

Hochschule Weihenstephan-Triesdorf Abteilung Weihenstephan

Fakultät Nachhaltige Agrar- & Energiesysteme

Studiengang Agramanagement

Masterarbeit

Konzipierung nachhaltiger Agroforstsysteme im Grünland: „Entwicklung eines Leitfadens und Anwendung anhand eines Praxisbeispiels“

Verfasserin:

Sophie Luise Schreglmann

1. Gutachter/in:

Prof. Dr. Thorsten Haase

2. Gutachter/in:

Christian Diehl

Datum der Abgabe:

11. April 2025

Abstract

Angesichts globaler Umweltprobleme wie Biodiversitätsverlusten und dem Klimawandel gewinnt die Agroforstwirtschaft als nachhaltige Landnutzungsform zunehmend an Bedeutung. Ziel der Masterarbeit ist die Entwicklung eines Leitfadens zur Konzipierung nachhaltiger Agroforstsysteme auf Grünlandflächen, verdeutlicht an einem Praxisbeispiel. Die Methodik stützt sich auf eine systematische Literaturanalyse sowie auf gängige Ansätze zur Erstellung von Leitfäden. Ergänzt wird dies durch einen Bewertungsrahmen, der die methodischen Ansätze innerhalb des Leitfadens mittels verschiedener Kriterien reflektiert. Der Leitfaden beschreibt die wesentlichen Planungsschritte – von der Zieldefinition über Flächen- und Ressourcenanalyse bis hin zur Auswahl geeigneter Gehölzarten mittels einer eigens erstellten Artenliste. Darauf folgen die Erstellung eines Pflanzschemas, das zeitliche Management des Systems und die Bewertung nach ökologischen, ökonomischen und sozialen Nachhaltigkeitskriterien. Außerdem werden Handlungsempfehlungen aus diesen Kriterien abgeleitet. Die Ergebnisse zeigen, dass eine strukturierte Planung von Agroforstsystemen auf Grünlandflächen möglich ist und mithilfe definierter Parameter gezielt auf betriebliche Zielstellungen und Standortbedingungen angepasst und optimiert werden kann.

In view of global environmental problems such as biodiversity loss and climate change, agroforestry is becoming increasingly important as a sustainable form of land use. The aim of the master's thesis is to develop a guideline for the design of sustainable agroforestry systems on grassland, illustrated by a practical example. The methodology is based on a systematic literature analysis and common approaches to the creation of guidelines. This is supplemented by an evaluation framework that reflects the methodological approaches within the guide using various criteria. The guideline describes the main planning steps - from the definition of objectives, through area and resource analysis, to the selection of suitable woody species using a specially compiled species list. This is followed by the creation of a planting scheme, the temporal management of the system and the evaluation according to ecological, economic and social sustainability criteria. Recommendations for action are also derived from these criteria. The results show that structured planning of agroforestry systems on grassland is possible and can be specifically adapted and optimized to operational objectives and site conditions with the help of defined parameters.

Inhaltsverzeichnis

Abstract	II
1 Einleitung und Zielstellung	8
1.1 Zielstellung der Masterarbeit	9
1.2 Verwendete Methodik innerhalb der Masterarbeit	11
1.3 Aufbau der Masterarbeit	11
2 Literaturrecherche	13
2.1 Begriffsdefinitionen	13
2.1.1 Agroforst	13
2.1.2 Nachhaltigkeit	14
2.1.3 Grünland	15
2.1.4 Biodiversität	15
2.1.5 Wertholz und Energieholz	16
2.1.6 Brusthöhendurchmesser, Hiebsreife und Umtriebszeit	16
2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen	17
2.2.1 Allgemeine Regelungen	17
2.2.2 Förderung von Agroforstsystemen	18
2.3 Grundlagen der Betriebs- und Flächenanalyse	21
2.4 Klimaausblick des Climate Service Center Germany (GERICS)	23
2.5 Kriterien der Gehölzartenauswahl	23
2.6 Pflanzabstände in Agroforstsystemen	25
2.7 Grundlagen der Pflanzung, Pflege und Ernte	27
2.7.1 Pflanzmaterial	27
2.7.2 Vorgehen bei der Pflanzung und Gehölzschutz	28
2.7.3 Pflege und Ernte	30
2.8 Zeitliche Übersicht der Arbeitsschritte bei Agroforstsystemen	31
2.9 Umweltleistungen von Agroforstsystemen	32
2.9.1 Ausgewählte Umweltleistungen	32
2.9.2 Besondere Relevanz der Parameter von Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung	34
2.10 Ökonomische und soziale Aspekte von Agroforstsystemen	37
3 Material und Methoden	39
3.1 Methodik der Literaturrecherche	39
3.2 Methodik zur Erstellung eines Leitfadens	41
3.3 Auswahlkriterien für die angewandten Methoden	42

4 Ergebnisse.....	44
4.1 Planungsgrundlagen.....	44
4.1.1 Zielformulierung	44
4.1.2 Flächenanalyse.....	45
4.1.3 Ressourcen im Betrieb.....	47
4.1.4 Anwendung der Planungsgrundlagen am Praxisbeispiel	48
4.2 Gehölzartenauswahl.....	53
4.2.1 Vorgehen zum Erstellen der Gehölzartenliste	53
4.2.2 Erstellung der Gehölzartenliste am Praxisbeispiel.....	55
4.3 Erstellung eines Flächenplans.....	59
4.3.1 Grundlagen der Planung eines Pflanzschemas	59
4.3.2 Erstellung eines Flächenplans am Praxisbeispiel.....	60
4.4 Zeitliches Management in Agroforstsystemen.....	64
4.5 Ökologische Leistungen von Agroforstsystemen	65
4.5.1 Biodiversität	65
4.5.1.1 Erfassung der Datengrundlage mittels Klapp/Stählin-Methode	66
4.5.1.2 Berechnung des Shannon-Index	66
4.5.1.3 Berechnung der Evenness	67
4.5.1.4 Handlungsempfehlungen anhand der Indizes	68
4.5.1.5 Anwendung der Biodiversitätsindizes am Praxisbeispiel	69
4.5.2 Speicherpotenzial von CO ₂ in Gehölzen	72
4.5.2.1 Berechnung der Gesamtbiomasse eines Gehölzes anhand der Biomasse- Allometrie	73
4.5.2.2 Berechnung des Kohlenstoffanteils in einem Gehölz anhand der Gesamtbiomasse	77
4.5.2.3 Umrechnung von Kohlenstoff (C) zu Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	78
4.5.2.4 Handlungsempfehlungen für das CO ₂ -Speicherpotenzial	79
4.5.2.5 Berechnung des CO ₂ -Speicherpotenzials am Praxisbeispiel	80
4.6 Ökonomische Leistungen von Agroforstsystemen	83
4.6.1 Vorgehen bei der Ermittlung der ökonomischen Kennwerte	83
4.6.2 Handlungsempfehlungen anhand des ökonomischen Kennwerts „Gewinn“	86
4.6.3 Anwendung des ökonomischen Vorgehens am Praxisbeispiel	87
4.7 Soziale Leistungen von Agroforstsystemen	103
4.7.1 Anwendungsbeispiele für soziale Aspekte von Agroforstsystemen	103
4.7.2 Anwendung sozialer Parameter am Praxisbeispiel.....	106
5 Diskussion	108
5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	108
5.2 Einhaltung der Methoden	109

5.3 Eignung der im Leitfaden angewandten Methoden	111
5.4 Stärken und Schwächen des Leitfadens	117
5.5 Kritik zu den Zusammenhängen zwischen den Optimierungsmaßnahmen	118
5.6 Repräsentativität des erstellten Praxisbeispiels	119
5.7 Vergleich der Ergebnisse zu anderen Studien	120
5.8 Zukunftsaussichten für Agroforstsysteme	121
6 Fazit.....	123
7 Quellen	124
Anhang	156

Abkürzungsverzeichnis

BHD	Brusthöhendurchmesser
bot.	botanisch
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
dt.	deutsch
fm	Festmeter
GAP	Gemeinsame Agrarpolitik
KUP	Kurzumtriebsplantage
RCP	Representative Concentration Pathways
srm	Schüttraummeter

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Drei-Säulen-Modell.....	14
Abbildung 2: Schematische Darstellung für die Fördermöglichkeiten bei Agroforstsystemen	20
Abbildung 3: Kriterien der Gehölzartenauswahl	24
Abbildung 4: Schematische Darstellung zu den Abständen in einem Agroforstsystem	25
Abbildung 5: Beispiele von Schutzhüllen für Gehölze	29

Abbildung 6: Schematische Darstellung des Ästungsschnitts und der Entlastungsschnitte	30
Abbildung 7: Grünlandfläche des Praxisbetriebs	50
Abbildung 8: Temperatur und Niederschlag gemessen an der Wetterstation Jeßnitz im Zeitraum von 2019 bis 2023.....	51
Abbildung 9: Vorgehen bei der Erstellung der Gehölzartenliste	54
Abbildung 10: Beispiel der Reihenpflanzung (links) und der Pflanzung im Streumuster (rechts)	59
Abbildung 11: Abstände der Gehölzreihen im Praxisbeispiel	62
Abbildung 12: Flächenplan der Praxisfläche	63
Abbildung 13: Übersicht über die Pflanzabstände im Praxisbeispiel	64
Abbildung 14: Vorgehen zur Berechnung des CO ₂ -Speicherpotenzials eines Gehölzes ..	73
Abbildung 15: Vorgehen bei der Ermittlung der anfallenden Kosten in einem Agroforstsystem.....	84
Abbildung 16: Kumulierter Kosten-/ Erlösverlauf des Best-Case- und Worst-Case-Szenarios im Praxisbeispiel	102

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Negativliste der verbotenen Gehölzpflanzen bei Agroforstsystemen ab dem 01. Januar 2022.....	17
Tabelle 2: Übersicht der derzeitigen Fördermöglichkeiten der Bundesländer in der 2. Säule der GAP (Stand November 2024)	21
Tabelle 3: Zusammenfassung der Kennwerte zu den Abständen eines Agroforstsystems bei Einzelreihen.....	27
Tabelle 4: Übersicht über die Kriterien sowie die spezifischen Anforderungen für potenzielle Methoden.....	43
Tabelle 5: Zielstellungen des Praxisbetriebs.....	49
Tabelle 6: Klimaausblick nach GERICS für den Landkreis Anhalt-Bitterfeld	52
Tabelle 7: Gehölzartenliste des Praxisbetriebs (Produktionsrichtung und Beheimatung der Gehölze in Deutschland).....	56
Tabelle 8: Gehölzartenliste des Praxisbetriebs (Standortbedingungen, Krankheiten und Schädlinge, Wertholzkennwerte und Energieholzkennwerte)	57
Tabelle 9: Zusammenfassung der Kennwerte zu den Abständen eines Agroforstsystems	60
Tabelle 10: Abstände auf der Agroforstfläche des Praxisbeispiels	61
Tabelle 11: Zeitliche Übersicht über die Arbeitsschritte in einem Agroforstsystem	65

Tabelle 12: Kennwerte zur Interpretation des Shannon-Index	67
Tabelle 13: Kennwerte zur Interpretation der Evenness	68
Tabelle 14: Übersicht der Handlungsempfehlungen anhand der Indizes	69
Tabelle 15: Datenerfassung nach Klapp/Stählin für das Praxisbeispiel.....	70
Tabelle 16: Berechnungsgrundlagen des Shannon-Index für das Praxisbeispiel.....	71
Tabelle 17: Oberirdische β -Werte der Gehölzgruppen.....	75
Tabelle 18: Unterirdische β -Werte für Grob- und Feinwurzeln	76
Tabelle 19: Kohlenstoffanteile in der Biomasse von Gehölzen	78
Tabelle 20: Einstufung des CO ₂ -Speicherpotenzials von Gehölzen pro Standjahr.....	79
Tabelle 21: Standzeit und BHD der Gehölze des Praxisbeispiels	80
Tabelle 22: Berechnungen zur Ermittlung des CO ₂ -Speicherpotenzials von Gehölzen pro Standjahr im Praxisbeispiel.....	82
Tabelle 23: Richtwerte für die Arbeitszeitaufwendungen in Agroforstsystemen.....	85
Tabelle 24: Pflanzungskosten im Praxisbeispiel	89
Tabelle 25: Bewässerungskosten im Praxisbeispiel	92
Tabelle 26: Pflegekosten des Praxisbeispiels.....	94
Tabelle 27: Erntekosten des Praxisbeispiels	96
Tabelle 28: Holzerlöse des Praxisbeispiels im Best-Case-Szenario	98
Tabelle 29: Holzerlöse des Praxisbeispiels im Worst-Case-Szenario	100
Tabelle 30: Gewinnmenge des Praxisbeispiels	101
Tabelle 31: Anwendungsbeispiele für soziale Aspekte von Agroforstsystemen.....	104

1 Einleitung und Zielstellung

Angesichts der zunehmenden globalen Umweltprobleme, insbesondere den Verlusten innerhalb der Biodiversität und den weitreichenden Folgen des Klimawandels, die sich durch Extremwetterereignisse wie Dürren und Überschwemmungen manifestieren, gewinnt das Konzept der Agroforstwirtschaft als nachhaltige und potenziell widerstandsfähige Anbaumethode zunehmend an Bedeutung (Böhm, 2024: S. 2 f.; Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2024b; Fraunhofer IAO, 2019). Durch die gezielte Integration von Gehölzen, wie Bäumen und Sträuchern, können dabei nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische und soziale Aspekte positiv beeinflusst werden (Fraunhofer IAO, 2019).

Obwohl der Begriff „Agroforst“ in seiner modernen Definition als Integration von Bäumen in landwirtschaftliche Systeme erst im Jahr 1977 laut Smith (2010: S. 5) geprägt wurde, blickt die Bewirtschaftungsform auf eine jahrtausendealte Historie zurück. Er beschreibt, dass in frühen Entwicklungsstadien der Landwirtschaft der Wanderfeldbau vorherrschend war, bei dem landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Nutzungen in periodischen Zyklen wechselten. Mit der zunehmenden Sesshaftwerdung der menschlichen Gesellschaft etablierten sich laut Smith jedoch zunehmend stationäre Agroforstsysteme, wie etwa Waldweiden, die eine enge Verbindung zwischen Landwirtschaft, Viehzucht und Forstwirtschaft ermöglichten. Während des Mittelalters gewann die Fruchtwechselwirtschaft an Bedeutung, wodurch Bäume als landwirtschaftliche Nutzpflanzen zunehmend in den Hintergrund traten. Sie wurden oftmals als Hindernis für die Produktion von Getreiden und Futtermitteln betrachtet, was zu einer fortlaufenden Reduzierung von Agroforstsystemen führte (Hübner, 2021; Smith, 2010). Ein weiterer Rückschlag für traditionelle Agroforstsysteme entstand zusätzlich im 19. Jahrhundert durch die Entwicklung und Einführung von chemischen Düngemitteln, die eine intensivere und spezialisiertere Landwirtschaft förderten und damit zur weiteren Verdrängung der Gehölze beitrugen (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2024; Smith, 2010). Trotz dieser Entwicklung konnten laut Smith (2010: S.5 f.) sich Agroforstsysteme in einigen Teilen der Welt, insbesondere in tropischen und gemäßigten Klimazonen, erhalten. Sie seien dort fester Bestandteil der Agrarlandschaft geblieben und leisten einen wichtigen Beitrag zur Diversifizierung und Widerstandsfähigkeit einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktion. Als ein Beispiel für die erfolgreiche Aufrechterhaltung von Agroforstsystemen gab er die 18.000 Hektar an Mandelbäumen, die in Sizilien gemeinsam mit Getreide oder Futtermitteln kultiviert werden, an.

In den letzten Jahren ist laut der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (2024b) ein wachsendes Interesse an der Wiederbelebung und Weiterentwicklung der traditionellen

Agroforstsystemen zu beobachten. Laut einer Schätzung des Deutschen Fachverbands für Agroforstwirtschaft e. V. (DeFAF) belief sich die Fläche der Agroforstsysteme in Deutschland im Dezember 2023 auf etwa 1.304,00 Hektar, verteilt auf 161 Standorte. Im Vergleich zur gesamten landwirtschaftlich genutzten Fläche Deutschlands, die im Jahr 2023 rund 16,6 Millionen Hektar ausmachte (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, o. J.), entsprach dies lediglich einem Anteil von 0,01 %. Dennoch zeigt sich ein steigender Trend zugunsten der Agroforstwirtschaft. Diese Entwicklung zeigt das wachsende Bewusstsein, sowohl in der Landwirtschaft als auch in der Politik, den zukünftigen Herausforderungen mit innovativen und nachhaltigen Lösungsansätzen zu begegnen (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2024).

Angesichts der zunehmenden Extremwetterereignisse wie Dürren oder Überschwemmungen durch den Klimawandel, der voranschreitende Schwund der Artenvielfalt sowie der wachsenden Konkurrenz um Ressourcen, wird die Notwendigkeit neuartiger Lösungsansätze verdeutlicht. In diesem Kontext bietet die Etablierung von Agroforstsystemen eine potenziell wirksame und nachhaltige Maßnahme, um die landwirtschaftliche Nutzung der Flächen klimaresilienter und umweltfreundlicher zu gestalten (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, 2024). Dabei spielen nicht nur die ökologischen Vorteile, wie die Förderung der Biodiversität oder die Kohlenstoffspeicherung, eine zentrale Rolle, sondern auch die ökonomischen Aspekte, welche sich beispielsweise als zusätzliche Einkommensquelle für den Landwirt auszeichnen. Auch die sozialen Komponenten, wie die Schaffung von neuen Arbeitsplätzen, finden Berücksichtigung. (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, 2024a; Loql, o. J.; Smith, 2010: S. 12)

Mit der aktuellen Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) der Europäischen Union für die Förderperiode 2023 bis 2027 erfährt die Agroforstwirtschaft eine zusätzliche Unterstützung, da ihr eine strategische Bedeutung zu der Erreichung nachhaltiger landwirtschaftlicher Ziele zugesagt wird (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2024). Auch in Deutschland wurde somit erstmals am 22. Oktober 2024 (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, 2024) eine rechtliche Grundlage für die Etablierung von Agroforstsystemen auf nationaler Ebene geschaffen. (Böhm, 2024: S. 3)

1.1 Zielstellung der Masterarbeit

Das Ziel der Masterarbeit ist die Entwicklung eines umfassenden Leitfadens für die Etablierung nachhaltiger Agroforstsysteme mit besonderem Fokus auf deren Implementierung auf Grünlandflächen in Deutschland. Als Zielgruppe für diesen Leitfaden werden alle Personen,

die sich für die Konzipierung von Agroforstsystemen auf Grünlandflächen interessieren, eingeschlossen. Ein spezifischer Ausschluss von Personen ohne landwirtschaftlichen Hintergrund findet nicht statt. Der erarbeitete Leitfaden soll die individuellen Anwendenden dabei unterstützen, die Planung eines solchen Systems zu vereinfachen und gleichzeitig die Nachhaltigkeit des Systems gezielt zu optimieren. Dies kann beispielsweise auf spezifische betriebliche Zielstellungen als auch auf eine möglichst ganzheitliche Integration der drei Säulen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Soziales – ausgelegt sein. Um die praktische Umsetzbarkeit des Leitfadens zu verdeutlichen, wird dieser anhand eines konkreten Praxisbeispiels illustriert. Im deutschsprachigen Raum sind bisher nur wenige Leitfäden für Agroforstwirtschaft auf Grünlandflächen erschienen. Viele der vorhandenen Leitfäden fokussieren sich nicht auf die Etablierung auf Grünland, weshalb hier ein weiterer Forschungsbedarf besteht, um Landwirten eine praxisnahe Hilfestellung zu bieten.

Die Erstellung des Leitfadens soll durch eine systematische Darstellung der einzelnen Phasen der Etablierung nachhaltiger Agroforstsysteme erfolgen. Zu Beginn werden grundsätzliche Aspekte der betrieblichen Datenerfassung sowie eine umfassende Flächenanalyse vorgestellt. Dabei wird diese Ausgangssituation bewertet, um Potenziale und Einschränkungen frühzeitig zu erkennen. Die Auswahl geeigneter Gehölzarten für die jeweilige Fläche erfolgt unter Berücksichtigung standortbezogener sowie betrieblicher Anforderungen, um eine möglichst reibungslose Integration der Gehölze auf das Grünland zu erzielen. Anschließend wird das Vorgehen zur Erstellung eines Flächenplans dargestellt. Abschließend erfolgt für die Planung eine Aufstellung des zeitlichen Implementierungsplans, um die organisatorische Planung der Systemetablierung zu verdeutlichen und eine strukturierte Umsetzung zu ermöglichen.

Neben der schrittweisen Planung sollen innerhalb des Leitfadens auch Optimierungsparameter vorgestellt werden, die je nach Zielstellung der Anwendenden eingesetzt werden können. Ziel ist es, durch die Berücksichtigung ausgewählter Dimensionen der drei Säulen der Nachhaltigkeit den größtmöglichen Nutzen für eine zukunftsorientierte Planung für die Anwendenden zu erreichen. Im Bereich der ökologischen Aspekte sollen die Förderung und Erhaltung der Biodiversität sowie das Kohlenstoffspeicherpotenzial von Agroforstsystemen im Fokus stehen. Diese Faktoren tragen wesentlich zur ökologischen Wertschöpfung bei und leisten somit einen Beitrag zur Bewältigung von Klimawandel und Artenverlusten (Böhm, 2024). Die ökonomischen Aspekte befassen sich mit dem Einkommenspotenzial der Anwendenden. Hierbei soll untersucht werden, welche wirtschaftlichen Chancen Agroforstsysteme bieten können. Zudem werden aktuelle Fördermöglichkeiten für solche Systeme dargestellt, um ihre Attraktivität und Realisierbarkeit zu erhöhen. Im sozialen Bereich wird analysiert, inwiefern Agroforstsysteme zur Förderung sozialer Konstrukte in der jeweiligen Region beitragen können. Dabei werden Maßnahmen

aufgeführt, die bereits innerhalb der Planung einen Platz finden können, als auch nach der Etablierung des Agroforstsystems.

1.2 Verwendete Methodik innerhalb der Masterarbeit

Die Methodik der Masterarbeit beruht auf der Anwendung einer systematischen Literaturrecherche zur Identifikation relevanter theoretischer Konzepte, wissenschaftlicher Studien und aktueller Forschungsergebnisse. Die konkrete Erstellung des Leitfadens basiert auf den Grundprinzipien nach Neutsch (2023) und Swiderska (2024). Das Zusammenführen dieser Methodiken dient als Grundlage für die Entwicklung des Leitfadens und die Ableitung praxisnaher Handlungsempfehlungen.

Die Auswahl der angewandten Methoden erfolgt unter Berücksichtigung ihrer praktischen Handhabbarkeit für interessierte Anwendende. Dies gilt insbesondere für die Verwendung von Berechnungsmodellen und Formeln, die zur Abschätzung von Effekten und Potenzialen von Agroforstsystemen dienen. Zur Bewertung der ökologischen Aspekte werden die etablierten Methoden des Shannon-Index sowie des Evenness-Index herangezogen. Das Kohlenstoffspeicherungspotenzial wird dagegen durch die Biomasse-Allometrie nach Jenkins et al. (2014) ermittelt. Die wirtschaftlichen Aspekte von Agroforstsystemen werden innerhalb der Masterarbeit durch eine einfache Berechnung des potenziellen Gewinns über den gesamten Standzeitraum analysiert. Hierbei werden die entstehenden Kosten mit den möglichen Erlösen verglichen. Für den Bereich der sozialen Aspekte erfolgt keine spezifische quantitative Analyse. Stattdessen werden relevante Beispielmaßnahmen identifiziert, die positive Effekte sowie potenzielle Herausforderungen veranschaulichen. Zusätzlich wird stets die Methodik hinter der Erstellung eines praxisorientierten Leitfadens betrachtet und an einem Praxisbeispiel verdeutlicht.

1.3 Aufbau der Masterarbeit

Die Masterarbeit gliedert sich in mehrere aufeinander aufbauende Kapitel. Zunächst erfolgt die Einleitung, in der die Forschungsfrage, die Zielstellung sowie die Relevanz der Arbeit dargelegt werden. Im darauffolgenden Kapitel werden die theoretischen Grundlagen zur Agroforstwirtschaft erläutert. Dies umfasst die rechtlichen Rahmenbedingungen, die Fördermöglichkeiten sowie die allgemeinen Planungsgrundlagen. Zudem werden die Nachhaltigkeitsaspekte im Kontext der Agroforstwirtschaft vertieft betrachtet. Anschließend

wird die in der Arbeit verwendete Methodik detailliert beschrieben. Hierbei werden besonders die Methoden zur Datenerhebung und Analyse hervorgehoben. Im Kapitel der Ergebnisse werden die ermittelten Erkenntnisse präsentiert. Die Planungsschritte – von der ersten Flächenbewertung bis hin zu den Optimierungsparametern – werden übersichtlich dargestellt und anhand eines Praxisbeispiels verdeutlicht. Der konkrete Leitfaden wird folglich innerhalb des Ergebnisteils vorgestellt. Innerhalb der Diskussion erfolgt eine kritische Reflexion der Ergebnisse. Hierbei werden außerdem die Stärken und Schwächen des Leitfadens beschrieben sowie zukünftige Herausforderungen für die Etablierung von Agroforstsystemen identifiziert und weiterführende Fragestellungen beziehungsweise Zukunftsaussichten abgeleitet. Zum Abschluss der Arbeit werden die zentralen Erkenntnisse zusammengefasst.

Durch diesen strukturierten Aufbau soll die Masterarbeit nicht nur wissenschaftliche Erkenntnisse zur Agroforstwirtschaft liefern, sondern auch einen praxisnahen Beitrag zur nachhaltigen Landnutzung leisten.

2 Literaturrecherche

Im folgenden Kapitel werden sowohl relevante Begrifflichkeiten innerhalb der Masterarbeit definiert als auch weitere grundlegende Informationen vermittelt, die zum Verständnis der Thematik „Agroforstsysteme“ beitragen.

2.1 Begriffsdefinitionen

2.1.1 Agroforst

Der Begriff „Agroforst“ wird in der Verordnung zur Durchführung der GAP-Direktzahlungen (GAPDZV) spezifiziert. Gemäß § 4 Absatz 1 GAPDZV wird Agroforst als landwirtschaftliche Fläche anerkannt, sofern die in § 4 Absatz 2 und 3 GAPDZV festgelegten Anforderungen erfüllt werden. Demnach liegt Agroforst vor, wenn auf Ackerland, in Dauerkulturen oder auf Dauergrünland Gehölze angebaut werden, mit dem primären Ziel der Rohstoffgewinnung oder Nahrungsmittelproduktion. Dabei sind folgende Voraussetzungen zu beachten:

- Es müssen mindestens 2 Gehölzstreifen angebaut werden, die maximal 40 % der jeweiligen Fläche ausmachen,
- oder bei einer verstreuten Anbauweise mindestens 50, aber maximal 200 Gehölzpflanzen pro Hektar angebaut werden.

Die weitere Klassifikation von Agroforstsystemen erfolgt typischerweise in drei Hauptkategorien: „silvopastoral“, „silvoarabel“ sowie „agrosilvopastoral“. Diese Begriffe beschreiben grundsätzlich die Kombination der Gehölze mit anderen landwirtschaftlichen Produktionssystemen. Unter silvopastoralen Agroforstsystemen versteht man die Kombination von Gehölzen und der Tierhaltung, wie etwa Waldweidesysteme oder Streuobstwiesen. Silvoarable Agroforstsysteme hingegen bezeichnen den kombinierten Anbau von Gehölzen mit Ackerkulturen, wozu beispielsweise Gewässerschutzstreifen und Windschutzhecken zählen. Agrosilvopastoralen Agroforstsysteme integrieren sowohl die Tierhaltung als auch den Anbau von Ackerkulturen mit Gehölzen, wie es in den portugiesischen Montados oder dem Anbau von Trüffeln der Fall ist. (Siebert, 2022)

2.1.2 Nachhaltigkeit

Unter dem Begriff „Nachhaltigkeit“ beziehungsweise nachhaltiger Entwicklung versteht man grundsätzlich, dass durch die Erfüllung heutiger Bedürfnisse die Lebensgrundlage nachfolgender Generationen nicht gefährdet wird, wobei sowohl ökologische und ökonomische als auch soziale Aspekte eingeschlossen werden (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2015a; Internetredaktion LpB BW, 2023). Ziel der Nachhaltigkeit ist es einen verantwortungsvollen Umgang mit Ressourcen zu erreichen (Internetredaktion LpB BW, 2023), einen auf die Gegenwart und die Zukunft ausgerichteten Bezug herzustellen sowie den Fortbestand eines Bezugsobjektes kurz- und langfristig sicherzustellen (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2015a).

Die Darstellung der Nachhaltigkeit kann in verschiedenen Modellen und Dimensionen erfolgen, wobei die Priorisierung der jeweiligen Aspekte sehr unterschiedlich ausfallen kann. Im Rahmen der Masterarbeit wird das Drei-Säulen-Modell verwendet. Dieses Modell gilt als eines der ersten Nachhaltigkeitskonzepte und als Grundlage für die meisten anderen Ansätze, die sich mit der Modellierung der Nachhaltigkeit befassen. (Internetredaktion LpB BW, 2023)

Das Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit umfasst die drei gleichwertigen und gleichgewichteten Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales und betont, dass die Nachhaltigkeit sowohl den Schutz der Umwelt als auch die wirtschaftliche Stabilität und soziale Gerechtigkeit umfasst (Internetredaktion LpB BW, 2023). Abbildung 1 stellt diesen Sachverhalt in anschaulicher Form dar.

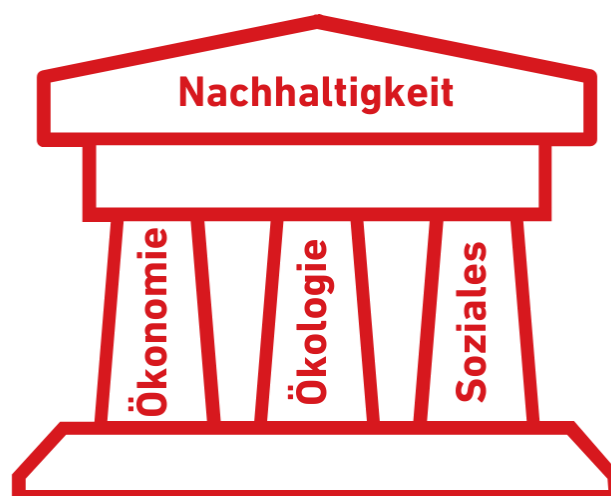


Abbildung 1: Drei-Säulen-Modell

Quelle: (Internetredaktion LpB BW, 2023)

2.1.3 Grünland

Unter dem Begriff „Grünland“ ist im Allgemeinen eine landwirtschaftlich genutzte Fläche zu verstehen, auf der verschiedenste Gräser, Leguminosen und Kräuter dauerhaft wachsen (Bundesinformationszentrum Landwirtschaft, 2023). Solche Wiesen und Weiden sind zusätzlich nach Artikel 4 Absatz 1 Buchstabe h der Verordnung (EU) Nummer 1307/2013 als Dauergrünland zu definieren, wenn sie 5 Jahre lang durch natürliche Weise oder durch die Einsaat von Pflanzen erhalten werden.

2.1.4 Biodiversität

Der Begriff Biodiversität bezeichnet grundlegend die Vielfalt des Lebens und umfasst die Gesamtheit aller lebenden Organismen, Lebensräume und Ökosysteme auf der Erde. Sie beinhaltet neben der Vielfalt der unterschiedlichen Arten, auch innerhalb der eigenen Art, die genetische Vielfalt. Diese genetische Diversität beschreibt die genetische Variabilität innerhalb einzelner Arten sowie zwischen allen Organismen eines Lebensraumes. Darüber hinaus umfasst die Biodiversität die Vielfalt von Biotopen und Ökosystemen und ihrer Ökosystemfunktionen wie beispielsweise die Bestäubung von Pflanzen. Auch die kulturelle Vielfalt, welche die diversen Verhaltensweisen von Tieren umfasst, ist ein Teil der Biodiversität. (Aachener Stiftung Kathy Beys, 2015b; Max-Planck-Gesellschaft, o. J.)

Das umfassende Konzept der Biodiversität wird im Rahmen der Masterarbeit hauptsächlich über die Dimension der Artenvielfalt definiert und über ihre Häufigkeit und Verteilung weiter interpretiert. Die Dimensionen der genetischen und kulturellen Vielfalt finden im Rahmen der Säule „Soziales“ teilweise Beachtung. Die Vielfalt von Biotopen und Ökosystemen bleibt innerhalb der Arbeit unberücksichtigt.

Die Biodiversität ist ein wesentlicher Bestandteil der Umwelt und somit auch der Lebensqualität des Menschen, weswegen diese als etwas Positives und Schützenswertes angesehen wird. Diese Einstellung wird auch von diversen wissenschaftlichen Untersuchungen unterstützt, wie beispielsweise dem Jena-Experiment, welches sich grundlegend mit der Analyse von artenreich angelegten Parzellen beschäftigt. Die Biodiversität wird dabei als Zusammenspiel der Organismen angesehen, da diese miteinander wirken und teilweise auch Nischen einnehmen. (Max-Planck-Gesellschaft, o. J.)

2.1.5 Wertholz und Energieholz

Unter Werthölzern versteht man laut einem Artikel der WaldSchweiz (o.J.) gewonnenes Holz, welches einen hohen Handelswert, bestimmt durch dessen Qualität und Seltenheit, erreicht und somit einen ökonomischen Mehrwert hat. Zu den Qualitätskriterien eines Wertholzes zählen somit zum Beispiel der Stammdurchmesser und sein gerader Wuchs. Wertholz ist daher ein Ergebnis von jahrzehntelanger Pflege der Bäume und findet beispielsweise Verwendung als Furnierholz, als Sägeholz für Vollholzmöbel oder den Bau von Musikinstrumenten (Sühlfleisch, 2021).

Hölzer, die gezielt für eine energetische Nutzung angebaut werden, bezeichnet man als Energiehölzer. Diese Bäume werden in kurzen Intervallen im Vergleich zum Wertholz geerntet, weiterverarbeitet und zur Erzeugung von beispielsweise Wärme und Strom genutzt. Die sogenannten Umtriebszeiten betragen mindestens drei Jahre und maximal 20 Jahre, wogegen Werthölzer jahrzehntelange Standzeiten aufweisen. Besonders geeignet für diese Verwendung sind schnell wachsende Baumarten, wie Pappeln oder Weiden, die in kürzeren Zeiträumen viel Biomasse aufbauen können. (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., o. J.-b)

2.1.6 Brusthöhendurchmesser, Hiebsreife und Umtriebszeit

Die nachfolgenden Begrifflichkeiten dieses Unterpunktes werden durch das Landeszentrum Wald Sachsen-Anhalt (2016) definiert.

Der Begriff Brusthöhendurchmesser bezeichnet den Durchmesser eines Gehölzes in der standardisierten Messhöhe von 1,30 m über dem Boden, was ungefähr der Brusthöhe eines erwachsenen Menschen entspricht.

