die Stammzahl liegt im Mittel bei 293 ha^{-1}. Die geringste Stammzahl befindet sich in der Altersklasse 6 mit 62 ha^{-1}, während in der Altersklasse 2 die höchste Stammzahl mit 679 ha^{-1} vorhanden ist. Die mittlere Höhe liegt bei 22,9 m, bei einem mittleren BHD von 43,1 cm. Das HD-Verhältnis ist in der Altersklasse 6 mit 0,34 am geringsten und mit 0,71 in der Altersklasse 2 am höchsten. Im Mittel liegt das HD-Verhältnis bei 0,56. Die Kohlenstoffspeicherkapazität beträgt im Mittel 138 t/ha. Die höchste Kohlenstoffspeicherkapazität weist die Altersklasse 5 mit 183 t/ha auf, siehe Tabelle 26.

Tabelle 26: Ergebnisse der Eichen-Fichten Mischbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse und im Mittel.

Eiche-Fichte	AKL. 1	AKL. 2	AKL. 3	AKL. 4	AKL. 5	AKL. 6	AKL. 7	Mittel AKL. 1-7
Anteil [%], (n)	-	12,50 (1)	-	62,50 (5)	12,50 (1)	12,50 (1)	-	100 (8)
N [ha^{-1}]	-	679 ± 0	-	269 ± 92,2	258 ± 0	62,5 ± 0	-	293 ± 185
Mittel-Höhe [m]	-	18,9 ± 0	-	23,2 ± 2,50	25,5 ± 0	23,0 ± 0	-	22,9 ± 2,62
Mittel-BHD [cm]	-	26,7 ± 0	-	40,3 ± 3,89	49,6 ± 0	67,2 ± 0	-	43,1 ± 11,9
HD-Verhältnis	-	0,71 ± 0	-	0,58 ± 0,07	0,51 ± 0	0,34 ± 0	-	0,56 ± 0,11
C. [t/ha]	-	106 ± 0	-	141 ± 55,7	183 ± 0	111 ± 0	-	138 ± 48,2

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Die Fichten befinden sich in einem höheren Alter. Dies führt zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber abiotischen und biotischen Gefahren. Daher ist kurz bis mittelfristig mit Ausfällen der Fichten zu rechnen. Bei den Eichen ist langfristig mit einem Wachstum zu rechnen, dieses wird sich jedoch mit zunehmendem Alter verlangsamen. Die Lücken, welche durch den Ausfall der Fichten entstehen, werden von Buchen und Ahorn geschlossen. Die Eiche wird häufig aufgrund der starken Konkurrenz durch die Buche verdrängt werden. Langfristig wird sich ein buchendominierter Bestand etablieren, gemischt mit Ahorn und Eichen. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Soll-Zustand

Ziel ist ein vitaler 2-schichtiger Mischbestand, welcher an die künftigen Herausforderungen des Klimawandels angepasst ist. Als Zielbestockung wird ein Buchen-Eichen dominierter Mischbestand mit zusätzlichen Nebenbaumarten wie Ahorn und Linden angestrebt. Vereinzelt wird eine Förderung der Eiche notwendig sein, um eine ausgewogene Mischung zwischen Buche und Eiche zu gewährleisten. Zu Beginn kann es nötig sein, einzelne Baumarten durch künstliche Verjüngung in den Bestand einzubringen. Langfristig soll mit einer Naturverjüngung gearbeitet werden. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Eingriffsmöglichkeiten in Altersklasse 4

Die Fichten in dieser Altersklasse sollten kurz bis mittelfristig genutzt werden, um die Gefahr eines flächigen Ausfalls infolge von abiotischen oder biotischen Einflüssen zu verhindern. Die sich dabei bildenden Bestandeslücken infolge einer Entnahme der Fichten, werden gemäß der Zielbestockung ergänzt. Sofern sich keine Naturverjüngung etabliert, ist diese künstlich zu ergänzen. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020)

3.2.1.3 Unbestockte Waldflächen

Auf diesen Flächen wurden keine Bäume ≥10 cm BHD erhoben, sie gelten daher als „Unbestockte Flächen“. Es handelt sich hierbei um 16% des Wirtschaftswaldes, dies entspricht 47,30 ha.

Verjüngung < 10 cm BHD

Auf 67 % der 6 erhobenen Flächen wurden keine Bäume mit einem BHD < 10 cm aufgefunden. 17 % der Flächen weisen eine Stammzahl von ≥ 2500 auf, während auf 16 % der Flächen eine Stammzahl < 2500 vorhanden ist, siehe Tabelle 27.

Tabelle 27: Verteilung der Bäume <10 cm BHD auf unbestockten Waldflächen im Wirtschaftswald

Altersklasse	**N = 0**	**N < 2500**	**N ≥ 2500**	**Erhobene Flächen (n)**
Gesamt [%]	66,67	16,67	16,67	6
Kein bewuchs ≥ 10 cm BHD (n)	4	1	1	6

Verteilung der Baumarten < 10 cm BHD und ≥ 10 cm BHD

Da es sich um unbestockte Flächen handelt, ist keine Bestockung mit einem BHD ≥ 10 cm vorhanden. Bei der Verjüngung BHD < 10 cm handelt es sich zu 50 % um Esche und 50 % um sonstiges Laubholz. Andere Baumarten wurden auf den 6 erhobenen Flächen nicht aufgefunden, siehe Abbildung 21.

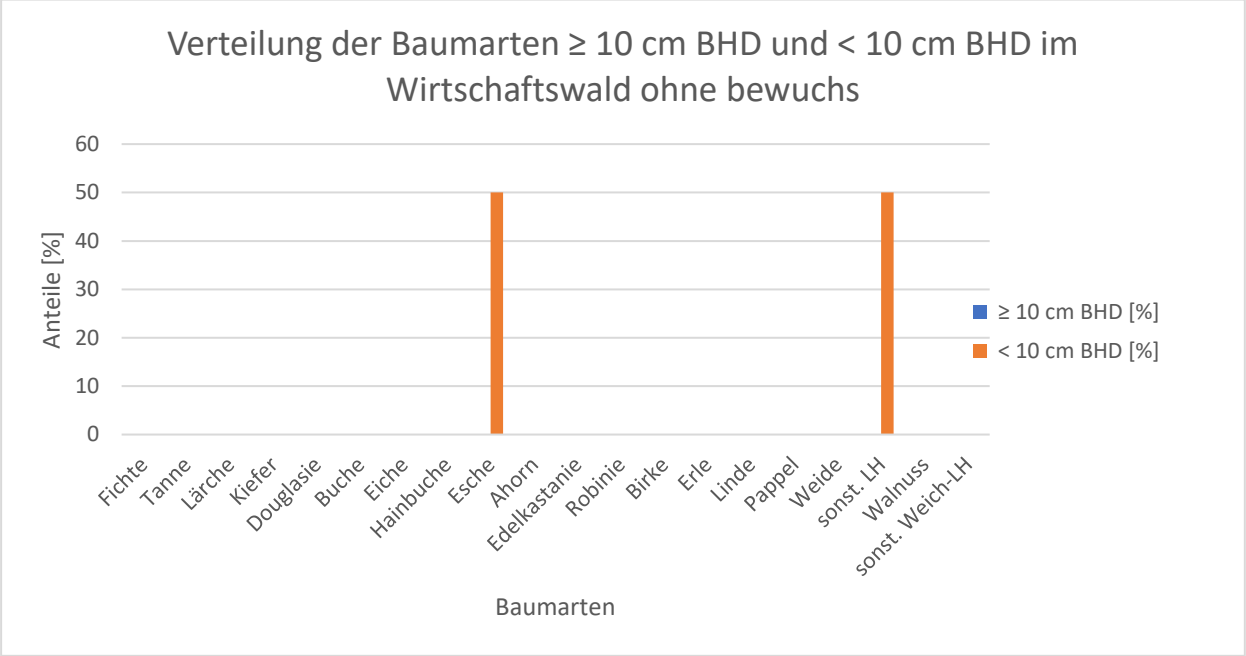

Abbildung 21: Verteilung der Baumarten ≥ 10cm BHD und <10 cm BHD

Tabelle 28: Allgemeine Informationen für unbestockte Waldflächen im Wirtschaftswald

Baumartenzusammensetzung	Anteil vom Wirtschaftswald [%]	Erhobene Flächen (n)	Zielbestockung
-	16	37	Buchen-Eichen

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Langfristig werden sich Eschen und sonstiges Laubholz etablieren. Kurzfristig besteht die Gefahr einer Vergrasung, welche die Naturverjüngung hemmt. Das Risiko eines Ausfalles der verjüngten Eschen aufgrund des Eschentriebstrebens ist wahrscheinlich. Auf einzelnen Beständen werden sich langfristig Buchen etablieren, ebenso Pionierbaumarten wie die Eiche und der Ahorn. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Soll-Zustand

Langfristiges Ziel ist ein 2 -schichtiger Mischbestand, welcher an den künftigen Klimawandel, sowie Extremereignisse angepasst ist. Als Zielbestockung wird ein Mischbestand aus Buchen und Eichen, sowie Nebenbaumarten wie Ahorn und Linden angestrebt. Aufgrund der hohen Konkurrenzkraft der Buche ist es nötig, die Eiche bereits in jungen Jahren zu fördern, um die gewünschte Baumartenverteilung zu erreichen. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

Maßnahmen

Ziel ist eine Vergrasung der Bestände zu verhindern und eine gesicherte Naturverjüngung zu etablieren. Zusätzliche Kunstverjüngungen werden notwendig sein, um die Zielbaumarten zu etablieren. Für das Erreichen des gewünschten Mischungsverhältnisses werden regelmäßige Pflegemaßnahmen erforderlich sein. Schutzmaßnahmen gegen Wildeinfluss können je nach Gegebenheiten nötig sein. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020)

3.2.2 Natura 2000 Schutzgebiet

Die Natura 2000 Schutzgebiete besitzen eine Waldfläche von 222,7 ha. Dies entspricht einem Anteil von 42,97% der gesamten Waldfläche der Stadt Linz.