Die Hiebsreife bezeichnet den Entwicklungszeitpunkt eines Gehölzes beziehungsweise Holzbestandes, zu dem dieser haubar wird oder seine Endnutzung erreicht. Die Gehölze haben zu diesem Stadium in der Regel ihr wirtschaftliches Nutzungsziel erreicht.

Der Begriff der Umtriebszeit definiert den durchschnittlichen Zeitraum eines Gehölzbestandes von seiner Pflanzung bis hin zu seiner Ernte. Zum Zeitpunkt der Ernte haben die Gehölze dabei ihr wirtschaftliches Nutzungsziel erreicht.

2.2 Rechtliche Rahmenbedingungen

2.2.1 Allgemeine Regelungen

Die grundlegenden Anforderungen für die Definition und die Förderung von Agroforstsystemen sind in § 4 GAPDZV geregelt. Demnach muss ein Agroforstsystem die Voraussetzungen gemäß § 4 Absatz 1 und 2 GAPDZV einhalten, wie bereits in Abschnitt 2.1.1 Agroforstbeschrieben. Ergänzend wird in § 4 Absatz 2 GAPDVZ ausgeführt, dass gemäß Anlage 1 der GAPDZV der Anbau der in Tabelle 1 aufgeführten Gehölzarten für neu angelegte Agroforstsysteme ab dem 01. Januar 2022 untersagt ist.

Tabelle 1: Negativliste der verbotenen Gehölzpflanzen bei Agroforstsystemen ab dem 01. Januar 2022

Botanische Bezeichnung	Deutsche Bezeichnung
Acer negundo	Eschen-Ahorn
Buddleja davidii	Schmetterlingsstrauch
Fraxinus pennsylvanica	Rot-Esche
Prunus serotina	Späte Traubenkirsche
Rhus typhina	Essigbaum
Robinia pseudoacacia	Robinie
Rosa rugosa	Kartoffel-Rose
Symphoricarpos albus	Gewöhnliche Schneebeere
Quercus rubra	Roteiche
Paulownia tomentosa	Blauglockenbaum

Quelle: in Anlehnung an Anlage 1 (zu §4 Absatz 2) der GAPDZV

Gemäß § 4 Absatz 3 der GAPDVZ gilt zusätzlich, dass Gehölzpflanzen auf Flächen, die am 31. Dezember 2022 als schützenswerte Landschaftselemente gemäß der AgrarZahlVerpflV oder entsprechenden Landesverordnungen ausgewiesen waren, nicht als Teil eines Agroforstsystems gelten. Die Einhaltung der Anforderungen gemäß § 4 der

GAP-Direktzahlungen-Verordnung (GAPDVZ) führt grundsätzlich zur Berechtigung für eine Förderung durch Direktzahlungen. Dabei ist zu beachten, dass zum Zeitpunkt der Antragstellung das Agroforstsystem bereits angelegt sein muss. (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2024)

Anhand § 2 BWaldG sind Agroforstsysteme klar von dem Begriff „Wald“ abzugrenzen. Nach § 2 Absatz 2 Nummer 1 und 2 BWaldG dürfen Kurzumtriebsplantagen nicht länger als 20 Jahre auf der Fläche verbleiben, bevor sie den Status als Waldfläche erhalten, wogegen Systemen mit einer agroforstlichen Nutzung der Status „Wald“ unabhängig von ihrer Standzeit nicht zugeschrieben wird

2.2.2 Förderung von Agroforstsystemen

Die Förderung von Agroforstsystemen in Deutschland basiert im Wesentlichen auf dem GAP-Strategieplan und erfolgt in Form einer Investitionsförderung, deren Umsetzung durch die jeweiligen Bundesländer unterschiedlich ausgestaltet wird (Böhm, 2024: S. 5). Gemäß Artikel 73 Absatz 4 Buchstabe c der EU-Verordnung 2021/2115 (EU-GAP-Strategieplanverordnung) kann dabei eine Förderung von bis zu 100 % gewährt werden. Die Förderung von Agroforstsystemen unterliegt außerdem verschiedenen regulatorischen Vorgaben. Neben § 4 GAPDVZ ist auch die Verordnung zur Durchführung des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (GAPInVeKoSV) relevant, welche die allgemeine Mindestschlaggröße einer landwirtschaftlichen Parzelle, einschließlich Agroforstsystemen, festlegt (Böhm, 2024: S. 7). Gemäß § 3 GAPInVeKoSV muss eine solche Parzelle mindestens 0,3 ha aufweisen, um für die Beantragung von Fördermitteln in Betracht zu kommen. Länderspezifische Abweichungen können auftreten.

1. Säule: Direktzahlungen nach Öko-Regelung 3

Eine Förderung im Rahmen der Direktzahlungen (1. Säule) kann laut der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2024) jährlich über die Öko-Regelung 3 (ÖR3) beantragt werden. Es ist danach auch zu beachten, dass bei der ÖR3 die Beibehaltung einer agroforstlichen Bewirtschaftungsweise auf Ackerland oder Dauergrünland gefördert wird, weshalb eine Förderung auf Dauerkulturflächen nicht möglich ist. Neben den allgemeinen Anforderungen gemäß § 4 GAPDVZ ist für die Förderberechtigung zusätzlich die Anlage 5 Nummer 3 der GAPDVZ zu beachten. Anlage 5 Nummer 3.2 der GAPDVZ spezifiziert die konkreten Voraussetzungen:

- Die Gehölzstreifen müssen zwischen 2 % und 40 % der förderfähigen Ackerland- oder Dauergrünlandfläche ausmachen.
- Die Gehölzstreifen müssen überwiegend mit Gehölzen bepflanzt sein.
- Es müssen mindestens zwei Gehölzstreifen vorhanden sein.
- Die einzelnen Gehölzstreifen dürfen maximal bis 25 Meter breit sein.
- Der größte Abstand zwischen zwei Gehölzstreifen sowie zum Flächenrand darf maximal 100 Meter betragen.
- Der kleinste Abstand zwischen zwei Gehölzstreifen und zu Waldrändern oder Landschaftselementen nach § 23 Absatz 1 Nummer 1 bis 3 der GAP-Konditionalitäten-Verordnung muss mindestens 20 Meter betragen.

Zusätzlich regelt Anlage 5 Nummer 3.3 der GAPDVZ, dass die Holzerntezeitpunkte auf die Monate Januar, Februar und Dezember begrenzt sind. Bei der Bereitstellung von Förderprämien wird laut der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (2024) nicht zwischen den verschiedenen Agroforsttypen (silvopastoral, silvoarabel, agrosilvopastoral) unterschieden. Sie gibt an, dass eine bundeseinheitliche Prämie von 200 € je Hektar (Stand November 2024) begünstigungsfähiger Gehölzfläche beantragt werden kann, sofern sämtliche Voraussetzungen erfüllt sind. Die Höhe der Prämie soll jedoch voraussichtlich für den GAP-Strategieplan 2026 von 200 € je Hektar auf 600 € je Hektar angehoben werden laut Angaben der DEFAF e.V. (2025).

Abbildung 2 stellt die Förderfähigkeit von Agroforstsystemen nach dem GAP-Strategieplan in Form eines vereinfachten Flussdiagramms dar. Zunächst werden die allgemeinen Anforderungen aufgeführt, die für eine Förderung nach dem GAP-Strategieplan erfüllt sein müssen. Daraufhin folgen die spezifischen Zusatzanforderungen, die eine Förderung nach der Öko-Regelung 3 ermöglichen.

Fördermöglichkeiten für Agroforstsysteme

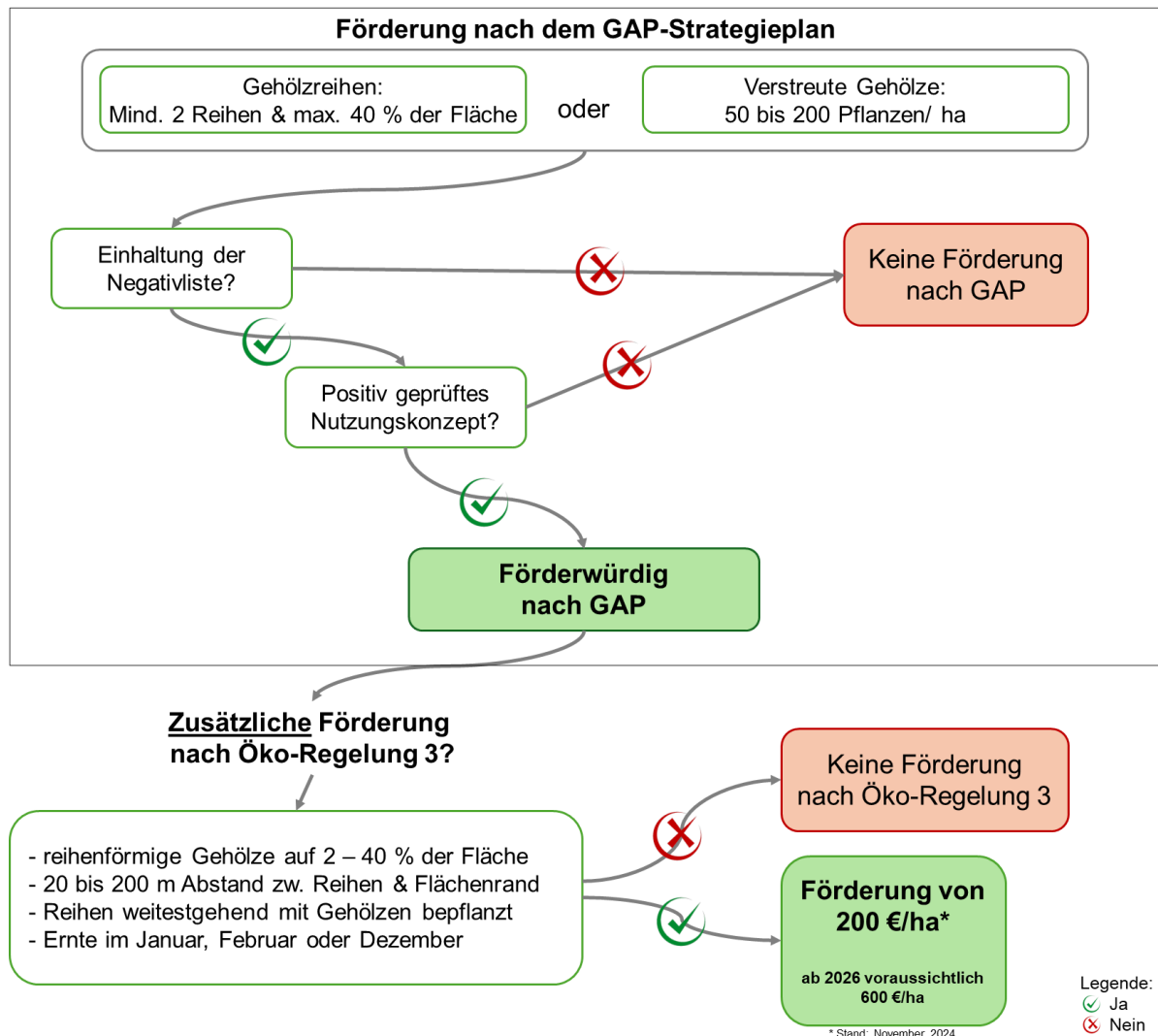


Abbildung 2: Schematische Darstellung für die Fördermöglichkeiten bei Agroforstsystemen

Quelle: in Anlehnung an (Böhm, 2024: S. 15; DEFAF e.V., 2025)

2. Säule: Fördermöglichkeiten zur Neuanlage von Agroforstsystemen

Im Rahmen der zweiten Säule der GAP haben die deutschen Bundesländer die Möglichkeit, Maßnahmen zur Neuanlage und Erweiterung von Agroforstsystemen zu fördern (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2024). Gegenwärtig wird diese Förderoption jedoch nur von drei der sechzehn Bundesländer aktiv genutzt, wie in Tabelle 2 anhand der jeweiligen Förderprogramme und den entsprechenden Fördersätzen pro Bundesland übersichtlich dargestellt (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., o. J.-a).

Tabelle 2: Übersicht der derzeitigen Fördermöglichkeiten der Bundesländer in der 2. Säule der GAP (Stand November 2024)

Bundesland	Förderprogramm	Höhe der Förderung
Bayern	KULAP, I84	- max. 1.566 €/ha für die Anlage von KUP, - max. 4.138 €/ha für die Anlage von Sträuchern, - max. 5.271 €/ha für die Anlage von Nutz-/Wertholz
Mecklenburg-Vorpommern	Agroforst-Richtlinie	- max. 1.566 €/ha für die Anlage von KUP, - max. 4.138 €/ha für die Anlage von Sträuchern, - max. 5.271 €/ha für die Anlage von Nutz-/Wertholz
Sachsen	Förderrichtlinie Landwirtschaft, Investition, Existenzgründung	- Zuschuss bis 40 % des förderfähigen Investitionsvolumens auf Ackerland

Quelle: in Anlehnung an (Fachagentur Wachsende Rohstoffe e. V., o. J.-a)

Die Tabelle zeigt die aktuellen Fördermöglichkeiten und -programme für Agroforstsysteme in den Bundesländern Bayern, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen, basierend auf dem Stand vom November 2024. In Bayern und Mecklenburg-Vorpommern erfolgt eine grundlegende Förderung von Agroforstsystemen, wobei die Höhe der Unterstützung je nach Art der Anpflanzung (KUP, Sträucher oder Nutz-/ Wertholz) variiert. Im Gegensatz dazu bietet Sachsen einen Zuschuss zu den Investitionskosten an, sofern das System auf Ackerland angelegt wird. Für die verbliebenen Bundesländer herrschen derzeit keine spezifischen Fördermaßnahmen für Agroforstsysteme.

2.3 Grundlagen der Betriebs- und Flächenanalyse

Die Etablierung von Agroforstsystemen ist laut V. Schulz et al. (2020: S. 13) prinzipiell auf jeder Grünlandfläche möglich. Sie besagen auch, dass zu beachten ist, dass bei produktionsorientierten Agroforstsystemen von der Verwendung von Grenzstandorten abgesehen werden sollte, da diese das Wachstum der Bäume einschränken können. Grenzstandorten sind solche Flächen, auf denen aufgrund nachteiliger natürlicher

Standortfaktoren sowie gegebener technischer, ökonomischer und agrarpolitischer Rahmenbedingungen keine nachhaltige Gewinnerzielung möglich ist (Marschall, 2025).

Die Motivation zur Umsetzung eines Agroforstsystems kann vielfältig ausfallen. Zunächst sollten die individuellen Ziele des Systems definiert werden, wie etwa die Produktion von Erzeugnissen wie Wertholz, Energieholz oder einer Fruchtproduktion (Markut et al., 2022: S. 15; V. Schulz et al., 2020: S. 13). Andere Ziele, wie die Förderung der Biodiversität oder wirtschaftlichen Vorteilen sowie Aspekten wie Erosionsschutz sollten nach Markut et al., (2022: S. 12 f.) ebenfalls berücksichtigt werden. Je nach der Schwerpunktsetzung können sich die zu planenden Agroforstsysteme erheblich unterscheiden.

Die Wahl der Gehölzarten sollte sich an den regionalen Gegebenheiten orientieren, um eine optimale Anpassung an Boden- und Klimaverhältnisse zu gewährleisten (V. Schulz et al., 2020: S. 13 ff.). Der Einsatz nicht-heimischer Arten oder potenziell invasiver Neophyten sollte sorgfältig abgewogen werden (Markut et al., 2022: S. 13).

Ein weiterer entscheidender Aspekt laut Markut et al. (2022: S. 12 ff.) ist die Auswahl geeigneter Fläche, wobei hier wiederum die standortspezifischen Eigenschaften eine zentrale Rolle spielen. Sie sagen, dass diese beispielsweise beeinflussen, welche Gehölzarten sinnvoll auf der Fläche eingesetzt werden können. Nach V. Schulz et al. (2020) wird grundsätzlich eine Mischung verschiedener Gehölzarten im System empfohlen, um eine erhöhte Resilienz gegenüber klimatischen Effekten, Schädlingsbefällen und Krankheiten zu erzielen. Zudem meinen sie, dass sie eine wirtschaftliche Absicherung durch stabilere Erlöse in Hinblick auf die schwankenden Marktpreise bietet. Markut et al. (2022) fügt hinzu, dass die rechtlichen Rahmenbedingungen und mögliche Zielkonflikte mit Naturschutzauflagen im Vorfeld zu prüfen sind. Beispielsweise unterliegen Flächen in Naturschutzgebieten oft besonderen Vorgaben, die eingehalten werden müssen. In einigen Regionen Deutschlands existieren laut Markut et al. auch schützenswerte Tierarten, die ebenfalls zu einer Einschränkung des Agroforstsystems führen können.

Vor der Umsetzung eines Agroforstprojektes sollten auch die betrieblichen Ressourcen Berücksichtigung finden. Ressourcen, welche zur Pflege der Gehölze einzuplanen sind oder die Verfügbarkeit von geeigneter Maschinerie, zum Beispiel zur Bewässerung, sind dabei essenziell. Auch ist ein Arbeitsaufwand sowie Fachwissen erforderlich, um die Bereiche der Baumpflege- und schnitte ausführen zu können, wobei hier grundsätzlich auch externe Beratung in Anspruch genommen werden kann. (Ökolandbau.de, 2024)

Die Anlage eines Agroforstsystems erfordert folglich eine sorgfältige Erfassung der Planungsgrundlagen, um eine nachhaltige und zukunftsorientierte Umsetzung zu gewährleisten. (V. Schulz et al., 2020: S. 35)

2.4 Klimaausblick des Climate Service Center Germany (GERICS)

Der Klimaausblick nach GERICS stützt sich auf die Ergebnisse von 85 regionalen Klimamodellsimulationen und bietet eine Vielzahl an Kennwerten, die die klimatischen Veränderungen in den verschiedenen Landkreisen Deutschlands prognostizieren. Dabei werden drei grundlegende RCP-Szenarien verwendet. Das Szenario RCP8.5 weist einen kontinuierlichen Anstieg von Treibhausgasemissionen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts auf, während das Szenario RCP4.5 von einem mittleren Anstieg an Treibhausgasemissionen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts und einem anschließenden Absenken dieser ausgeht. Das sogenannte Klimaschutz-Szenario RCP2.6 geht davon aus, dass mithilfe von ehrgeizigen Maßnahmen zur Reduktion der Treibhausgase sogar „negative Emissionen“ bis zum Ende des 21. Jahrhundert möglich sind. Mit Hilfe von Klimamodellen lassen sich verschiedene Zukunftsszenarien berechnen, die Antworten auf hypothetische Fragen, etwa wie sich das Klima unter bestimmten Bedingungen entwickeln könnte, geben. Solche Szenarien sind allerdings keine direkten Vorhersagen, sondern beschreiben lediglich verschiedene plausible Entwicklungen. Durch die Simulation der atmosphärischen Veränderung aufgrund von Treibhausgasemissionen ermöglichen Klimamodelle eine wissenschaftlich fundierte Einschätzung der möglichen Auswirkungen auf das Klimasystem der Erde. (Pfeifer et al., 2021: S. 4)

2.5 Kriterien der Gehölzartenauswahl

Die Wahl von geeigneten Bäumen für die nachhaltige und zukunftsorientierte Bewirtschaftung eines Agroforstsystems ist von zentraler Bedeutung. Dabei spielen diverse Faktoren eine Rolle, die für die Entscheidungsfindung berücksichtigt werden sollten. (Westhauser, 2020)

Abbildung 3 stellt die grundlegenden Faktoren zur Auswahl von Gehölzarten übersichtlich dar.

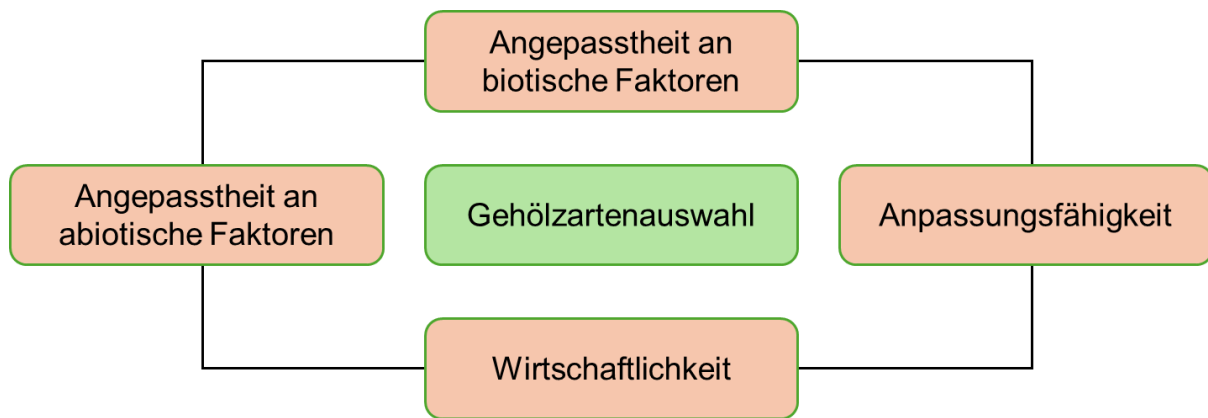


Abbildung 3: Kriterien der Gehölzartenauswahl

Quelle: in Anlehnung an (Westhauser, 2020)

Abiotische Faktoren umfassen grundlegend alle Umweltfaktoren an denen Lebewesen nicht erkennbar beteiligt sind, beispielsweise physikalische Parameter wie Temperatur und Wasser sowie verschiedene chemischen Substanzen (Luidold, 2011: S. 2). Solche Faktoren sind laut Westhauser (2020) dauerhaft im Wandel, was die Gehölzartenwahl maßgeblich beeinflusst und auch einschränken kann. Die Wahl geeigneter Gehölze für einen Standort stellt laut ihm die grundlegende Voraussetzung für die Planung und Bewirtschaftung des Agroforstsystems dar, da sie für die Vitalität und Stabilität des ganzen Systems von Bedeutung ist.

Im Gegensatz zu den abiotischen Faktoren umfassen biotische Faktoren alle Umweltfaktoren, an denen Lebewesen erkennbar beteiligt, wie beispielsweise Schädlinge oder Krankheitserreger an Pflanzen, sind. Sie enthalten außerdem Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Arten innerhalb eines Ökosystems, die sowohl negativ als auch positiv ausfallen können. Da die biotischen Faktoren auch Auswirkungen auf das Wachstum und das Überleben der Organismen haben, sollten sie bei der Gehölzartenauswahl einbezogen werden. (Luidold, 2011: S 2 ff.)

Die Auswahl geeigneter Gehölzarten erfordert neben der Betrachtung der aktuellen Standortbedingungen auch eine Berücksichtigung ihrer Anpassungsfähigkeit an zukünftige Umweltveränderungen, besonders im Zuge des Klimawandels. So werden Arten mit einer hohen physiologischen Amplitude oder einer ausgeprägten Trockenstresstoleranz relevanter. Beispielsweise gibt das natürliche Verbreitungsgebiet einer Gehölzart Aufschluss über ihre klimatische Nische und somit auch ihrer Toleranzen gegenüber Wärme, Kälte, Trockenheit oder auch Frost. Zudem kann auch die Herkunft innerhalb eines Verbreitungsgebietes entscheidend sein, da lokale Anpassungen potenziell zu einer Ausbildung spezifischer Eigenschaften führen. Die Wahl der Arten für einen stabilen und vitalen Bestand sollte somit

an zukünftige Klimabedingungen angepasst sein und auch eine genetische Variabilität aufweisen, um eine langfristige und zukunftsorientierte Anpasstheit zu erreichen. Neben ökologischen Aspekten werden für Agroforstsysteme auch oftmals ökonomische Aspekte in die Auswahl an Gehölzarten einbezogen. Zur Wirtschaftlichkeit einer Baumart zählen Faktoren wie die Wuchsgeschwindigkeit oder die Ertragskraft. Vitalität und Stabilität, welche durch Faktoren wie der Standortangepasstheit und der Anpassungsfähigkeit, beeinflusst werden, tragen weiter zur Risikominimierung bei. (Westhauser, 2020)

2.6 Pflanzabstände in Agroforstsystemen

Der richtige Pflanzabstand zwischen den Gehölzen eines Agroforstsystems ist entscheidend für deren Wachstum sowie die Pflege der Grünlandfläche mittels Maschinen. (Markut et al., 2022; V. Schulz et al., 2020)

Abbildung 4 zeigt die nachfolgenden Begrifflichkeiten der Pflanzabstände, um das Verständnis für die Anwendenden zu erleichtern.

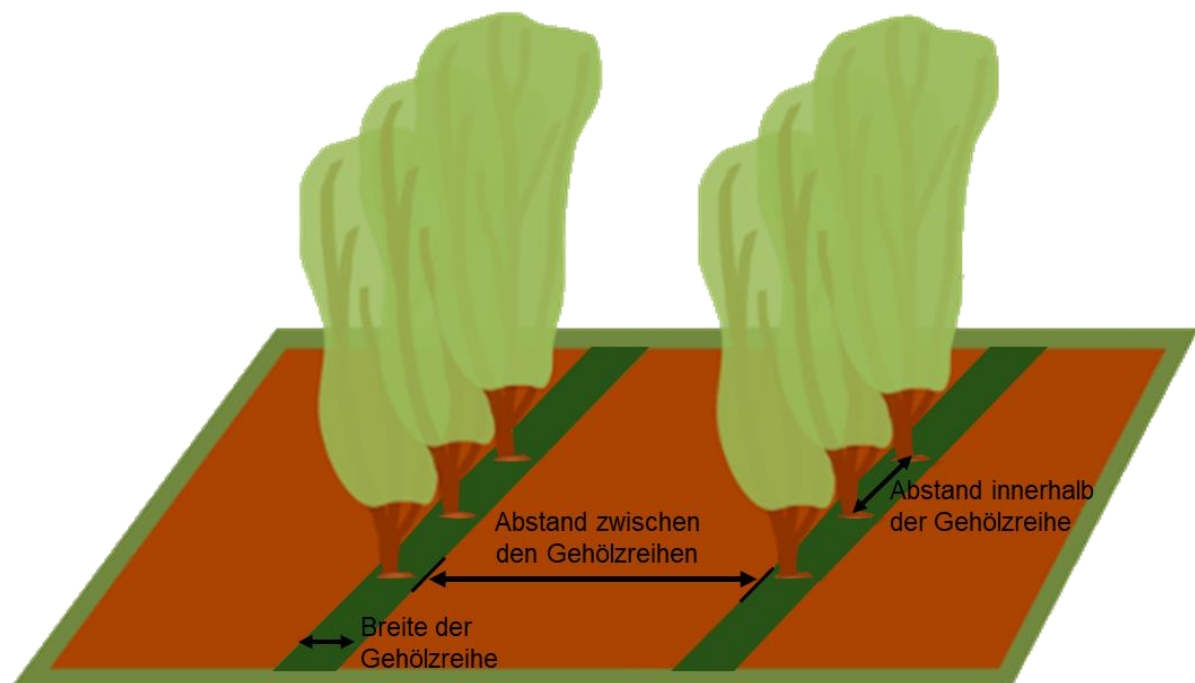


Abbildung 4: Schematische Darstellung zu den Abständen in einem Agroforstsystem

Quelle: in Anlehnung an (Böhm et al., 2020: S. 32)

Die Breite der Gehölzreihe hängt von ihrer Nutzung und Pflege ab. Grundlegend reicht für Jungbäume ein schmaler Streifen aus, während ältere Bäume etwa 200 cm benötigen. (Markut et al., 2022)

Der Abstand zwischen den Gehölzreihen sollte laut Markut et al. (2022: S. 14 ff.) an die Maschinenbreite, wie beispielsweise Traktoren und Mulcher, angepasst werden und idealerweise ein Vielfaches der jeweiligen Arbeitsbreite betragen. Zukünftige Entwicklungen bei der Anschaffung von Maschinerie sollten außerdem mit einbezogen werden. Auch die Bodeneigenschaften sowie das Klima spielen eine Rolle bei der Wahl der Abstände innerhalb der Reihe, fügen sie hinzu. Bei trockenen oder nährstoffarmen Böden empfehlen Markut et al. weitere Abstände, um den Gehölzen bessere Wachstumsbedingungen zu bieten. Zusätzlich sollte sichergestellt werden, dass die Maschinen nicht näher als 0,50 m an die Bäume herangefahren werden, um Schäden an den Baumstämmen, gerade bei Werthölzern, zu vermeiden (V. Schulz et al., 2020).

Der Abstand der Gehölze innerhalb einer Reihe richtet sich nach den Produktionszielen (Wertholz, Fruchtholz, Energieholz) der Gehölze. Bei Werthölzern und Obsthölzern erfolgt die Berechnung des Abstandes anhand des Bruthöhendurchmessers mit dessen Hilfe der Mindestabstand errechnet wird. (V. Schulz et al., 2020: S. 15)

Die Formel lautet:

$$\text{Mindestabstand [cm]} = \text{BHD [cm]} \times 25 \quad [1]$$

Quelle: in Anlehnung an (V. Schulz et al., 2020: S. 15)

Allgemein gilt nach V. Schulz et al. (2020: S. 15), dass Obstgehölze auch etwas enger gepflanzt werden können. Bei Einhaltung des Mindestabstandes berühren sich laut ihnen die Baumkronen der Gehölze gegen Ende ihrer Standzeit. Bei Energieholz gilt dagegen ein Mindestabstand von 40 cm zwischen den Pflanzen und ein maximaler Abstand von 200 cm. Der Abstand ist je nach gewünschter Dichte des Energieholzstreifens zu wählen (Hering et al., 2013: S. 14 f.).

Tabelle 3 fasst die Abstände, die bei der Pflanzung eines Agroforstsystems mit einzelnen Reihen eingehalten werden sollten, übersichtlich zusammen.

Tabelle 3: Zusammenfassung der Kennwerte zu den Abständen eines Agroforstsystems bei Einzelreihen

Parameter	Abstand
Breite der Pflanzreihen	- an die Produktionsrichtung angepasst - meist circa 200 cm
Pflanzabstand zwischen den Reihen	- richtet sich nach der Maschinenbreite (Verwendung von Vielfachen der Arbeitsbreite)
Pflanzabstand innerhalb der Reihe	- für Bäume: • Mindestabstand [cm] = BHD [cm] x 25 • Bei Obstbäumen geht es meist auch etwas enger - für Energieholz und Sträucher: • Mindestens 40 cm, maximal 200 cm

Quelle: (Hering et al., 2013; Markut et al., 2022; V. Schulz et al., 2020)

2.7 Grundlagen der Pflanzung, Pflege und Ernte

2.7.1 Pflanzmaterial

Für eine qualitativ erfolgreiche Pflanzung des Agroforstsystems sollten ausschließlich junge Gehölze aus registrierten Baumschulen bezogen werden. Dort sind hochwertige, ein- oder mehrjährige Gehölze erhältlich, die sich durch eine optimale genetische Qualität, hohe Vitalität sowie durch eine standortgerechte Herkunft auszeichnen. Dies fördert die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen und ermöglicht eine gute Entwicklung des Bestandes auf langfristige Sicht (Markut et al., 2022).

Es wird empfohlen laut V. Schulz et al. (2020: S. 16), Jungbäume mit einer Mindesthöhe von 1,50 m zu erwerben, um den stärksten Konkurrenzdruck durch Begleitvegetation zu vermindern sowie das Risiko für einen Wildverbiss zu minimieren. Sie meinen außerdem, dass ein gerader und auch unverzweigter Stamm zwingend erforderlich für die Produktion und den Erlös von Wertholz ist. Bei Energieholz wird nach Hering et al. (2013: S. 14) dagegen eine Pflanzung mit 20 bis 30 cm großen Stecklingen empfohlen. Es ist laut ihnen außerdem anzumerken, dass größere Stecklinge eine bessere Anwuchsrate bei Trockenheit aufweisen.

Da das Design eines Agroforstsystems einer zeitlichen Dynamik unterliegt und somit die Entwicklung im Bestand unterschiedlich ausfallen kann, können Bäume in einer Dreier-Gruppe gepflanzt, um das Risiko von Ausfällen zu minimieren und den Arbeitsaufwand zu reduzieren. Dies nennt man umgangssprachlich auch das Bleiber-Weicher-System. Dabei werden die drei

Pflänzchen oftmals in jeweils 1 m Abstand zueinander gesetzt. Spätestens nach etwa 15 Jahren können die zwei schwächeren Pflanzen aus dem System entfernt werden, wogegen der am besten gewachsene Baum bis zu seiner Ernte verbleibt. Je nach Wachstum und Ausprägung der Bäume kann auch eine frühere Entnahme erfolgen. Zudem kann die zeitliche Dynamik durch eine gezielte Kombination von Gehölzarten mit unterschiedlichen Standzeiten genutzt werden, um einen Kahlschlag der Fläche zu verhindern. (Markut et al., 2022: S. 15 f.)

2.7.2 Vorgehen bei der Pflanzung und Gehölzschutz

Das Pflanzloch des jeweiligen Gehölzes muss zum Beispiel mit einem Spaten, einer Schaufel oder einem Erdbohrer ausgehoben werden und grundsätzlich größer wie der Wurzelballen des Setzlings sein (Markut et al., 2022; V. Schulz et al., 2020). Bei Flächen unter 1 ha wird die manuelle Pflanzung aus Kostengründen empfohlen (Hering et al., 2013).

Sobald das Pflanzloch vorbereitet ist, wird das Gehölz eingesetzt. Dabei müssen umgeknickte Wurzeln vorsichtig ausgerichtet werden und die Hauptwurzel nicht abgeschnitten werden. Falls ein Pflanzstab verwendet wird, sollte dieser vor dem Einfüllen der Erde vorsichtig in den Boden eingeklopft werden, um die Wurzeln nicht zu beschädigen. Anschließend wird das Pflanzloch mit Erde befüllt, während der Baum in einer geraden und aufrechten Position gehalten wird. Durch das vorsichtige Festtreten der Erde wird dieser stabilisiert. Nach der Pflanzung sollte der Baum eingeschlämmt und am Pflanzstab befestigt werden. (V. Schulz et al., 2020)

Um die Beikräuter und somit den Konkurrenzdruck für die Gehölze zu reduzieren, wird es empfohlen, die Baumscheibe (Markut et al., 2022: S. 16), also die unbewachsene Fläche um des Stamm eines Gehölzes (Humbert, 2022), frei zu halten, was beispielsweise durch den Einsatz von Mulch erfolgen kann (Markut et al., 2022: S. 16).

Um das Gehölz vor Schäden durch Nagetiere zu schützen, kann der Wurzelballen mit einem unverzinktem Hasendraht umhüllt werden, welcher in der Regel im Boden zersetzt werden kann und so die Wurzeln nicht über den Standzeitraum des Gehölzes abschnürt (V. Schulz et al., 2020). Die Maschenweite des Drahtes sollte 13 mm nicht überschreiten, damit der schützende Effekt in Kraft treten kann (Markut et al., 2022: S. 16). In Regionen mit Wildverbiss empfehlen V. Schulz et al. (2020: S. 17) entsprechende Maßnahmen zu treffen, um das Wachstum der Gehölze optimal zu unterstützen. Dies kann zum Beispiel in Form von Kunststoff- oder Holzhüllen sowie Baumschutzgittern erfolgen, wie Abbildung 5 zeigt. Der Schutz ist laut V. Schulz et al. an die Nutzung anzupassen. Sollten Weidetiere auf der Grünlandfläche gehalten werden, so geben sie an, ist ein Verbissschutz ebenfalls zu

empfehlen, wobei auf eine robuste Schutzvorrichtung geachtet werden sollte, die an die Größe und sonstigen Fähigkeiten der Nutztiere angepasst ist.



Abbildung 5: Beispiele von Schutzhüllen für Gehölze

Quelle: (Baumpfleger-Lübeck, o. J.; blizz-z, o. J.; Witasek, o. J.)

Zusammenfassend können die benötigten Materialien für die Pflanzung festgehalten werden:

- Spaten/ Schaufel/ Erdbohrer/ Bagger oder Ähnliches
- Pflanzpfahl und Anbindematerial
- Mulchmaterial
- Gegebenenfalls Wald-/ Komposterde
- Schutzmaterialien, zum Beispiel Wühlmausgitter, Schutzhüllen/ Schutzgitter

Für die Pflanzung, bei Verwendung eines motormanuellen Erdbohrers sowie der Installation einer Schutzhülle und des Pflanzstabs, ist eine durchschnittliche Gesamtarbeitszeit von etwa 15 Minuten einzuplanen. Für die Beikrautregulierung pro Gehölz können etwa 5 Minuten Arbeitszeit einkalkuliert werden. Die Verwendung weiterer Arbeitsschritte, zusätzlicher Materialien oder der Erfahrung der ausführenden Personen können zu weiteren Zeitaufwänden führen. (V. Schulz et al., 2020: S. 32; Springmann et al., 2015: S. 7)

2.7.3 Pflege und Ernte

Die Ästung der Gehölze ist ein essenzieller Bestandteil der Baumpflege und auch Wertholzproduktion (Morhart et al., 2015: S. 20). Eine Ästung bei Energieholz ist nicht notwendig (Hering et al., 2013). Ziel dieser Maßnahme ist es, einen möglichst langen und astfreien Stammabschnitt zu erzeugen, da dies auch ausschlaggebend für die Qualität des Holzes ist (Morhart et al., 2015: S. 20 f.). Um das gewünschte Ergebnis zu erreichen, muss das Wachstum der Bäume während der ersten 15 bis 20 Jahre kontinuierlich überwacht werden (V. Schulz et al., 2020: S. 11). Besonders in den ersten Wachstumsjahren ist es entscheidend, die störenden Äste frühzeitig zu entfernen, so Morhart et al. (2015: S. 23 ff.) als auch V. Schulz et al. (2020: S. 22 ff.). Der Prozess der Ästung muss grundlegend so lange fortgesetzt werden, bis die angestrebte astfreie Stammlänge erreicht ist, schreiben die Autoren. In späteren Jahren meinen sie, sollten nur noch diejenigen Bäume geästet werden, die das Potenzial für hochwertiges Wertholz besitzen. Der richtige Zeitpunkt für die Ästung hängt dabei von der Baumart ab. Im Allgemeinen empfiehlt sich die Durchführung im späten Winter oder während der Wachstumsperiode, da die Schnittstellen dann schneller überwallt und versiegelt werden beschreiben sie. Bei einigen Arten ist dagegen die Ästung im Sommer vorteilhafter, da das Risiko von Pilzinfektionen in dieser Zeit geringer ist. Die richtige Technik ist laut ihnen entscheidend für eine erfolgreiche Ästung. Der verbleibende Aststummel sollte so kurz wie möglich sein, ohne jedoch den Astkragen zu beschädigen. Die Schnitte sollten zudem glatt und sauber sein, um eine schnelle Wundschließung zu erzielen. Bei großen Ästen ist zu Beginn ein Entlastungsschnitt durchzuführen, um ein Abreißen der Rinde zu vermeiden.

Abbildung 6 zeigt die empfohlene Positionierung der Schnitte.

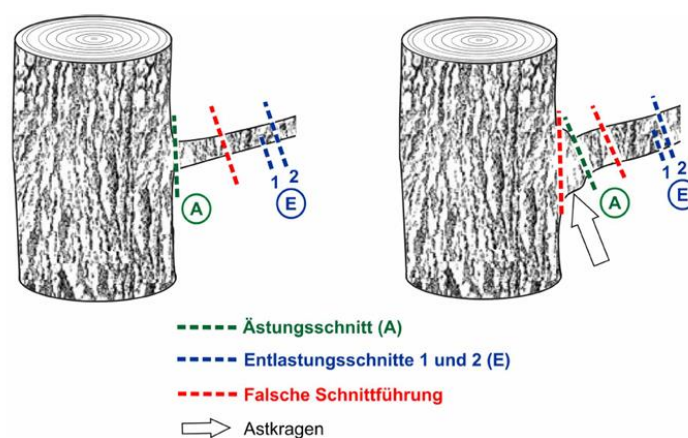


Abbildung 6: Schematische Darstellung des Ästungsschnitts und der Entlastungsschnitte

Quelle: (V. Schulz et al., 2020)

Zur Ästung können verschiedene Werkzeuge zum Einsatz kommen. Je nach Höhe und Dicke der Äste eignen sich beispielsweise Handsägen, Gartenscheren oder Teleskopscheren. Für Arbeiten in größeren Höhen werden Leitersysteme verwendet. Der Zeitaufwand einer Ästung nimmt mit zunehmendem Alter der Gehölze zu. In den ersten ein bis drei Lebensjahren sind etwa 5 Minuten pro Gehölz zu veranschlagen, zum vierten bis siebten Jahr bereits 10 Minuten pro Gehölz. Ab dem achten bis 20. Jahr kann von etwa 15 Minuten pro Gehölz ausgegangen werden. (V. Schulz et al., 2020: S. 32)

Der optimale Erntezeitpunkt der Gehölze hängt von mehreren Faktoren ab. Grundsätzlich sollte die Ernte erst erfolgen, wenn der Baum den gewünschten BHD erreicht hat und die Marktpreise attraktiv sind. Der vorteilhafteste Zeitpunkt für die Fällung liegt im Winter. Zu dieser Jahreszeit ist der Boden oft gefroren, wodurch schwerere Maschinen die Flächen leichter befahren können, ohne den Boden stark zu schädigen. Zudem sind im Winter meist keine Feldfrüchte vorhanden, die durch die Fällarbeiten beeinträchtigt werden können. Da außerdem nicht das gesamte Holz als Stammholz verkauft werden kann, sollte im Vorfeld festgelegt werden, wie die verbleibenden Äste und ähnliches verwendet werden. (V. Schulz et al., 2020: S. 31 f.)

Der Prozess der Holzernte benötigt etwa 120 Minuten pro Gehölz unter Verwendung einer Motorsäge und Unterstützung eines Schleppers (Springmann et al., 2015: S. 7).

2.8 Zeitliche Übersicht der Arbeitsschritte bei Agroforstsystemen

Der beste Zeitpunkt für die Pflanzung von Bäumen ist nach Markut et al. (2022: S. 16 f.) im Herbst (Oktober bis November) oder im Frühling (Februar bis März). Idealerweise sollte der Boden zu diesem Zeitpunkt gut durchfeuchtet sein oder eine Regenperiode direkt nach der Pflanzung vorhergesagt werden, beschreiben sie. Die Bewässerung der Gehölze sollte regelmäßig und angepasst an die Umweltbedingungen erfolgen, wird von ihnen außerdem empfohlen.

Die erste Mahd beziehungsweise das Mulchen zur Pflege der Grünfläche erfolgt im Mai bis zum Juli (Ochse & Hundsdorfer, 2020). Die Holzernte erfolgt ähnlich wie die Pflanzung in den Wintermonaten (V. Schulz et al., 2020: S. 24). Dabei ist zu beachten, dass nach Anlage 5 Nummer 3.3 der GAPDVZ die Monate für die Holzernte auf Dezember bis Februar eingeschränkt werden. Das Monitoring der Fläche sollte mindestens einmal im Jahr erfolgen (Roberti et al., 2023: S. 6). Gerade in den ersten Jahren der Etablierung wird jedoch eine regelmäßige Kontrolle des Bestandes empfohlen (Markut et al., 2022: S. 16).

2.9 Umweltleistungen von Agroforstsystemen

Agroforstsysteme, die eine Kombination aus landwirtschaftlicher Nutzung und Gehölzen darstellen, bieten eine Vielzahl an ökologischen und somit auch klimatischen Vorteilen, die derzeitige Bewirtschaftungstaktiken ergänzen und potenziell sogar übertreffen können (Zehlius-Eckert et al., 2020). Im Folgenden werden einige der Umweltleistungen von Agroforstsystemen zusammengefasst und ihre positiven Effekte beleuchtet.

2.9.1 Ausgewählte Umweltleistungen

Biodiversität und Lebensräume

Durch Agroforstsysteme können vielfältige Lebensräume für Pflanzen, Tiere und Mikroorganismen geschaffen werden, wodurch die biologische Vielfalt in Agrarlandschaften verbessert wird, wie der Umweltdachverband (o. J.) beschreibt. Durch die Kombination von Gehölzen mit landwirtschaftlicher Nutzung entsteht laut ihm ein heterogenes Mosaik aus Mikrohabitaten, das zahlreichen Arten Schutz und Nahrung bietet. Die Gehölze dienen als Rückzugsorte für Vögel, Insekten und Säugetiere, während unterirdisch ein gesundes Bodenökosystem erhalten werden kann (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2024). Diese Vielfalt erhöht die Stabilität des Ökosystems und macht die landwirtschaftlichen Flächen widerstandsfähiger gegenüber Schädlingen und Krankheiten (Zehlius-Eckert et al., 2020: S. 27 ff.).

Klimaschutz und Kohlenstoffspeicherung

Agroforstsysteme können einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz beitragen, indem sie größere Mengen an Kohlenstoff sowohl in der oberirdischen Biomasse als auch im Boden binden (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2024). Durch die Integration von Bäumen, Sträuchern oder sonstigen Gehölzen in landwirtschaftliche Flächen kann laut Zehlius-Eckert et al. (2020: S. 10 ff.) die allgemeine Kohlenstoffaufnahme erhöht werden, was wiederum die Entstehung von Treibhausgasen, wie CO₂, in der Atmosphäre reduziert. Diese Gehölze wirken demnach als Kohlenstoffsenke, da sie während ihres Wachstums Kohlenstoff speichern. Darüber hinaus bieten sie die Möglichkeit, fossile Brennstoffe durch die Nutzung nachwachsender Biomasse zu vermindern (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2024). Eine Verbesserung der landwirtschaftlichen Klimabilanz könnte nach Zehlius-Eckert et

al. (2020 S. 10 ff.) so ermöglicht werden. Sie beschreiben, dass Agroforstsysteme somit nicht nur als Werkzeuge zur Emissionsminderung wirken, sondern auch als Schutzmechanismen gegen die Folgen des Klimawandels.

Erosionsschutz und Bodenfruchtbarkeit

Der Schutz und die Verbesserung der Bodenqualität sind zentrale Leistungen von Agroforstsystemen (Zehlius-Eckert et al., 2020). Die Wurzelsysteme der Gehölze stabilisieren den Boden und beugen dessen Abtrag durch Wind- und Wassererosion vor (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2024). Gerade in Regionen mit hoher Erosionsgefahr bieten Agroforstsysteme eine wirksame Lösung, um die langfristige Produktivität von Flächen zu sichern (Kaeser et al., 2010). Zusätzlich tragen die Gehölze durch ihre Laubabfälle und organischen Rückstände zur Humusbildung bei, was die Bodenfruchtbarkeit erhöht. Somit wird nicht nur die physikalische Stabilität des Bodens, sondern auch seine biologische Aktivität durch Schaffung von neuen Lebensräumen gefördert, wie Zehlius-Eckert et al. (2020: S. 7 ff.) behaupten. Sie meinen außerdem, dass Bodenstrukturen so erhalten, beziehungsweise potenziell verbessert werden können, was die landwirtschaftliche Nutzung nachhaltig unterstützt.

Wassermanagement und Schutz vor Überschwemmung

Ein weiterer Vorteil von Agroforstsystemen liegt in ihrem positiven Einfluss auf den Wasserhaushalt. Die Gehölze verbessern die Infiltration von Regenwasser in den Boden, wodurch die Grundwasserneubildung gefördert wird (Zehlius-Eckert et al., 2020). Gleichzeitig verringern sie den Oberflächenabfluss, was Überschwemmungen vorbeugt (Kaeser et al., 2010). Durch ihre Filterwirkung können Gehölze sowohl laut Kaeser et al. (2010: S. 2 ff.) als auch laut Zehlius-Eckert et al. (2020: S. 18 f.) zudem schädliche Stoffe wie Nitrate aus dem Bodenwasser binden und somit die Belastung von Gewässern reduzieren. Die Autoren sagen, dass in Trockengebieten Agroforstsysteme zudem wie natürliche Wasserspeicher, die den Wasserbedarf von Nachbarpflanzen besser decken können, wirken. Insgesamt wird geschlussfolgert, dass sie zu einem nachhaltigen Umgang mit der wertvollen Ressource Wasser beitragen und die Resilienz gegenüber Extremwetterereignissen fördern.

Mikroklimatische Effekte und Windschutz

Die Gehölze in Agroforstsystemen beeinflussen das Mikroklima grundlegend positiv und schaffen günstigere Wachstumsbedingungen für Nutzpflanzen (Zehlius-Eckert et al., 2020). Sie bieten nach Kaeser et al. (2010: S. 3) Schutz vor Winderosionen und reduzieren die Bodenaustrocknung, was besonders in trockenheitsanfälligen Regionen von Vorteil ist. Gleichzeitig schreiben die Autoren, dass sie extreme Temperaturen mildern, indem sie Schatten spenden und die Verdunstung von Feuchtigkeit in der Umgebung reduzieren. Auch der Schutz vor Frost kann durch die Präsenz von Gehölzen verbessert werden, da sie die Luftbewegung bremsen und so die Abkühlung der Fläche reduzieren (Zehlius-Eckert et al., 2020). Diese mikroklimatischen Effekte fördern nicht nur potenziell höhere Erträge (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2024), sondern auch eine größere Stabilität der Fläche über die Jahre hinweg (Zehlius-Eckert et al., 2020).

Förderung der Ressourceneffizienz

Eine effizientere Nutzung von Licht, Wasser und Nährstoffen kann durch Agroforstsysteme ebenfalls ermöglicht werden, da sie die vertikale Dimension der Landschaft optimal ausnutzen. Die Gehölze erreichen auch Nährstoffe in tieferen Bodenschichten, während die Pflanzen im Unterwuchs von der verbesserten Bodenqualität profitieren. Diese Mehrschichtigkeit steigert die Produktivität der Fläche und reduziert gleichzeitig den Bedarf an zusätzlichen Ressourcen wie Düngemitteln oder Bewässerung. Darüber hinaus minimieren Agroforstsysteme Verluste durch Bodenerosion und Nährstoffauswaschung, was ihre Nachhaltigkeit weiter erhöht. (Zehlius-Eckert et al., 2020)

2.9.2 Besondere Relevanz der Parameter von Biodiversität und Kohlenstoffspeicherung

Biodiversität

Die Biodiversität ist ein zentraler Baustein für das Stabilität des Planeten. Derzeit befindet sie sich jedoch in einer beispiellosen Krise. Der Rückgang von Arten und Lebensräumen schreitet weltweit in alarmierendem Tempo voran. Zahlen und Studien verdeutlichen die Dringlichkeit, diesen Entwicklungen entgegenzuwirken. (Friess, 2023)

Weltweit stehen etwa eine Million Arten kurz vor dem Aussterben, was das fragile ökologische Gleichgewicht verdeutlicht. Rund 25 % aller Tier- und Pflanzenarten gelten als gefährdet. Dabei verläuft das Artensterben bis zu einhundertmal schneller als in den letzten zehn

Millionen Jahren – eine Entwicklung, die vor allem durch menschliche Aktivitäten, wie die Zerstörung von Lebensräumen, der Umweltverschmutzung und den Klimawandel, ausgelöst wird. (Friess, 2023)

Friess (2023) schreibt, dass auch in Europa und Deutschland die Situation dramatisch ist. Laut ihrer Aussage sind auf der Roten Liste rund 31 % der Pflanzenarten in Deutschland gefährdet. Der Verlust der Arten, so schreibt sie, hat weitreichende Auswirkungen auf gesamte Ökosysteme, da Pflanzen nicht nur die Grundlage vieler Nahrungsketten bilden, sondern auch entscheidend für die Stabilität von Böden, das Wassermanagement und die Klimaregulierung sind. Ein Beispiel für diesen Sachverhalt ist der gravierende Rückgang von Wildblumen und Wiesenpflanzen durch die intensive Landwirtschaft (Leuschner et al., 2013). Viele Arten, die einst charakteristisch für mitteleuropäische Landschaften waren, wie der Große Wiesenknopf (Rote-Liste-Zentrum, 2025) oder die Saat-Esparsette (Rote-Liste-Zentrum, 2025), verschwinden zunehmend. Ebenso lässt sich laut Friess (2023) bei Bäumen und Sträuchern ein Rückgang feststellen, insbesondere in landwirtschaftlich geprägten Regionen, wo die Zahl der Hecken und anderer strukturreicher Landschaftselemente abnimmt. Dies wirkt sich, schreibt sie, wiederum negativ auf Bestäuber, wie Bienen, Schmetterlinge und andere Insekten aus. Anhand von diversen Langzeiterfassungen in Deutschland konnten so dauerhafte Verluste von über 70 % der Insektenarten festgestellt werden (Sparmann, 2020). Auch andere Tiergruppen sind von dieser Entwicklung stark betroffen: etwa 41 % der Säugetiere in Deutschland sind bestandsgefährdet oder bereits ausgestorben und in ganz Europa gelten mehr als 600 Millionen Vogelarten als ausgestorben, stellt Friess (2023) fest. Diese Entwicklung verdeutlicht ihrer Meinung nach, dass der Rückgang der Pflanzenarten eng mit dem Verlust anderer Artengruppen, wie Insekten, Vögeln und Säugetieren, verbunden ist.

Der Erhalt der Biodiversität ist nicht nur für die Natur selbst, sondern auch für den Menschen von entscheidender Bedeutung, schreibt die NABU (o. J.). Intakte Ökosysteme bieten laut ihr Lebensräume für diverse Arten an Tieren und Pflanzen, die wiederum Leistungen erbringen, die das tägliche Leben beeinflussen. Wälder können Kohlenstoff binden und somit die Produktion von Treibhausgasen regulieren, während der Erhalt der Bestäuberinsekten die Erträge in der Landwirtschaft sichern (Kaeser et al., 2010). Der Verlust von Arten schwächt solche Systeme und erhöht das Risiko von Krisen wie der Nahrungsmittelknappheit (Hoffmann, 2021). Darüber hinaus hat die Natur einen unschätzbaren kulturellen und ästhetischen Wert. Der Verlust von Biodiversität bedeutet auch einen Verlust an Identität und Lebensqualität (Pflanzen.Forschung.Ethik, 2018).

Kohlenstoffspeicherung

Die Kohlenstoffspeicherung ist ein zentraler Faktor für das Klimasystem der Erde. Dennoch wird ihre Rolle durch menschliche Eingriffe stark beeinträchtigt. Kohlenstoff wird in natürlichen Ökosystemen, wie Wälder oder Mooren gespeichert, kann jedoch unter bestimmten Bedingungen als Kohlendioxid wieder freigesetzt werden. Der Verlust natürlicher Kohlenstoffsinken schreitet weltweit in alarmierendem Tempo voran. Diverse Studien verdeutlichen die Dringlichkeit, Maßnahmen zum Erhalt und Ausbau der Kohlenstoffspeicherung zu ergreifen. (Reise et al., 2021: S. 7 ff.)

Weltweit werden jedes Jahr mehrere Millionen Tonnen Kohlenstoff in die Atmosphäre freigesetzt, was das empfindliche Gleichgewicht des Klimasystems gefährdet (Reise et al., 2021). Etwa 20 % der jährlichen CO₂-Emissionen resultieren laut dem WWF (2022) aus der Zerstörung natürlicher Kohlenstoffsinken wie Wälder, Moore und Ozeane. Besonders gravierend, schreibt er, ist der Rückgang der tropischen Regenwälder, die jährlich mehrere Millionen Hektar durch Abholzung und Brandrodung verlieren. Natürliche Ökosysteme, die über Jahrhunderte Kohlenstoff gespeichert haben, werden so in kürzester Zeit in Quellen von Treibhausgasen umgewandelt, erklärt er. Dieser Prozess wird maßgeblich durch landwirtschaftliche Expansion, Urbanisierung und den Abbau fossiler Brennstoffe vorangetrieben (Umweltbundesamt, 2017).

Auch in Europa und Deutschland ist die Situation ernst, da Wälder, die etwa ein Drittel der Landesfläche bedecken, zunehmend ihre Fähigkeit zur Kohlenstoffspeicherung durch Dürren, Schädlinge oder Abholzung verlieren (Statistisches Bundesamt, 2024a). Moore, die zu den effizientesten Kohlenstoffspeichern der Welt gehören, sind in Deutschland zu über 92 % entwässert und damit nahezu funktionslos (Stallmann, 2023). Ähnliche Entwicklungen zeigen sich bei Grünflächen, die durch intensive Landwirtschaft an Kohlenstoffdichte verlieren, schreibt das Naturkapital Deutschland – TEEB DE (2017). Ein Beispiel hierfür sei die Umwandlung von Dauergrünland in Ackerflächen, was erhebliche Mengen an gespeichertem Kohlenstoff freisetzt. Ebenso tragen degradierte Böden, die durch Praktiken wie die Übernutzung, Erosion oder fehlender Bodenbedeckung entstanden sind, zu einem deutlichen Rückgang der globalen Kohlenstoffspeicherkapazität bei (Moldaschl et al., 2025). Diese Verluste haben weitreichende Auswirkungen, da sie die Erderwärmung verstärken und wichtige Ökosystemleistungen gefährden (Naturkapital Deutschland – TEEB DE, 2017).

Der Erhalt und Ausbau der Kohlenstoffspeicherung ist nicht nur für das Klima, sondern auch für das Wohl des menschlichen Lebens essenziell, schreibt der WWF (2022). Intakte Ökosysteme, wie Wälder und Moore, speichern laut ihm enorme Mengen Kohlenstoff und wirken so als Puffer gegen den Klimawandel, indem sie CO₂ aus der Atmosphäre absorbieren. Wälder regulieren zudem den Wasserkreislauf und tragen zur Erhaltung der Biodiversität bei

(Zehlius-Eckert et al., 2020). Ein Verlust an Kohlenstoffsinken führt nicht nur zu einer Zunahme der Treibhausemissionen, so der WWF (2022) , sondern schwächt auch die Widerstandsfähigkeit der Natur gegenüber Klimaveränderungen. Der Schutz, die Neuetablierung oder die Wiederherstellung von Kohlenstoffspeichern sind daher unverzichtbar für die Bekämpfung des Klimawandels und die Sicherung einer lebenswerten Zukunft, schreibt die Stiftung.

2.10 Ökonomische und soziale Aspekte von Agroforstsystemen

Aus wirtschaftlicher Perspektive stellen Agroforstsysteme eine wertvolle Ergänzung landwirtschaftlicher Produktionsmethoden dar (DEFAF e.V., o. J.). Durch die Bereitstellung der oftmals stark nachgefragten holzartigen Energieträger auf landwirtschaftlichen Flächen erweitern sie die landwirtschaftliche Produktionspalette und erhöhen den Mehrwert der verwendeten Fläche (Loql, o. J.). Insbesondere auf ertragsschwachen oder beschränkt bewirtschaftungsfähigen Standorten können Agroforstsysteme zur Verbesserung des Einkommens beitragen, schreibt die DEFAF e.V. (o. J.). Zudem führen Agroforstsysteme potenziell zu einer verbesserten Nährstoffnutzungsbilanz der Fläche, da die oftmals tiefwurzelnenden Gehölze Nährstoffe und Wasser aus den tieferen Bodenschichten beziehen können als die bodennahe Vegetation, wie beispielsweise Gräser, umschreibt er. Die saisonale Verteilung von Arbeitsspitzen kann laut dem Fachverband durch die Möglichkeit einer winterlichen Bewirtschaftung der Gehölze optimiert werden. Ein weiterer Vorteil solcher Systeme liegt in der Reduzierung des flächenbezogenen Verbrauchs an Düngemitteln sowie Pflanzenschutzmitteln. Gemäß dem Fachverband tragen Gehölze durch die Steigerung der Bodenfruchtbarkeit, die Humusanreicherung und die Verbesserung der Bodenqualität außerdem als Puffer zur Minimierung von Stoffausträgen und Stoffauswaschungen bei. Zudem tragen Agroforstsysteme im sozialen Bereich nicht nur zur Stärkung der Gemeinschaften bei, sondern können auch beispielsweise Arbeitsplätze schaffen (Loql, o. J.).

Den zahlreichen ökonomischen Vorteilen stehen jedoch auch einige Herausforderungen gegenüber. Die Etablierungskosten von Agroforstsystemen sind im Vergleich zu rein annuellen Kulturen höher. Zudem erfordert die Bewirtschaftung dieser Systeme einen erhöhten Arbeits- und Kostenaufwand im Betrieb. Die langfristige Kapital- und Flächenbindung stellt eine weitere Herausforderung dar, da Gehölze eine entsprechend lange Standzeit haben, bis sie geerntet werden können. In speziellen Fällen können die Wurzeln der Gehölze bestehende Acker-Drainagesysteme beeinträchtigen, diese verstopfen oder sogar beschädigen. Darüber hinaus besteht eine potenzielle Konkurrenz zwischen Gehölzen und ihrer Begleitvegetation um

Ressourcen wie Licht, Nährstoffe, Wasser und Wuchsraum. Dies kann sich wiederum negativ auf das Wachstum der Gehölze auswirken. Durch eine sorgfältige Planung und Pflege der Flächenanlage können jedoch einige der genannten Nachteile auf ein tolerierbares Maß reduziert werden. (DEFAP e.V., o. J.)

3 Material und Methoden

Der Methodikteil dieser Masterarbeit beschreibt die wissenschaftlichen Verfahren, die zur Entwicklung des Leitfadens herangezogen wurden. Dabei werden die angewandten Ansätze und Instrumente zur Datenerhebung, -analyse sowie der Interpretation detailliert dargestellt, um eine transparente, nachvollziehbare und auch replizierbare Forschungsbasis zu schaffen.

Zu Beginn wird die Methodik der systematischen Literaturrecherche beschrieben, welche die Identifikation relevanter Literatur zu den untersuchten Themenfeldern sowie die Definition von Such- und Auswahlkriterien für die herangezogenen Quellen umfasst. Anschließend wird die grundlegende Methodik für die Konzeption eines Leitfadens erläutert, auf der das weitere Vorgehen innerhalb der Arbeit fundiert.

3.1 Methodik der Literaturrecherche

Innerhalb der Masterarbeit wird im Rahmen der Literaturrecherche die eigenständige wissenschaftliche Methode der „Systematischen Literaturrecherche“ angewandt.

Im folgenden Unterpunkt wird diese Methode anhand der Erkenntnisse gemäß Heil (2020) und Klatt (2023) vorgestellt. Diese zielt darauf ab, relevante Literatur zu einem spezifischen Thema systematisch zu identifizieren, kritisch zu bewerten und auch Schlussfolgerungen daraus zu ziehen. Das Aufzeigen des aktuellen Forschungsstandes sowie von Forschungslücken und -bedarf ist ebenfalls zu berücksichtigen. Innerhalb der Methode wird ein methodisch-formales Vorgehen angewandt, um Verzerrungen durch die subjektive Selektion der Literatur zu minimieren und die Nachvollziehbarkeit von Quellen zu maximieren. Basierend auf dem methodischen Vorgehen werden die nachfolgenden Schritte zur Anwendung der systematischen Literaturrecherche dokumentiert und die Kriterien spezifisch an die Anforderungen der Masterarbeit angepasst.

1. Schritt: Zielformulierung

Zu Beginn ist die Forschungsfrage und somit die Zielstellung des Forschungsthemas präzise zu formulieren. Dies schafft die Grundlage für die gesamte Suche und stellt sicher, dass alle weiteren Schritte konsequent darauf ausgerichtet sind. (Klatt, 2023)

Im Rahmen der Masterarbeit wird dieser Schritt im Teil der Einleitung integriert, um die relevanten Information für die Literaturrecherche umfänglich zu identifizieren und von Beginn an zu verdeutlichen.

2. Schritt: Quellen- und Literaturauswahl

Im nächsten Schritt erfolgt die Auswahl der Quellen und der Literaturdaten. Zielführend dabei ist es, eine Balance zwischen der Relevanz und dem Umgang der Quellen zu erreichen. Der Einsatz von Browsern, wie beispielsweise Google Scholar, erfolgt dabei je nach Bedarf. (Klatt, 2023)

Die verwendeten Quellen innerhalb der Masterarbeit sind auf ihre inhaltliche Relevanz und auch Glaubwürdigkeit zu prüfen. Grundsätzlich werden keine Browser und Datenbanken ausgeschlossen.

3. Schritt: Festlegen von Suchbegriffen

Anschließend werden relevante Suchbegriffe für das Thema identifiziert und definiert. Die verwendeten Begriffe werden dabei direkt, in Kombination mit anderen relevanten Begriffen oder mittels Synonymen systematisch angewandt. (Klatt, 2023)

Für die Masterarbeit werden sowohl deutschsprachige als auch englischsprachige Suchbegriffe verwendet, die relevante Informationen für die Thematik generieren könnten.

4. Schritt: Dokumentation der Quellen

Zum Zweck der Verwaltung und Verarbeitung der ausgewählten Quellen können Datenverarbeitungsprogramme, wie Citavi oder Zotero genutzt werden. Dabei sind grundlegende Informationen, wie der Autor, der Titel, der Erscheinungsort sowie das Erscheinungsdatum und das Abrufdatum, zu dokumentieren. Falls vorhanden, ist auch eine gültige URL-Adresse anzugeben. (Heil, 2020; Klatt, 2023)

Die Dokumentation der Quellen innerhalb der Masterarbeit erfolgt mittels der kostenfreien Software Zotero, um die Rückverfolgbarkeit der Quellen zu garantieren. Zitiert wird dabei mittels der Vorlage für die Harvard-Zitierweise der Technischen Universität Dresden – Betriebswirtschaftslehre/ Rechnungswesen, zuletzt aktualisiert am 13. Mai 2023.

5. Schritt: Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien

In diesem Schritt beginnt die eigentliche Literaturrecherche. Die Auswahl der Literaturquellen ist mittels Ein- und Ausschlusskriterien zu beschreiben und zu begründen (Heil, 2020). Nur die Quellen, die diesen Auswahlprozess überstehen, sind weiterhin für die Arbeit zu nutzen (Klatt, 2023).

Innerhalb der Masterarbeit werden kaum Ein- und Ausschlusskriterien angewandt. Eine Einschränkung erfolgt anhand ihrer Seriosität und der Sprache der Quellen. So werden ausschließlich deutschsprachige und englischsprachige Quellen einbezogen, um sprachbezogene Fehler zu minimieren.

6. Schritt: Review der Informationen

Im vorletzten Schritt werden die verbliebenen Quellen inhaltlich analysiert, mehrfach gelesen und relevante Informationen extrahiert. Es erfolgt eine Bewertung der Qualität der Quellen anhand der Forschungsfrage. (Klatt, 2023)

7. Schritt: Synthetisierung der Ergebnisse

Nach Abschluss des Reviews werden die Ergebnisse systematisch zusammengeführt und auf die Forschungsfrage bezogen, wobei diese beispielsweise Methodenvergleiche, Themenübersichten oder Meta-Analysen umfasst (Klatt, 2023). Die Dokumentation der Quellen ist außerdem erneut zu überprüfen, um die Rückverfolgbarkeit der Informationen zu garantieren (Heil, 2020).

3.2 Methodik zur Erstellung eines Leitfadens

Ein Leitfaden ist ein strukturierter Text, der Schritt-für-Schritt-Anweisungen zur Realisierung von spezifischen Aufgaben oder zur Ausführung komplexer Prozesse gibt. Leitfäden dienen als wesentliche Ressource für die Wissensvermittlung und sind besonders hilfreich, um Lesern das Erlernen neuer Fähigkeiten und Sachverhalte zu erleichtern. Die Gestaltung eines Leitfadens erfordert eine klar definierte Struktur, die dem Leser eine Navigation durch den Text ermöglicht: (Neutsch, 2023; Swiderska, 2024)

1. Zielgruppenanalyse: Vor der Erstellung eines Leitfadens ist dessen Zielgruppe zu identifizieren.
2. Titelfestlegung: Ein prägnanter Titel sollte gewählt werden, um dem Leser die inhaltliche Ausrichtung des Leitfadens unmittelbar darzulegen.
3. Themenerschließung: Die inhaltliche Vorbereitung beinhaltet eine umfassende Recherche des Themenbereichs und das Sammeln von relevanten Informationen.
4. Inhaltsstruktur: Ein Leitfaden sollte eine logische Gliederung aufweisen, die den Inhalt systematisch in Schritte oder Abschnitte unterteilt. Einleitungen, klaren Überschriften und nummerierte Listen unterstützen hierbei die Lesbarkeit. Dabei ist zu berücksichtigen, dass dem Leser grundsätzlich keine Vorkenntnisse zugeschrieben werden.
5. Einsatz von Medien: Bilder, Videos und erklärende Beschreibungen dienen als visuelle Unterstützung. Sie erleichtern das Verständnis für komplexe Prozesse.
6. Veröffentlichung und Verbreitung: Der fertige Leitfaden kann gegebenenfalls über digitale Plattformen veröffentlicht werden.

Quelle: in Anlehnung an (Neutsch, 2023; Swiderska, 2024)

Um Leitfäden optimal zu gestalten, empfiehlt es sich, eine Reihe bewährter Methoden anzuwenden. Zunächst sollte auf eine einfache, gut verständliche Sprache geachtet werden, um den Inhalt für eine möglichst große Bandbreite an Lesern zugänglich zu machen. Die Wahl einer aktiven Sprache sorgt außerdem dafür, dass der Text lebendig und ansprechend bleibt, was das Leseerlebnis positiv beeinflussen kann. Zudem trägt eine klare Strukturierung zur Übersichtlichkeit bei und ermöglicht es den Lesern, sich schnell und effizient im Leitfaden zurechtzufinden. Leitfäden bieten zahlreichen Zielgruppen eine verständliche Wissensquelle. Der Einsatz solcher Anleitungen kann insbesondere in Unternehmen und Betrieben erfolgen, die von den themenspezifischen Inhalten des Leitfadens profitieren. (Swiderska, 2024)

3.3 Auswahlkriterien für die angewandten Methoden

Die in dieser Arbeit angewandte Methode zur Selektion der Methoden innerhalb des Leitfadens basiert nicht auf einem bestehenden Standard. Stattdessen findet eine Anpassung an die spezifischen Anforderungen an die Masterarbeit statt, um die Forschungsfrage bestmöglich zu beantworten.