Altersklassenverteilung im Natura 2000 Schutzgebiet

Im Natura 2000 Schutzgebiet ist die Altersklasse 4 mit über 50% am stärksten vertreten, gefolgt von Altersklasse 3 mit knapp über 20%. Die Altersklassen 6 und 7 sind nicht vorhanden, ebenso wie Blößen, siehe Abbildung 22. Um eine bessere Vergleichbarkeit zu erhalten, wurde ein Normalwaldmodell beigefügt, in welchem jeder Altersklasse ein gleich großer Anteil entspricht, siehe Abbildung 22.

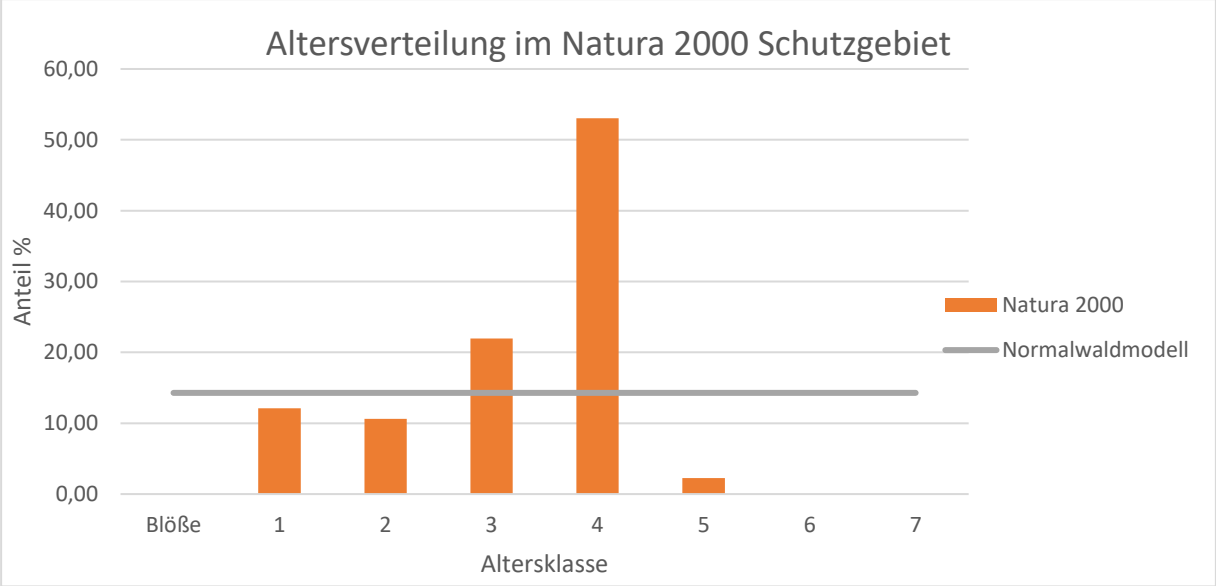

Abbildung 22: Verteilung der Natura 2000 Waldbestände über die Altersklassen. Als Referenz wurde ein Normalwaldmodell hinzugefügt.

Verteilung der Bestände

Um die Natura 2000 Schutzgebiete genauer beschreiben zu können, wurden diese zunächst in „Reinbestand“, „Mischbestand“ und „Unbestockte Waldflächen“ ohne Bewuchs ≥10cm BHD unterteilt. Mit einem Anteil von 48% sind Reinbestände am stärksten vertreten. Der Anteil an Waldflächen mit einem Mischbestand, sowie jener Anteil ohne Bewuchs ≥10cm BHD machen jeweils ca. 25% der Fläche aus, siehe Abbildung 23.

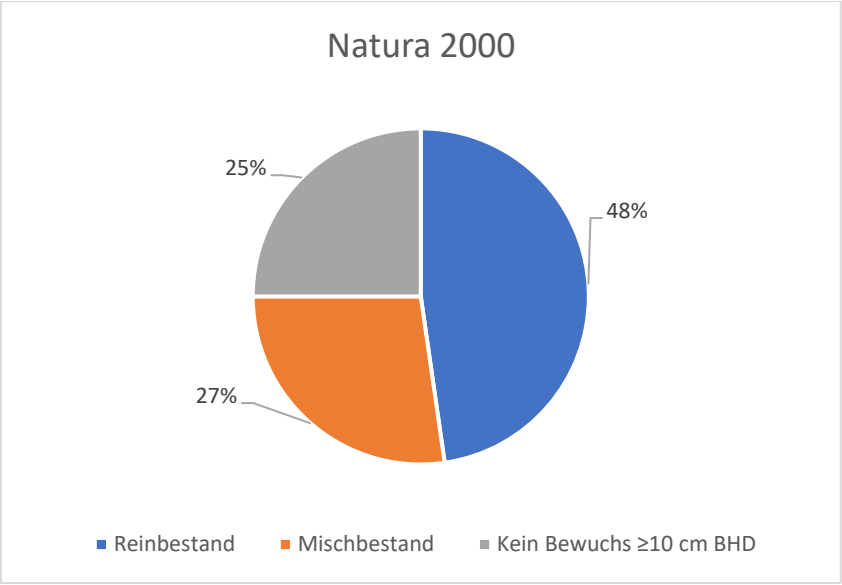

Abbildung 23: Verteilung der Natura 2000 Schutzgebiet nach Reinbestand, Mischbestand und kein Bewuchs/Bestockung ≥.10cm BHD

3.2.2.1 Reinbestände

Diese Bestände besitzen einen Anteil von ≥80% einer Baumart und wurden daher als Reinbestände klassifiziert. Die Reinbestände im Natura 2000 Gebiet entsprechen einem Anteil von 48%, was einer Fläche von 106,90 ha entspricht.

Verteilung der Bestände im Natura 2000 Reinbestand

Die am häufigsten vorkommenden Reinbestände sind Hybridpappel-Bestände mit einem Anteil von 53%. Esche-Bestände sind auf 32% der Flächen vorhanden, während Weiden-Bestände 11,3% der Reinbestandflächen im Natur 2000 Gebiet ausmachen. Diese 3 Bestandestypen wurden nachstehend näher beschrieben. 3,23 % verteilen sich auf sonstige Reinbestände, siehe Tabelle 29.

Tabelle 29: Bestandes-Anteile vom Natura 2000 Reinbestand

Baumartenzusammensetzung	**Anteil der Reinbestände [%]**
Pappel	53,23
Esche	32,26
Weide	11,29
sonstige	3,23

Verteilung der Kohlenstoffspeicherkapazität über das Alter

In Natura 2000 Reinbeständen sind die Altersklassen zwei, drei, vier und fünf vertreten. Es lässt sich eine kontinuierliche Kohlenstoffspeicherkapazitätszunahme über den einzelnen Altersklassen erkennen. Erneut kommt es in der höchsten Altersklasse zu einer Abnahme der Kohlenstoffspeicherkapazität, siehe Abbildung 24.

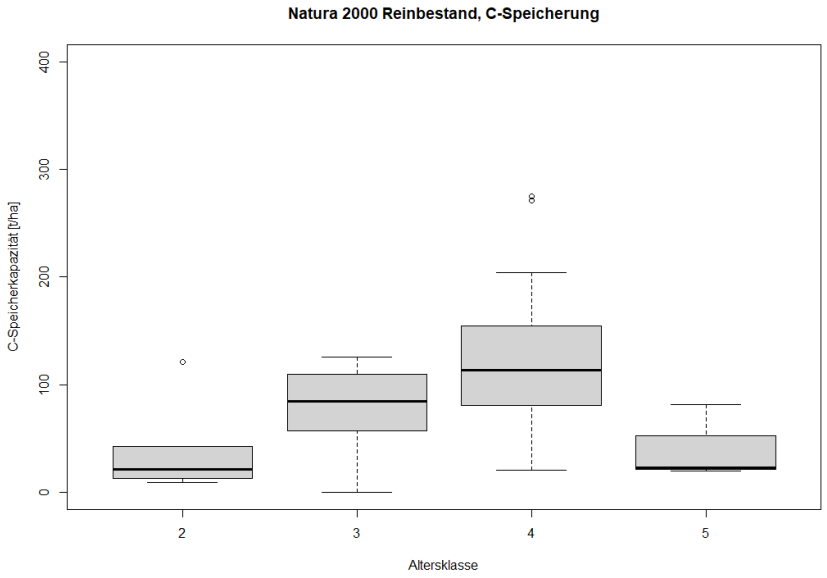

Abbildung 24: Kohlenstoffspeicherkapazität in Reinbeständen nach Altersklasse, ≥ 10 cm BHD.

Bäume <10cm BHD

Bäume < 10 cm BHD wurde auf 10 Flächen erhoben. Auf 60 % der erhobenen Flächen wurde eine Stammzahl von ≥ 2500 festgestellt. Auf den restlichen 40 % ist eine Stammzahl < 2500 vorhanden, siehe Tabelle 30.

Tabelle 30: Verteilung der Bäume <10 cm BHD im Natura 2000 Reinbestand

Altersklasse	N = 0	N <2500	N ≥2500	erhobene Flächen (n)
Gesamt [%]	0	40,00	60,00	10
2 (n)	-	-	1	1
3 (n)	-	1	2	3
4 (n)	-	2	3	5
5 (n)	-	1	-	1

Verteilung der Baumarten ≥10 cm BHD und <10 cm BHD

In der folgenden Grafik werden die vorkommenden Baumarten dargestellt. Die Hybridpappel ist die häufigste Baumart <10 cm BHD mit 50%. Sie kommt ≥ 10cm BHD gar nicht vor. Die Esche besitzt einen Anteil von fast 40% in ≥ 10cm BHD. <10 cm BHD kommt die Esche nur vereinzelt, zu 10% vor. Stark vertreten sind sonstige Laubhölzer unter Bäumen <10 cm BHD mit einem Anteil von 80%, während sonstige Laubhölzer bei Bäumen ≥ 10cm BHD kaum vertreten sind, siehe Abbildung 25.