Bei den methodischen Ansätzen erfolgt die Auswahl einer geeigneten Methode innerhalb des Leitfadens durch die Anwendung spezifischer Kriterien. Primär sollen die Kriterien das Forschungsziel unterstützen und sicherstellen, dass die relevanten Aspekte zur Erreichung des Ziels berücksichtigt werden. Ergänzend wird die praktische Anwendbarkeit einbezogen, insbesondere die Umsetzbarkeit im Feld beziehungsweise die Verfügbarkeit relevanter Daten.

Unter Berücksichtigung des Maßstabes werden im Leitfaden die Auswahlkriterien für die Identifikation einer geeigneten Methode definiert. Tabelle 4 zeigt eine detailliertere Übersicht über die Kriterien sowie die spezifischen Anforderungen, die an potenzielle Methoden gestellt werden.

Tabelle 4: Übersicht über die Kriterien sowie die spezifischen Anforderungen für potenzielle Methoden

Kriterium	Anforderung
Komplexität der Anwendung	Es wird geprüft, ob die Methode in der Praxis auch ohne umfassende Vorkenntnisse angewendet werden kann.
Zeitaufwand	Der erforderliche Zeitaufwand wird bewertet, um sicherzustellen, dass die Methode im Rahmen einer angemessenen Bearbeitungszeit durchführbar ist.
Kosten	Die Kosten für die Durchführung der Methode sollen in einem angemessenen Verhältnis zum Nutzen stehen.
Validität	Es wird geprüft, ob die Methode präzise und verlässliche Antworten auf die Forschungsfrage liefert, wobei auch potenzielle Fehlerquellen einbezogen werden.
Datenverfügbarkeit	Die Methode wird daraufhin untersucht, ob durch einen geringen Aufwand auf ausreichend vorhandene beziehungsweise leicht zugängliche Daten zurückgegriffen werden kann.

Quelle: eigene Darstellung

Erfüllt die ausgewählte Methoden die grundlegenden Kriterien nach in einem angemessenen Maße, so wird sie als geeignet für die Anwendung im Leitfaden erachtet. Als angemessenes Maß ist dabei ein geringer bis maximal mittlerer Aufwand in den meisten der Kriterien zu betrachten.

4 Ergebnisse

Der Leitfaden ist so strukturiert, dass jeder Abschnitt mit einer allgemeinen methodischen Vorgehensweise beginnt. Darauf aufbauend wird für jeden Schritt ein praxisnahes Anwendungsbeispiel erarbeitet. Die inhaltliche Gliederung des Leitfadens setzt zunächst bei den planerischen Grundlagen an, einschließlich der Zielformulierung sowie der grundlegenden Analyse der Flächenbedingungen und relevanter betrieblicher Faktoren. Anschließend erfolgt die Flächenplanung, beginnend mit der Erstellung einer Gehölzartenliste, die standort- und zielstellungsgerechte Arten umfasst. Darauf aufbauend wird das Pflanzschema entwickelt. Ergänzend hierzu wird das zeitliche Management der anfallenden Arbeitsschritte berücksichtigt. Im abschließenden Schritt kann eine Optimierung in den Bereichen der Ökologie, Ökonomie und Soziales erfolgen. Dies erfolgt in seiner Intensität unter Berücksichtigung der spezifischen Zielsetzungen der jeweiligen Anwendenden.

4.1 Planungsgrundlagen

Die Planungsgrundlagen eines Agroforstsystems bilden das Fundament für eine strukturierte und effiziente Umsetzung des Projektes. Im Folgenden sollen die Aspekte der Zielformulierung, der Flächenanalyse sowie der Ressourcen im Betrieb beschrieben werden.

4.1.1 Zielformulierung

Im Rahmen der Planung ist die klare Definition der Ziele des Agroforstsystems von zentraler Bedeutung. Es muss entschieden werden, worauf der Schwerpunkt des Systems gerichtet werden soll – im Anbau von Wertholz, dem Fruchtanbau oder der Produktion von Energieholz. Eine Kombination der einzelnen Ausrichtungen ist ebenso möglich. Das vorherige Festlegen ermöglicht eine Vereinfachung der nachfolgenden Planungsschritte. (Unsel et al., 2011: S. 5 ff.)

Darüber hinaus sollten auch die ökologischen und ökonomischen Ziele berücksichtigt werden, um das System so nachhaltig wie möglich zu gestalten. Im ökologischen Bereich kann beispielsweise das Potenzial der Biodiversität oder der Kohlenstoffspeicherung priorisiert werden, während eine ökonomische Herangehensweise den potenziellen Gewinn des

Systems priorisiert. Die Fokussierung auf soziale Faktoren, wie die Verwendung von heimischen Pflanzenarten oder der Planung anhand eines Demonstrationsflächencharakters ist ebenfalls möglich.

Die definierten Ziele sollten an die betrieblichen Ressourcen angepasst und mit einer nachhaltigen Bewirtschaftungsstrategie verknüpft werden, um die Umsetzung realistisch zu gestalten. (Unseld et al., 2011: S. 6 ff.)

4.1.2 Flächenanalyse

Die Auswahl und Planung einer geeigneten Fläche für ein Agroforstsystem auf Grünland erfordert die Erfassung der Standortfaktoren, um eine zukunftsfähige Etablierung des Systems zu ermöglichen (V. Schulz et al., 2020: S. 13).

Nachfolgend werden grundlegende Parameter erläutert, die bei der Beurteilung einer Fläche berücksichtigt werden sollten.

Größe und Form

Die Größe der Grünlandfläche stellt eine grundlegende Voraussetzung für den Planungsprozess dar, da sie beispielsweise die Anordnung und Anzahl der zu pflanzenden Bäume beeinflusst. Dabei ist zu prüfen, ob die Form der Fläche Einschränkungen für die Nutzung mit sich bringt. Zudem ist zu prüfen, ob bestimmte Zonen der Fläche aufgrund vorhandener Infrastrukturen, wie Wegen oder Gebäuden, nicht nutzungsfähig sind. (V. Schulz et al., 2020: S. 13 ff.)

Die Flächengröße ist ebenfalls maßgeblich für die potenzielle Inanspruchnahme von Fördermaßnahmen. So besteht eine Förderfähigkeit erst ab einer Mindestfläche von 0,3 ha gemäß § 3 GAPInVeKoSV, wobei länderspezifische Abweichungen möglich sind. Darüber hinaus sind für die Förderung bestimmte Abstände zu den Flächenrändern einzuhalten, welche in Anlage 5 Nummer 3.2 der GAPDVZ konkretisiert werden.

Bodeneigenschaften

Die Bodeneigenschaften sind ebenfalls entscheidend für die Wahl geeigneter Gehölzarten (V. Schulz et al., 2020: S. 16). Die grundlegende Bodenart – sandig, lehmig, schluffig oder tonhaltig – beeinflusst die Wasserhaltefähigkeit und die Durchlässigkeit des Bodens, wie die

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (o. J.) beschreibt. Auch der Gehalt an organischem Material und Nährstoffen, also die Bodenfruchtbarkeit, spielt laut der Anstalt eine wichtige Rolle, da er maßgeblich für das Potenzial des Pflanzenwachstums ist. Sie schreibt außerdem, dass der pH-Wert des Bodens gleichermaßen eine Bedeutung hat, da er die Verfügbarkeit von Nährstoffen beeinflusst. Schließlich sollte auch die Entwässerung des Bodens betrachtet werden, um festzustellen, ob dieser durchlässig ist oder zu Staunässe neigt, was das Wachstum der Bäume durchaus beeinflussen kann (Brust, 2024).

Topografie

Die Geländebeschaffenheit beeinflusst nach V. Schulz et al. (2020: S. 18 ff.) sowohl die physikalischen als auch die ökologischen Bedingungen der Fläche. Sie schreiben, dass Unterschiede im Relief, wie Hänge, Täler oder flache Bereiche, den Wasserabfluss und mögliche Erosionsgefahren bestimmen. Besonders die Neigung der Fläche sei entscheidend, da steilere Hänge das Risiko von Erosionen, wie durch Wind oder Wasser erhöhen können, während flachere Areale zum Beispiel eine gleichmäßigere Verteilung der Niederschläge ermöglichen. Auch die Höhenlage der Fläche sollte berücksichtigt werden, da sie beispielsweise die Temperatur oder das Frostrisiko maßgeblich prägen kann (Deutscher Wetterdienst, 2020).

Klimatische Bedingungen

Die klimatischen Verhältnisse spielen eine zentrale Rolle bei der Auswahl geeigneter Gehölzarten. Sowohl die Temperaturen als auch ihre Extremwerte müssen berücksichtigt werden, um entsprechend belastbare Gehölzarten auswählen zu können. Ebenso ist die Menge der Niederschläge von Bedeutung, da sie das Wasserangebot zu wichtigen Wachstumszeitpunkten für die verschiedenen Gehölzarten beeinflusst. Zudem sollten zukünftige klimatische Entwicklungen und Prognosen einbezogen werden, um eine langfristig angepasste Auswahl der Gehölzarten zu gewährleisten. (Neumann et al., 2006)

Pflanzenkrankheiten und Schädlinge

Der Zustand der Grünlandfläche in Bezug auf Krankheiten und Schädlinge sollte im Rahmen einer Agroforstplanung analysiert werden. Unter dem Begriff „Schädlinge“ sind dabei nicht nur wirbellose Lebewesen zu verstehen, sondern auch Säugetiere, wie zum Beispiel Mäuse oder Rehwild. (V. Schulz et al., 2020: S. 13 f.)

Regionale Herausforderungen durch spezifische Schädlinge oder Krankheiten können somit die Auswahl der Gehölzarten weiter beeinflussen.

Rechtliche Einschränkungen

Rechtliche Beschränkungen, wie etwa die Zugehörigkeit zu Schutzgebieten oder das Bestehen von Pachtverträgen, können die Nutzung der Fläche einschränken (V. Schulz et al., 2020: S. 16) und sollten bei der Planung beachtet werden.

4.1.3 Ressourcen im Betrieb

Technische Ressourcen

Die technischen Ressourcen des Betriebs tragen zur Effizienz und Nachhaltigkeit des Agroforstsystems bei (Markut et al., 2022: S. 14 ff.). Hierzu zählen Gerätschaften wie Traktoren, Maschinen zur Bewässerung oder andere technische Hilfsmittel. Sind bereits technische Ressourcen vorhanden, können diese die ökonomischen Aspekte des Agroforstsystems beeinflussen.

Wasserressourcen

Die Ressource Wasser ist essenziell, um eine kontinuierliche Wasserversorgung für die Bäume, besonders innerhalb der ersten Jahre nach der Pflanzung und gegebenenfalls während Trocken- beziehungsweise Dürreperioden sicherzustellen, damit das Wachstum der Gehölze unterstützt werden kann (Markut et al., 2022: S. 15 f.). Zur Bewertung der Wasserressourcen ist daher festzustellen, ob Wasserquellen, wie beispielsweise Brunnen, im Betrieb vorhanden sind, um diese Anforderungen zu erzielen.

Arbeitskräfte

Die Verfügbarkeit und Qualifikation der Arbeitskräfte stellt eine weitere Ressource des Betriebs dar. Arbeitskräfte sind nicht nur für die Pflanzung und die Pflege nötig, sondern müssen letztendlich auch für die Ernte verfügbar sein. Es gilt abzuwägen, ob bestehende Kapazitäten ausreichend sind, ob zusätzliche Neueinstellungen oder auch Schulungen erforderlich sind oder eventuell ein Lohnunternehmen eingesetzt werden soll, um die geplanten Vorhaben umzusetzen (Markut et al., 2022: S. 12 ff.).

4.1.4 Anwendung der Planungsgrundlagen am Praxisbeispiel

Zielformulierung

Die Hauptziele der Produktion im Praxisbeispiel liegen in der Erzeugung von Wertholz sowie der Gewinnung von Früchten. Die Verwendung der Gehölze als Energieholz wird nur am Rande angestrebt.

Aus ökologischer Sicht wird besonders die Förderung der Biodiversität beziehungsweise der Artenvielfalt angestrebt. Die Maximierung der Kohlenstoffspeicherung wird ebenfalls beachtet, rückt jedoch etwas in den Hintergrund. Ökonomisch betrachtet soll das Agroforstsystem keinen schnellen Return of Investment anstreben, sondern vielmehr als langfristige Kapitalanlage gesehen werden. Das Erreichen einer ökonomischen Wertanlage soll ausschließlich durch das Wertholz und das Energieholz erfolgen. Der Fruchtanbau soll lediglich in sozialer Hinsicht Anwendung finden. Innerhalb der sozialen Aspekte soll besonders die Verwendung heimischer Gehölzarten berücksichtigt werden, um die regionale Flora und Fauna zu stärken. Um die Möglichkeiten von Agroforstsystemen darzustellen, soll die Fläche im Rahmen der Masterarbeit den Charakter einer Demonstrationsfläche erhalten. Der Aspekt der Stärkung der Gemeinschaft soll im Rahmen der Masterarbeit durch eine Kooperation mit sozialen Einrichtungen beziehungsweise Vereinen erfolgen. Weitere Zielstellungen werden nicht verfolgt.

Tabelle 5 zeigt die grundlegende Zielstellung für den Praxisbetrieb in übersichtlicher Form. Eine leere Version der Tabelle ist in Anhang I zu finden.

Tabelle 5: Zielstellungen des Praxisbetriebs

Zielstellung	Wichtig	Nice to have	Unwichtig
Produktionsziel			
Wertholz	X		
Fruchtertrag	X		
Energieholz		X	
Ökologie			
Biodiversität/ Artenförderung	X		
Kohlenstoffspeicherung		X	
Ökonomie			
Schneller Return of Investment			X
Langfristige Kapitalanlage	X		
Soziales			
Verwendung heimischer Arten	X		
Öffentlichkeitsarbeit	X		
Demonstrationsfläche	X		
Sonstiges:			
Windschutz			X

Quelle: eigene Darstellung

Flächenanalyse

Die gewählte Grünlandfläche des Praxisbetriebes befindet sich in der Gemarkung Großzöberitz im Landkreis Anhalt-Bitterfeld und trägt die Flurnummer 62/9 (Sachsen-Anhalt-Viewer, 2025). Mit einer Netto-Fläche von 0,33 ha (Sachsen-Anhalt-Viewer, 2025) ist sie förderberechtigt nach § 3 Abs. 3 GAPInVeKoSV. Da derzeit jedoch keine Fördermöglichkeiten für Agroforstsysteme in Sachsen-Anhalt vorliegen, wird dieser Aspekt im Folgenden nicht weiter beachtet.

Der Zugang zur Fläche mit der vorhandenen Maschinerie ist derzeit über den angrenzenden gepachteten Acker des Praxisbetriebs möglich. Alternativ kann der Zugang zur Fläche auch über die Hofstelle eines benachbarten Eigentümers erfolgen, was jedoch eine Einwilligung dessen erfordert. Zu Fuß kann die Fläche außerdem über den anliegenden Friedhof erreicht werden.

Abbildung 7 zeigt die Grünlandfläche des Praxisbetriebs und ihre Abgrenzungen zu den umliegenden Flächen.

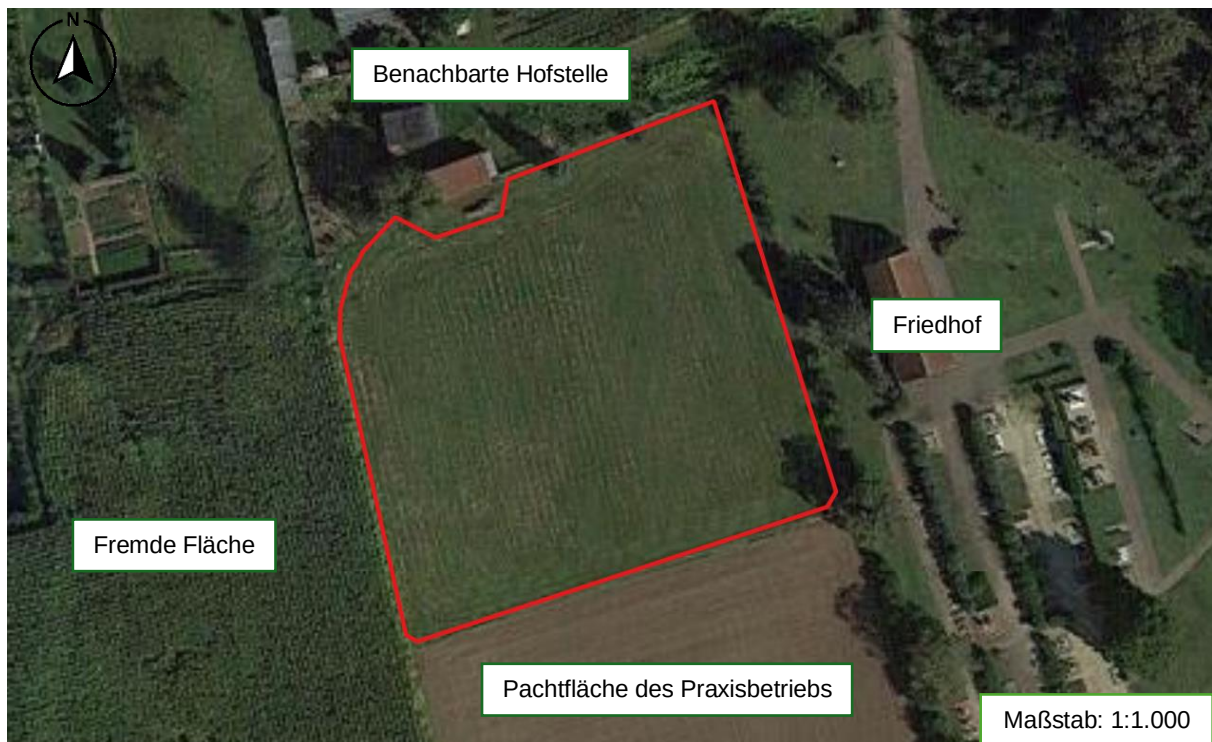


Abbildung 7: Grünlandfläche des Praxisbetriebs

Quelle: eigene Darstellung; modifiziert mit QGIS; Hintergrundkarte von (Google Satellite, 2025)

Der Boden der Grünlandfläche ist dem Bodentyp Braunerde-Tschernosem zuzuordnen (Sachsen-Anhalt-Viewer, 2025). Dieser Bodentyp entsteht durch die Umwandlung von humusreichen Ausgangssubstraten und kombiniert die Eigenschaften von Braunerde und Tschernosem, welcher oftmals sehr nährstoffreich ist (Seidel, 2012). Die Bodenart des Oberbodens variiert zwischen Ut2 (schwach toniger Schluff), Ut3 (toniger Schluff und Uls (sandig-lehmiger Schluff) und weist mit einer Grünlandzahl von 45 eine mittlere Ertragsfähigkeit für die Grünlandnutzung auf (Sachsen-Anhalt-Viewer, 2025). Der pH-Wert liegt laut dem Sachsen-Anhalt-Viewer (2025) zwischen 6,5 bis 7,0, was für viele Gehölzarten ein vorteilhaftes Milieu darstellt. Er besagt außerdem, dass der Boden frei von Staunässe ist.

Die Grünlandfläche zeichnet sich durch eine flache Ebene ohne nennenswerte Hänge oder Täler aus (Sachsen-Anhalt-Viewer, 2025). Die Höhenlage beträgt etwa 89 m über Normalnull (NN) (Zörbig, o. J.). Zudem ist die Region Bitterfeld-Wolfen vorwiegend westlichen bis südwestlichen Winden ausgesetzt (Windfinder.com, 2025).

Abbildung 8 zeigt die Entwicklung der Temperatur und des Niederschlags der Region anhand der Wetterstation Jeßnitz (74 m über NN) (DWD, 2025) in den Jahren 2019 bis 2023. Die Informationen in diesem Absatz wurden durch die Daten des DWD (2023a) und DWD (2023b)

erhoben. Das 30-jährige Mittel für den Zeitraum von 1991 bis 2020 weist dabei einen durchschnittlichen Niederschlag von 548,0 mm und eine durchschnittliche Temperatur von 10,2 °C auf. Die Temperatur, dargestellt durch die rote Linie, folgt einem klaren saisonalen Muster mit Höchstwerten im Sommer und Tiefstwerten in den Wintermonaten. In den Sommermonaten steigen die Temperaturen im Durchschnitt auf etwa 20 °C an, während sie in der Winterzeit eher gegen durchschnittlich 5 °C tendieren. Der Niederschlag, dargestellt durch die blauen Balken, weist eine hohe Variabilität im Laufe der Jahre auf. Während einige Monate nur geringe Niederschlagsmengen erreichen, verzeichnen andere Monate Spitzenwerte von mehr als 100 mm. Besonders auffällig sind die wiederkehrenden Niederschlagsmaxima in den Sommermonaten. In den Wintermonaten fällt der Niederschlag dagegen meist geringer aus, mit Ausnahme des Dezembers im Jahr 2023. Zudem zeigen sich insgesamt vereinzelt Phasen mit geringen Niederschlagsmengen im Jahr, was auf trockene Perioden hindeutet.

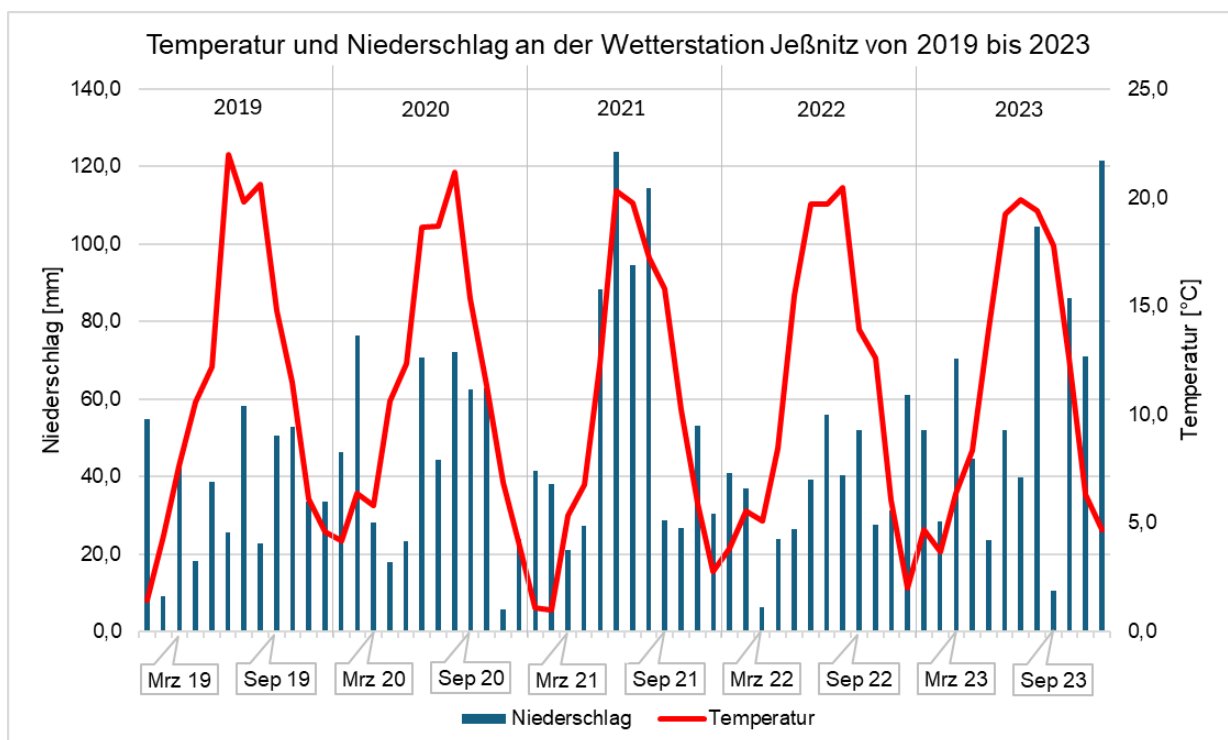


Abbildung 8: Temperatur und Niederschlag gemessen an der Wetterstation Jeßnitz im Zeitraum von 2019 bis 2023

Quelle: in Anlehnung an (DWD, 2025)

Tabelle 6 zeigt eine Auswahl relevanter Klimaparameter der Region, die bei der Planung des Agroforstsystems eine wichtige Rolle spielen könnten. Die Prognosen zeigen eine Zunahme

der Temperatur über alle Szenarien hinweg auf. Gleichzeitig sollen die Frosttage im Jahr kontinuierlich abnehmen. Der Niederschlag weist lediglich im Szenario RCP8.5 eine Zunahme auf, während er in den verbleibenden Szenarien nur eine Tendenz zur Zunahme aufzeigt. Die Anzahl der Trockentage, also der Tage an denen die Niederschlagsmenge weniger als 1 mm beträgt, wird sich voraussichtlich nicht verändern. (Pfeifer et al., 2021: S. 2)

Tabelle 6: Klimaausblick nach GERICS für den Landkreis Anhalt-Bitterfeld

	Klimaänderungen für das Ende des 21. Jahrhunderts		
Kennwert	Szenario mit hohen Emissionen (RCP8.5)	Szenario mit mittleren Emissionen (RCP4.5)	Szenario mit niedrigen Emissionen (RCP2.6)
Temperatur	Zunahme	Zunahme	Zunahme
Niederschlag	Zunahme	Tendenz zur Zunahme	Tendenz zur Zunahme
Frosttage	Abnahme	Abnahme	Abnahme
Trockentage	Keine Änderungen	Keine Änderungen	Keine Änderungen

Quelle: in Anlehnung an (Pfeifer et al., 2021: S. 1)

Der Wilddruck durch den Schädling „Rotwild“ ist im Landkreis Anhalt-Bitterfeld laut der Deutschen Wildtier Stiftung (2017) als gering einzuschätzen. Es können lediglich vereinzelt Tiere angetroffen werden, jedoch ohne eine stabile Ausbreitung der Population. Das Rehwild hingegen ist flächendeckend in der Region vertreten, wobei hier die Population über die Jahre hinweg eine konstante Entwicklung zeigt (Obere Jagdbehörde, 2023: S.3). Auch Feldhasen sind vorhanden, jedoch eher in vereinzelt Vorkommen und nicht in außergewöhnlich großen Mengen (Baudach et al., 2022: S. 6 ff.). Die Mäusepopulation im Gebiet ist dagegen sehr hoch. Die regelmäßige Beobachtung von Mäusen, die über Felder und Straßen laufen und erhebliche Fraßschäden auf landwirtschaftlichen Flächen verursachen, wurde und wird weiterhin festgestellt. Diese Beobachtungen stützen sich auf eigene Erfahrungen. In der betrachteten Region liegen aktuell keine großflächigen Probleme mit Pflanzenkrankheiten oder Schädlingen vor, die zu einem signifikanten Baum- oder Gehölzsterben führen könnten. Dies basiert ebenfalls auf eigenen Beobachtungen und Erfahrungen über die Jahre hinweg.

Für die ausgewählte Grünlandfläche bestehen keine weiteren rechtlichen Einschränkungen. Sie befindet sich weder in einem Wasserschutzgebiet noch in einem Naturschutzgebiet und auch nicht in einem nitratbelasteten Gebiet. Zudem handelt es sich bei der Fläche um eine Eigentumsfläche, wodurch pachtbezogene Aspekte bei der weiteren Planung entfallen.

Ressourcen im Betrieb

Für die anfallenden Arbeiten stehen verschiedene (technische) Ressourcen im Praxisbetrieb zur Verfügung. Es gibt zwei Wassertanks mit einem Füllvermögen von jeweils 5.000 l sowie drei Traktoren mit einer Breite von 2,50 m bis 3,00 m, die auf der Fläche eingesetzt werden können. Für die Pflege der Grünlandfläche ist des Weiteren ein Schlegelmulcher mit einer Arbeitsbreite von 2,50 m vorhanden. Zur Pflege und anderen Holzarbeiten stehen eine Kettensäge sowie ein Hochentaster zur Verfügung. Ergänzend gibt es diverse Handsägen in verschiedenen Formen und Größen im Betrieb. Auch mehrere Astscheren und Gartenscheren sind bereits auf dem Betrieb vorhanden. Außerdem stehen verschiedene Leitern diverser Größen zu Nutzung bereit.

Im Praxisbetrieb steht ein Brunnen zur Wasserentnahme direkt an der Hofstelle zur Verfügung. Das Wasser kann mithilfe einer bereits vorhandenen Pumpe an die Oberfläche gefördert werden und unter Verwendung von Wassertanks zu der Agroforstfläche transportiert werden. Direkt an der Grünlandfläche ist kein Brunnen mit Wasserentnahmerechten vorhanden.

Der Praxisbetrieb beschäftigt insgesamt drei Vollzeitarbeitskräfte. Während die Hauptarbeitsspitzen von circa Juli bis Oktober diese Arbeitskräfte vollständig auslasten, treten vereinzelt auch kleinere Arbeitsspitzen in den Monaten März bis April auf. In den verbleibenden Monaten herrschen in der Regel keine erhöhten Arbeitsaufwände vor, sodass eine alternative Nutzung der Arbeitskapazitäten von ein bis zwei Arbeitskräften auf der Agroforstfläche möglich ist.

4.2 Gehölzartenauswahl

4.2.1 Vorgehen zum Erstellen der Gehölzartenliste

Anhand der vorausgegangenen Planungsgrundlagen können im Folgenden die passenden Gehölzarten für die weitere Beplanung der Fläche ausgewählt werden.

Zu Beginn erfolgt eine grobe Selektion geeigneter Gehölzarten anhand der in Anhang II vorliegenden Tabelle, welche die Eignung der Gehölze für die Produktionsziele – Wertholz, Fruchtertrag und Energieholz – beinhaltet. Innerhalb der Tabelle werden einige Kriterien durch die Begriffe „gering“, „mäßig“ und „hoch“ veranschaulicht. Die Bewertung „mäßig“ dient dabei als ein relativer Mittelwert, der als Orientierungshilfe genutzt werden kann. Die Begrifflichkeiten „gering“ und „hoch“ weisen auf die jeweilige Abweichung von diesem Durchschnittswert hin. Beispielsweise zeigt eine Pflanze mit einem geringen Nährstoffanspruch auf, dass ihr Bedarf im Vergleich zum Durchschnitt aller Gehölze unter diesem liegt. Analog zu dieser Festlegung,

werden auch die Begriffe des Kriteriums Wuchstempo betrachtet, welche als „langsam“, „mäßig“ und „schnell“ festgelegt wurden. Des Weiteren ermöglicht die Tabelle auch eine Differenzierung zwischen einheimischen und fremdländischen Gehölzen. Die anhand des Unterpunktes 4.1.1 Zielformulierung definierten Ziele des Agroforstsystems geben dabei den grundlegenden Rahmen.

Nach dieser ersten Eingrenzung wird die Auswahl der Gehölze durch die Verwendung von Anhang III weiter verfeinert. Die Tabelle stellt die Standortansprüche sowie weitere relevante Aspekte, wie beispielsweise Krankheiten und Schädlinge, der einzelnen Gehölzarten übersichtlich dar. Dadurch soll eine fundierte und effiziente Entscheidungsfindung für die ausgewählte Grünlandfläche ermöglicht werden. Die Gewichtung der aufgeführten Kriterien innerhalb der Tabelle sind den Anwendenden selbst überlassen. Sind beispielsweise sehr niedrige Niederschläge oder besonders starke Fröste am Standort vorhanden, so sollten diese Faktoren verstärkt gewichtet werden.

Die verbleibenden Zielstellungen sollten an dieser Stelle nicht vollständig außeracht gelassen werden. Im Bereich der Ökologie kann beispielsweise das Ziel einer hohen Biodiversität auf der Agroforstfläche erreicht werden, indem die Auswahl der Gehölze großzügiger gestaltet wird, um eine weite Bandbreite an Arten zu erzielen. Das Wuchstempo der Gehölze kann dagegen als Indikator für einen schnellen Return of Investment im Bereich der Ökonomie betrachtet werden und die Arten entsprechend selektiert werden. Der Bereich der sozialen Aspekte kann beispielsweise über die Zielstellung des Demonstrationsflächencharakters abgedeckt werden, indem eine Vielzahl an unterschiedlichen Gehölzarten mit verschiedenen Produktionszielen aus den Tabellen herausgesucht wird.

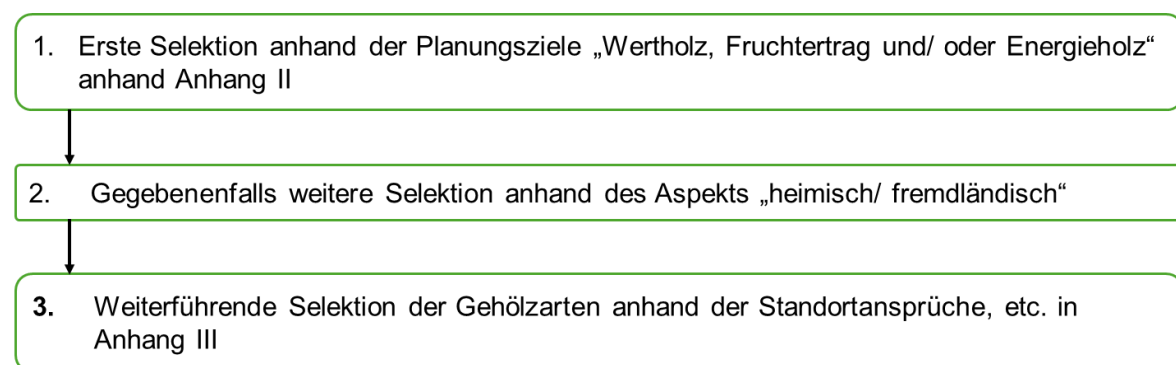


Abbildung 9: Vorgehen bei der Erstellung der Gehölzartenliste

Quelle: eigene Darstellung

Sobald die Auswahl geeigneter Gehölze abgeschlossen wurde, kann die Planung des Pflanzschemas für die Grünlandfläche beginnen.

4.2.2 Erstellung der Gehölzartenliste am Praxisbeispiel

Die Zielstellung des Praxisbetriebs definiert, dass Gehölze, welche für die Produktion von Wertholz sowie die Produktion von Fruchterträgen geeignet sind, vorrangig ausgewählt werden sollen. Da die Verwendung von Energieholz nur am Rande erfolgen soll, kommen hierfür nur Gehölze infrage, die sowohl als Energiehölzer als auch für einen der vorherigen zwei Ansprüche geeignet sind. Des Weiteren wird im Praxisbeispiel Wert auf die Verwendung heimischer Arten gelegt, wodurch nicht-heimische Arten von vornherein ausgeschlossen werden. Nach Anwendung dieser Kriterien beschränkt sich die Auswahl geeigneter Gehölze für die Produktionsziele vorerst auf etwa 35 Gehölzarten, die im nachfolgenden Schritt weiter reduziert werden können.

Für die weitere Spezialisierung der Gehölzartenliste auf dem Standort der Praxisfläche müssen nun standortspezifische Anforderungen, wie Bodeneigenschaften und klimatische Eigenschaften, sowie potenziell Krankheiten und Schädlinge in der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden. Von besonderer Relevanz für den Betrieb stellten sich dabei die geringen Niederschlagsmengen in der Region sowie die vorherrschende Trockenheit heraus, die den Auswahlprozess maßgeblich beeinflussen. Da weder der Boden-pH-Wert, hohe Frostrisiken noch Staunässe eine einschränkende Rolle spielen und auch Krankheiten und Schädlinge keine wesentliche Bedeutung haben, werden diese Faktoren für die Selektion nicht weiter vertieft.

Auf Grundlage der Analyse der Tabelle in Anhang II sowie der vorausgehenden Auswahlliste an potenziellen Gehölzen, ergibt sich die finale Gehölzartenliste mit 18 Arten für die Grünlandfläche des Praxisbeispiels. Weitere Einschränkungen oder eine Erweiterung der sich ergebenden Liste sind im Praxisbeispiel nicht notwendig, da die verbliebenen Zielstellungen bereits ausreichend abgedeckt wurden. In der nachfolgenden Tabelle 7 werden die Produktionsmöglichkeiten der ausgewählten Gehölze dargestellt, während Tabelle 8 zusätzlich die Standorteigenschaften der Gehölze gezeigt werden.

Tabelle 7: Gehölzartenliste des Praxisbetriebs (Produktionsrichtung und Beheimatung der Gehölze in Deutschland)

Gehölz		Eignung für ...			Heimisch in Deutschland?		Besonderheit
Deutsche Bezeichnung	Botanische Bezeichnung	Wertholz	Fruchtertrag	Energieholz	Ja	Nein	
Laubbäume							
Feldahorn	Acer campestre	+			X		
Gemeine Hainbuche	Carpinus betulus	(+)	+		X		auch im Strauchwuchs möglich
Wild-Apfel	Malus sylvestris	+	+		X		geringe Neigung zu Drehwuchs
Wild-Kirsche	Prunus avium	+	+		X		geringe Neigung zu Drehwuchs
Wild-Birne	Pyrus pyrastrer	+	+		X		geringe Neigung zu Drehwuchs
Trauben-Eiche	Quercus petraea	+		+	X		
Stiel-Eiche	Quercus robur	+		+	X		
Speierling	Sorbus domestica	+	+		X		
Flatter-Ulme	Ulmus laevis	+			X		
Nadelbäume							
Europäische Lärche	Larix decidua	+			X		Neigung zu Drehwuchs
Gemeine Kiefer	Pinus sylvestris	+			X		
Europäische Eibe	Taxus baccata	+			X		fast alle Pflanzenteile sind giftig
Sträucher							
Gemeine Berberitze	Berberis vulgaris		+	+	X		
Kornelkirsche	Cornus mas		+	+	X		
Gemeine Hasel	Corylus avellana		+	+	X		
Eingriffeliger Weißdorn	Crataegus monogyna		+	+	X		
Sanddorn	Hippophae rhamnoides		(+)	+	X		zur Fruchtbildung sind männliche und weibliche Sträucher notwendig
Schlehe	Prunus spinosa		+	+	X		

Legende: + geeignet, (+) teilweise geeignet

Quelle: in Anlehnung an Anhang II

Tabelle 8: Gehölzartenliste des Praxisbetriebs (Standortbedingungen, Krankheiten und Schädlinge, Wertholzkennwerte und Energieholzkennwerte)

Gehölz		Bodenbedingungen			klimatische Anforderungen			Krankheiten & Schädlinge		Wertholz		Energieholz
Dt. Bezeichnung	Bot. Bezeichnung	Nährstoff-ansprüche	pH-Wert	Staunässe-toleranz	Wasser-bedarf	Trockenstress-toleranz	Frost-härte		Wuchs-tempo	BHD [cm]	Hiebsreife [Jahre]	max. Umtriebs-zeit
Laubbäume												
Feldahorn	Acer campestre	gering	6 bis 8	gering	mäßig	hoch	hoch	einige, z.B. Mehltau	mäßig	bis 60	150 bis 200	-
Gemeine Hainbuche	Carpinus betulus	mäßig	4 bis 7	mäßig	500 bis 1.400 mm	mäßig	gering	wenige	schnell	50 bis 70	30 bis 40	-
Wild-Apfel	Malus sylvestris	gering bis mäßig	6,5 bis 8,5	mäßig bis hoch	gering bis mäßig	hoch	hoch	wenige	langsam	40 bis 90	80 bis 100	-
Wild-Kirsche	Prunus avium	hoch	5,5 bis 8,5	gering	400 bis 1.400 mm	hoch	gering	einige, z.B. Monilia, Kirschen-Blattlaus	mäßig bis schnell	50	70	-
Wild-Birne	Pyrus pyraster	gering	leicht sauer bis basisch	gering	gering bis mäßig	hoch	gering	wenige	langsam bis mäßig	> 50	100 bis 120	-
Trauben-Eiche	Quercus petraea	gering	6 bis 8	gering bis mäßig	mäßig bis hoch	mäßig bis hoch	mäßig bis hoch	wenige	mäßig	70	120 bis 160	20
Stiel-Eiche	Quercus robur	gering	6 bis 8	mäßig	mäßig bis hoch	mäßig bis hoch	mäßig bis hoch	wenige	mäßig	70	120 bis 160	20
Speierling	Sorbus domestica	mäßig bis hoch	6,5 bis 8,5	niedrig	gering bis mäßig	hoch	niedrig bis mäßig	einige, z.B. Phytophthora-Pilze	langsam bis mäßig	80 bis 140	120 bis 140	-

Flatter-Ulme	Ulmus laevis	mäßig bis hoch	eher sauer	hoch	500 bis 900	mäßig bis hoch	hoch	wenige	mäßig	bis 300	bis 300	-
Nadelbäume												
Europäische Lärche	Larix decidua	gering bis mäßig	5,5 bis 7	gering	mäßig bis hoch	mäßig	hoch	einige, z.B. Lärchenkrebs	mäßig	65	100 bis 140	-
Gemeine Kiefer	Pinus sylvestris	niedrig	5,5 bis 6,5	mäßig	niedrig	hoch	hoch	wenige	mäßig	45	80 bis 140	-
Europäische Eibe	Taxus baccata	gering	5,5 bis 8	mäßig	gering	mäßig bis hoch	hoch	wenige	langsam	30 bis 80	-	-
Sträucher												
Gemeine Berberitze	Berberis vulgaris	anspruchslos	anspruchslos	gering	gering	mäßig	mäßig	einige, z.B. Blattläuse, Mehltau	schnell	-	-	20
Kornelkirsche	Cornus mas	hoch	eher basisch	gering bis mäßig	mäßig	hoch	hoch	wenige	langsam	15 bis 20	-	20
Gemeine Hasel	Corylus avellana	gering bis mäßig	6 bis 8,5	gering bis mäßig	gering bis mäßig	mäßig bis hoch	hoch	wenige	schnell	10 bis 20	-	20
Eingriffeliger Weißdorn	Crataegus monogyna	hoch	eher basisch	gering	gering	hoch	hoch	wenige	mäßig bis schnell	10	-	20
Sanddorn	Hippophae rhamnoides	hoch	6 bis 8	gering bis mäßig	mäßig	hoch	hoch	wenige	mäßig bis schnell	4 bis 6	-	20
Schlehe	Prunus spinosa	hoch	6 bis 8,5	gering	gering bis mäßig	hoch	hoch	wenige	mäßig	10	-	20

Quelle: in Anlehnung an Anhang III

Anhand dieser Liste kann nun mit der weiteren Planung des Pflanzschemas begonnen werden.

4.3 Erstellung eines Flächenplans

4.3.1 Grundlagen der Planung eines Pflanzschemas

Zu Beginn der Planung muss festgelegt werden, in welcher Art und Weise das Agroforstsystem angepflanzt werden soll. Dabei stehen grundlegend die Varianten der Reihenpflanzung, üblicherweise in Einzel- oder Doppelreihen, sowie der verstreuten Pflanzung zur Verfügung. Je nach Fördermöglichkeiten des jeweiligen Bundeslandes ist zu beachten, welche der Varianten förderfähig ist. Letztendlich erfolgt die Planung jedoch nach eigenem Ermessen. Bei einem Streumuster können die Gehölze beliebig angeordnet werden, wie Abbildung 10 zeigt.



Abbildung 10: Beispiel der Reihenpflanzung (links) und der Pflanzung im Streumuster (rechts)

Quelle: eigene Darstellung; modifiziert mit QGIS; Hintergrundkarte von (Google Satellite, 2025)

Dabei sind lediglich die allgemeinen Pflanzabstände zu beachten, um das Wachstum der angebauten Gehölze zu optimieren. Entscheidet man sich hingegen für eine Reihenpflanzung, so muss zunächst die Ausrichtung der Reihen festgelegt werden. Dabei empfiehlt es sich die Ausrichtung so zu wählen, dass weitere Ziele, wie beispielsweise Wind- oder

Wassererosionsschutz berücksichtigt werden. Sind keine weiteren Ziele solcher Art definiert worden, so sollten möglichst lange Reihen angestrebt werden, um später anfallende Kosten zu minimieren.

Vor der Platzierung von Gehölzen auf der Grünlandfläche erfolgt die Vermessung der Grünlandfläche. Tabelle 9 zeigt die grundlegenden Maße, die für die weitere Planung bekannt sein müssen.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Kennwerte zu den Abständen eines Agroforstsystems

Parameter	Abstand
Vorgewende	- Mindestbreite = Maschinebreite des größten Arbeitsgerätes
Breite der Pflanzreihen	- an die Produktionsrichtung angepasst - meist circa 200 cm
Pflanzabstand zwischen den Reihen	- richtet sich nach der Maschinenbreite
Pflanzabstand innerhalb der Reihe bzw. im Streumuster	- für Bäume: • Mindestabstand [cm] = BHD [cm] x 25 • Bei Obstbäumen geht es auch etwas enger - für Energieholz und Sträucher: • Mindestens 40 cm, maximal 200 cm

Quelle: (Hering et al., 2013: S. 15; Markut et al., 2022 S. 14; V. Schulz et al., 2020: S. 15)

Sobald die Festlegung der jeweiligen Abstände festgelegt wurde, kann die Positionierung der Gehölze auf der Fläche erfolgen. Es sollte zusätzlich beachtet werden, dass die Gehölze für Wertholz und teilweise den Fruchtanbau oftmals in Dreier-Verbänden angepflanzt werden, um die Effektivität der Pflanzung zu steigern. Wenn ausreichend Platz vorhanden ist, sollten daher die Abstände zwischen den Gehölzen großzügiger als der Mindestabstand gewählt werden, um zu enge Bestände nach der Selektion zu vermeiden.

4.3.2 Erstellung eines Flächenplans am Praxisbeispiel

Im Praxisbeispiel wird das Agroforstsystem in der Variante der Reihenpflanzung angelegt. Eine Förderung wird dabei nicht angestrebt, da die Fläche mit 0,33 ha recht klein ist und die

Ansprüche des Landes Sachsen-Anhalt zu massiv für die Umsetzung sind. So müssen beispielsweise 20 m Abstand zum Flächenrand gehalten werden (Landesportal Sachsen-Anhalt, 2023), was die Planung extrem einschränken würde. Die Reihenpflanzung findet dabei in den Baumreihen als Einzelreihe Anwendung, während der Heckenstreifen in doppelter Reihe angelegt wird. Die Anordnung der Reihen erfolgt an der östlichen Seite der Fläche, sodass ein Effekt des Windschutzes erzielt wird. Außerdem bleibt die Grünlandfläche durch die gewählte Ausrichtung leichter für den Praxisbetrieb erreichbar, da diese über den benachbarten gepachteten Acker erreicht werden kann.

Die größte Maschinenbreite im Betrieb liegt bei 3,00 m, wodurch sich die Mindestbreite des Vorgewendes ergibt und der Pflanzabstand zwischen den Reihen abgeleitet werden kann. Zusätzlich wird das Vorgewende um 1,00 m ausgeweitet, um einen Sicherheitsabstand zu den Wertholzbäumen zu erlangen. Die Breite der Pflanzreihen wird pauschal auf 2,00 m festgelegt. Die Auswahl der Gehölze erfolgt anhand Unterpunkt 4.2.1 Vorgehen zum Erstellen der Gehölzartenliste und ist dem Planenden überlassen. Der Pflanzabstand innerhalb der Reihe für Bäume wird anhand des angestrebten BHD ermittelt und beträgt mindestens 12,50 m für die Baumarten Wild-Apfel, Wild-Birne, Wildkirsche und Gemeine Hainbuche mit einem BHD von 50,00 cm. Für den Feld-Ahorn und die Europäische Lärche wird ein Abstand von 15,00 m bei einem BHD von 60,00 cm festgelegt und beim Speierling und der Trauben-Eiche ein Mindestabstand von 20,00 m für einen BHD von 70,00 bis 80,00 cm. Da alle Bäume in Dreier-Verbänden gepflanzt werden, werden die Abstände etwas größer gewählt, da ausreichend Platz auf der Grünlandfläche verfügbar ist. Die Obstbäume sowie die Gemeine Hainbuche erhalten dadurch jeweils 1,50 m zusätzlich. Die Sträucher werden in einem pauschalen Abstand von 1,00 m angepflanzt. Anhand der im Betrieb zur Verfügung stehenden Maschinen und der gewählten Gehölzarten ergeben sich die Abstände, die in Tabelle 10 aufgezeigt werden.

Tabelle 10: Abstände auf der Agroforstfläche des Praxisbeispiels

Parameter	Abstand
Vorgewende	4,00 m
Breite der Pflanzreihen	2,00 m
Pflanzabstand zwischen den Reihen	9,00 m
Pflanzabstand innerhalb der Reihe	- für Bäume: 14,0 m/ 15,00 m/ 20,00 m - für Sträucher: 1,00 m

Quelle: eigene Darstellung

Anhand der vorliegenden Daten sowie nach dem Ausmessen der Fläche unter Berücksichtigung des Vorgewendes ergibt sich die folgende Reihenanzahl, wie in Abbildung 11 darstellt.



Abbildung 11: Abstände der Gehölzreihen im Praxisbeispiel

Quelle: eigene Darstellung; modifiziert mit QGIS; Hintergrundkarte von (Google Satellite, 2025)

Die Positionierung der Gehölze auf den Reihen erfolgt teilweise in sich wiederholenden Mustern. Der konkrete Pflanzplan für die Praxisfläche wird in Abbildung 12 dargestellt und verdeutlicht diesen Zusammenhang.

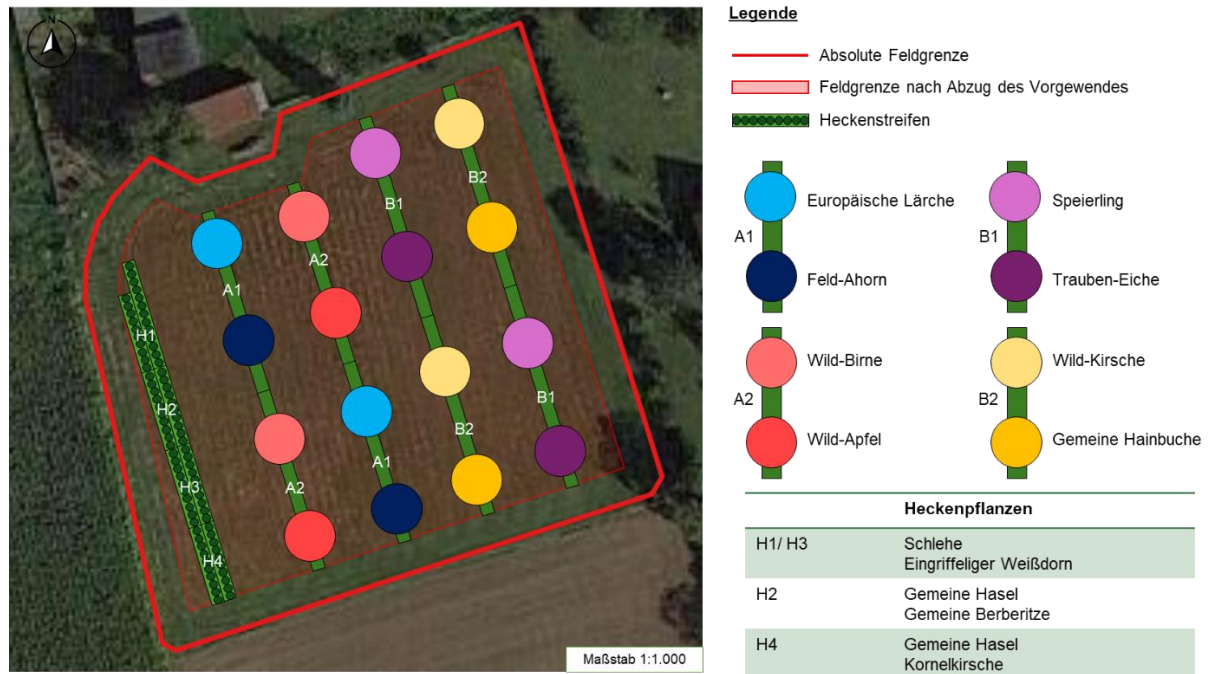


Abbildung 12: Flächenplan der Praxisfläche

Quelle: eigene Darstellung; modifiziert mit QGIS; Hintergrundkarte von (Google Satellite, 2025)

Die Abbildung zeigt, dass die Europäische Lärche und der Feld-Ahorn, die Wild-Birne und der Wild- Apfel, der Speierling und die Trauben-Eiche sowie die Wild-Kirsche und die Gemeine Hainbuche jeweils in einem Verbund gepflanzt werden. Ein ähnliches Vorgehen ist auch bei den Sträuchern zu verzeichnen.

Abbildung 13 verdeutlicht die geplanten Abstände innerhalb der Baum- und Strauchreihen basierend auf der vorher ungefähr festgelegten Positionierung der Gehölze.



Abbildung 13: Übersicht über die Pflanzabstände im Praxisbeispiel

Quelle: eigene Darstellung; modifiziert mit QGIS; Hintergrundkarte von (Google Satellite, 2025)

4.4 Zeitliches Management in Agroforstsystemen

Das Anlegen eines Agroforstsystems umfasst auch die zeitliche Planung und das Management der Fläche von der Pflanzung bis hin zur Ernte.

Tabelle 11 stellt die grundsätzlichen Maßnahmen zur Bewirtschaftung der Agroforstfläche über die Monate Januar bis Dezember übersichtlich dar. Es ist zu beachten, dass einige der genannten Arbeitsmaßnahmen nur einmal pro Gehölz angewendet werden, wie

beispielsweise die Pflanzung oder die Holzernte. Maßnahmen wie die Bewässerung, die Beikrautregulierung sowie die Ästung fallen über mehrere Jahre, vermehrt zu Beginn der Etablierung, an. Die Maßnahmen Mahd beziehungsweise Mulchen der Grünfläche sowie das Monitoring sollten mindestens einmal jährlich angewendet werden.

Tabelle 11: Zeitliche Übersicht über die Arbeitsschritte in einem Agroforstsystem

	Monat											
Maßnahme	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Pflanzung												
Bewässerung												
Beikrautregulierung												
Ästung												
Mahd/ Mulchen der Grünlandfläche												
Holzernte (ohne Förderung)												
Holzernte (mit Förderung)												
Monitoring (mind. 1x jährlich)												

Quelle: (Hering et al., 2013: S. 16 ff.; Markut et al., 2022: S. 17 f.; Ochse & Hundsdoerfer, 2020; Roberti et al., 2023: S. 6; V. Schulz et al., 2020: S. 25)

Die festgehaltenen zeitlichen Abläufe werden vom Praxisbeispiel ohne Anpassungen übernommen. Dabei ist lediglich zu beachten, dass mit diesem keine Förderung angestrebt wird, weshalb auch eine Ernte im Monat März möglich wäre.

4.5 Ökologische Leistungen von Agroforstsystemen

4.5.1 Biodiversität

Um die Biodiversität einer Fläche zu bewerten und übersichtlich zu erfassen, ist der Einsatz quantitativer Indizes, wie dem Shannon-Index und dem Evenness-Index, möglich. Der Shannon-Index und die Evenness bieten dabei zwei komplementäre Perspektiven in Hinsicht

auf die Biodiversität an. Während der Shannon-Index einen besonderen Fokus auf die Artenzahl und deren Häufigkeit legt, betrachtet die Evenness zusätzlich die Verteilung der vorhandenen Arten. Mit Hilfe der errechneten Index-Werte können Handlungsempfehlungen abgeleitet werden, um das Maß der Biodiversität auf der Fläche zu erhalten beziehungsweise zu verbessern.

4.5.1.1 Erfassung der Datengrundlage mittels Klapp/Stählin-Methode

Die Erhebung der Daten der Gehölze erfolgt in Anlehnung an die Klapp/Stählin-Methode aus Peratoner & Pötsch (2015: S. 19 f.). Es werde zunächst eine Artenliste mit den botanischen und deutschen Namen der Arten angefertigt. Die Einteilung der Gehölzarten erfolgt in drei Hauptgruppen: Laubhölzer, Nadelhölzer und Sträucher. Zu Beginn werden die Anteile der Hauptgruppen anhand der Planungsdaten berechnet und angegeben. Diese müssen einen Gesamtwert von 100 % ergeben. Die Anteile der einzelnen Gehölzarten innerhalb ihrer jeweiligen Gruppe werden im Anschluss ebenfalls anhand der Planungsdaten angegeben. Angabe der Stückzahl der geplanten Gehölze zur Erleichterung der Berechnungen erfolgt nicht anhand ihrer Pflanzung als Dreier-Verband, sondern anhand der Anzahl der Gehölze, die nach der Selektion aus dem Dreier-Verband verbleiben. In Anhang IV ist eine leere Tabelle zur Erfassung der Baumarten angefügt.

4.5.1.2 Berechnung des Shannon-Index

Der Shannon-Index ist ein aus der Informationstheorie stammendes Maß, welches als Kennzahl für die Erfassung und Bewertung der biologischen Vielfalt (Species Richness), somit auch der Biodiversität, genutzt werden kann (Rain et al., 2024). Die Berechnung des Shannon-Index nach Rain et al. erfolgt anhand der nachfolgenden Formel:

$$H = -\sum (p_i \times \ln(p_i)) \quad \text{wobei } p_i = \frac{n_i}{N} \quad [2]$$

$H \sim$ Shannon-Index

$p_i \sim$ relative Häufigkeit/ Dominanz einer Art

$n_i \sim$ Häufigkeit der Art (Individuenzahl, Deckung, Biomasse)

$N \sim$ Gesamtzahl der Individuen einer Bestandsaufnahme ($\triangleq 100\%$)

Quelle: in Anlehnung an (Rain et al., 2024)

Der kleinstmögliche Wert des Shannon-Index liegt gemäß Rain et al. (2024) bei 0. Dieser Wert sagt aus, dass keine Vielfalt durch die Bestandsdaten nachgewiesen werden kann, wie die Autoren beschreiben. Ein absoluter Maximalwert der Gleichung ist dabei nicht eindeutig definiert. Allgemein gilt nach Rain et al., je höher der Wert des Shannon-Index, desto höher ist auch die Vielfalt und damit die Biodiversität. Typische ökologische Daten liegen gewöhnlich zwischen 1,5 bis 3,5 und nur in seltenen Fällen bei mehr als 4,5 (Ifo et al., 2016).

Tabelle 12 stellt die Einteilung der zu interpretierenden Shannon-Werte dar.

Tabelle 12: Kennwerte zur Interpretation des Shannon-Index

Shannon-Wert	Interpretation
$H \leq 1,5$	niedrige Diversität
$1,5 < H \leq 3,5$	mäßige Diversität
$H \geq 3,5$	hohe Diversität

Quelle: (Busniah et al., 2020: S. 3)

4.5.1.3 Berechnung der Evenness

Um die Aussagekraft des Index zu untermauern, muss zusätzlich die Evenness (dt. Gleichmäßigkeit) errechnet werden. Sie ergänzt den Shannon-Wert um die relativen Häufigkeiten der untersuchten Arten und beschreibt somit die Gleichverteilung der Arten einer Stichprobe. Die Evenness wird anhand des Shannon-Index H berechnet, wie die folgende Formel darstellt: (Rain et al., 2024)

$$E = \frac{H}{\ln(k)} \quad [3]$$

$E \sim$ Evenness

$H \sim$ Shannon-Index

$k \sim$ Gesamtartenzahl

Quelle: in Anlehnung an (Rain et al., 2024)

Der Evenness-Wert liegt in der Regel zwischen den Werten 0 und 1. Ein Wert, welcher gegen 0 tendiert, signalisiert eine starke Ungleichverteilung der Arten. Dagegen weist ein Wert nahe 1 auf eine hohe Gleichmäßigkeit der Verteilung und somit auf eine erhöhte Diversität hin. (Rain et al., 2024)

Die nachfolgende Tabelle 13 zeigt eine Interpretation des Evenness-Wertes.

Tabelle 13: Kennwerte zur Interpretation der Evenness

Evenness-Wert	Interpretation
$E \leq 0,4$	niedrige Artengleichverteilung
$0,4 < E \leq 0,6$	mäßige Artengleichverteilung
$E > 0,6$	hohe Artengleichverteilung

Quelle: (Busniah et al., 2020: S. 4)

4.5.1.4 Handlungsempfehlungen anhand der Indizes

Bei einem niedrigen Shannon-Index wird auf eine geringe Artenvielfalt innerhalb der Planung hingewiesen. Um die Biodiversität zu erhöhen, können zusätzliche standortangepasste und potenziell heimische Pflanzenarten eingeführt werden, die besonders der heimischen Fauna von Nutzen sind. Die Diversifizierung der Gehölzarten trägt damit zur Förderung der verschiedenen Lebensräume bei. Ist der Shannon-Index hingegen hoch, weist das Agroforstsystem eine hohe Artenvielfalt auf. In diesem Falle sollten bestehende Strukturen erhalten beziehungsweise im späteren Verlauf des Systems weiter gefördert und gepflegt werden. Eine zusätzliche Verbesserung könnte bei Bedarf beispielsweise durch das Anlegen

weiterer Lebensräume oder der Ausweitung des Agroforstsystems erreicht werden. Zudem ist eine schonende Bewirtschaftung der Fläche ratsam, bei der der Einsatz von Mitteln wie Pestiziden oder Herbiziden reduziert wird, um die biologische Vielfalt zu unterstützen.

Eine niedrige Evenness zeigt, dass die Arten im System ungleichmäßig verteilt sind und somit eine gewisse Dominanz einzelner Arten auf der Fläche herrschen. In solch einem Fall können gezielte Maßnahmen zur Förderung verschiedener Arten bei der Pflanzung in Kraft treten. Die Verteilung der geplanten Arten kann durch den vermehrten Einsatz von Mischkulturen auf der Fläche unterstützt werden. Zudem ist es möglich die strukturelle Vielfalt des Agroforstsystems, beispielsweise durch den Einsatz verschiedener Baumhöhen, zu verbessern. Eine hohe Evenness zeigt dagegen, dass die Arten im System gleichverteilt sind und somit keine starke Dominanz vorliegt. Dies deutet auf ein stabiles System hin, dass durch geeignete Pflegemaßnahmen gefördert und erhalten werden sollte. Tabelle 14 fasst die Handlungsempfehlungen übersichtlich zusammen.

Tabelle 14: Übersicht der Handlungsempfehlungen anhand der Indizes

Index-Wert	Interpretation	Handlungsempfehlung
Shannon-Index niedrig	Geringe Artenvielfalt	- Diversifizierung der Gehölzarten
Shannon-Index hoch	Hohe Artenvielfalt	- Erhaltung und Förderung der Strukturen
Evenness niedrig	Dominanz einzelner Arten, Ungleichgewicht	- vermehrter Einsatz von Mischkulturen in der Planung
Evenness hoch	Gleichmäßige Verteilung der Arten	- Erhaltung und Förderung des Systems

Quelle: eigene Darstellung

4.5.1.5 Anwendung der Biodiversitätsindizes am Praxisbeispiel

Zunächst werden die Gehölze, welche im Flächenplan für das Praxisbeispiel festgelegt wurden, mit ihrer deutschen und botanischen Bezeichnung in die Tabelle aufgenommen. Die Unterteilung erfolgte dabei in die Hauptgruppen Laubbäume, Nadelbäume und Sträucher. Die Laubbäume machten einen Anteil an der Planung von 53,9 % aus, während die Nadelbäume lediglich 7,6 % und die Sträucher 38,5 % ausmachten. Da die Laubbäume und auch Nadelbäume jeweils zu einer gleichen Stückanzahl in dem geplanten Praxisbeispiel vertreten sind, erhalten sie je einen Wert von 7,7 %. Die Abweichung von 7,6 % bei den Nadelbäumen

erfolgte ausschließlich durch Rundungsfehler innerhalb der Berechnungen. Die Sträucher wiesen vermehrt eine unterschiedliche Anzahl an zu pflanzenden Gehölzen auf, weswegen ihre Anteile entsprechend berechnet wurden. Die Gemeine Berberitze und die Kornelkirsche zeigten einen Anteil von je 5,3 % auf, der Eingriffliche Weißdorn und die Schlehe je 8,6 %, während die Baumhasel mit 10,7 % den größten Anteil an den Sträuchern ausmachte. Die Daten werden in Tabelle 15 aufgezeigt.

Tabelle 15: Datenerfassung nach Klapp/Stählin für das Praxisbeispiel

Dt. Bezeichnung	Bot. Bezeichnung	Anzahl [Stück]	Anteil n_i [%]
Laubbäume			53,9
Feld-Ahorn	Acer campestre	2	7,7
Gemeine Hainbuche	Carpinus betulus	2	7,7
Wild-Apfel	Malus sylvestris	2	7,7
Wild-Kirsche	Prunus avium	2	7,7
Wild-Birne	Pyrus pyraeaster	2	7,7
Trauben-Eiche	Quercus petraea	2	7,7
Speierling	Sorbus domestica	2	7,7
Nadelbäume			7,6
Europäische Lärche	Larix decidua	2	7,6
Sträucher			38,5
Gemeine Berberitze	Berberis vulgaris	10	5,3
Kornelkirsche	Cornus mas	10	5,3
Gemeine Hasel	Corylus avellana	20	10,7
Eingriffeliger Weißdorn	Crataegus monogyna	16	8,6
Schlehe	Prunus spinosa	16	8,6

Quelle: eigene Darstellung

Zu der Berechnung des Shannon-Index werden im nachfolgenden die benötigten Werte in Tabelle 16 angegeben. Da N die Gesamtzahl der Individuen einer Bestandsaufnahme ist, wird diesem Parameter der Wert $N = 100$ im Zuge der Berechnungen zugewiesen.

Tabelle 16: Berechnungsgrundlagen des Shannon-Index für das Praxisbeispiel

Dt. Bezeichnung	Bot. Bezeichnung	Anzahl [Stück]	Anteil n_i [%]	$p_i = n_i/N$	$\ln(p_i)$	$p_i \times \ln(p_i)$
Laubbäume			53,9			
Feld-Ahorn	Acer campestre	2	7,7	0,08	-2,56	-0,20
Gemeine Hainbuche	Carpinus betulus	2	7,7	0,08	-2,56	-0,20
Wild-Apfel	Malus sylvestris	2	7,7	0,08	-2,56	-0,20
Wild-Kirsche	Prunus avium	2	7,7	0,08	-2,56	-0,20
Wild-Birne	Pyrus pyraeaster	2	7,7	0,08	-2,56	-0,20
Trauben-Eiche	Quercus petraea	2	7,7	0,08	-2,56	-0,20
Speierling	Sorbus domestica	2	7,7	0,08	-2,56	-0,20
Nadelbäume			7,6			
Europäische Lärche	Larix decidua	2	7,6	0,08	-2,58	-0,20
Sträucher			38,5			
Gemeine Berberitze	Berberis vulgaris	10	5,3	0,05	-2,94	-0,16
Kornelkirsche	Cornus mas	10	5,3	0,05	-2,94	-0,16
Gemeine Hasel	Corylus avellana	20	10,7	0,11	-2,23	-0,24
Eingriffeliger Weißdorn	Crataegus monogyna	16	8,6	0,09	-2,45	-0,21
Schlehe	Prunus spinosa	16	8,6	0,09	-2,45	-0,21
Σ		88	100			-2,55

Quelle: eigene Darstellung

Verrechnet man nun die Werte aus Tabelle 16 mit der Formel des Shannon-Index ergibt sich folgender Wert für H:

$$H = -\sum(p_i \times \ln(p_i)) = -(-2,55) = 2,55$$

in Anlehnung an [2]

Der Shannon-Wert H deutet damit auf eine mäßige Diversität des Agroforstsystems hin, wie aus Tabelle 12 abgeleitet werden kann.

Aus der vorherigen Berechnung des Shannon-Index können für die weiterführende Berechnung der Evenness die folgenden Werte festgehalten werden:

- Shannon-Index $H = 2,55$
- Gesamtartenzahl $k = 13$

Durch das Einsetzen der Werte in die definierte Formel ergibt sich der Wert für die Evenness:

$$E = \frac{H}{\ln(k)} = \frac{2,55}{\ln(13)} = 0,99 \quad \text{in Anlehnung an [3]}$$

Der Wert von $E = 0,99$ deutet auf eine hohe Artengleichverteilung hin, wie man aus Tabelle 13 ablesen kann.

Anhand der Werte $H = 2,55$ und $E = 0,99$ können nun Handlungsempfehlungen für das Agroforstsystem des Praxisbeispiels abgeleitet werden. Der berechnete Shannon-Index H weist auf eine moderate Verteilung der Artenvielfalt hin und befindet sich im mittleren Bereich der definierten Werte nach Busniah et al. (2020). Bei Bedarf könnten nun zusätzliche standortangepasste Gehölzarten ergänzt werden beziehungsweise Teile der vorhandenen Arten ersetzen, um die Diversität des Bestandes zusätzlich zu erhöhen. Im Gegensatz zum Shannon-Wert H weist die Evenness E eine hohe Artengleichverteilung im System auf. Da dieses damit grundlegend als stabil gilt, werden hier lediglich Pflegemaßnahmen zur Förderung und Erhaltung des Bestands empfohlen.

Da der Shannon-Wert H einen moderaten Mittelwert und die Evenness E einen sehr hohen Wert aufweist, werden keine Veränderungen an der geplanten Flächennutzung veranlasst. Neben der Ökologie des Systems muss außerdem auch die Ökonomie berücksichtigt werden, welche durch das Hinzufügen neuer Arten in das System zusätzlich belastet werden könnte.

4.5.2 Speicherpotenzial von CO₂ in Gehölzen

Die Allometrie beschreibt im Allgemeinen die Beziehung zwischen der Größe eines Organismus im Verhältnis zu anderen ökologischen Parametern (Arhonditsis et al., 2019). Für die Biomasse-Allometrie existieren zahlreiche Ansätze. Im Rahmen der Masterarbeit wird die Biomasse-Allometrie nach Jenkins et al. (2014) vorgestellt, die sich durch ihre Einfachheit und

Generalisierbarkeit auszeichnet (Jenkins et al., 2014: S. 129). Mithilfe dieser Allometrie kann in einfacher Form von der Größe des Organismus „Gehölz“ auf die ökologische Größe der Kohlenstoffspeicherung geschlossen werden.

Gehölze sind in der Lage Kohlenstoff (C) in ihrer Biomasse einzulagern, wobei die Menge des gespeicherten Kohlenstoffs von der jeweiligen Holzmasse und auch ihrer Standzeit abhängt. Die Umrechnung von Kohlenstoff in Kohlenstoffdioxid (CO_2) erleichtert die Interpretation des berechneten Wertes für die Anwendenden. (Stiftung Unternehmen Wald, o. J.)