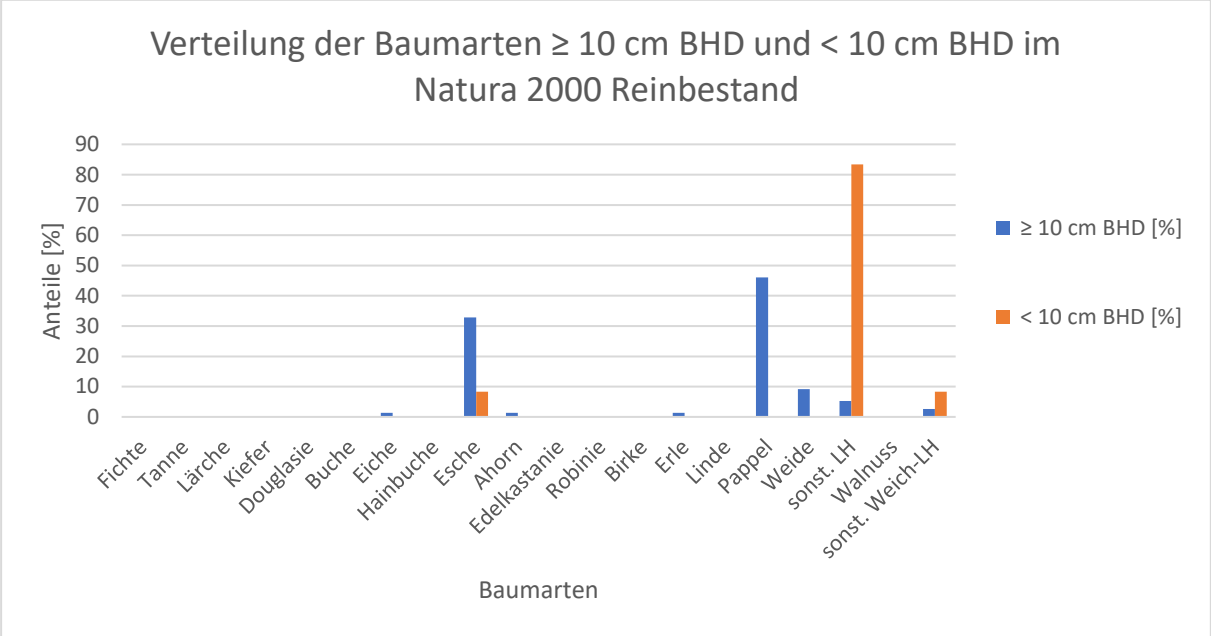

Abbildung 25: Verteilung der Baumarten ≥ 10cm BHD und <10 cm BHD

3.2.2.1.1 Esche

Tabelle 31: Allgemeine Informationen für Eschen-Reinbestände im Natura 2000 Schutzgebiet

Baumartenzusammensetzung	Anteil der Natura 2000 Flächen [%]	Erhobene Flächen (n)
Esche	15,91	21

Ist-Zustand

Die Eschen-Reinbestände machen einen Anteil von 15,91 % des Natura 2000 Gebiets aus, was einer Fläche von 35,43 ha entspricht. Insgesamt wurden 21 Probeflächen erhoben, siehe Tabelle 31.

Mit 43 % ist die Altersklasse 4 die häufigste Altersklasse. Die Altersklasse 3 kommt auf 33,33 % der Flächen vor, während die restlichen Bestände in den Altersklassen 2 und 5 liegen. Die Stammzahl liegt im Mittel bei 188 ha^{-1}. Die geringste Stammzahl befindet sich in der Altersklasse 5 mit 31 ha^{-1}. Die mittlere Höhe liegt bei 25,3 m mit einem mittleren BHD von 45 cm. Das geringste HD-Verhältnis liegt in der AKL 5 bei 0,38, während das höchste in der Altersklasse 3 bei 0,75 liegt. Im Mittel befinden sich die Bestände bei einem HD-Verhältnis von 0,61. Im Mittel speichern die Bestände 71,5 t/ha. Die geringste Kohlenstoffspeicherkapazität ist in der Altersklasse 2 mit 14,9 t/ha, siehe Tabelle 32.

Tabelle 32: Ergebnisse der Eschen Reinbestände im Natura 2000 Gebiet nach Altersklasse und im Mittel.

Esche	AKL. 1	AKL. 2	AKL. 3	AKL. 4	AKL. 5	AKL. 6	AKL. 7	Mittel AKL. 1-7
Anteil [%], (n)	-	9,52 (2)	33,33 (7)	42,86 (9)	14,29 (3)	-	-	100 (21)
N [ha^{-1}]	-	82,5 ± 39,2	242 ± 175	223 ± 235	31,1 ± 40,0	-	-	188 ± 194
Mittel-Höhe [m]	-	20,8 ± 4,48	24,5 ± 2,71	26,3 ± 2,03	27,4 ± 3,50	-	-	25,3 ± 3,06
Mittel-BHD [cm]	-	31,7 ± 1,65	32,9 ± 4,5	48,7 ± 10,2	74,3 ± 11,4	-	-	45,4 ± 16,2
HD Verhältnis	-	0,66 ± 0,18	0,75 ± 0,18	0,56 ± 0,11	0,38 ± 0,08	-	-	0,61 ± 0,16
C. [t/ha]	-	14,9 ± 3,50	75,2 ± 51,0	91,3 ± 57,0	41,3 ± 34,7	-	-	71,5 ± 53,2

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Ohne menschliche Eingriffe ist aufgrund des Eschentriebsterbens kurz- bis mittelfristig mit einem Ausfall der vorhandenen Eschen zu rechnen. Dies führt ebenso kurz- bis mittelfristig zu einer starken Abnahme der Kohlenstoffspeicherkapazität in den Beständen. Durch den Ausfall der Eschen werden sich großflächige Lücken in den Beständen ergeben, welche von sonstigen Laubhölzern, Weiden und vereinzelt Hybridpappeln geschlossen werden. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

3.2.2.1.2 Hybridpappel

Tabelle 33: Allgemeine Informationen für Hybridpappel Reinbestände im Natura 2000 Gebiet

Baumartenzusammensetzung	Anteil der Natura 2000 Flächen [%]	Erhobene Flächen (n)
Hybridpappel	25	33

Ist Zustand

Die Hybridpappel Reinbestände weisen einen Hybridpappelanteil von ≥ 80 % auf und wurden auf 33 Flächen erhoben. Dies entspricht einem Anteil von 25 % des Natura 2000 Gebietes und einer Fläche von 55,68 ha, siehe Tabelle 33.

Die Hybridpappelbestände weisen mit 75 % vorwiegend ein Alter der Altersklasse 4 auf, sowie mit 21 % der Altersklasse 3. Lediglich 3 % sind in Altersklasse 2 vorhanden. Die Stammzahl befindet sich zwischen 129 ha^{-1} in Altersklasse 4 und 317 ha^{-1} in Altersklasse 2. Die mittlere Höhe liegt bei 30 m und der mittlere BHD bei 60 cm. Das HD-Verhältnis beträgt zwischen 0,48 in der Altersklasse 4 und 0,75 in der Altersklasse 2. Die Kohlenstoffspeicherkapazität liegt im Mittel bei 117 t/ha, während die geringste Kohlenstoffspeicherkapazität in der Altersklasse 3 mit 83,0 t/ha vorliegt, siehe Tabelle 34.

Tabelle 34: Ergebnisse der Hybridpappel Reinbestände im Natura 2000 Gebiet nach Altersklasse und im Mittel

Hybridpappel	AKL. 1	AKL. 2	AKL. 3	AKL. 4	AKL. 5	AKL. 6	AKL. 7	Mittel AKL. 1-7
Anteil [%], (n)	-	3,03 (1)	21,21 (7)	75,76 (25)	-	-	-	100 (33)
N [ha^{-1}]	-	316 ± 0	225 ± 192	129 ± 109	-	-	-	154 ± 135
Mittel-Höhe [m]	-	27,4 ± 0	27,0 ± 2,76	31 ± 2,90	-	-	-	30,0 ± 3,28
Mittel-BHD [cm]	-	36,6 ± 0	43,6 ± 14,8	66,7 ± 16,2	-	-	-	60,9 ± 18,7
HD-Verhältnis	-	0,75 ± 0	0,65 ± 0,12	0,48 ± 0,09	-	-	-	0,53 ± 0,12
C. [t/ha]	-	121 ± 0	83,0 ± 32,8	127 ± 65,3	-	-	-	117 ± 61,1

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Die Hybridpappeln werden unter optimalen Bedingungen weiterwachsen und Kohlenstoff binden. Der jährliche Zuwachs nimmt jedoch mit dem Alter ab, wodurch der jährlich neu gebundene Kohlenstoff ebenfalls geringer wird. Einzelne Hybridpappeln werden aufgrund von externen Einflüssen ausfallen. Aufgrund der Beliebtheit von Pappelarten bei Bibern ist je nach Intensität ebenfalls mit Ausfällen zu rechnen. Es ist davon auszugehen, dass die Bestandeslücken durch einzelne Hybridpappeln, sowie Weiden und sonstige Laubhölzer geschlossen werden, sofern eine Naturverjüngung in einer ausreichenden Anzahl und Vitalität vorhanden ist. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

3.2.2.1.3 Weide

Tabelle 35: Allgemeine Informationen für Weiden-Reinbestände im Natura 2000 Gebiet

Baumartenzusammensetzung	Anteil der Natura 2000 Flächen [%]	Erhobene Flächen (n)
Weide	5,30	7

Ist-Zustand

Die Weiden-Reinbestände besitzen einen Weiden-Anteil von ≥ 80 % in den Beständen. Insgesamt wurden 7 Flächen erhoben. Weiden-Reinbestände machen einen Anteil von 5,30 % an den Natura 2000 Gebiet aus, siehe Tabelle 35.