Die Berechnung der oberirdischen und unterirdischen Biomasse von Gehölzen kann mittels Biomasse-Allometrie-Gleichungen anhand des BHD erfolgen. Aufgrund der Vielzahl an Ansätzen in der Biomasse-Allometrie, wird im Folgenden die Methode nach Jenkins et al. referenziert. Die Auswahl der Methode basiert auf ihrer einfachen Anwendung in der Praxis, ihrer umfassenden Betrachtung von Gehölzfamilien sowie der Verfügbarkeit von Gleichungen sowohl für oberirdische als auch unterirdische Biomasse. Die Methode von Jenkins et al. (2014) wurde erstmals im Jahr 2003 veröffentlicht und im Jahr 2014 aktualisiert und leicht modifiziert. Die Berechnung des Kohlenstoffanteils in den Gehölzen erfolgt mittels einer vereinfachten Formel, die sich an Matthews (1993) orientiert. Die Umwandlung von Kohlenstoff in Kohlenstoffdioxid wird, unter Berücksichtigung der molaren Masse, durch einen standardisierten Umrechnungsfaktor durchgeführt. Die grundlegenden Schritte der Berechnung werden in Abbildung 14 vereinfacht dargestellt.

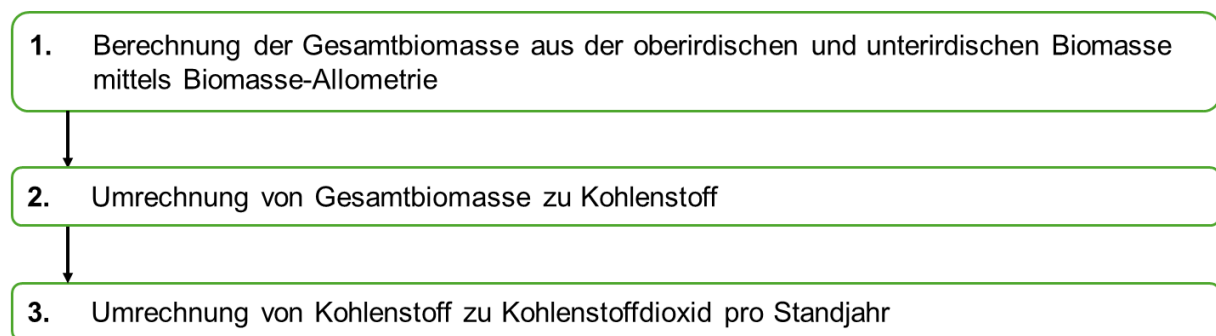


Abbildung 14: Vorgehen zur Berechnung des CO_2 -Speicherpotenzials eines Gehölzes

Quelle: eigene Darstellung

4.5.2.1 Berechnung der Gesamtbiomasse eines Gehölzes anhand der Biomasse-Allometrie

Die Berechnung der oberirdischen und unterirdischen Trockenbiomasse von Gehölzen nach Jenkins et al. (2014) basiert auf der Zusammenstellung von Literaturrecherchedaten auf

Grundlage von durchmesserbasierten allometrischen Regressionsgleichungen. In der Überarbeitung aus dem Jahr 2014 wurde die Datenbank gegenüber der Version aus dem Jahr 2013 von 2626 Gleichungen auf 3464 Gleichungen erweitert sowie um Studien bis zum Mai 2011 aktualisiert. Nach der Literaturrecherche erfolgte eine „Pseudodaten“-Erzeugung, welche die Konsistenz der Daten sicherstellte, indem durchmesserbasierte Gleichungen generiert wurden. Im Rahmen der anschließenden Meta-Analyse wurden Regressionsanalysen auf log-transformierte Pseudodaten angewendet, um allgemeine Biomassegleichungen zu entwickeln. Dabei wurden die betrachteten Gehölzgruppen nach taxonomischen Gruppen und dem holzspezifischem Gewicht klassifiziert. Die erweiterte Validierung erfolgte durch den Vergleich der neu entwickelten Gleichungen mit bestehenden regionalen Schätzungen. Nach der aktualisierten Methode aus dem Jahr 2014 wurden zur Optimierung der Genauigkeit Tests mit modifizierten und unveränderten Gleichungen durchgeführt, wobei nur minimale Abweichungen in den Ergebnissen auftraten. Die Berechnung der oberirdischen Trockenbiomasse erfolgt unter Anwendung der folgenden Gleichung.

$$\ln(Biomasse_{oben}) = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(BHD) \quad [4]$$

Umgestellt auf den Parameter Biomasse ergibt dies:

$$Biomasse_{oben} = e^{\beta_0} \times BHD^{\beta_1} \quad \text{in Anlehnung an [4]}$$

$Biomasse_{oben}$ ~ Trockengewicht der oberirdischen Biomasse in kg

$\beta_0; \beta_1$ ~ empirisch bestimmte Konstanten, die je nach Gehölzart variieren

BHD ~ Brusthöhendurchmesser des Gehölzes in cm

e ~ Eulersche Zahl

Quelle: in Anlehnung an (Jenkins et al., 2014: S. 140)

Die Werte β_0 und β_1 repräsentieren empirisch ermittelte Konstanten, die in Tabelle 17 dargestellt werden und in der Berechnungsformel Anwendung finden. Die β -Werte wurden teilweise zur Vereinfachung in die Mittelwert der jeweiligen Gehölzfamilien umgewandelt.

Tabelle 17: Oberirdische β -Werte der Gehölzgruppen

Gruppe	Dt. Bezeichnung	β_0	β_1
Laubhölzer			
Aceraceae	Ahorngewächse	-1,9241	2,3852
Betulaceae	Birkengewächse	-2,2238	2,4673
Cornaceae/ Ericaceae/ Lauraceae/ Platanaceae/ Rosaceae/ Ulmaceae	Hartriegelgewächse/ Heidekrautgewächse/ Lorbeergewächse/ Platanen/ Rosengewächse/ Ulmengewächse	-2,2118	2,4133
Fabaceae/ Juglandaceae/ Other	Hülsenfrüchtler/ Walnussgewächse/ Andere	-2,3273	2,5108
Hamamelidaceae	Zaubernussgewächse	-2,6390	2,5466
Hippocastanaceae/ Tiliaceae	Seifenbaumgewächse/ Lindengewächse	-2,4108	2,4177
Magnoliaceae	Magnoliengewächse	-2,5497	2,5011
Oleaceae	Ölbaumgewächse	-1,9349	2,3524
Salicaceae	Weidengewächse	-2,5652	2,4561
Nadelhölzer			
Abies	Tannen	-2,7449	2,4954
Cupressaceae	Zypressengewächse	-2,4569	2,3338
Larix	Lärchen	-2,3012	2,3853
Picea	Fichten	-2,5832	2,4400
Pinus	Kiefern	-2,8342	2,5552
Pseudotsuga	Douglasien	-2,4623	2,4852
Tsuga	Hemlocktannen	-2,6344	2,4787
Waldlandhölzer			
Cupressaceae	Zypressengewächse	-2,7096	2,1942
Fagaceae	Buchengewächse	-3,0304	2,4982
Pinaceae	Kieferngewächse	-3,2007	2,5339

Quelle: in Anlehnung an (Jenkins et al., 2014: S. 140)

Die Berechnung der unterirdischen Wurzel-Trockenbiomasse von Bäumen erfolgt nach der gleichen Methodik wie die der oberirdischen Biomasse. Laut Jenkins et al. (2014) muss dafür zunächst die Formel zur Berechnung des Verhältnisses der Wurzelmasse zur Biomasse des Gehölzes angewendet werden.

$$\ln(\text{Verhältnis}) = \beta_2 + \beta_3 \times \ln(BHD) \quad [5]$$

Umgestellt auf den Parameter Verhältnis ergibt dies:

$$\text{Verhältnis} = e^{\beta_2} \times BHD^{\beta_3} \quad \text{in Anlehnung an [5]}$$

Verhältnis ~ das Verhältnis zwischen der Biomasse der Wurzeln und der Gesamtbiomasse

β_0 ; β_1 ~ empirisch bestimmte Konstanten, die je nach Wurzelart variieren

BHD ~ Brusthöhendurchmesser des Gehölzes in cm

e ~ Eulersche Zahl

Quelle: in Anlehnung an (Jenkins et al., 2014: S. 143)

Die Werte β_2 und β_3 repräsentieren, ähnlich wie bei der oberirdischen Biomasse, empirisch bestimmte Konstanten. In Tabelle 18 werden diese die Werte in komprimierter Form dargestellt und können zur Anwendung in der Formel genutzt werden.

Tabelle 18: Unterirdische β -Werte für Grob- und Feinwurzeln

Komponente	β_2	β_3
Grobwurzeln	-1,449	-0,0348
Feinwurzeln	-1,863	-0,7753

Quelle: in Anlehnung an (Jenkins et al., 2014: S. 143)

Es ist erforderlich die Formel jeweils einmal für die Grobwurzeln sowie für die Feinwurzeln anzuwenden. Um aus dem errechneten Verhältnis die Biomasse der Wurzeln zu ermitteln, muss nun Formel 6 für beide Wurzelarten angewandt werden.

$Biomasse_{unten} =$

$$Biomasse_{oben} \times \text{Verhältnis}_{Grobwurzeln} + Biomasse_{oben} \times \text{Verhältnis}_{Feinwurzeln} \quad [6]$$

$Biomasse_{unten} \sim$ Biomasse der Grobwurzeln bzw. Feinwurzeln in kg

$Biomasse_{oben} \sim$ Trockengewicht der Biomasse in kg

$\text{Verhältnis} \sim$ das Verhältnis zwischen der Biomasse der Wurzeln und der Gesamtbiomasse

Quelle: in Anlehnung an (Jenkins et al., 2014: S. 143)

Zur Berechnung der Gesamtbiomasse eines Gehölzes werden nun die oberirdische und unterirdische Biomasse addiert, wie Formel 7 vereinfacht darstellt.

$$Biomasse_{gesamt} = Biomasse_{oben} + Biomasse_{unten} \quad [7]$$

$Biomasse_{gesamt} \sim$ Trockengewicht der gesamten Biomasse eines Gehölzes in kg

$Biomasse_{oben} \sim$ Trockengewicht der oberirdischen Biomasse in kg

$Biomasse_{unten} \sim$ Trockenbiomasse der Grobwurzeln und Feinwurzeln in kg

Quelle: eigene Darstellung

4.5.2.2 Berechnung des Kohlenstoffanteils in einem Gehölz anhand der Gesamtbiomasse

Da Gehölze nicht direkt Kohlenstoffdioxid (CO₂), sondern lediglich den reinen Kohlenstoff (C) speichern (Stiftung Unternehmen Wald, o. J.), erfolgt die Berechnung auf Grundlage des Kohlenstoffanteils in der Trockenbiomasse eines Gehölzes (Matthews, 1993: S. 1). Die aus

der vorherigen Formel [7] errechnete Gesamtbiomasse wird in der nachfolgenden Berechnung weiterverwendet.

$$C_{\text{Gehalt}} = \text{Biomasse}_{\text{gesamt}} \times C_{\text{Anteil}} \quad [8]$$

C_{Gehalt} ~ Kohlenstoffgehalt des Gehölzes in kg

$\text{Biomasse}_{\text{gesamt}}$ ~ Trockengewicht der gesamten Biomasse eines Gehölzes in kg

C_{Anteil} ~ Kohlenstoffanteil im Gehölz in Prozent

Quelle: (Matthews, 1993: S. 1 ff.)

Der prozentuale Kohlenstoffanteil am Trockengewicht der Biomasse von Gehölzen ist in Tabelle 19 aufgeführt. Die Kategorisierung erfolgt in Nadel- und Laubbäume. Sollte eine Gehölzfamilie beziehungsweise eine Gehölzart nicht in diese beiden Kategorien eingeordnet werden können, wird auf die allgemeine Annahme für Gehölze zurückgegriffen.

Tabelle 19: Kohlenstoffanteile in der Biomasse von Gehölzen

Gehölzart	C_{Anteil} [%]
Nadelbäume	49,35
Laubbäume	49,95
Gehölze allgemein	50,00

Quelle: in Anlehnung an (Matthews, 1993: S. 8)

4.5.2.3 Umrechnung von Kohlenstoff (C) zu Kohlenstoffdioxid (CO₂)

Die Umrechnung von Kohlenstoff (C) in Kohlenstoffdioxid (CO₂) basiert auf der molaren Masse von CO₂, die mit 44,00 g/mol angegeben wird. Durch die Division der molaren Masse von CO₂ durch 12 g/mol ergibt sich ein Umrechnungsfaktor von 3,67. Um den Kohlenstoff in Kohlenstoffdioxid umzuwandeln und auf die Biomasse eines Gehölzeses zu beziehen, wird die nachfolgende Formel verwendet. Der Kohlenstoffgehalt aus der vorherigen Formel 8 wird dabei für die Berechnung angewandt.

$$CO_2 = C_{\text{Gehalt}} \times 3,67$$

[9]

CO_2 ~ Kohlenstoffdioxidgehalt des Gehölzes in kg

C_{Gehalt} ~ Kohlenstoffgehalt des Gehölzes

Das Endergebnis liefert den CO_2 -Gehalt der Gehölze in der Einheit Kilogramm. Der berechnete Wert kann anschließend analysiert und interpretiert werden.

4.5.2.4 Handlungsempfehlungen für das CO_2 -Speicherpotenzial

Für die nachfolgenden Tabelle 20 wird angenommen, dass ein Baum durchschnittlich 24,62 kg CO_2 im Jahr bindet (C. Schulz, 2024). Diese Zahl gilt als Mittelwert für die Einstufungen innerhalb der Tabelle. Um die Werte für die hohe CO_2 -Speicherung zu generieren, wird zusätzlich das CO_2 -Speicherpotenzial der Douglasie betrachtet, welche mit 46,50 kg CO_2 pro Jahr im Durchschnitt das höchste Speicherpotenzial der Gehölzarten aufweist (C. Schulz, 2024).

Tabelle 20: Einstufung des CO_2 -Speicherpotenzials von Gehölzen pro Standjahr

Einstufung	CO_2 pro Jahr [kg]
Niedrige CO_2 -Speicherung	< 24,62
Mittlere CO_2 -Speicherung	$\geq 24,62 < 46,50$
Hohe CO_2 -Speicherung	$\geq 46,50$

Quelle: eigene Darstellung

Im Allgemeinen kann für die Umsetzung von Handlungsempfehlungen zum Zweck der CO_2 -Speicherung in Erwägung gezogen werden, Gehölze in Agroforstsystemen über einen längeren Zeitraum als ursprünglich vorgesehen, zu belassen, um deren Potenzial zur Speicherung von CO_2 zu maximieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass das Wachstum vieler Baumarten ab einem gewissen Alter stagniert, wodurch deren Effektivität zur CO_2 -Speicherung beeinflusst wird, da diese unmittelbar mit der Bildung von Biomasse zusammenhängt. Die Umsetzung von Handlungsempfehlungen ist außerdem mit den festgesetzten Zielstellungen

in Einklang zu bringen. Beispielsweise verbleiben Energiehölzer maximal 20 Jahre auf der Fläche, wodurch ihre rechtliche Standzeit nicht verlängert werden kann. Ein neues Austreiben solcher Gehölze nach der Ernte sollte jedoch auch in Betracht gezogen werden.

Ergibt sich ein niedriges CO₂-Speicherpotenzial für ein Gehölz, so sollte abgewogen werden, ob dieses durch eine andere Gehölzart ersetzt werden kann oder ob die Verlängerung der Standzeit, unter Vereinbarung der Zielstellungen, erfolgen kann. Bei einem hohen CO₂-Speicherungsvermögen sind keine weiteren Optimierungsmaßnahmen erforderlich. Das bestehende System sollte lediglich fachgerecht gepflegt werden, um das Erreichen der BHD und der Standzeit für die Gehölze zu gewährleisten.

4.5.2.5 Berechnung des CO₂-Speicherpotenzials am Praxisbeispiel

Zu Beginn der Berechnung wurden die Brusthöhendurchmesser (BHD) in der Einheit cm sowie die vorgesehenen Standjahre der jeweiligen Bäume anhand des Abschnittes 4.3.2 Erstellung eines Flächenplans am Praxisbeispiel festgelegt. Für die Sträucher erfolgt eine Entnahme der BHD in der Einheit cm aus der Gehölzartenliste unter Punkt 4.2.2 Erstellung der Gehölzartenliste am Praxisbeispiel. Da im Fall der Gemeinen Berberitze kein spezifischer BHD-Wert definiert wurde, wird für diese ein pauschaler Mittelwert aus den anderen ausgewählten Straucharten gebildet, um die Berechnung zu ermöglichen.

Tabelle 21 fasst die Parameter der Hiebsreife beziehungsweise der Umtriebszeit sowie der angestrebten BHD übersichtlich zusammen.

Tabelle 21: Standzeit und BHD der Gehölze des Praxisbeispiels

Dt. Bezeichnung	Bot. Bezeichnung	Hiebsreife/ Umtriebszeit [Jahren]	BHD [cm]
Laubbäume			
Feld-Ahorn	Acer campestre	120	60
Gemeine Hainbuche	Carpinus betulus	50	50
Wild-Apfel	Malus sylvestris	50	50
Wild-Kirsche	Prunus avium	50	50
Wild-Birne	Pyrus pyraeaster	50	50
Trauben-Eiche	Quercus petraea	80	70

Speierling	Sorbus domestica	80	80
Nadelbäume			
Europäische Lärche	Larix decidua	120	60
Sträucher			
Gemeine Berberitze	Berberis vulgaris	20	15
Kornelkirsche	Cornus mas	20	20
Gemeine Hasel	Corylus avellana	20	20
Eingriffeliger Weißdorn	Crataegus monogyna	20	10
Schlehe	Prunus spinosa	20	10

Quelle: eigene Darstellung

Basierend auf den festgehaltenen Parametern kann nun mit der Berechnung der oberirdischen Biomasse begonnen werden. Der Speierling erreichte dabei den höchsten Wert der oberirdischen Biomasse mit 4.287,01 kg, während sämtliche Straucharten Biomassen von unter 180,00 kg aufwiesen. Das Verhältnis der Grobwurzeln zur oberirdischen Biomasse betrug bei allen Laubbäumen und Nadelbäumen etwa 20 %, während der Anteil der Feinwurzeln lediglich 1 % betrug. Die verwendeten Sträucher befanden sich dagegen in einem tendenziell höheren Bereich von bis zu 22 % Grobwurzelanteil an der Biomasse sowie einem Feinwurzelanteil von bis zu 3 %. Die unterirdische Biomasse zeigte eine ähnliche Verteilung wie die oberirdische Biomasse auf. Während der Speierling mit 886,50 kg die höchste Masse aufwies, verblieben die Sträucher bei Werten unter 40 kg. Die Gesamtbiomasse der Gehölze bewegte sich bei den Laub- und Nadelbäumen in einem Intervall von 1.671,85 kg bis 5.173,17 kg, während die Sträucher in einem Intervall von 35,25 kg bis 107,64 kg verblieben.

Anschließend erfolgte die Umrechnung der Gesamtbiomasse zunächst in den reinen Kohlenstoff-Gehalt und anschließend in das CO₂-Speicherpotenzial der Gehölze. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, wurde das CO₂ zuletzt auf die unterschiedlichen Standjahre der Gehölze normiert. Dabei stellte sich heraus, dass der Speierling mit 118,55 kg CO₂ pro Standjahr das höchste Speicherpotenzial aufwies. Insgesamt variierte das Intervall der Laub- und Nadelbäume zwischen 31,89 kg CO₂ bis 118,55 kg CO₂ pro Standjahr, während sich die Straucharten in ihren Werten zwischen 3,23 kg CO₂ bis 19,75 kg CO₂ pro Standjahr vergleichsweise geringere Mengen speichern konnten. Tabelle 22 zeigt die Biomasse-Werte und letztendlich das CO₂-Speicherpotenzial der verwendeten Baumarten im Praxisbeispiel detailliert auf.

Tabelle 22: Berechnungen zur Ermittlung des CO₂-Speicherpotenzials von Gehölzen pro Standjahr im Praxisbeispiel

Dt. Bezeichnung	Bot. Bezeichnung	Biomasse _{oben} [kg]	Verhältnis Grobwurzel	Verhältnis Feinwurzel	Biomasse _{unten} [kg]	Biomasse _{gesamt} [kg]	C _{Gehalt} [kg]	CO ₂ [kg]	CO ₂ pro Standjahr
Laubbäume									
Feld-Ahorn	Acer campestre	2.544,60	20%	1%	534,66	3.079,26	1.538,09	5.644,80	47,04
Gemeine Hainbuche	Carpinus betulus	1.683,00	20%	1%	357,46	2.040,46	1.019,21	3.740,51	74,81
Wild-Apfel	Malus sylvestris	1.378,96	20%	1%	292,89	1.671,85	835,09	3.064,77	61,30
Wild-Kirsche	Prunus avium	1.647,24	20%	1%	349,87	1.997,11	997,56	3.661,03	73,22
Wild-Birne	Pyrus pyraster	1.647,24	20%	1%	349,87	1.997,11	997,56	3.661,03	73,22
Trauben-Eiche	Quercus petraea	1.964,89	20%	1%	409,27	2.374,16	1.185,89	4.352,23	54,40
Speierling	Sorbus domestica	4.287,01	20%	1%	886,50	5.173,51	2.584,17	9.483,90	118,55
Nadelbäume									
Europäische Lärche	Larix decidua	1.745,93	20%	1%	366,84	2.112,77	1.042,65	3.826,53	31,89
Sträucher									
Gemeine Berberitze	Berberis vulgaris	68,27	21%	2%	15,89	84,15	42,08	154,42	7,72
Kornelkirsche	Cornus mas	151,08	21%	2%	34,26	185,34	92,67	340,10	17,00
Gemeine Hasel	Corylus avellana	175,49	21%	2%	39,80	215,28	107,64	395,05	19,75
Eingriffeliger Weißdorn	Crataegus monogyna	28,36	22%	3%	6,89	35,25	17,62	64,68	3,23
Schlehe	Prunus spinosa	28,36	22%	3%	6,89	35,25	17,62	64,68	3,23

Quelle: eigene Darstellung

Die berechneten Werte über das CO₂-Speicherpotenzial der Gehölze im Praxisbeispiel zeigen, dass alle verwendeten Laubbäume eine hohe und alle Nadelbäume eine mittlere CO₂-Speicherung aufweisen. Die geplanten Sträucher zeigten dagegen lediglich eine niedrige Speicherkapazität.

Ein Handlungsbedarf für das Agroforstsystem des Praxisbeispiels kann nicht festgestellt werden. Die Laub- und Nadelbäume weisen bereits ein erhebliches Potenzial zur CO₂-Speicherung auf, weshalb eine Anpassung voraussichtlich keinen nennenswerten Mehrwert bietet. Auch bei den Sträuchern besteht kein Handlungsbedarf, da diese im Kontext der Energiehölzer bereits mit ihrer maximalen Standzeit und somit ihrem endgültigen BHD berechnet wurden.

4.6 Ökonomische Leistungen von Agroforstsystemen

4.6.1 Vorgehen bei der Ermittlung der ökonomischen Kennwerte

Für die ökonomische Bewertung eines Agroforstsystems sind zahlreiche Parameter zu berücksichtigen. Zunächst erfolgt die Erfassung aller verursachten Kosten zur Etablierung und anfallenden Kosten über den Standzeitraum des Systems.

Im nachfolgenden Unterpunkt werden die Daten aus V. Schulz et al. (2020: S. 31 ff.) als Grundlage zur Erstellung der ökonomischen Bewertung verwendet. Neben den Kosten für das Pflanzmaterial selbst sind hierbei auch Aufwendungen für Werkzeuge wie Spaten oder Erdbohrer sowie diverse Schutzmaterialien einzubeziehen. Zudem müssen die erforderlichen Arbeitsaufwände für die Durchführung der Pflanzung kalkuliert werden. Im Anschluss sind die Kosten für die Bewässerung des Systems zu ermitteln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eine initiale Verschlämmung der Pflanzen empfohlen wird. Zusätzlich ist eine bedarfsgerechte Bewässerung in Trockenphasen, insbesondere in den ersten Jahren der Etablierung essenziell. Die Intensität der Bewässerungsmaßnahmen ist standortspezifisch anzupassen, wobei auch hier der entsprechende Arbeitsaufwand einzukalkulieren ist. Darüber hinaus werden die entstehenden Pflegemaßnahmen im System erfasst und analysiert. Diese umfassen primär die Regulierung des Begleitwuchses sowie notwendige Schnittmaßnahmen an den Bäumen. Zudem erfordert die Pflege der Grünlandflächen unterhalb der Gehölze Maßnahmen, wie beispielsweise das Mulchen. Auch hier sind entsprechende Arbeitskosten zu berücksichtigen. Die Ernte der Gehölze erfolgt nach den individuellen Gegebenheiten und den Zielstellungen des Betriebs. Bei Flächen unter 1 ha wird aus ökonomischen Gründen eine motormanuelle Fällung von Bäumen, etwa mittels Motorsäge, empfohlen. Zudem sind die Kosten für den Einsatz weiterer Maschinen, wie Traktoren oder Holzhäckseln, zu

veranschlagen. Ebenso müssen die Arbeitsaufwände für die Ernteprozesse berücksichtigt und entsprechend entlohnt werden. Im Falle einer Fruchternte sind außerdem zusätzliche Materialkosten für Erntewerkzeuge, wie Scheren, Körbe oder Leitern einzuplanen. Zuletzt werden die errechneten Kosten zu den Gesamtkosten addiert. Abbildung 15 zeigt die einzelnen Schritte der Kostenermittlung übersichtlich auf.

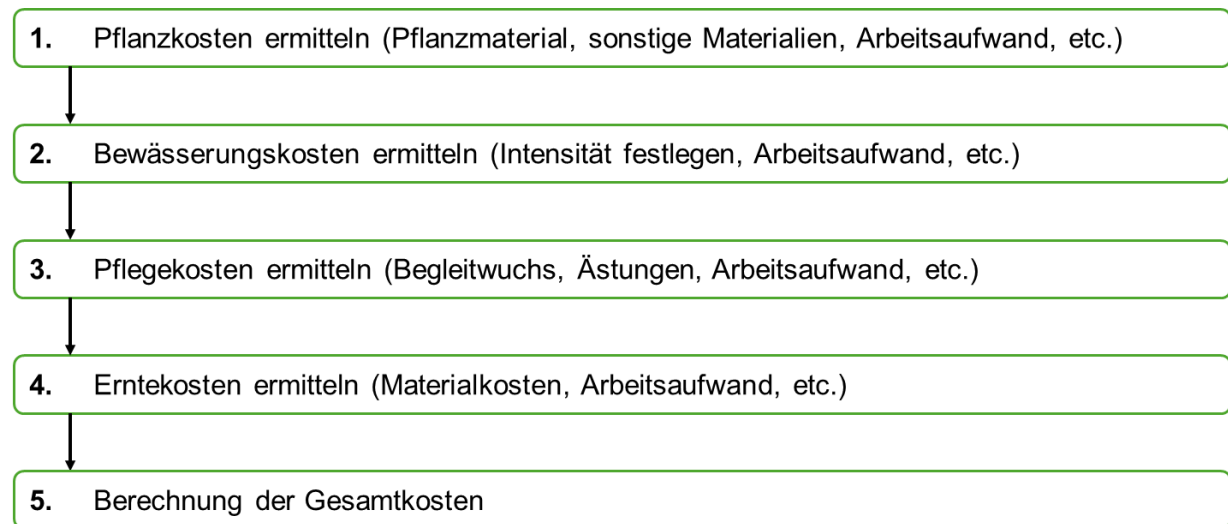


Abbildung 15: Vorgehen bei der Ermittlung der anfallenden Kosten in einem Agroforstsystem

Quelle: eigene Darstellung

Richtwerte für die fundamentalen Arbeitszeitaufwendungen der verschiedenen Maßnahmen, wie die Pflanzung, Pflege oder Ernte, eines Agroforstsystems werden in Tabelle 23 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 23: Richtwerte für die Arbeitszeitaufwendungen in Agroforstsystemen

	Standjahr	Tätigkeit/ eingesetztes Material	benötigte Arbeitszeit [min/ Gehölz]
Pflanzung	0	Pflanzmaterial	20,00
		Spaten/ Erdbohrer/ etc.	
		Schutz für Wurzelballen	
		Schutzhülle inkl. Pflanzstab	
Pflege	1	Begleitwuchsregulierung	5,00
	2	Begleitwuchsregulierung	5,00
	3	Begleitwuchsregulierung	5,00
	1 bis 3	2 Ästungen je 5 min	10,00
	4 bis 7	2 Ästungen je 10 min	20,00
	8 bis 15	3 Ästungen je 15 min	45,00
Bewässerung	Jahr 0 bis 3	Verschlämmung	2,00
		Bewässerung Trockenheit	2,00
Ernte	Individuell	Motorsäge/ Häcksler/ per Hand sammeln	120,00
		Schlepper	
		Arbeitszeit Ernte	
Monitoring	Jährlich	Überprüfen der Pflanzen	1,00

Quelle: in Anlehnung an (V. Schulz et al., 2020: S. 32)

Der Erlös in Agroforstsystemen resultiert aus den spezifischen Zielstellungen und Produktionszielen des Betriebs. In der Wertholzproduktion wird der Erlös maßgeblich durch die erntbare Stammlänge bestimmt. Ein vergleichbares Prinzip gilt für Energiehölzer, bei denen der erzielbare Erlös von der gebildeten Holzmasse abhängt. Im Fruchtanbau erfolgt die Kalkulation entsprechend auf Basis der geernteten Fruchtmengen. Alle Produktionszweige unterliegen den Schwankungen der aktuellen Marktpreise. Während Holz über einen längeren Zeitraum vermarktet werden kann, wodurch potenziell vorteilhaftere Preise erzielt werden können (Staatsbetrieb Sachsenforst, o. J.), unterliegen Früchte aufgrund ihrer begrenzten Lagerfähigkeit einem erhöhten Verkaufsdruck (Bayerischer Landesverband für Gartenbau und Landespflege e. V., o. J.).

Der erwirtschaftete Gewinn eines Agroforstsystems lässt sich zuletzt über die folgende Formel vereinfacht ermitteln.

$$\text{Gewinn [€]} = \text{Erlös [€]} - \text{Kosten [€]}$$

[10]

Quelle: eigene Darstellung

4.6.2 Handlungsempfehlungen anhand des ökonomischen Kennwerts „Gewinn“

Je nach Zielstellung des Betriebs kann der errechnete Gewinn eines Agroforstsystems zu unterschiedlichen Maßnahmen führen.

Agroforstsysteme, die ihren Fokus primär auf ökologische Aspekte ausrichten und nur eine untergeordnete ökonomische Zielstellung verfolgen, können auch mit negativen Gewinnen operieren, sofern dies mit dem Gesamtkonzept tragbar ist. In solchen Fällen sollte geprüft werden, ob zusätzliche Fördermöglichkeiten oder alternative Einkommensquellen genutzt werden können, um die langfristige Tragfähigkeit des Systems zu sichern. Falls positive Gewinne erzielt werden, könnten diese gezielt für die ökologische Optimierung eingesetzt werden beispielsweise durch biodiversitätsfördernde Maßnahmen wie zusätzliche Schutzmaßnahmen oder den Anbau seltenerer und somit oftmals teurerer Gehölzarten.

Für Agroforstsysteme mit einer wirtschaftlichen Zielstellung ist es essenziell, dass das System langfristig positive Gewinne erwirtschaftet. Falls negative Gewinne auftreten, sollte eine Analyse der Kostenstruktur und Ertragsquellen erfolgen. Mögliche Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit könnten sein:

- Die Optimierung der Bewirtschaftungsstrategie, beispielsweise durch Anpassung der Gehölzartenwahl, der Pflanzabstände oder der Anbautechniken.
- Die Reduzierung von Betriebskosten, etwa durch effizientere Maschinen- und Ressourcennutzung oder Synergieeffekte mit anderen Betriebszweigen.
- Die Erschließung neuer Einkommensquellen wie die Direktvermarktung oder die Inanspruchnahme von Förderprogrammen.

Unabhängig von der wirtschaftlichen Ausrichtung des Agroforstsystems sollte regelmäßig eine betriebswirtschaftliche Bewertung erfolgen. Dadurch können frühzeitig wirtschaftliche Fehlentwicklungen erkannt und Anpassungen vorgenommen werden. Zudem können Synergien zwischen ökologischen und ökonomischen Zielen identifiziert werden, um eine nachhaltige Bewirtschaftung sicherzustellen.

Die soziale Komponente wird in dieser wirtschaftlichen Betrachtung zunächst nicht weiter berücksichtigt, könnte jedoch in einem erweiterten Kontext, etwa hinsichtlich eines erhöhten

Arbeitsaufwandes durch Kooperationen mit sozialen Einrichtungen oder die Einstellung einer zusätzlichen Arbeitskraft gleichermaßen eine Rolle spielen.

4.6.3 Anwendung des ökonomischen Vorgehens am Praxisbeispiel

Zur Ermittlung der ökonomischen Kennwerte des Praxisbeispiels wird zunächst eine detaillierte Erfassung der anfallenden Kosten durchgeführt. Anschließend wird der potenzielle Erlös des Systems ermittelt, um den Gewinn feststellen zu können.

Um eine möglichst klare und nachvollziehbare Kalkulation zu gewährleisten, erfolgt keine weitere Differenzierung in die einzelnen Standjahre der Gehölze. Stattdessen wird eine vereinfachte Betrachtung über den gesamten Zeitraum gewählt, um die aggregierten Kosten und Erlöse entsprechend darzustellen. Für das System des Praxisbeispiels werden insgesamt 120 Standjahre angesetzt. Zudem wird in der Berechnung eine Arbeitskraft berücksichtigt, die für die Durchführung der anfallenden Tätigkeiten eingeplant wird. Dadurch können die allgemeinen Personalkosten in die Analyse einbezogen werden, um eine realistische Einschätzung der dort anfallenden Kosten zu ermöglichen.