57,14 % der Weiden Reinbestände befinden sich in der Altersklasse 4, 28,57 % in der Altersklasse 3 und 14,29 % in der Altersklasse 2. Die mittlere Stammzahl beträgt 277 ha^{-1}. In Altersklasse 2 ist die geringste Stammzahl mit 152 ha^{-1} vorhanden. Die mittlere Höhe beträgt 20,2 m bei einem mittleren BHD von 47,8 cm. Das HD-Verhältnis liegt zwischen 0,36 in der Altersklasse 4 und 0,59 in der Altersklasse 2. Die Kohlenstoffspeicherkapazität liegt im Mittel bei 85,8 t/ha, während die geringste Kohlenstoffspeicherkapazität bei 25,0 t/ha in Altersklasse 2 vorhanden ist, siehe Tabelle 36.

Tabelle 36: Ergebnisse der Weiden-Reinbestände im Natura 2000 Gebiet nach Altersklasse und im Mittel

Weide	AKL. 1	AKL. 2	AKL. 3	AKL. 4	AKL. 5	AKL. 6	AKL. 7	Mittel AKL. 1-7
Anteil [%], (n)	-	14,29 (1)	28,57 (2)	57,14 (4)	-	-	-	100 (7)
N [ha^{-1}]	-	151 ± 0	375 ± 15,2	258 ± 292	-	-	-	276 ± 221
Mittel-Höhe [m]	-	16,3 ± 0	21,5 ± 0,17	20,5 ± 5,0	-	-	-	20,2 ± 3,97
Mittel-BHD [cm]	-	27,5 ± 0	37,1 ± 3,334	58,3 ± 17,0	-	-	-	47,8 ± 18,1
HD Verhältnis	-	0,59 ± 0	0,58 ± 0,05	0,36 ± 0,04	-	-	-	0,46 ± 0,13
C. [t/ha]	-	25,0 ± 0	85,4 ± 30,4	101 ± 19,4	-	-	-	85,8 ± 33,4

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Weiden können in der Regel zwischen 100 und 200 Jahre alt werden. Da sich 60% der Bestände in der Altersklasse 4 befinden, das entspricht einem Alter von 60-80 Jahren, ist von einem weiteren Wachstum der Weiden auszugehen. Es handelt sich um sehr stabile Bestände mit starken BHD-Durchmessern. Die Kohlenstoffspeicherkapazität wird mit fortschreitendem Wachstum langsam zunehmen. Weiden können kurzzeitige Trockenperioden überstehen und sind daher nicht in erhöhtem Ausmaß vom fortschreitenden Klimawandel betroffen. Die Weide ist eine beliebte Baumart für Biber und wird bevorzugt genutzt. Dies kann je nach Populationsdichte der Biber zu Ausfällen führen und die Weide anteilsmäßig zurückdrängen. Langfristig werden die Weiden aufgrund ihres Alters ausfallen, wodurch sich die Kohlenstoffspeicherkapazität verringern wird und sich Lücken in den Beständen bilden. Diese Bestandeslücken werden langfristig durch Weiden, sowie sonstige Laubhölzer geschlossen. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

3.2.2.2 Mischbestände

Diese Bestände weisen einen Anteil >0 und <80% einer Baumart auf. Die Mischbestände machen einen Anteil von 27 % des Natura 2000 Waldgebietes aus, dies entspricht einer Fläche von 60,13 ha.

Verteilung der Bestände im Natura 2000 Schutzgebietes

Diese Bestände besitzen einen Baumartenanteil einer Baumart von >0 und <80%. Die Natura 2000 Mischbestände verteilen sich zu 50% auf Hybridpappel-Eschen Mischbestände und zu 13,89% auf Ahorn-Eschen Mischbestände. Die restlichen 36,11% verteilen sich auf sonstige Mischungen, siehe Tabelle 37. Anschließend wurden Pappel-Esche und Ahorn-Esche Mischbestände näher beschrieben.

Tabelle 37: Bestandes-Anteile der Natura 2000 Mischbestände

Baumartenzusammensetzung	Anteil vom Mischbestand [%]
Eschen-Hybridpappel	50,00
Ahorn-Esche	13,89
Rest	36,11

Verteilung der Kohlenstoffspeicherkapazität über das Alter

Die Kohlenstoffspeicherkapazität verhält sich im Natura 2000 Mischbestand anders als im Natura 2000 Reinbestand. Es konnte keine deutliche Steigerung der Kohlenstoffspeicherkapazität mit zunehmender Altersklasse festgestellt werden, siehe Abbildung 26.

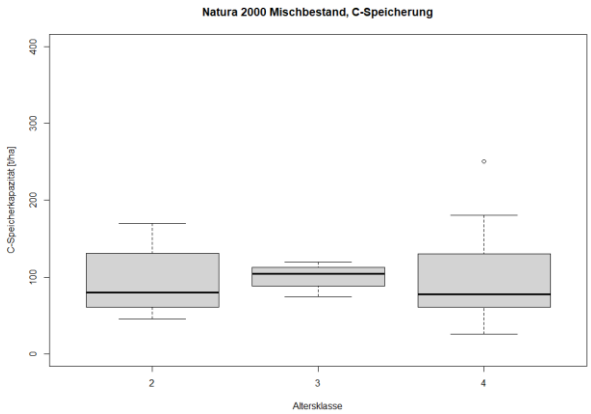

Abbildung 26: Kohlenstoffspeicherkapazität den Mischbeständen nach Altersklasse, ≥ 10 cm BHD.

Bäume < 10 cm BHD

Bäume mit einem BHD < 10 cm wurden auf 10 Flächen erhoben. Auf 40 % wurde eine Stammzahl ≥ 2500 festgestellt, während auf 50 % der Flächen eine Stammzahl < 2500 erhoben wurde. Keine Bäume < 10 cm BHD wurden auf 10 % der Flächen festgestellt, siehe Tabelle 38.

Tabelle 38: Verteilung der Bäume < 10 cm BHD im Natura 2000 Mischbestand

Altersklasse	N = 0	N <2500	N ≥2500	Erhobene Flächen (n)
Gesamt [%]	10,00	50,00	40,00	10
2 (n)	-	2	-	2
3 (n)	-	-	1	1
4 (n)	1	3	3	7

Verteilung der Baumarten ≥10 cm BHD und <10 cm BHD

In der nachstehenden Abbildung 27 wurden die vorkommenden Baumarten ≥ 10 cm BHD und < 10 cm BHD miteinander verglichen. Die Esche ist auf 37 % der erhobenen Flächen ≥ 10 cm BHD vorhanden, jedoch nur auf 10 % der Bäume < 10 cm BHD. Hybridpappeln < 10 cm BHD wurden nicht aufgefunden, während < 10 cm BHD sonstige Laubhölzer mit 65 % stark vertretenen waren, siehe Abbildung 27.

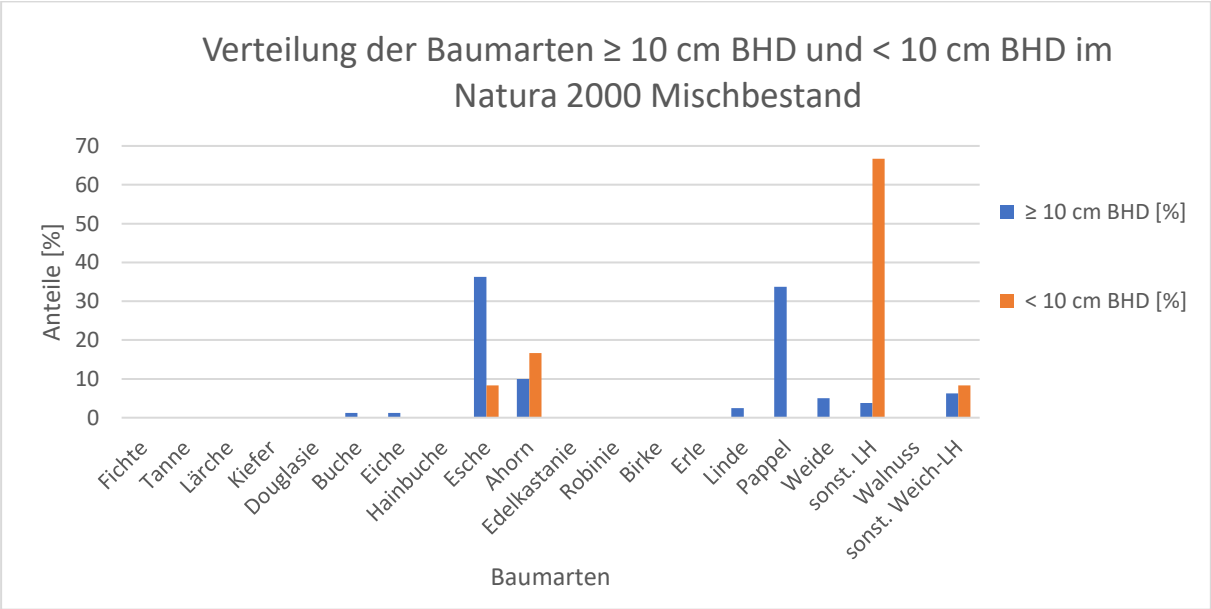

Abbildung 27: Verteilung der Baumarten ≥ 10 cm BHD und < 10 cm BHD

3.2.2.2.1 Esche-Hybridpappel

Tabelle 39: Allgemeine Informationen für Esche-Hybridpappel-Mischbestände im Natura 2000 Schutzgebiet

Baumartenzusammensetzung	Anteil der Natura 2000 Flächen [%]	Erhobene Flächen (n)
Esche-Hybridpappel	15,15	20

Ist-Zustand

Die Bestände wurden auf 20 Aufnahmepunkten erhoben. Sie machen einen Anteil von 15,15 % des Natura 2000 Gebietes aus, was einer Fläche von 33,74 ha entspricht, siehe Tabelle 39.

Die Esche-Hybridpappeln-Mischbestände weisen zu 85 % ein Alter der Altersklasse 4 auf, während sich die restlichen Flächen auf die Altersklassen 2 und 3 verteilen. Die Stammzahl beträgt im Mittel 232 ha^{-1}, während die höchste Stammzahl in Altersklasse 3 vorliegt und die geringste Stammzahl in Altersklasse 2. Die mittlere Höhe liegt bei 25,9 m mit einem mittleren BHD von 50,8 cm. Die Bestände besitzen ein HD-Verhältnis zwischen 0,52 in der Altersklasse 4 und 0,64 in der Altersklasse 3. Die Kohlenstoffspeicherkapazität liegt bei 108 t/ha. Die geringste Kohlenstoffspeicherkapazität wurde in Altersklasse 2 mit 45,2 t/ha erhoben, siehe Tabelle 40.