Materialkosten für die Pflanzung

Zu Beginn erfolgte die Kalkulation der Kosten, die im Rahmen der Gehölzpflanzung anfallen. Hierzu wurden zunächst die endgültigen Stückzahlen der jeweiligen Gehölze erfasst. Dabei war zu beachten, dass alle Bäume in Dreier-Gruppen gepflanzt werden, während die Sträucher jeweils einzeln eingesetzt werden. Daraus ergab sich eine Gesamtstückzahl von 120 Gehölzen (48 Bäumen, 72 Sträucher). Anschließend wurden aktuelle Stückpreise für die jeweiligen Gehölze recherchiert und mit den Zielanzahlen der einzelnen Gehölzarten verrechnet, um die Gesamtkosten für das Pflanzmaterial zu erhalten. Das Pflanzmaterial belief sich auf insgesamt 453,00 €. Außerdem wurden Materialkosten für die Verwendung von zwei Spaten (19,99 €/ Spaten) zur Aushebung der Pflanzlöcher berücksichtigt. Neben den Pflanzmaterialkosten mussten auch Schutzmaterialien einbezogen werden. Aufgrund des in der Region vorherrschenden Wilddrucks durch Mäuse und Rehwild, war der Einsatz von Wühlmauskörben (10,47 €/ Stück) als auch die Verwendung einer Schutzhülle inklusive Pflanzstäben und Kokosgarn (7,90 €/ Stück) zur Befestigung der jungen Bäume notwendig. Die Schutzmaßnahmen wurden ausschließlich für die Bäume mit dem Ziel der Wertholzproduktion vorgesehen. Die Sträucher erhielten keinen zusätzlichen Schutz. Bei der Wahl der Schutzhülle und des Wurzelschutzes wurde darauf geachtet, dass diese biologisch

abbaubar sind, um die Umweltbelastungen möglichst zu minimieren. Dies wirkt ergänzend zur Zielstellung des Praxisbetriebs im Bereich der ökologischen Leistungen von Agroforstsystemen. Die Schutzmaßnahmen beliefen sich insgesamt auf 869,78 € für alle Gehölze. Zusätzlich wurden auch die Kosten für die benötigte Arbeitszeit berechnet. Für Bäume wurde eine Arbeitszeit von 20,00 Minuten und für Sträucher eine Arbeitszeit von 10,00 Minuten festgelegt, woraus sich eine Gesamtarbeitszeit von 28,00 Stunden für die Pflanzung ergibt. Anhand des derzeitigen Mindestlohns von 12,82 € (Statistisches Bundesamt, 2025) betrugen die Kosten für die Arbeitszeit 358,96 €.

Tabelle 24 zeigt eine detaillierte Übersicht über die Kosten für die Pflanzung und die zu entlohnende Arbeitszeit

Tabelle 24: Pflanzungskosten im Praxisbeispiel

				Pflanzmaterial		sonstige Materialkosten			Kosten für Arbeitszeit (AZ)			
Gehölz	Zielanzahl [Stück]	Verband [Stück]	Stückzahl [Stück]	Pro Gehölz [€/ Stück]	Gesamt [€]	Spaten [€]	Wurzel- schutz [€]	Schutzhülle inkl. Stab & Strick [€]	Pro Baum [min]	Pro Strauch [min]	AZ gesamt [h]	AZ gesamt [€]
Laubbäume												
Feldahorn	2	3	6	3,69	22,14	2,00	62,82	45,90	-	-	-	-
Gemeine Hainbuche	2	3	6	3,49	20,94	2,00	62,82	45,90	-	-	-	-
Wild-Apfel	2	3	6	3,49	20,94	2,00	62,82	45,90	-	-	-	-
Wild-Kirsche	2	3	6	6,99	41,94	2,00	62,82	45,90	-	-	-	-
Wild-Birne	2	3	6	3,49	20,94	2,00	62,82	45,90	-	-	-	-
Trauben-Eiche	2	3	6	5,99	35,94	2,00	62,82	45,90	-	-	-	-
Speierling	2	3	6	6,99	41,94	2,00	62,82	45,90	-	-	-	-
Nadelbäume												
Europäische Lärche	2	3	6	2,99	17,94	2,00	62,82	45,90	-	-	-	-
Sträucher												
Gemeine Berberitze	10	1	10	4,99	49,90	3,33	-	-	-	-	-	-
Kornelkirsche	10	1	10	5,29	52,90	3,33	-	-	-	-	-	-
Gemeine Hasel	20	1	20	2,79	55,80	6,66	-	-	-	-	-	-
Eingriffeliger Weißdorn	16	1	16	1,99	31,84	5,33	-	-	-	-	-	-
Schlehe	16	1	16	2,49	39,84	5,33	-	-	-	-	-	-
Arbeitsaufwand									20,00	10,00	28,00	358,96
Σ			120		453,00	39,98	502,56	367,22				358,96

				Pflanzmaterial		sonstige Materialkosten			Kosten für Arbeitszeit (AZ)			
Gehölz	Zielanzahl [Stück]	Verband [Stück]	Stückzahl [Stück]	Pro Gehölz [€/ Stück]	Gesamt [€]	Spaten [€]	Wurzel- schutz [€]	Schutzhülle inkl. Stab & Strick [€]	Pro Baum [min]	Pro Strauch [min]	AZ gesamt [h]	AZ gesamt [€]
Σ			120		453,00	39,98	502,56	367,22				358,96
											Gesamt	1.721,72 €

Quelle: (BayWa, 2025; GRUBE.de, 2025; OBI, 2025; pflanzmich.de, 2025a, 2025b, 2025c, 2025d, 2025e, 2025f, 2025g, 2025h, 2025i, 2025j, 2025k, 2025l, 2025m; V. Schulz et al., 2020: S. 31 f.; Statistisches Bundesamt, 2025)

Bewässerung

Die Bewässerung der Gehölze erfolgt grundlegend einmal zur Pflanzung im Rahmen der Verschlämmung sowie bedarfsabhängig während Trockenperioden, insbesondere in der frühen Etablierungsphase. Zur Berechnung des Wasserbedarfs der Gehölze wurden pauschal drei Bewässerungsvorgänge im Jahr über die ersten drei Standjahre berücksichtigt, da der Standort der Praxisfläche als trocken einzustufen ist. Der Wasserverbrauch pro Baum betrug 50,00 l je Bewässerung und für die Sträucher eine Menge von 20,00 l je Bewässerung. Die Kosten pro Liter Wasser belaufen sich derzeit auf 0,0018 € pro Liter im Landkreis Anhalt-Bitterfeld (Stadtwerke Bitterfeld-Wolfen GmbH, 2025). Unter Einbeziehung dieser Parameter ergaben sich Gesamtkosten für die Bewässerung der Gehölze in Höhe von 76,03 €. Zusätzlich musste auch die nötige Arbeitszeit zur Bewässerung einkalkuliert werden. Für alle Gehölze und Vorgänge wurde dabei eine Arbeitszeit von 2,00 Minuten eingeplant. Anhand des gesetzlichen Mindestlohns ergab sich ein Kostenaufwand von 512,80 €. Tabelle 25 stellt dies übersichtlich dar.

Tabelle 25: Bewässerungskosten im Praxisbeispiel

		Bewässerungskosten				Kosten für Arbeitszeit (AZ)			
Maßnahme	Anzahl Bewässerungen	Menge [l/Gehölz]	Menge gesamt [l]	Wasser [€/l]	Bewässerung [€]	pro Baum [min]	pro Strauch [min]	AZ gesamt [h]	AZ [€]
Verschlämmen Bäume	1	50,00	2.400,00	0,0018	4,32	2,00	-	1,60	20,51
Verschlämmen Sträucher	1	20,00	1.440,00	0,0018	2,59	-	2,00	2,40	30,77
Bewässerung bei Trockenheit Bäume	9	50,00	2.400,00	0,0018	38,88	2,00	-	1,60	184,61
Bewässerung bei Trockenheit Sträucher	9	20,00	1.440,00	0,0018	23,33	-	2,00	2,40	276,91
Σ					69,12				512,80
								Gesamt	581,92 €

Quelle: (V. Schulz et al., 2020: S. 32; Stadtwerke Bitterfeld-Wolfen GmbH, 2025; Statistisches Bundesamt, 2025; Wrede et al., 2019)

Pflege

Die Pflegemaßnahmen der Praxisfläche beginnen mit der Etablierung der Pflanzen. In den ersten drei Standjahren erfolgte eine gezielte Begleitwuchsregulierung zur Reduktion des Konkurrenzdrucks. Dabei konnte mit einem Materialaufwand von 2,52 € pro Gehölz im Jahr kalkuliert werden. Die Ästung der Bäume erfolgt in den Jahren 1 bis 15, wobei grundlegend alle Individuen innerhalb der Dreier-Gruppen diesem Prozess unterzogen werden. Sollte sich jedoch bereits frühzeitig eine mangelnde Eignung eines Baumes als Wertholz abzeichnen, so wird dessen Pflege eingestellt und Kosten gespart. An den Sträuchern wurden keine Ästungen vorgenommen. Da die Gehölze auf einer Grünlandfläche etabliert sind, war zudem eine regelmäßige Pflege des Unterwuchses erforderlich. Im vorliegenden Praxisbeispiel erfolgte dies mittels eines Mulchers, der einmal jährlich die Fläche von 0,33 ha bearbeitet. Dabei fand dies über den maximalen Standzeitraum des Systems von 120 Jahren statt und wurde mit 24,54 € pro Hektar kalkuliert. Für die Beikrautregulierung und die Ästungen wurde für Bäume eine Arbeitszeit von 90,00 Minuten und für Sträucher von 15,00 Minuten einkalkuliert. Das Mulchen der Praxisfläche veranschlagte 22,00 Minuten pro Jahr. Die Selektion der Wertholzbäume erfolgt spätestens nach 15 Jahren nach der Etablierung, wobei hier einmalig eine Arbeitszeit von 30,00 Minuten einkalkuliert wurde. In einem jährlichen Rhythmus findet das Monitoring der Gehölze statt, welches mit einer Arbeitszeit von 1,00 Minuten pro Gehölz kalkuliert wurde. Anhand des Mindestlohns ergab sich ein Pflegekostenarbeitsaufwand von 2.963,98 €. Tabelle 26 zeigt die berechneten Werte.

Tabelle 26: Pflegekosten des Praxisbeispiels

						Kosten für Arbeitszeit (AZ)			
Gehölz	Regulierung Begleitwuchs [€/ Gehölz/ Jahr]	Regulierung Begleitwuchs gesamt [€]	Ästung pro Baum [€]	Ästung gesamt [€]	Pflege Unterwuchs [€/ Standzeit]	pro Baum [min]	pro Strauch [min]	AZ gesamt [h]	AZ [€]
Laubbäume	2,52	317,52	37,80	1.738,80	-	90,00	-	72,00	923,04
Nadelbäume	2,52	45,36	37,80	75,60	-	90,00	-	72,00	923,04
Sträucher	2,52	544,32	-	-	-	-	15,00	18,00	230,76
Pflege Unterwuchs	-	-	-	-	971,78	22,00		44,00	564,08
Selektion Werthölzer	-	-	-	-	-	30,00	-	24,00	307,68
Monitoring	-	-	-	-	-	1,00	1,00	1,20	15,38
Σ		907,20		1.814,40	971,78				2.963,98
								Gesamt	6.657,37 €

Quelle: (finanz-tools.de, 2025; Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft, o. J.; V. Schulz et al., 2020: S. 32; Statistisches Bundesamt, 2025)

Ernte

Auf der Praxisfläche erfolgt eine motormanuelle Fällung aller Gehölze, da diese eine Größe von unter 1 ha aufweist. Die entsprechende Motorsäge war bereits im Betrieb vorhanden und musste nicht ausgeliehen oder gekauft werden. Für den Einsatz der Motorsäge wurden 6,00 € pro Gehölz an Sprit- und Verschleißkosten berechnet, was einen gesamten Materialaufwand von 528,00 € ergab. Für den Einsatz eines Traktors zur Durchführung verschiedener Aufgaben, wie beispielsweise dem Transport, wurden Kosten in Höhe von 30,24 € pro Gehölz zugeschrieben, woraus sich Traktorkosten von 1.330,56 € ergeben. Sowohl bei den Bäumen als auch bei den Sträuchern fällt Holzbrennmasse an, aus der Hackschnitzel hergestellt werden sollen. Daher war der Einsatz eines Holzhäckslers in die Kalkulation mit einzubeziehen. Dieser wurde mit einem Wert von 40,00 € pro Gehölz kalkuliert und ergab Kosten von insgesamt 3.520,00 €. Für den Arbeitsaufwand wurde eine Zeit von 120,00 Minuten für alle Gehölze angesetzt, woraus sich Arbeitskosten von 2.256,32 € ergeben bei Verwendung des Mindestlohns. Insgesamt konnte ein Erntekostenaufwand von 7.634,88 € festgehalten werden. Tabelle 27 stellt die errechneten Werte detailliert dar.

Tabelle 27: Erntekosten des Praxisbeispiels

		Maschinenkosten			Kosten für Arbeitszeit (AZ)			
Gehölz	Zielanzahl [Stück]	Motorsäge ¹ [€]	Traktor ² [€]	Holzhäcksler ³ [€]	pro Baum [min]	pro Strauch [min]	AZ gesamt [h]	AZ [€]
Laubbäume	14	84,00	211,68	560,00	120,00	-	28,00	358,96
Nadelbäume	2	12,00	30,24	80,00	120,00	-	4,00	51,28
Sträucher	72	432,00	1.088,64	2.880,00	-	120,00	144,00	1.846,08
Σ		528,00	1.330,56	3.520,00				2.256,32
							Gesamt	7.634,88 €

¹ Preisannahme: 6,00 €/ Gehölz (V. Schulz et al., 2020: S. 32)

² Preisannahme: 30,24 €/ Gehölz (V. Schulz et al., 2020: S. 32)

³ Preisannahme: 40,00 €/ Gehölz (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2024: S. 30)

Quelle: (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2024: S. 30; V. Schulz et al., 2020: S. 32; Statistisches Bundesamt, 2025)

Holzerlös

Der Holzerlös des Agroforstsystems setzte sich im Praxisbeispiel aus den Wertholzstämmen sowie der Hackschnitzelproduktion aus den Holzresten der Wertholzbäume und der Sträucher zusammen. Ein monetärer Vorteil aus den Früchten der Bäume wird nicht angestrebt, da diese in sozialer Hinsicht genutzt werden sollen. Innerhalb des Praxisbeispiels wird eine Differenzierung in das Best-Case- und das Worst-Case-Szenario vorgenommen. Das Best-Case-Szenario basiert auf einem Agroforstsystem das optimal gewachsen ist und hinsichtlich der Qualitäten der Werthölzer sowie der produzierten Biomasse der Sträucher maximale Erträge erzielt. Dagegen wird im Worst-Case-Szenario von einem System ausgegangen, dass zwar die Zielvorgaben hinsichtlich BHD und Stammlängen erreicht, jedoch eine geringe Holzqualität aufweist, sodass diese Hölzer nur als Scheitholz vermarktet werden können beziehungsweise die weiteren Holzreste der Bäume als Hackschnitzel. Auch bei den Sträuchern wird die gewünschte Biomasseproduktion nicht erreicht und innerhalb der Berechnungen pauschal um 50,00 % reduziert.

Die angestrebten Stammlängen bewegten sich im Best-Case-Szenario, also dem günstigsten möglichen Verlauf des Agroforstsystems, einem Intervall von 3,50 m bis 7,00 m bei Preisen von 113,00 € pro fm bis 1.457,00 € pro fm. Anhand dieser Parameter ließ sich ein Wertholzerlös von 70.329,00 € ermitteln. Für die gesamten Heckenstreifen wurde die Menge der entstehenden Hackschnitzel auf 20,00 srm festgelegt. Bei einem Hackschnitzelpreis von 28,46 € pro srm ergab sich aus der Hecke ein Holzerlös von 569,27 €. Pro gefällttem Baum wurden pauschal 132,00 € als Hackschnitzelerlös festgehalten, woraus sich schlussendlich ein Gesamterlös aus den Hackschnitzeln von 2.681,27 € ergab. Aus dem angelegten Agroforstsystem konnte so im Best-Case-Szenario ein Gesamterlös von 73.010,27 € erwirtschaftet werden, wie Tabelle 28 zusammenfassend darstellt.

Tabelle 28: Holzerlöse des Praxisbeispiels im Best-Case-Szenario

Gehölz	Zielanzahl [Stück]	angestrebte Stammlänge [fm]	Preis [€/fm]	Erlös Wertholz [€]	Menge Hackschnitzel [srm]	Preis Hackschnitzel [€/ srm]	Erlös Hackschnitzel [€]
Laubbäume							
Feldahorn	2	7,00	769,50	10.773,00	-	-	264,00
Gemeine Hainbuche	2	7,00	515,00	7.210,00	-	-	264,00
Wild-Apfel	2	3,50	113,00	791,00	-	-	264,00
Wild-Kirsche	2	3,50	270,00	1.890,00	-	-	264,00
Wild-Birne	2	6,50	303,00	3.939,00	-	-	264,00
Trauben-Eiche	2	7,00	1.457,00	20.398,00	-	-	264,00
Speierling	2	7,50	1.250,00	18.750,00	-	-	264,00
Nadelbäume							
Europäische Lärche	2	6,50	506,00	6.578,00	-	-	264,00
Sträucher					20,00	28,46	569,27
Summe				70.329,00			2.681,27
						Gesamt	73.010,27 €

Quelle: (Jäger, 2017: S. 30; Landmann & Plaas, 2024; Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2024: S. 29; Luick & Vonhoff, 2010: S. 10; Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt, 2016; Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, 2021; V. Schulz et al., 2020: S. 33; WBV-Holzkirchen, 2024)

Der Holzerlös des Agroforstsystems im Worst-Case-Szenario, also einem suboptimalen Verlauf des geplanten Agroforstsystems, ergab sich aus der Scheitholz- und Hackschnitzelproduktion, da die Qualität der Wertholzstämmen nicht ausreichte, um diese gewinnbringend als Wertholz zu vermarkten. Ein monetärer Vorteil aus den Früchten der Bäume wird in diesem Szenario ebenfalls nicht beabsichtigt. Die angestrebten Stammlängen bewegten sich in einem Intervall von 3,50 m bis 7,00 m. Für die gesamten Heckenstreifen wurde die Menge der entstehenden Hackschnitzel von 20,00 srm aus dem Best-Case-Szenario auf 10,00 srm pauschal reduziert. Bei einem Hackschnitzelpreis von 28,46 € pro srm ergab sich aus der Hecke und den verbleibenden Holzresten der Bäume ein Holzerlös von 2.396,63 € und aus den Bäumen ein Scheitholzerlös von insgesamt 14.000,79 €. Aus dem angelegten Agroforstsystem konnte so im Worst-Case-Szenario ein Gesamterlös von 16.397,42 € erwirtschaftet werden, wie Tabelle 29 zusammenfassend darstellt.

Tabelle 29: Holzerlöse des Praxisbeispiels im Worst-Case-Szenario

Gehölz	Zielanzahl [Stück]	angestrebte Stammlänge [fm]	Menge Hackschnitzel [srm]	Preis Hackschnitzel [€/ srm]	Preis Scheitholz [€/ fm]	Erlös Hackschnitzel [€]	Erlös Scheitholz [€]
Laubbäume							
Feldahorn	2	7,00	-	28,46	149,93	264,00	2.099,00
Gemeine Hainbuche	2	7,00	-	28,46	149,93	264,00	2.099,00
Wild-Apfel	2	3,50	-	28,46	149,93	264,00	1.049,50
Wild-Kirsche	2	3,50	-	28,46	149,93	264,00	1.049,50
Wild-Birne	2	6,50	-	28,46	149,93	264,00	1.949,07
Trauben-Eiche	2	7,00	-	28,46	149,93	264,00	2.099,00
Speierling	2	7,50	-	28,46	149,93	264,00	2.248,93
Nadelbäume							
Europäische Lärche	2	6,50	-	28,46	108,21	264,00	1.406,79
Sträucher			10,00	28,46		284,63	
Summe			143,38			2.396,63	14.000,79
						Gesamt	16.397,42 €

Quelle: (Jäger, 2017; Landmann & Plaas, 2024; Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2024; Lesche, 2025; Luick & Vonnhoff, 2010; Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt, 2016; Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, 2021; V. Schulz et al., 2020; WBV-Holzkirchen, 2024)

Gewinnkalkulation

Aus den vorherigen Kostenpunkten und Holzerlösen kann nun der Gewinn des geplanten Praxisbeispiels bestimmt werden. Dieser beträgt nach der Ernte des letztes Wertholzbaumes im Best-Case-Szenario nach 120 Jahren 56.414,38 €. Im Worst-Case-Szenario kann dagegen nach 120 Standjahren kein Gewinn erwirtschaftet werden und ist mit einem Wert von insgesamt -198,47 € noch im negativen Bereich. Tabelle 30 stellt dies detailliert dar.

Tabelle 30: Gewinnmenge des Praxisbeispiels

	Best-Case-Szenario [€]	Worst-Case-Szenario [€]
Kosten	16.595,88	16.595,88
Pflanzung	1.721,72	1.721,72
Bewässerung	581,92	581,92
Pflege	6.657,37	6.657,37
Ernte	7.634,88	7.634,88
Erlös	73.010,27	16.397,42
Wertholz	70.329,00	-
Energieholz	2.681,27	16.397,42
Gewinn	56.414,38	-198,47

Quelle: eigene Darstellung

Auswertung

Das ökonomische Ziel der Praxisfläche als langfristige Kapitalanlage kann je nach eintretendem Szenario (Best-Case/ Worst-Case) mit dem aktuellen System grundsätzlich erreicht werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die zugrunde gelegte Berechnung einen Betrachtungszeitraum von 120 Jahren umfasst. Die erste Ernte von Energiehölzern erfolgt dabei nach 20 Jahren, die erste Wertholzernte erfolgt nach etwa 50 Jahren, während die letzte Wertholzernte nach 120 Jahren geplant ist. Daher ist es für dieses System wichtig, bei der praktischen Umsetzung die Gewinnverteilung über den gesamten Zeitraum hinweg zu berücksichtigen. Abbildung 16 zeigt den kumulierten Kosten- beziehungsweise Erlösverlauf des Praxisbeispiels.

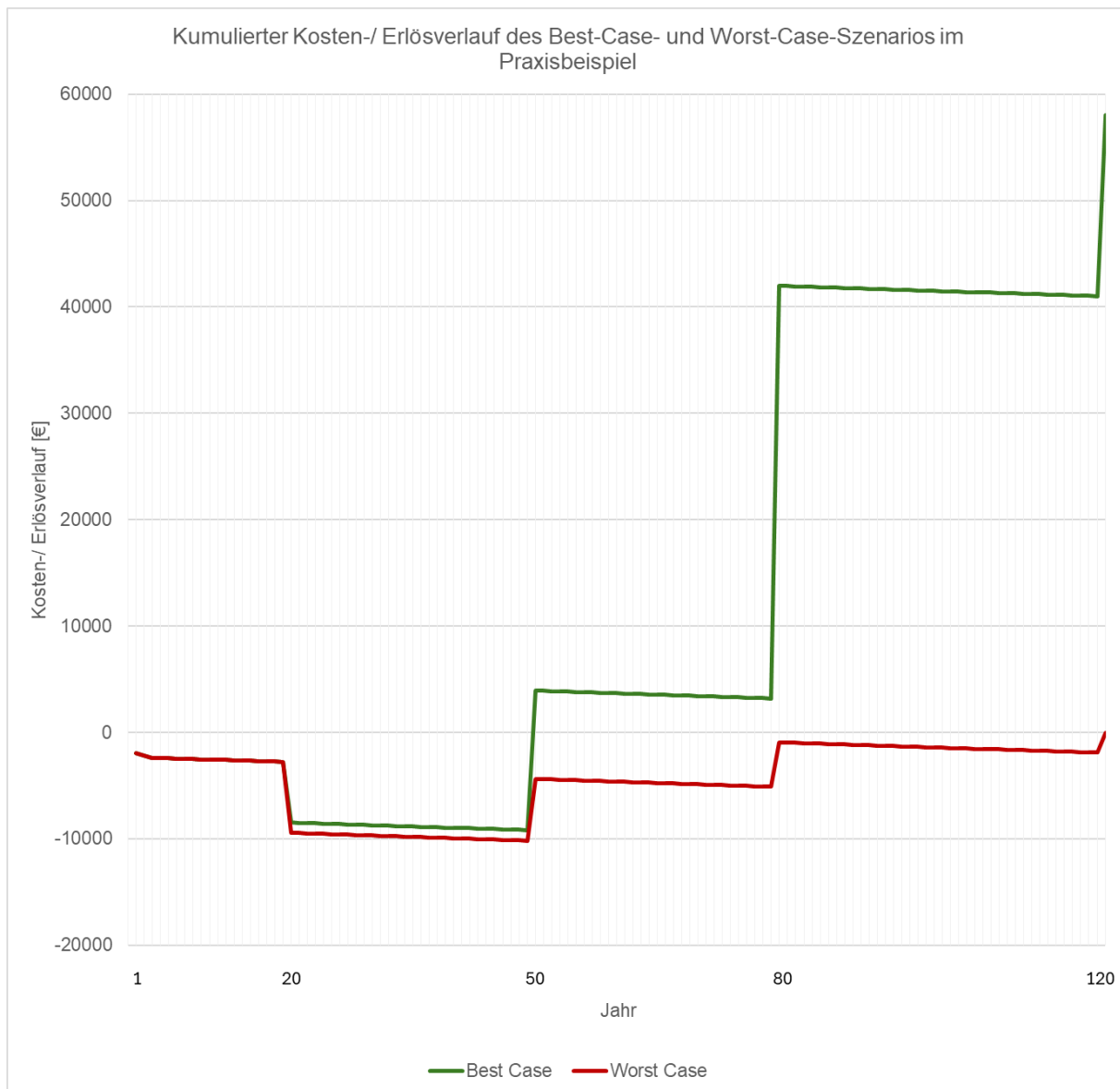


Abbildung 16: Kumulierter Kosten-/ Erlösverlauf des Best-Case- und Worst-Case-Szenarios im Praxisbeispiel

Quelle: eigene Darstellung

Die Abbildung verdeutlicht in beiden Szenarien, dass zu Beginn der Etablierung des Agroforstsystems mit Verlusten, insbesondere in Form von Investitionskosten, zu rechnen ist. Im 20. Standjahr erfolgt die Ernte des Heckenstreifens zur Energieholzgewinnung. Es wird deutlich, dass aus der Hecke kein positiver Deckungsbeitrag generiert werden kann, da die erzielten Erlöse die Investitions- und Erntekosten nicht kompensieren. Durch die anfallenden Pflegekosten in den fortlaufenden Standjahren sinkt der Gewinn weiter. Erst im 50. Standjahr kann ein Anstieg beider Graphen infolge der Wertholzernte erkannt werden. Im Best-Case-Szenario steigt der Graph dabei in den positiven Bereich, weshalb hier von der ersten Gewinnausschüttung des Systems gesprochen werden kann. Im Worst-Case-Szenario ist

lässt sich auch ein Anstieg verzeichnen, dieser verläuft jedoch weiterhin im negativen Bereich. Ähnlich verhält es sich im 80. Standjahr. Im Best-Case-Szenario steigt der Graph exponentiell, was auf die sehr hohen Erlöse zurückzuführen ist. Im Worst-Case-Szenario findet wie im 50. Standjahr nur ein kleinerer Anstieg statt, der jedoch weiterhin im negativen Wertebereich verbleibt. Im letzten Standjahr erfolgt die abschließende Wertholzernte. Auch hier lässt sich im Best-Case-Szenario ein weiterer Anstieg erkennen, der zu positiven Auszahlungen führt. Im Worst-Case-Szenario kann erneut kein Anstieg über den Nullwert verzeichnet werden. Zusammenfassend kann man für das Best-Case-Szenario festhalten, dass es ab dem 50. Standjahr einen positiven Deckungsbeitrag verzeichnen kann mit einem Gewinn von 470,12 € pro Jahr, während das Agroforstsystem im Worst-Case-Szenario keinen Gewinn zur Erreichung eines positiven Deckungsbeitrags beitragen kann, einen jährlichen Verlust von 19,25 € verzeichnet.

Da die gesetzten ökonomischen Ziele mit dem geplanten System durchaus umgesetzt werden können, gibt es keinen akuten Handlungsbedarf für eine Optimierung. Das Risiko des Worst-Case Szenarios sollte jedoch weiterhin beachtet werden, um einen Handlungsbedarf frühzeitig zu erkennen. Der Heckenstreifen stellt im Vergleich zu den Werthölzern eine kürzere Kapitalanlage dar, weshalb er nur teilweise mit den langfristigen ökonomischen Zielsetzungen übereinstimmt. Da die Hecke jedoch das Ziel der Energieholz- und Fruchtproduktion erfüllt, sind keine Anpassungen notwendig. Zudem gibt es keine direkten Konflikte zwischen den ökonomischen sowie ökologischen Zielstellungen des Praxisbeispiels. Der soziale Aspekt des Systems wird an dieser Stelle nicht berücksichtigt, sollte jedoch bei zukünftigen Überlegungen berücksichtigt werden. Wird beispielsweise eine neue Arbeitskraft eingestellt, so kann dies ökonomische Auswirkungen auf die anfallenden Kosten sowie den Gewinn haben.

4.7 Soziale Leistungen von Agroforstsystemen

4.7.1 Anwendungsbeispiele für soziale Aspekte von Agroforstsystemen

Agroforstsysteme weisen neben ökologischen und ökonomischen auch eine Vielzahl an sozialen Aspekten auf, die sich in unterschiedlichen Dimensionen manifestieren können. Im Folgenden werden exemplarisch Möglichkeiten vorgestellt, wie diese sozialen Effekte gezielt angewandt beziehungsweise gefördert werden können, wie Tabelle 31 zeigt. Dabei werden Parameter, wie der erforderliche Arbeitsaufwand, anfallende Kosten sowie der Nutzen für die Gemeinschaft und die Langfristigkeit der Maßnahme berücksichtigt. Die Auswahl der Maßnahmen für die Anwendenden orientiert sich an den definierten Zielstellungen.

Tabelle 31: Anwendungsbeispiele für soziale Aspekte von Agroforstsystemen

Maßnahme	Nutzen für die Gemeinschaft	Kosten	Arbeitsaufwand	Langfristige Wirkung	Beispiel für die Umsetzung
Schaffung von Arbeitsplätzen	Hoch	Hoch	Hoch	Hoch	Anstellung von Arbeitskräften für die Pflege und Ernte
Wissenstransfer und Bildung	Hoch	Mäßig	Mäßig	Hoch	Schulprogramme oder Workshops für Interessierte
Ästhetische Aufwertung	Mäßig	Niedrig	Niedrig	Mäßig bis hoch	Schaffung einer Demonstrationsfläche; Pflanzung grüner/ blühender Gehölze
Regionaler Stoffkreislauf	Mäßig bis hoch	Mäßig	Mäßig	Hoch	Nutzung lokaler Biomasse für Mulch, Kompost oder zur Energiegewinnung
Verwendung heimischer Arten	Mäßig	Niedrig bis mäßig	Niedrig	Hoch	Förderung standortgerechter Gehölze (aus regionalen Baumschulen)
Stärkung der lokalen Gemeinschaft	Hoch	Niedrig	Mäßig	Hoch	Kooperationen mit sozialen Institutionen
Wiederbelebung traditioneller Landnutzungssysteme	Mäßig	Niedrig bis mäßig	Mäßig	Mäßig bis hoch	Nutzung alter Anbauformen, wie Waldweidewirtschaft

Quelle: eigene Darstellung; in Anlehnung an (Bergwaldprojekt e.V., o. J.; Loql, o. J.; V. Schulz et al., 2020; Smith, 2010: S. 13 f.; Umweltinformationszentrum, 2024)

Geringe Kosten sind insbesondere bei Maßnahmen zu erwarten, die nur wenige finanzielle Mittel benötigen, um einen Effekt zu erzeugen. Beispielsweise kann die ästhetische Aufwertung der Umgebung bereits in der Zielstellung und somit in der Planungsphase einkalkuliert werden, wodurch Kosten gespart werden können, also keine signifikanten Zusatzkosten entstehen. Moderate Kosten entstehen beispielsweise bei Maßnahmen wie dem Wissenstransfer, da hierbei Investitionen in Schulungen oder ähnliche Bildungsangebote nötig sind, die jedoch nicht dauerhaft anfallen. Darunter fällt beispielsweise auch die Verwendung heimischer Pflanzenarten, die nur punktuell zu erhöhten Kosten führen können. Hohe Kosten entstehen insbesondere in der Schaffung von Arbeitsplätzen, da hier eine angemessene Entlohnung der Arbeitskräfte sowie gegebenenfalls weitere administrative Maßnahmen einkalkuliert werden müssen.

Ein geringer Arbeitsaufwand ist vor allem bei Maßnahmen gegeben, die nur punktuell eine gezielte Umsetzung erfordern, wie bei der ästhetischen Aufwertung oder der Nutzung heimischer Pflanzenarten. Ein mittleres Maß an Arbeitsaufwand fällt bei Maßnahmen an, die eine kontinuierliche, jedoch keine dauerhafte intensive Betreuung erfordern. Dazu zählen beispielsweise der Wissenstransfer oder die Förderung sozialer Interaktionen mit der Gemeinschaft. Ein hoher Arbeitsaufwand ist insbesondere bei komplexen und zeitintensiven Maßnahmen erforderlich, wie beispielsweise bei der Schaffung von Arbeitsplätzen, die mit einem arbeitstechnischen und auch bürokratischem Aufwand verbunden ist.

Ein moderater Nutzen für die Gemeinschaft ergibt sich beispielsweise aus der ästhetischen Aufwertung der Umgebung, die zwar zur Verbesserung des Landschaftsbildes beiträgt, jedoch nicht essenziell für das soziale Wohl der Gemeinschaft ist. Ein hoher Nutzen ist hingegen bei Maßnahmen zu verzeichnen, die langfristig Einkommen sichern oder soziale Strukturen stärken, da diese entscheidend zur Stabilität und der Gemeinschaft beitragen können.

Einen moderaten Umfang besitzen Maßnahmen einer langfristigen Wirkung, wenn sie einer regelmäßigen Pflege oder Erneuerung bedürfen, um ihre Effekte aufrecht zu erhalten. Eine hohe langfristige Wirkung bei Maßnahmen liegt vor, wenn diese dauerhaft positive Effekte mit sich bringen. Dies trifft beispielsweise auf die Verwendung heimischer Gehölzarten zu, da diese bereits mit ihrer Pflanzung die heimische Fauna unterstützen können und somit die ökologische Stabilität verbessern.

Eine direkte Optimierung anhand mathematischer Parameter der sozialen Aspekte ist aufgrund ihrer Vielschichtigkeit und der zahlreichen Wechselwirkungen mit anderen Faktoren nicht ohne weiteres möglich. Allerdings kann durch die Berücksichtigung und gezielte Einbindung einer möglichst großen Bandbreite beziehungsweise einer generell

intensiven Anwendung sozialer Gegebenheiten ein erheblicher sozialer Mehrwert aus dem Agroforstsystem generiert werden.

4.7.2 Anwendung sozialer Parameter am Praxisbeispiel

Die Zielsetzung im Bereich Soziales umfassen im Praxisbetrieb insbesondere die Verwendung heimischer Arten sowie die Funktion der Fläche als Demonstrationsprojekt. Dadurch soll nicht nur die ökologische Nachhaltigkeit gefördert werden, sondern auch ein Bewusstsein für Agroforstsysteme geschaffen werden. Zudem steht die Öffentlichkeitsarbeit im Fokus, die es ermöglicht, interessierten Leuten der Region und darüber hinaus aktiv in das Projekt mit einzubeziehen. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Kooperation mit lokalen Institutionen, um Wissen zu vermitteln sowie den gemeinschaftlichen Zusammenhalt zu stärken. Da innerhalb der Zielstellung auch der ökonomische Aspekt einer langfristigen Kapitalanlage Berücksichtigung findet, werden besonders kostenintensive soziale Maßnahmen bewusst vermieden.