Tabelle 40: Ergebnisse der Esche-Hybridpappel-Mischbestände im Natura 2000 Gebiet nach Altersklasse und im Mittel.

Esche-Pappel	AKL. 1	AKL. 2	AKL. 3	AKL. 4	AKL. 5	AKL. 6	AKL. 7	Mittel AKL. 1-7
Anteil [%], (n)	-	5,00 (1)	10,00 (2)	85,00 (17)	-	-	-	100 (20)
N [ha^{-1}]	-	116 ± 0	438 ± 425	215 ± 214	-	-	-	233 ± 232
Mittel-Höhe [m]	-	20,4 ± 0	22,4 ± 2,83	26,6 ± 4,52	-	-	-	25,9 ± 4,57
Mittel-BHD [cm]	-	38,8 ± 0	35,9 ± 4,83	53,2 ± 14,8	-	-	-	50,8 ± 14,9
HD Verhältnis	-	0,53 ± 0	0,64 ± 0,16	0,52 ± 0,10	-	-	-	0,53 ± 0,10
C. [t/ha]	-	45,2 ± 0	96,7 ± 32,0	114 ± 53,7	-	-	-	109 ± 52,3

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Die Hybridpappeln werden weiterwachsen, während die Eschen durch das Eschentriebsterben kurz- bis mittelfristig bis auf einige resistente Individuen ausfallen werden. Abhängig von der Intensität der Biber ist mit vereinzelten Ausfällen der Hybridpappeln zu rechnen. In den entstehenden Lücken werden sich Ahorn und sonstige Laubhölzer etablieren. Die Bestände werden sich mittelfristig in einen Hybridpappel dominierten Mischbestand mit einzelnen Eschen und weiteren Laubhölzern entwickeln. Die Kohlenstoffspeicherkapazität wird kurz- bis mittelfristig aufgrund des Ausfalles der Eschen abnehmen. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

3.2.2.2.2 Ahorn-Esche

Tabelle 41: Allgemeine Informationen für Ahorn-Esche-Mischbestände im Natura 2000 Schutzgebiet

Baumartenzusammensetzung	Anteil der Natura 2000 Flächen [%]	Erhobene Flächen (n)
Ahorn-Esche	4,55	6

Ist-Zustand

Die Ahorn-Esche-Mischbestände im Natura 2000 Gebiet machen einen Anteil von 4,55 % aus, was einer Fläche von 10,12 ha entspricht. Es wurden 6 Flächen erhobene, siehe Tabelle 41.

Die Ahorn- Esche-Mischbestände befinden sich zu 66,67 % in der Altersklasse 2 und zu 33,33 % in der Altersklasse 3. Die Stammzahl liegt in der Altersklasse 2 bei 992 ha^{-1} und bei 260 ha^{-1} in der Altersklasse 3. Die mittlere Höhe beträgt 21,7 m bei einem mittleren BHD von 28,1 cm. Das HD-Verhältnis liegt in Altersklasse 2 bei 0,83 und in Altersklasse 3 bei 0,71. Die Kohlenstoffspeicherkapazität liegt im Mittel bei 95,8 t/ha und unterscheidet sich somit nur gering zwischen den zwei Altersklassen, siehe Tabelle 42.

Tabelle 42: Ergebnisse der Ahorn-Esche-Mischbestände im Natura 2000 Gebiet nach Altersklasse und im Mittel

Ahorn - Esche	AKL. 1	AKL. 2	AKL. 3	AKL. 4	AKL. 5	AKL. 6	AKL. 7	Mittel AKL. 1-7
Anteil [%], (n)	-	66,67 (4)	33,33 (2)	-	-	-	-	100 (6)
N [ha^{-1}]	-	992 ± 878	260 ± 70,4	-	-	-	-	748 ± 779
Mittel-Höhe [m]	-	20,1 ± 4,33	24,9 ± 0,02	-	-	-	-	21,7 ± 4,16
Mittel-BHD [cm]	-	24,5 ± 2,51	35,3 ± 3,06	-	-	-	-	28,1 ± 6,07
HD-Verhältnis	-	0,83 ± 0,20	0,71 ± 0,06	-	-	-	-	0,79 ± 0,17
C. [t/ha]	-	95,8 ± 49,4	95,9 ± 11,3	-	-	-	-	95,8 ± 38,6

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Bedingt durch das Eschentriebsterben werden die Eschen kurz- bis mittelfristig, bis auf einige resistente Individuen ausfallen und Lücken in den Beständen entstehen. Der Ahorn wird aufgrund eines abnehmenden Eschenanteiles einen erhöhten Anteil aufweisen und weiterwachsen. Die Kohlenstoffspeicherkapazität wird kurz- bis mittelfristig aufgrund des Eschensterbens sinken. Die entstehenden Lücken werden durch Ahorn, Weiden, Buchen und sonstige Laubhölzer geschlossen werden, wodurch sich die Kohlenstoffspeicherkapazität wieder erhöht. Langfristig wird sich ein Ahorn Mischbestand mit sonstigen Laubhölzern etablieren. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

3.2.2.3 Unbestockte Waldflächen

Verteilung der unbestockten Waldflächen

Bei diesen ausgeschiedenen Flächen ist keine Bestockung ≥ 10 cm BHD vorhanden. Die unbestockten Waldflächen machen 25 % des Natura 2000 Schutzgebietes aus, was einer Fläche von 55,68 ha entspricht.

Bäume <10cm BHD

Insgesamt wurden auf 24 Flächen im Natura 2000 Schutzgebiet die Bäume < 10 cm BHD erhoben. Auf 79,17 % der Flächen sind Bäume < 10 cm BHD mit einer Stammzahl ≥ 2500 vorhanden, während auf 16,67 % eine Stammzahl > 0 und < 2500 vorliegt. Keine Bäume mit einem BHD < 10 cm wurden auf 4,17 % der Flächen erhoben, siehe Tabelle 43.

Tabelle 43: Verteilung der Bäume <10cm BHD unter den unbestockten Waldflächen im Natura 2000 Waldgebiet

Altersklasse	N = 0	N <2500	N ≥2500	Erhobene Flächen (n)
Gesamt [%]	4,17	16,67	79,17	24
unbestockte Waldflächen > 10 cm BHD (n)	1	4	19	24

Verteilung der Baumarten ≥ 10 cm BHD und < 10 cm BHD

Bei Bäumen mit einem BHD < 10 cm handelt es sich zu 80 % um sonstige Laubhölzer. Vereinzelte Eschen, Ahorn und Hybridpapeln sind zu geringen Anteilen vorhanden, siehe Abbildung 28.

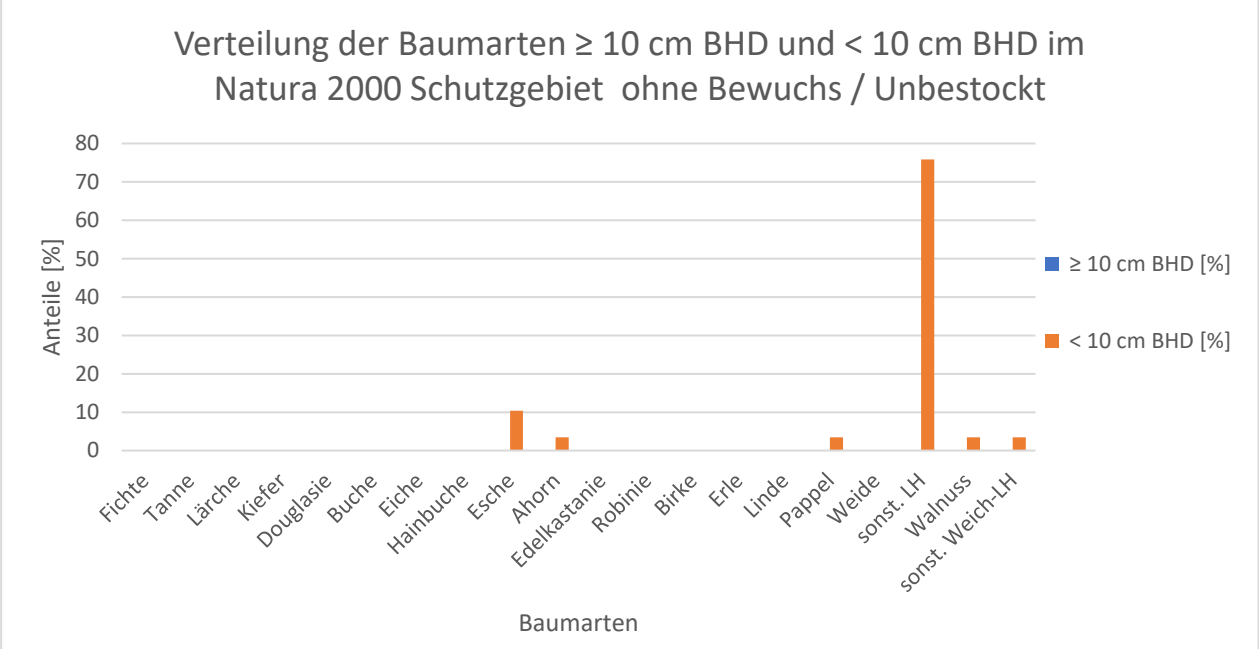

Abbildung 28: Verteilung der Baumarten ≥ 10 cm BHD und < 10 cm BHD

Tabelle 44: Allgemeine Informationen für unbestockte Waldflächen im Natura 2000 Gebiet

Baumartenzusammensetzung	Anteil der Natura 2000 Flächen [%]	Erhobene Flächen (n)
-	25	33

Ist-Zustand

Die Flächen sind aktuell nicht bestockt mit ≥10 cm BHD. Bäume <10 cm BHD sind auf diesen Flächen vorhanden und vorwiegend sonstige Laubhölzer.

Entwicklung ohne menschliche Eingriffe

Aufgrund eines hohen Anteils an Bäumen < 10 cm BHD ist die Gefahr eines Vergrasens der Bestände gering. Langfristig werden sich die Bestände vorwiegend aus sonstigen Laubhölzern, Ahorn und Hybridpappel zusammensetzten. Eschen werden sich aufgrund des Eschentriebsterbens kaum etablieren. Mittel bis langfristig werden sich die Bestände entwickeln und vermehrt Kohlenstoff speichern. (Weinfurter 2021; Bartsch et al. 2020; Kilian et al. 1994)

4 Diskussion

4.1 Kohlenstoff

4.1.1 Vergleich der Kohlenstoffergebnisse in den zwei Waldgebieten

Die bewirtschafteten Linzer Waldgebiete sind deutlich gleichmäßiger über einzelne Altersklassen verteilt, während die Natura 2000 Waldgebiete stark von der Altersklasse vier dominiert werden. Betrachtet man die Verteilung der Bestände zwischen Reinbeständen, Mischbeständen und unbestockten Waldflächen, zeigt sich ein höherer Anteil mit 48 % an Reinbeständen im Natura 2000 Waldgebiet. Im Wirtschaftswald überwiegt im Gegensatz der Mischwald mit 45 %. Ein hoher Anteil an Reinbeständen ergibt sich anhand einer natürlich vorhandenen dominierenden Baumart auf bestimmten Standorttypen. Dies ist auch an den vorhandenen Baumarten erkennbar. Im Natura 2000 Waldgebiet gibt es vorwiegend vier vorherrschende Baumarten, während im Wirtschaftswald neun erhoben wurden.

Ein Vergleich der Kohlenstoffspeicherkapazität in den Bäumen ≥ 10 cm BHD ist nur bedingt aussagekräftig, da sich die Wälder in unterschiedlichen Entwicklungsstadien befinden. Auch die verschiedenen Standortbedingungen zwischen Auwäldern und gemäßigten Wäldern können einen großen Einfluss auf die Kohlenstoffspeicherkapazität haben. Im Natura 2000 Gebiet kam es in den letzten Jahren zu vermehrtem Absterben von Eschen aufgrund des Eschentriebsterbens, welche einen hohen Anteil im Natura 2000 Gebiet aufweisen. (www.land-oberoesterreich.gv.at, 22.04.2024) Dies führte zu einer Reduktion der Kohlenstoffspeicherkapazität in diesen Waldbeständen und zu vermehrten Lücken. Mittel bis langfristig ist davon auszugehen, dass sich diese Bestände wieder erholen und erneut Kohlenstoff speichern können. (Becker 2015)

Aktuell besitzt der Wirtschaftswald eine höhere Kohlenstoffspeicherkapazität mit 94,87 tC/ha im Vergleich zu 73,75 tC/ha im Natura 2000 Schutzgebiet. Im Bezug auf die Kohlenstoffspeicherkapazität konnte in den bewirtschafteten und Natura 2000 Reinbeständen mit steigender Altersklasse eine kontinuierliche Zunahme festgestellt werden, während in der höchsten Altersklasse eine starke Abnahme zu verzeichnen war. Dies kann auf einen geringeren Stichprobenumfang in diesen Altersklassen zurückzuführen sein. Ebenfalls können bereits eingeleitete Verjüngungsmaßnahmen (Bartsch et al. 2020), oder Ausfälle infolge abiotischer und biotischer Schädigungen zu offenen Beständen mit einer geringeren Stammzahl führen. In Mischbeständen waren diese Trends weniger stark ausgeprägt.

Der Totholzanteil im Natura 2000 Schutzgebiet liegt um das 2,25-fache über jenem im Wirtschaftswald. Dies erhöht die Biodiversität und führt zu einer erhöhten Kohlenstoffspeicherkapazität im vorhandenen Totholz. (Klein et al. 2007) Die Verteilung des Totholzes in den fünf vorhandenen Zersetzungsklassen ist im bewirtschafteten Waldgebiet ähnlich der im Natura 2000 Waldgebiet. Die Zersetzungsklassen zwei und drei sind sehr stark vertreten, während stark zersetzte Klassen, zu denen die Klasse vier und fünf zählen, kaum vorhanden waren. Dies deutet auf allgemein gut nährstoffversorgte Böden mit einer hohen biologischen Aktivität, welche die Zersetzung beschleunigt, hin. Allgemein spricht man von gut nährstoffversorgten Böden mit einen C/N-Verhältnis zwischen 9 und 19. (Walser et al. 2021) Anhand der durchgeführten C/N-Analyse konnte ein C/N-Verhältnis von unter 18 für beide Gebiete ermittelt werden.

Um genauere Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der Kohlenstoffspeicherkapazität treffen zu können, sind wiederholte Aufnahmen zu empfehlen, um einen besseren Bezug zur langfristigen Entwicklung herstellen zu können. Hier könnte ein Aufnahmeintervall von 10 Jahren angedacht werden. Dies ermöglicht es, die gesetzten Maßnahmen regelmäßig an die aktuelle Situation anzupassen, um möglichen Fehlentwicklungen entgegenzuwirken.

4.1.2 Vergleich der Kohlenstoffergebnisse mit anderen Waldgebieten

In den Stadtwäldern der Stadt Linz konnte ein Kohlenstoffspeicher in der lebenden Biomasse von 85,80 tC/ha erreicht werden. Dieser unterteilte sich auf 94,87 tC/ha im Wirtschaftswald und 73,75 tC/ha im Natura 2000 Schutzgebiet. Der gesamte Kohlenstoffspeicher in den Wäldern der Stadt Linz ist damit niedriger als jener im österreichischen Mittel. Jährlich werden Walddaten an die Vereinten Nationen übermittelt, welche mit Hilfe dieser Daten Kohlenstoffberechnungen für die jeweiligen Länder durchführen. Im Rahmen der letzten Veröffentlichung 2020 wurde für Österreich ein mittlerer Kohlenstoffspeicher der lebenden Biomasse von 104,75 ermittelt. Dieser Wert liegt 8,46 tC/ha über jenem Kohlenstoffspeicher der Stadt Linz und entspricht einem erhöhten Kohlenstoffspeicher von 9,87 %. (Rasi 2020).

Eine Studie aus Deutschland aus dem Jahre 2002 berücksichtigte neben der lebenden Biomasse auch das Totholz und den Bodenkohlenstoff. Es wurde ein Kohlenstoffvorrat in den Wäldern Deutschlands von 120-190 tC/ha je nach Altersklasse und Baumart ermittelt. In den Stadtwäldern der Stadt Linz ergibt sich ein Kohlenstoffspeicher von 197,44 tC/ha und ist damit sogar höher als jener in Deutschland, welcher von Dieter 2002 ermittelt wurde. (Dieter 2002).

4.1.3 Folgen einer Außer-Nutzung-Stellung von 50 % der Waldgebiete

Unter der Annahme 50 % des bewirtschafteten Walds außer Nutzung zu stellen, ist langfristig mit einer Veränderung des Bestandes zu rechnen. Kurzfristig hätte eine Außer-Nutzung-Stellung nur geringe Auswirkungen auf die Kohlenstoffspeicherkapazität der Wälder. Der mittelfristige Einfluss hängt abhängig von der aktuellen Bestockung und ist daher mittelfristig schwer vorherzusagen. In Fichtendominierten Beständen ist mittelfristig, aufgrund des fortschreitendem Klimawandel, mit vermehrten Ausfällen zu rechnen. Einhergehend ist mit einer Kohlenstoffspeicherreduktion in diesen Beständen zu rechnen. Allgemein wird sich der gespeicherte Kohlenstoff im Totholz, aufgrund des erhöhten Totholzanteils in nicht bewirtschafteten Wäldern, erhöhen. In stabilen Beständen ist anzunehmen, dass sich der Kohlenstoffspeicher weiter erhöhen würde.

Aufgrund der Außer-Nutzung-Stellung würden die Wälder stark altern, wodurch die Bestandesstabilität allgemein abnimmt. Damit einhergehend ist unter Extremwetterereignissen mit vermehrten Schadereignissen und Ausfällen zu rechnen. Dies führt zu regelmäßigem Rücksetzen der Kohlenstoffspeicherkapazität. Aufgrund einer geringeren Wuchsleistung älterer Bäume und eines erhöhten Bestandesrisikos ist eine Reduktion der Kohlenstoffspeicherkapazität zu erwarten. Damit verbunden ist in Waldgebieten eine bis zu 40 % verringerte Holzproduktion und Kohlenstoffbindung möglich (Ledermann, Silvio & Valenta, www.bfw.gv.at, 10.03.2024). Langfristig würden sich die Bestände je nach Standortbedingungen ebenfalls zu Buchen- und Eichendominierenden Beständen entwickeln.

Ziel einer forstlichen Bewirtschaftung ist es, die Bestandesstabilität zu erhöhen und möglichst resistente Bestände mit einem hohen Zuwachs zu entwickeln. (Clasen & Knoke 2012) Dieser erhöhte Zuwachs führt zu einer erhöhten Kohlenstoffspeicherkapazität. Ebenfalls zu berücksichtigen ist die Freisetzung von Kohlenstoff im Zuge der Verwitterung von Totholz. In Wirtschaftswäldern wird ein Großteil des Holzes weiterverarbeitet, wodurch der gespeicherte Kohlenstoff bis zur Verbrennung des Holzes erhalten bleibt. (Köhl et al. 2017)

Die Biodiversität wird sich durch eine Außer-Nutzung-Stellung erhöhen. Durch eine gezielte Umstellung der bewirtschafteten Wälder in Mischwälder wird sich auch in diesen Mischbeständen die Biodiversität im Vergleich zu den aktuellen Reinbeständen erhöhen. Es ist allgemein dennoch von einer verringerten Biodiversität im Vergleich zu nicht bewirtschafteten Wäldern auszugehen. Die erhöhte Totholzmenge in nicht bewirtschafteten Wäldern führt zu einer erhöhten Biodiversität, da im Totholz eine Vielzahl lebender Organismen vorkommen. (Chen et al. 2005)

4.2 Managementkonzept

4.2.1 Herausforderungen

Wälder sind von Natur aus weitgehend inhomogen. Dies ist unter anderem auf unterschiedliche Baumartenzusammensetzungen, Bestockungsdichte und Alter der einzelnen Bestände zurückzuführen und hat bei einer großflächigen Betrachtung große Fehler zur Folge. Daher ist es von Vorteil, gezielt Maßnahmen für einzelne Bestände oder Bestandestypen zu entwickeln.

In der durchgeführten Studie wurde eine Stichprobenerhebung anhand eines Rasters durchgeführt. Da die Entwicklung von Konzepten für einzelne Bestände nicht möglich war, wurden diese für einzelne Bestandestypen durchgeführt. Zusätzlich wurden notwendige Maßnahmen in den einzelnen Altersklassen erst ab vier Erhebungen entwickelt, um die durch inhomogene Bestände entstehende Streuung der erhobenen Bestandesdaten zu minimieren.

Für eine bessere Auswertung empfiehlt es sich, eine einheitliche Aufnahme an allen Erhebungspunkten durchzuführen. In dieser Studie wurden Bäume < 10cm an jedem fünften Erhebungspunkt aufgenommen, während Bäume ≥ 10 cm BHD an jedem Erhebungspunkt aufgenommen wurden. Dies führt zu einer unterschiedlichen Genauigkeit der aufgenommenen Daten.

Um besser auf die Verjüngung eingehen zu können, sind hochwertige quantitative Erhebungen der Verjüngung und Verbisschäden erforderlich. Zur Erstellung eines detaillierteren Managementkonzeptes empfiehlt es sich, eine Forsteinrichtung auf Bestandesebene durchzuführen. Dies würde gezielte Maßnahmen anhand der erhobenen Bestandesdaten ermöglichen.

5 Literaturverzeichnis

Aoki, K. (2008). Bebertung der nachhaltigen Waldnutzung für Kohlenstoff Lagerverwaltung in der Südlichen Taiga Zone von Mittelsibirien .

Bartsch, N., Burghard von Lüpke, & Röhrig, E. (2020). *Waldbau auf ökologischer Grundlage.* Stuttgart: Eugen Ulmer Stuttgart.

Becker, S. (2015). Bestandesentwicklung und Schutzfunktionalität des Naturwaldreservates Dürrwald, Montafon.

Bergman, R., Puettmann, M., Taylor, A., & Skog, K. (2014). The Carbon Impacts of Wood Products.

Bolte, A., Rahmann, T., Kuhr, M., Pogoda, P., Murach, D., & Gadow, K. (2004). Relationships between tree dimension and coarse root biomass in mixed stands of European beech (Fagus sylvatica L.) and Norway spruce (Picea abies [L.] Karst.). Plant and Soi.

Burger, H. (1947). Holz, Blattmenge und Zuwachs. VIII. Mitteilung. Die Eiche. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Vers. , 25. 211–279.

Burger, H. (1949). Holz, Blattmenge und Zuwachs. X. Mitteilung. Die Buche. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Vers. 26. 419–468.

Chen, X., Wei, X., & Scherer, R. (2005). Influence of wildfire and harvest on biomass, carbon pool and decomposition of large woody debris in forested streams of southern interior British Columbia. Forest Ecology and Management 208. 101-114.

Chimani, B. (2016). *Klimaszenarien für das Bundesland Oberösterreich bis 2100.* Land Oberösterreich.

Clasen, C., & Knoke, T. (2012). Finanzielle Modellkalkulationen und Demonstrationsflächen in der forstlichen Beratung -Ein Leitfaden.

Dieter, M., & Elsasser, P. (2002). Carbon Stocks and Carbon Stock Changes in the Tree Biomass of Germany's Forests.

Echeverria Progulakis, S. (2022). Schätzung der Totholz-Kohlenstoffspeicherkapazität in Österreichischen Wäldern.

Graßl, H. (2007). Der Klimawandel – zu schnell für jeden Baum Rasante Klimaänderung überfordert Anpassungsfähigkeit der Bäume.

Harmon, M., & Chen, H. (1991). Coarse woody debris dynamics in two old growth ecosystems. BioScience 41. 604-610.

Hochbichler, E., Bellos, P., & Lick, E. (2006). Biomass functions for estimating needle and branch biomass of spruce (Picea abies) and Scots pine (Pinus sylvestris) and branch biomass of beech (Fagus sylvatica) and oak (Quercus robur and petrea). Austrian.

Kilian, W., Müller, F., & Starlinger, F. (1994). Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs.

Klein, D., Schmidt, A., Heim, M., Schmidt, H., & Schulte, A. (2007). Das Totholzaufkommen in Lenga(Nothofagus pumilio)-Natur- und Wirtschaftswäldern sowie dessen Funktion als Kohlenstoffspeicher.

Klotz, S., Henle, K., Settele, J., & Sukopp, U. (2023). Biodiversität und Naturschutz im Klimawandel.

Köhl, M., Plugge, D., Gutsch, M., Lasch-Born, P., Müller, M., & Reyer, C. (2017). Wald und Forstwirtschaft.

Küsters, Utschig, & Elke. (2003). Wachstumsreaktionen der Buche (Fagus sylvatica (L.)) auf Durchforstungen − 130-jährige Beobachtung des Durchforstungsversuches Elmstein.

Lal, R. (2005). Forest soils and carbon sequestration. For Ecol Manage 220. 242– 258.

Ledermann, T., & Neumann, M. (2006). Biomass equations from data of old long-term experimental plots. Austrian Journal of Forest Science, 123(1). 47-64.

Ledermann, T., Silvio, S., & Viktoria, V. (10. 03 2024). *www.bfw.gv.at*. Von https://www.bfw.gv.at/pressemeldungen/unbewirtschaftete-waelder/ abgerufen

Lexer , M., & Seidl, R. (2007). Der Österreichische Wald im Klimawandel-Auswirkungen auf die Waldbewirtschaftung. *Online-Fachzeitschrift des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft*.

Lexer, M., & Hönninger, K. (2001). A modified 3D-patch model for spatially explicit simulation of vegetation composition in heterogeneous landscapes. *Forest ecology and management 144, no. 1-3*, 43-65.

Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B., . . . Grace, J. (2008). Old-growth forests as global carbon sinks. Nature 455. 213– 215.

Mutsch, F., Leitgeb, E., Robert, H., Amann, C., Aust, G., Herzberger, E., . . . Reiter, R. (2006/07). Projekt BioSoil – Europäisches Waldboden-Monitoring Datenband Österreich, Band 1.

Neumann, M., Echeverria, S., & Hasenauer, H. (2023). A simple concept for estimating deadwood carbon.

Neumann, M., Moreno, A., Mues, V., Härkönen, S., Mura, M., Bouriaud, O., & Hasenauer, H. (2016). Comparison of carbon estimation methods for European forests. Forest Ecology and Management. 361, 397-420.

Neumann, M., Zhao, M., Kindermann, G., & Hasenauer, H. (2015). Comparing MODIS net primary production estimates with terrestrial national forest inventory data in Austria. Remote Sensing, 7(4), 3878-3906.

Offenthaler, I., & Hochbichler, E. (2006). Estimation of root biomass of Austrian forest tree species. Aust. J. For. Sci. , 123. 65–86.

Ott, E. (1966). über den Einfluß der Durchforstung auf ökologische Faktoren.

Pollanschütz, J. (1974). Formzahlfunktionen der Hauptbaumarten Österreichs. Informationsdienst Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien 153, 341–343 (in German).

Preisinger, M. (2022). Entwicklung des Totholzangebots in ausgewählten Kernzonen des Biosphärenparks Wienerwald und dessen Zusammenhang mit der Artenvielfalt.

Raši, R. (2020). State of europe´s Forests.

Schieler, K. (1988). Methodische Fragen in Zusammenhang mit der österreichischen Forstinventur. Master Thesis, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Institute of Forest Growth, Vienna, Austria. 99.

Stolina, M., & Zvolen. (1969). Der Einfluss der Ipedenfauna auf die Entwicklung der Struktur von naturwäldern in den Westkarpaten, aus dem Buch Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen.

Tarkka, M., & Hildebrandt, J. (2020). Pilzarten und ihre Pflanzlichen Wirte im Klimawandel.

Vanomsen, P. (2006). Der Einfluss der Durchforstung auf die Verankerung der Fichte hinsichtlich ihrer Sturmresistenz.

Wagenführ, R., & Scheiber, C. (1985). *Holzatlas, 2nd Ed.* Germany: Fachbuchverlag Leipzig.

Walser, M., Schneider, D., Köchli, R., Stierli, B., Maeder, M., & Brunner, I. (2021). Der Waldboden lebt – Vielfalt und Funktion der Bodenlebewesen.

Weinfurter, P. (2021). *Waldbau in Österreich auf ökologischer Grundlage.* Wien.

Wirth, C., Schumacher, J., & Schulze, E. (2004). Generic biomass functions for Norway spruce in Central Europe—a meta-analysis approach toward prediction and uncertainty estimation. Tree physiology, 24(2),. 121-139.

www.land-oberoesterreich.gv.at. (22. 04 2024). Von https://www.land-oberoesterreich.gv.at/14876.htm abgerufen

www.stadtgeschichte.linz.at. (17. 03 2024). Von https://stadtgeschichte.linz.at/8187.php#:~:text=Linz%20liegt%20in%20266%20Metern,M%C3%BChlviertel%20in%20die%20Ebene%20hinaustritt abgerufen

www.topographic-map.com. (13. 03 2024). Von https://de-at.topographic-map.com/map-ktwt6/Linz/?center=48.27188%2C14.34514&zoom=13 abgerufen

www.Waldinventur.at. (17. 03 2024). Von https://www.waldinventur.at/#/ abgerufen

www.zamg.ac.at. (13. 03 2023). Von https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/klimamonitoring/?station=3252&param=rr&period=period-y-2023&ref=1 abgerufen

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kohlenstoffspeicher und Kohlenstoffflüsse. Die Größe der Pfeile ist proportional zu den Anteilen der Kohlenstoffflüsse. Quelle: Köhl et al.(2017) 1
Abbildung 2: mittlere Temperaturzunahme bis 2050, sowie 2100 unter Annahme eines Klimaschutzszenarios und Business as usual. Quelle: (Chimani 2016). 2
Abbildung 3: mittlere Niederschlagszunahme bis 2050, sowie 2100 unter Annahme eines Klimaschutzszenarios und Business as usual. Quelle: (Chimani 2016). 2
Abbildung 4: relative Veränderung natürlicher Waldtypen unter einem Klimaänderungsszenario (+2°C, -15% Sommerniederschlag) Quelle: Lexer & Seidl, 2007 .. 3
Abbildung 5: Vorratsentwicklung nach Durchforstungen und mehreren Saumschlägen Quelle:https://ktn.lko.at/vorratsentwicklung-bei-verschiedenen-hiebsformen+2400+3973069 (abgerufen: 13.03.2023) 4
Abbildung 6: Biomasse und Totholzvorkommen in den einzelnen Bestandphasen der Waldentwicklung. Der Schwarze Balken kennzeichnet jene Zeitspanne einer forstlichen Umtriebszeit. Quelle: (Becker 2015) 5
Abbildung 7: Kartendarstellung der Erhebungspunkte im Waldgebiet der Stadt Linz. Die roten Erhebungspunkte befinden sich im Wirtschaftswald. Die grünen Erhebungspunkte im Natura 2000 Schutzgebiet. Quelle: Eigendarstellung 9
Abbildung 8: Graphische Darstellung des fixen Probekreises (schwarz), der Erhebungsfläche für Baumstöcke (blau), der Totholztranssekte zur Erhebung des liegenden Totholzes (rot) und der Winkelzählprobe (grün) an einem Erhebungspunkt. Quelle: Eigendarstellung 20
Abbildung 9: Verteilung des Kohlenstoffspeichers für die Klassen: „Totholz“, „lebende Bäume“ und „Mineralboden und Auflage“ 27
Abbildung 10: C-Verteilung in lebenden Bäumen ≥ 10 cm BHD.....28
Abbildung 11: Kohlenstoffspeicherverteilung über die einzelnen Altersklassen im Wirtschaftswald, ≥ 10 cm BHD 30
Abbildung 12: Kohlenstoffspeicherverteilung über die einzelnen Altersklassen im Natura 2000 Schutzgebiet, ≥ 10 cm BHD.....30
Abbildung 13: Verteilung des stehenden, liegenden Totholzes und der Stöcke im Wirtschaftswald und Natura 2000 Schutzgebiet.....32
Abbildung 14: Verteilung des Kohlenstoffspeicher im liegenden Totholz über die fünf Zersetzungsklassen im Wirtschaftswald und Natura 2000 Schutzgebiet 32
Abbildung 15: Verteilung der Altersklassen im Wirtschaftswald. Als Referenz wurde ein Normalwaldmodell hinzugefügt.....34
Abbildung 16: Verteilung des Wirtschaftswaldes nach Reinbestand, Mischbestand und kein Bewuchs.....35
Abbildung 17: Kohlenstoffspeicherkapazität den Reinbeständen nach Altersklasse, ≥ 10 cm BHD. 37
Abbildung 18: Verteilung der Baumarten ≥ 10 cm BHD und <10 cm BHD 38
Abbildung 19: Kohlenstoffspeicherkapazität der Mischbestände nach Altersklasse, ≥ 10 cm BHD. 49
Abbildung 20: Verteilung der Baumarten ≥ 10cm BHD und <10 cm BHD 51
Abbildung 21: Verteilung der Baumarten ≥ 10cm BHD und <10 cm BHD 59
Abbildung 22: Verteilung der Natura 2000 Waldbestände über die Altersklassen. Als Referenz wurde ein Normalwaldmodell hinzugefügt. 61
Abbildung 23: Verteilung der Natura 2000 Schutzgebiet nach Reinbestand, Mischbestand und kein Bewuchs/Bestockung ≥.10cm BHD.....62
Abbildung 24: Kohlenstoffspeicherkapazität in Reinbeständen nach Altersklasse, ≥ 10 cm BHD. 64

Abbildung 25: Verteilung der Baumarten ≥ 10cm BHD und <10 cm BHD 65
Abbildung 26: Kohlenstoffspeicherkapazität den Mischbeständen nach Altersklasse, ≥ 10 cm BHD. 72
Abbildung 27: Verteilung der Baumarten ≥ 10 cm BHD und < 10 cm BHD 73
Abbildung 28: Verteilung der Baumarten ≥ 10 cm BHD und < 10 cm BHD 79

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl der gesamten Erhebungspunkte in den jeweiligen Waldgebieten 9
Tabelle 2: Koeffizienten nach zu Berechnung der Wurzelbiomasse nach (Wirth et al. 2004; Bolte et al. 2004; Offenthaler & Hochbichler 2006) 15
Tabelle 3: Beschreibung und Dichte der Zersetzungsklassen nach dem Zersetzungsgrad des Totholzes nach Nadel- und Laubholz. (Mathias Neumann et al 2023) 19
Tabelle 4: Klassifizierung der Streu / organischem Boden 21
Tabelle 5: Darstellung der Klassifizierung der Streu / organischem Boden. Quelle: Eigendarstellung.....22
Tabelle 6: Einteilung der Altersklassen 24
Tabelle 7. Ergebnisse der Kohlenstoffberechnungen für lebende Bäume, Totholz und den Boden. Den gespeicherten Kohlenstoff in tC, sowie deren CO_2 eq. 26
Tabelle 8: Ergebnisse der Kohlenstoffberechnung für lebende Bäume mit einem BHD ≥ 10 cm und < 10 cm. 29
Tabelle 9: Ergebnisse der Kohlenstoffberechnung für stehendes Totholz, liegendes Totholz und Stöcke. 31
Tabelle 10: Ergebnisse der Kohlenstoffberechnung für die Bodenauflage und den tieferen Bodenschichten. 33
Tabelle 11: Bestandesverteilung im Wirtschaftswald.....36
Tabelle 12: Verteilung der Bäume <10 cm BHD im bewirtschafteten Reinbestand.....37
Tabelle 13: Allgemeine Informationen für Fichten-Reinbestände im Wirtschaftswald 39
Tabelle 14:: Mittelwerte und Standardabweichung der Fichten-Reinbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse.....39
Tabelle 15: Allgemeine Informationen für Buchen-Reinbestände im Wirtschaftswald.....42
Tabelle 16: Ergebnisse der Buchen-Reinbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse und im Mittel.....42
Tabelle 17: Allgemeine Informationen für Eichen-Reinbestände im Wirtschaftswald.....45
Tabelle 18: Ergebnisse der Eichen Reinbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse und im Mittel 45
Tabelle 19: Bestandes-Anteile der bewirtschafteten Mischbestände.....48
Tabelle 20: Verteilung der Bäume < 10 cm BHD im bewirtschafteten Reinbestand.....50
Tabelle 21: Allgemeine Informationen für Buchen-Fichten-Mischbestände im Wirtschaftswald 52
Tabelle 22: Ergebnisse der Buchen-Fichten-Mischbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse und im Mittel. 52
Tabelle 23: Allgemeine Informationen für Buchen-Eichen-Mischbestände im Wirtschaftswald 54
Tabelle 24: Ergebnisse der Buchen-Eichen-Mischbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse und im Mittel 54
Tabelle 25: Allgemeine Informationen für Eichen-Fichten-Mischbestände im Wirtschaftswald 56
Tabelle 26: Ergebnisse der Eichen-Fichten Mischbestände im Wirtschaftswald nach Altersklasse und im Mittel. 56
Tabelle 27: Verteilung der Bäume <10 cm BHD auf unbestockten Waldflächen im Wirtschaftswald 58
Tabelle 28: Allgemeine Informationen für unbestockte Waldflächen im Wirtschaftswald 60
Tabelle 29: Bestandes-Anteile vom Natura 2000 Reinbestand 63
Tabelle 30: Verteilung der Bäume <10 cm BHD im Natura 2000 Reinbestand 64

Tabelle 31: Allgemeine Informationen für Eschen-Reinbestände im Natura 2000 Schutzgebiet 66
Tabelle 32: Ergebnisse der Eschen Reinbestände im Natura 2000 Gebiet nach Altersklasse und im Mittel. 66
Tabelle 33: Allgemeine Informationen für Hybridpappel Reinbestände im Natura 2000 Gebiet 68
Tabelle 34: Ergebnisse der Hybridpappel Reinbestände im Natura 2000 Gebiet nach Altersklasse und im Mittel 68
Tabelle 35: Allgemeine Informationen für Weiden-Reinbestände im Natura 2000 Gebiet.....70
Tabelle 36: Ergebnisse der Weiden-Reinbestände im Natura 2000 Gebiet nach Altersklasse und im Mittel 70
Tabelle 37: Bestandes-Anteile der Natura 2000 Mischbestände 72
Tabelle 38: Verteilung der Bäume < 10 cm BHD im Natura 2000 Mischbestand 73
Tabelle 39: Allgemeine Informationen für Esche-Hybridpappel-Mischbestände im Natura 2000 Schutzgebiet 74
Tabelle 40: Ergebnisse der Esche-Hybridpappel-Mischbestände im Natura 2000 Gebiet nach Altersklasse und im Mittel. 74
Tabelle 41: Allgemeine Informationen für Ahorn-Esche-Mischbestände im Natura 2000 Schutzgebiet 76
Tabelle 42: Ergebnisse der Ahorn-Esche-Mischbestände im Natura 2000 Gebiet nach Altersklasse und im Mittel 76
Tabelle 43: Verteilung der Bäume <10cm BHD unter den unbestockten Waldflächen im Natura 2000 Waldgebiet 78
Tabelle 44: Allgemeine Informationen für unbestockte Waldflächen im Natura 2000 Gebiet .80