Zu den bereits integrierten sozialen Maßnahmen im System zählt die Verwendung heimischer Gehölzarten, die bereits bei der Erstellung der Gehölzartenliste berücksichtigt wurde. Diese Maßnahme bringt in der Regel nur geringe bis leicht erhöhte Kosten mit sich und beeinflusst den erforderlichen Arbeitsaufwand nicht. Der Nutzen für die Gemeinschaft ist zwar eher indirekt, dennoch leisten heimische Arten einen wichtigen Beitrag zur Stabilisierung und Förderung der lokalen Flora und Fauna. Dies trägt langfristig zur Erhaltung der Biodiversität und damit zur Sicherung der ökologischen Qualität der Region bei. Da das geplante System über einen langen Zeitraum bestehen bleibt, entfaltet sich seine positive Wirkung nachhaltig.

Ein weiterer sozialer Aspekt des Agroforstsystems, der bereits zu Beginn in der Planung einbezogen wurde, ist die Einrichtung einer Demonstrationsfläche. Auf der Fläche wurde gezielt die Produktion von Wertholz, Fruchtholz sowie Energieholz geplant, was ihr nicht nur einen ökonomischen, sondern auch ästhetischen Wert verleiht. Gleichzeitig dient sie als Anschauungsbeispiel für die vielfältigen Möglichkeiten von Agroforstsystemen und kann somit auch als Bildungs- und Inspirationsquelle für Interessierte dienen. Der Planungsaufwand wird durch diese Maßnahme nicht wesentlich beeinflusst und auch die entstehenden Kosten bewegen sich in einem geringen bis moderaten Rahmen. Durch die langfristige Beständigkeit des Systems entsteht ein nachhaltiger Mehrwert für die Gemeinschaft, der unter anderem die Qualität der Landschaft aufbessern kann.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil des sozialen Engagements, welcher bisher nicht in der Planung berücksichtigt wurde, ist die gezielte Öffentlichkeitsarbeit. Um die soziale Dimension zu stärken, wird speziell für dieses Agroforstsystem eine Kooperation mit dem benachbarten Kindergarten sowie dem örtlichen Heimatverein angestrebt. Die geplanten Fruchthölzer sollen diesen Einrichtungen kostenlos zur Verfügung gestellt werden. Dabei steht für den Kindergarten die pädagogische Wissensvermittlung im Vordergrund. Die Kinder sollen die Möglichkeit erhalten, den natürlichen Wachstumsprozess der Bäume zu beobachten, mehr über nachhaltige Landwirtschaftspraktiken und die ökologischen Zusammenhänge lernen, beispielsweise durch die aktive Ernte der Früchte. Mit dem Heimatverein soll dagegen eine Kooperation zur Stärkung des gemeinschaftlichen Zusammenhaltes angestrebt werden. Durch Aktionen wie das gemeinsame Obstpflücken oder Ähnliches soll die Dorfgemeinschaft enger zusammengebracht werden und der soziale Austausch gefördert werden. Auch hier wird über die Interaktivität mit dem System die nachhaltige Landnutzung gestärkt und das Interesse an ökologischen Themen gefördert.

Die Schaffung einer zusätzlichen Arbeitskraft wird innerhalb des Praxisbeispiels aus ökonomischer Perspektive derzeit nicht angestrebt. Das liegt vor allem daran, dass im Betrieb aktuell ausreichend Arbeitskräfte zur Verfügung stehen, die die anfallenden Arbeiten in den verschiedenen Arbeitsphasen zuverlässig übernehmen können. Sollte sich die betriebliche Personalsituation jedoch in Zukunft verändern, wird die Möglichkeit der Nutzung dieser sozialen Maßnahme nicht grundsätzlich ausgeschlossen.

Eine gezielte Optimierung des sozialen Charakters der Praxisfläche ist daher gegenwärtig nicht erforderlich. Dies ergibt sich daraus, dass bereits eine Vielzahl an sozialen Maßnahmen in die betriebliche Planung integriert wurden oder so konzipiert sind, dass sie bei Bedarf zukünftig umgesetzt werden könnten. Somit ist der soziale Nutzen der Agroforstfläche langfristig sichergestellt.

5 Diskussion

Das Ziel der Masterarbeit war die Entwicklung eines Leitfadens zur nachhaltigen Planung und Implementierung von Agroforstsystemen auf Grünlandflächen. Um den Aspekt der Nachhaltigkeit zusätzlich hervorzuheben, erfolgte zusätzlich die Bewertung solcher Systeme anhand der drei Säulen der Nachhaltigkeit, die in den Leitfaden eingearbeitet wurden. Dabei lag der Fokus auf einer klaren und logisch strukturierten Darstellung, ergänzt durch ein praxisnahes Beispiel, um die Anwendung zu veranschaulichen und das Thema der Agroforstwirtschaft einem breiten Interessentenkreis zugänglich zu machen.

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Planung und Analyse eines Agroforstsystems erfordert eine systematische Herangehensweise, um auftretende Unsicherheiten und Fehler zu minimieren. Die Ergebnisse der Masterarbeit münden daher in einem strukturierten Leitfaden, der eine methodische Vorgehensweise zur Implementierung und Optimierung von Agroforstsystemen beschreibt.

Zunächst werden die Planungsgrundlagen erfasst, wobei die Zielstellung des Agroforstsystems definiert, eine detailreiche Flächenanalyse durchgeführt und die grundlegenden Ressourcen des Betriebs berücksichtigt werden. Darauf basierend erfolgte die Auswahl geeigneter Gehölzarten, wobei die spezifischen Standortbedingungen als auch die definierten Zielstellungen maßgeblich für die Auswahl waren. Die Erstellung des Flächenplans beinhaltete die Entscheidung über das Pflanzschema – entweder in Reihen oder in verstreuter Weise –, die Festlegung von Abständen im System und die abschließende Platzierung der Gehölze anhand dieser Parameter unter Zuhilfenahme der zuvor erstellten Gehölzartenliste für den Standort. Ein weiteres Element war die Planung des zeitlichen Managements, welches eine Übersicht über die anfallenden Arbeiten innerhalb eines Agroforstsystems bietet.

Im Bereich der Optimierung wurden drei zentrale Aspekte untersucht:

- **Ökologische Optimierung:** Hierbei erfolgte eine Analyse der Biodiversität mittels des Shannon- und Evenness-Index. Zudem wurde das Vorgehen einer Biomasse-Allometrie zur Ermittlung des CO₂-Speicherpotenzials für Agroforstsysteme vorgestellt, um die ökologischen Aspekte zu quantifizieren.

- **Ökonomische Optimierung:** Die wirtschaftliche Tragfähigkeit solcher Systeme wurde durch eine Gegenüberstellung der entstehenden Kosten und der potenziellen Erlöse ermittelt. Dies ermöglichte eine Abschätzung der Rentabilität des Agroforstsystems.
- **Soziale Optimierung:** Anhand konkreter Beispiele wurde dargestellt, wie Agroforstsysteme zu gemeinschaftlichen Zielen beitragen können. Neben dem reinen sozialen Nutzen wurden außerdem auch die Kosten und Aufwände vereinfacht dargelegt, um eine fundierte Entscheidungshilfe zu schaffen.

Zu allen Optimierungsmaßnahmen wurden Handlungsempfehlungen formuliert, die Strategien zur Erreichung der gewünschten Ziele aufzeigen. Falls die definierten Zielsetzungen beispielsweise nicht erreicht werden, wurden außerdem alternative Vorgehensweisen dargestellt.

Zur Veranschaulichung aller Planungsschritte wurde ein Praxisbeispiel herangezogen. Die Analyse dieses Beispiels ergab, dass keine weiteren Optimierungsmaßnahmen zur Erreichung der definierten Zielstellungen nötig waren, da diese bereits in der Planungsphase ausreichend beachtet wurden. Dieses Beispiel unterstreicht die Effektivität des entwickelten Leitfadens und verdeutlicht dessen praktische Anwendbarkeit im Kontext nachhaltiger Landnutzungssysteme.

5.2 Einhaltung der Methoden

Im Rahmen der durchgeführten Literaturrecherche wurden sowohl deutsch- als auch englischsprachige Quellen herangezogen, die durchgängig als wissenschaftlich fundiert beziehungsweise seriös eingestuft werden können. Die verwendete Literatur bietet einen breit gefächerten Überblick über die Thematik der Agroforstwirtschaft, wobei sie nicht nur eine grundlegende Einführung in die zentralen Begrifflichkeiten ermöglicht, sondern auch als detaillierte Grundlage für die spezifische Planung und Umsetzung von Agroforstsystemen dient. Ein auffälliges Merkmal der durchgeführten Literaturrecherche ist ihre umfassende Tiefe, die zu einer teilweise sehr detaillierten Aufbereitung von Informationen führt. Dies hat zur Folge, dass einige Inhalte nur am Rande nochmals in der Arbeit aufgegriffen werden, obwohl sie nicht zwingend essenziell für den Hauptinhalt der Arbeit sind. Dennoch sind diese zusätzlichen Informationen nicht als redundant zu betrachten, da sie zu einer besseren Kontextualisierung des Leitfadens beitragen und somit eine unterstützende Funktion einnehmen. Vielmehr tragen sie dazu bei, potenzielle

Informationslücken zu vermeiden. Ein Beispiel innerhalb der Arbeit ist dabei das genaue Vorgehen bei der Ästung der Bäume anhand Abbildung 6. Diese Darstellung ist nicht zwangsweise notwendig, vermittelt für die potenziellen Anwendenden jedoch ein Gefühl für die Arbeitsintensität des Vorgangs. Die Fülle innerhalb der Literaturrecherche kann folglich als Bereicherung für die Anwendenden des Leitfadens verstanden werden, um das detailliertere Verständnis des Themas zu fördern und eine breitere Wissensbasis zur Verfügung zu stellen.

Besondere Herausforderungen innerhalb der Literaturrecherche ergaben sich bei der Erhebung spezifischer Werte der einzelnen Gehölzarten, da hierfür stark spezialisierte Quellen notwendig waren. Vor allem bei der Recherche der Standortansprüche, den Preisen der Setzlinge sowie weiteren betriebswirtschaftlichen Parametern, wie dem BHD, war es erforderlich, auf spezialisierte Internetseiten und Fachpublikationen zurückzugreifen. Während diese Quellen in Bezug auf die thematische Spezialisierung als sehr wertvoll erachtet werden können, ist zugleich festzuhalten, dass ihre starke Fokussierung auf die spezifischen Fragestellungen die Repräsentativität der gewonnenen Informationen einschränken kann. Somit besteht durchaus die Möglichkeit, dass die dargestellten Werte nicht in jedem Falle eine allgemeingültige Aussagekraft besitzen, sondern eher als exemplarische Richtwerte zu betrachten sind.

Die Methodik zur Erstellung des Leitfadens wurde innerhalb der Masterarbeit eingehalten und stringiert umgesetzt. Die Zielgruppe des Leitfadens, alle interessierten Personen an der Thematik des Agroforstes unabhängig von ihrem fachlichen Hintergrund, wurde bereits in der Einleitung der Masterarbeit definiert. Diesem offenen Ansatz entsprechend wurde auch der Titel prägnant gewählt, sodass sich das Thema des Leitfadens unmittelbar erschließen lässt. Um den Anwendenden eine umfassende Einführung in das Thema zu ermöglichen, wurde eine umfassende Literaturrecherche vorgenommen, damit die im Leitfaden verwendeten Methoden und Optimierungsansätze besser nachvollzogen werden können. Die Gliederung des Leitfadens wurde ebenfalls bewusst so angelegt, dass sie einer klaren und logischen Struktur folgt. Zunächst werden die allgemeinen Schritte der Datenerfassung des Betriebs und der Grünlandfläche bis hin zur eigentlichen Planung des Agroforstsystems beschrieben. Erst danach werden – je nach Bedarf der Anwendenden – Optimierungsmaßnahmen vorgestellt, die in den Bereichen Ökologie, Ökonomie und Soziales angewendet werden können. Dieses schrittweise Vorgehen erleichtert die Nutzung des Leitfadens auch für Personen ohne fachliche Vorkenntnisse und bietet eine fundierte Ausgangsbasis für die praktische Umsetzung des Systems. Ein weiteres wichtiges Element eines Leitfadens ist der gezielte Einsatz von Abbildungen und Tabellen. Diese dienen dazu, komplexe Zusammenhänge anschaulich darzustellen und den Anwendenden

eine visuelle Unterstützung zu bieten. Durch den hohen Anteil an grafischen Elementen innerhalb des erstellten Leitfadens soll sichergestellt werden, sodass auch weniger erfahrene Anwendende die Inhalte nachvollziehen und die präsentierten Informationen leichter erschließen können. Eine Veröffentlichung des Leitfadens, wie in der Methodik empfohlen, ist bislang nicht vorgesehen, da er im Rahmen einer Masterarbeit entstanden ist. Die einzige Form der Veröffentlichung besteht derzeit in der Aufnahme des Dokuments in das System der Hochschulbibliothek der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Methodik zur Erstellung des Leitfadens konsequent eingehalten wurde. Alle relevanten Aspekte – von der Zielgruppenfestlegung über die inhaltliche Erschließung bis hin zur Strukturierung und Visualisierung – wurden systematisch berücksichtigt und umgesetzt.

5.3 Eignung der im Leitfaden angewandten Methoden

Die in der Masterarbeit verwendeten Methoden zur Bewertung von Agroforstsystemen wurden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit, Aussagekraft sowie möglicher Limitationen kritisch hinterfragt. Insbesondere werden der Shannon- und Evenness-Index, die Biomasse-Allometrie sowie ökonomische und soziale Aspekte auf ihre Eignung überprüft.

Shannon-Index und Evenness-Index

Unter einem Biodiversitäts-Index versteht man nach Palma et al. (2022: S. 1 ff.) ein quantitatives Maß, mit dem beispielsweise die Vielfalt und teilweise auch die Verteilung von Arten in einem Lebensraum bemessen werden kann. Der Shannon-Index gemäß den Autoren einer der bekanntesten Diversitäts-Indizes, der die Bewertung der Artenvielfalt umfasst und außerdem durch die Anwendung der Evenness, welche die Häufigkeitsverteilung der Arten beschreibt, präziser interpretiert werden kann. Die kombinierte Anwendung von Shannon- und Evenness-Index bietet eine umfassendere Perspektive auf die Biodiversität eines Systems (Rain et al., 2024).

Der Shannon-Index ist ein weit verbreitetes und gut dokumentiertes Maß, das oftmals eine Anwendung in der Ökologie und Biologie findet (Lexikon der Geowissenschaften, o. J.). Durch seine mathematische Grundlage ermöglicht er die Berechnung numerischer Werte, die leicht miteinander verglichen werden können (Dušek & Popelková, 2017: S. 5). Dies macht den Index zu einem Standardwerkzeug, das durch eine Vielzahl an Studien und Literatur weit erforscht ist, was wiederum die Interpretation und den Vergleich von

Ergebnissen erleichtert (Lexikon der Geowissenschaften, o. J.). Ein weiterer Vorteil des Shannon-Index liegt in seiner breiten Anwendbarkeit, da er auf verschiedenen Skalen, lokal bis global, genutzt werden kann und auch zeitliche Vergleiche erlaubt (Dušek & Popelková, 2017: S. 5).

Trotz seiner Stärken weist der Index gemäß Dušek & Popelková (2017: S. 5 ff.) einige Nachteile auf. So ist er abhängig von der Stichprobengröße innerhalb der Untersuchung, was bedeutet, dass die Anzahl und auch die Vollständigkeit der erhobenen Daten das Ergebnis beeinflussen können. Außerdem berücksichtigt er die Gleichmäßigkeit der räumlichen Artenverteilung nur unzureichend, da dominantere Arten einen größeren Einfluss auf den Index haben als rezessive Arten, so Dušek & Popelková. Ein weiterer Kritikpunkt an der Methode ist, dass der Shannon-Index die ökologische Funktionalität sowie die Interaktion zwischen den Arten nicht berücksichtigt (Lexikon der Geowissenschaften, o. J.).

Der Evenness-Index ergänzt den Shannon-Index, indem er die Gleichmäßigkeit der Häufigkeitsverteilung der Arten einbezieht. Dies ermöglicht eine tiefere Interpretation der Artenvielfalt und liefert zusätzliche Informationen, die der Shannon-Index allein stehend nicht erfassen kann. (Rain et al., 2024)

Der Index bietet mehrere Vorteile. So bewegen sich die Werte des Index zwischen 0 und 1, was seine Interpretation einfacher und teilweise intuitiv macht. Dadurch wird er auch für nicht spezialisierte Anwendende besser verständlich. Ein weiterer Vorteil besteht in seiner Vergleichbarkeit, da er betrachtete Gemeinschaften mit unterschiedlichen Artenzahlen analysieren kann, ohne von der Artenvielfalt selbst beeinflusst zu werden. (Rain et al., 2024)

Gleichzeitig gibt es jedoch auch einige Nachteile. Der Evenness-Index zeigt eine gewisse Empfindlichkeit gegenüber der Größe der Datensätze, da kleinere Stichproben anfälliger für zufällige Schwankungen sind, was die Robustheit der Ergebnisse mindern kann. Skalierungsprobleme können ebenfalls auftreten, da Unterschiede in der Stichprobengröße oder der Methodik der Datenerfassung die Berechnung des Indexes beeinflussen und seine Vergleichbarkeit einschränken können. Ebenso wie der Shannon-Index ignoriert die Evenness die ökologische Funktionalität und die Interaktion der Arten. (Kvålseth, 2015)

Im Rahmen der Bewertung der Eignung des Shannon- und des Evenness-Index für die Analyse von Biodiversität lassen sich die Kriterien Komplexität der Anwendung, Zeitaufwand, Kosten, Validität sowie Datenverfügbarkeit differenziert betrachten. Beide Indizes gelten als etablierte und mathematisch fundierte Instrumente, die aufgrund ihrer Standardisierung und breiten Anwendung in der ökologischen Forschung vergleichsweise einfach in der Handhabung sind. Beide Indizes zeichnen sich durch eine

benutzerfreundliche Interpretierbarkeit aus, da ihre Werte durch Zahlenwerte intuitiv bewertet werden können. Die Berechnung beider Indizes erfordert keine komplexen Verfahren oder spezialisierte technische Mittel, was den zeitlichen und finanziellen Aufwand gering hält. Die ausreichende Qualität und Quantität der Daten ist hierbei allerdings vorauszusetzen. In Bezug auf die Validität der Daten zeigen sich allerdings gewisse Einschränkungen. Zwar liefern beide Indizes präzise und numerisch gut vergleichbare Ergebnisse zur Artenvielfalt innerhalb eines Lebensraums, jedoch berücksichtigen sie keine ökologischen Funktionen oder Interaktionen zwischen den Arten. Zudem weisen sie eine gewisse Sensitivität gegenüber der Stichprobengröße aus, was bei kleineren oder unvollständigen Datensätzen zu einer verzerrten Bewertung der Diversität führen kann. Auch die Datenverfügbarkeit stellt eine zentrale Voraussetzung für die Aussagekraft der Indizes dar. Da beide Indizes im Rahmen dieses Leitfadens auf theoretischen Grundlagen basieren, kann die Datenverfügbarkeit als hoch eingestuft werden.

Außerdem ist zu beachten, dass der Shannon-Index klassischerweise auf der Erfassung der Trockenmasse der Pflanzen basiert, was in der Masterarbeit aufgrund der vorerst rein theoretischen Betrachtung der Agroforstsysteme nicht angewandt werden konnte. Da Agroforstsysteme sehr unterschiedliche Standzeiträume sowie Zielstammdurchmesser (BHD) aufweisen können, wurde die Bewertung ausschließlich anhand der vorliegenden Planungsdaten vorgenommen. Dies führt jedoch zu potenziellen Abweichungen vom realistischen Wert, da die tatsächliche Entwicklung der Gehölze in Bezug auf Zeit und Wachstum nicht vollständig vorhergesagt werden kann. Dementsprechend liefern die Indizes primär eine Orientierungshilfe bezüglich der potenziellen Biodiversität des geplanten Systems, jedoch kein finales und unumstößliches Ergebnis.

Insgesamt lassen sich die beiden Indizes als praktikabel und kosteneffizient einstufen, wenngleich die Aussagekraft ihrer Ergebnisse stets im Kontext der Datenlage und der methodischen Grenzen interpretiert werden muss. Die methodisch festgelegte Auswahl für verwendete Methoden innerhalb des Leitfadens wird somit für die Biodiversitätsindizes umfänglich erfüllt.

Kohlenstoffspeicherung anhand der Biomasse-Allometrie

Die Biomasse-Allometrie nach Jenkins et al. (2014) zeichnet sich durch eine Reihe an Vorteilen aus, die ihre Anwendung in der Praxis attraktiv gestalten. Die Grundlage des Modells bildet eine umfassende Meta-Analyse, die sowohl ältere Daten als auch aktualisierte literarische Formeln integriert. Dies ermöglicht eine ausführliche und fundierte Datenbasis. Ein weiterer Vorteil ist die Generalisierbarkeit des Modells. Es wurde so

konzipiert, dass es für eine Vielzahl an Anwendungen und auch Baumarten geeignet ist. Dadurch wird die Breite der potenziellen Einsatzmöglichkeiten erweitert. Zusätzlich trägt die theoretische Vereinfachung der Formeln dazu bei, die Effizienz zu erhöhen und durch ihren universellen Charakter die Anwendung auf größere geologische Skalen zu erleichtern. Dies macht das Modell bei Bedarf auch für nationale und großflächige Analysen interessant.

Trotz der Stärken des Modells existieren auch Nachteile, die berücksichtigt werden müssen. Zwar stürzt sich das Modell auf eine Vielzahl von Datensätzen, jedoch könnte die Robustheit durch eine Ausweitung auf weitere Datensätze verbessert werden. Zudem ist die Präzision des Modells für spezifische Gehölzarten und Standorte begrenzt. So kann es zu Ungenauigkeiten kommen, da die Gleichungen nicht absolut umfassend auf alle Arten und ökologischen Bedingungen zugeschnitten sind. Die Speicherung von Kohlenstoff in der Biomasse eines Gehölzes in Kohlenstoff (C) dient der Standardisierung und Vereinfachung wissenschaftlicher Analysen. Kohlenstoff gilt als zentrale Messgröße für den Klimawandel, da seine Speicherung und Freisetzung die Konzentration von Treibhausgasen in der Atmosphäre direkt beeinflusst. (Klein & Schulz, 2023)

Bäume nehmen während der Photosynthese Kohlenstoffdioxid (CO_2) aus der Atmosphäre auf und speichern den darin enthaltenen Kohlenstoff in ihrer Biomasse. Die Umrechnung der Biomasse eines Baumes ermöglicht somit, den Beitrag des Baumes zur Kohlenstoffspeicherung präzise zu bewerten. Darüber hinaus ist Kohlenstoff als Maßstab besonders geeignet, da er den zentralen Bestandteil der organischen Verbindungen in der Biomasse darstellt. Durch die Aggregation von Daten über die Kohlenstoffspeicherung können globale Kohlenstoffbudgets erstellt und Szenarien für den Klimaschutz modelliert werden. (Stiftung Unternehmen Wald, o. J.)

Die Umwandlung von Kohlenstoff (C) in Kohlenstoffdioxid (CO_2) wird vorgenommen, da CO_2 eine intuitivere und greifbarere Messgröße für die Anwendenden außerhalb der Wissenschaft darstellt. Der Begriff „ CO_2 “ ist im handelsüblichen Kontext häufig leichter verständlich, da er oftmals in Diskussionen über den Klimawandel und die globale Erwärmung verwendet wird. Der Bezug auf CO_2 ermöglicht es, die Auswirkungen der Kohlenstoffspeicherung beziehungsweise -freisetzung auf die Atmosphäre für einen Laien anschaulich darzustellen. Die Umrechnung basiert auf einer chemischen Standardumrechnung, die einem internationalen Standard folgt und somit allgemein gültig ist. (Wagener, 2019)

Hinsichtlich der Komplexität der Anwendung zeigt sich, dass das Modell durch die theoretische Vereinfachung der verwendeten Formeln eine vergleichsweise einfache und zugleich effiziente Handhabung ermöglicht. Die Vereinfachung trägt nicht nur zur Anwendungsfreundlichkeit bei, sondern erlaubt darüber hinaus eine Übertragbarkeit auf

größere geografische Skalen, was insbesondere für nationale oder flächendeckende Analysen von Relevanz ist. In ähnlicher Weise lässt sich auch der Zeitaufwand als eher gering einschätzen. Die standardisierte Vorgehensweise sowie die Nutzung bereits vorhandener Datenquellen erleichtern die Implementierung in bestehenden Arbeitsprozessen und tragen zu einer Zeitersparnis bei. Auch unter dem Aspekt der Kosten erweist sich das Modell als vorteilhaft. Aufgrund der breiten Generalisierbarkeit und der Nutzung einer umfassenden Metanalyse kann darauf geschlossen werden, dass zusätzliche kostenintensive Erhebungen nicht notwendig sind. Einschränkungen zeigen sich jedoch bei der Validität des Modells. Trotz der fundierten Datenbasis, die aus einer Vielzahl älterer und aktueller Literaturdaten besteht, weist das Modell Schwächen auf, wenn es um die Präzision auf spezifischer Ebene geht. Für bestimmte Gehölzarten oder ökologische Standortbedingungen kann die Anwendung der Gleichungen zu Ungenauigkeiten führen. Hinsichtlich der Datenverfügbarkeit lässt sich festhalten, dass das Modell auf einer breiten und gut dokumentierten Datenbasis aufbaut. Die Einbeziehung verschiedener Datensätze ermöglicht eine robuste Ausgangslage für die Anwendung in diversen Kontexten.

Es ist jedoch zu betonen, dass es sich hierbei um eine theoretische Modellierung handelt, die von den realen Bedingungen abweichen kann. Zudem bleibt zu bedenken, dass neben dem CO₂ auch weitere klimarelevante Gase eine Rolle spielen, welche innerhalb der Masterarbeit nicht weiter berücksichtigt werden. Dies führt dazu, dass die Allometrie zwar eine wichtige Perspektive auf den Klimaschutzaspekt bietet, jedoch in Hinblick auf eine ganzheitliche Betrachtung des Klimawandels unvollständig bleibt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Modell von Jenkins et al. (2014) in den Bereichen der Anwendung, der Zeit und auch der Datenverfügbarkeit überzeugende Stärken aufweist, während die Validität unter bestimmten Umständen eingeschränkt sein kann. Die in der Masterarbeit definierten Kriterien zur Methodenauswahl werden daher, ähnlich wie bei den Biodiversitätsindizes, umfassend erfüllt.

Vorgehen bei der ökonomischen Kalkulation und sozialen Betrachtung

Hinsichtlich der ökonomischen Bewertung der Agroforstsysteme zeigt sich eine moderate Komplexität der Anwendung. Die Analyse bezieht zahlreiche Parameter wie Pflanzenpreise, Materialkosten und insbesondere Arbeitskosten ein, die teils erheblichen Schwankungen unterliegen. Diese Dynamik erschwert eine exakte und langfristig belastbare Prognose, zumal Marktbedingungen über Zeiträume von mehreren Jahrzehnten stark variieren können. Die Betrachtung eines Best-Case- Szenarios als auch die eines Worst-Case-

Szenarios sollte daher vorgenommen werden, um Risiken besser abschätzen zu können. Obwohl die Pflanzung als einmaliger Vorgang relativ konstante Kosten verursacht, unterliegen viele der anderen Kosten und auch Ertragsfaktoren langfristigen Entwicklungen, die schwer vorherzusehen sind. Der zeitliche Aufwand für solche ökonomische Bewertungen sind dementsprechend moderat hoch, da unterschiedliche Szenarien berücksichtigt werden sollten. Auch wenn grundlegende Kosten erfasst werden, ist die Validität der Ergebnisse begrenzt, da Unsicherheiten in der Prognose zu Abweichungen von der initialen Kalkulation führen können. Diese Einschränkungen wirken sich auch auf die Aussagekraft hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit aus, insbesondere, wenn externe Faktoren wie Lohnentwicklungen (vgl. Statistisches Bundesamt, 2024b) einbezogen werden. Die Datenverfügbarkeit im ökonomischen Bereich ist folglich grundsätzlich gegeben, wird jedoch durch die Unsicherheiten in der langfristigen Entwicklung relativiert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die verwendete Methode zur Kalkulation der Wirtschaftlichkeit teilweise den gestellten Anforderungen entspricht. Aufgrund der unvermeidbaren Schwankungen der eingearbeiteten Faktoren, wie beispielsweise Pflanzgut- oder Lohnkosten, werden die Aspekte der Komplexität und der Validität zwar beachtet, aber im Rahmen der Masterarbeit den verbleibenden Kriterien untergeordnet. Dadurch erfüllt die angewandte Methode die festgelegten Methodenkriterien in ausreichendem Maße.

Im Gegensatz zu der wirtschaftlichen Methode wurde die soziale Dimension der Agroforstwirtschaft in der Arbeit nur in selektiver Weise berücksichtigt. Einzelne Maßnahmen wurden exemplarisch dargestellt, jedoch fehlt eine systematische und umfassende Analyse sozialer Auswirkungen. Dies führt zu einer eingeschränkten Repräsentativität und macht deutlich, dass die Datenlage im sozialen Bereich von Agroforstsystemen unzureichend ist. Die Validität der Aussagen ist daher stark begrenzt, da nicht alle relevanten Facetten erfasst werden können. Auch wenn durch die Einbindung von Kosten-Nutzen-Analysen ein gewisser Überblick über potenzielle gesellschaftliche Vorteile geschaffen wird, bleibt die Aussagekraft aufgrund der oberflächlichen Behandlung gering.

Daraus ergibt sich, dass sowohl die Komplexität als auch die Aussagekraft der sozialen Bewertung deutlich hinter den vorher genannten Methoden zurückbleibt. Da soziale Aspekte jedoch nur schwer in numerischen Werten zu erfassen sind, können die Methodenkriterien grundlegend nicht vollständig angewandt werden.

5.4 Stärken und Schwächen des Leitfadens

Der entwickelte Leitfaden weist mehrere Stärken auf, die seine praktische Anwendbarkeit und Relevanz für die Planung und Umsetzung von Agroforstsystemen unterstreichen. Ein zentraler Vorteil ist seine klare und logische Struktur, die zunächst die allgemeine Planung des Agroforstsystems beschreibt und anschließend, je nach Bedarf der Anwendenden, konkrete Optimierungsmöglichkeiten entlang der drei Säulen der Nachhaltigkeit – Ökologie, Ökonomie und Soziales – aufzeigt. Ein weiterer Vorteil des Leitfadens liegt in seiner Effizienz. Die umfassende Zusammenstellung aller relevanten Aspekte ermöglicht eine erhebliche Zeitersparnis in der Praxis, da viele zentrale Fragen, wie beispielsweise die Eignung bestimmter Gehölze, bereits beantwortet werden und zusätzliche Recherchen somit nur punktuell erfolgen müssen. Dabei wird eine hohe Konsistenz innerhalb der verschiedenen Kapitel der Ergebnisse gewährleistet. Jedes Thema wird zunächst mit allgemeinen Informationen und einer Vorgehensweise eingeführt, anschließend folgen konkrete Handlungsempfehlungen. Zuletzt werden diese Parameter durch ein Praxisbeispiel veranschaulicht. Diese durchgängige Struktur erleichtert die Orientierung und fördert ein systematisches Vorgehen bei der Planung und Umsetzung von Agroforstsystemen. Darüber hinaus trägt der Leitfaden zu einer allgemeinen Wissensvermittlung bei, da er auf einer breitgefächerten Literaturbasis aufbaut. Anwendende erhalten so nicht nur konkrete Handlungsempfehlungen, sondern auch fundierte Hintergrundinformationen, die eine informierte Entscheidungsfindung ermöglichen. Gleichzeitig dient er der Fehlerreduktion, indem er eine strukturierte Vorgehensweise vorgibt und vordefinierte Abläufe darstellt. Dies minimiert das Risiko von Planungsfehlern und erleichtert die praktische Umsetzung. Eine weitere Stärke des Leitfadens ist seine Aktualität für das Jahr 2025. Die verwendeten Daten und Methoden basieren auf einem aktuellen Stand der Wissenschaft, wie beispielsweise nach Jenkins et al. aus dem Jahr 2014 oder Peratoner und Pötsch aus dem Jahr 2015. Lediglich allgemeingültige und zeitunabhängige Informationen, wie die Umwandlung von Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid anhand eines standardisierten Faktors, wurden bewusst integriert, um eine langfristige Anwendbarkeit des Leitfadens zu gewährleisten.

Trotz zahlreicher Stärken des Leitfadens sind für diesen auch einige Schwächen zu berücksichtigen. Eine der größten Einschränkungen besteht in der punktuellen Fokussierung der ausgewählten Parameter, insbesondere im Bereich der Optimierungsmaßnahmen. Während beispielsweise die Biodiversität und die Kohlenstoffspeicherung der Gehölze als zentrale ökologische Indikatoren betrachtet wurden, blieben weitere potenziell relevante ökologische Vorteile von Agroforstsystemen,

wie etwa die Verbesserung des Mikroklimas oder das Wassermanagement (Kaeser et al., 2010: S. 2 ff.), weitgehend unberücksichtigt. Ein weiteres potenzielles Problem könnte die detaillierte Darstellung der Optimierungsmaßnahmen darstellen, da sie dazu führen könnte, dass die Anwendenden entmutigt werden, falls das geplante Agroforstsystem nicht die gewünschten Zielstellungen erreicht. Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass die Optimierungsempfehlungen nicht als starre Vorgaben zu verstehen sind, sondern vielmehr als flexible Richtlinien, die je nach Standort und individuellen Gegebenheiten angepasst werden können. Zudem ist die Anwendbarkeit des Leitfadens auf bestimmte Flächen beschränkt. Er wurde speziell für die Nutzung auf Grünlandstandorten konzipiert, sodass eine direkte Anwendung auf beispielsweise Ackerflächen nicht vorgesehen ist. Dennoch gibt es einige Elemente, wie etwa rechtliche Rahmenbedingungen oder Abstandsregelungen, die auch für Ackerstandorte von Relevanz sein können. Mit entsprechender Anpassung ließe sich der Leitfaden somit auch in gewissem Umfang für Ackerflächen nutzen. Ein potenzieller Schwachpunkt des Leitfadens besteht auch darin, dass er sich zwar an eine breite Zielgruppe richtet, an einigen Stellen jedoch grundlegende Kenntnisse in Bereichen wie Land- und Forstwirtschaft voraussetzt. Dies könnte dazu führen, dass manche Anwendende allgemeine Schwierigkeiten haben, spezifische Inhalte vollständig zu erfassen. Um diesem Problem entgegenzuwirken, wurden innerhalb des Leitfadens diverse Definitionen zentraler Begrifflichkeiten sowie erläuternde Abschnitte eingefügt, die eine Verständniserleichterung bieten.

Insgesamt stellt der Leitfaden ein wertvolles Instrument für die Planung und Optimierung von Agroforstsystemen dar. Seine Anwendung sollte jedoch stets unter Berücksichtigung der jeweiligen Standort- und Betriebsgegebenheiten sowie der Fähigkeiten der Anwendenden erfolgen, um die bestmöglichen Ergebnisse zu erzielen.

5.5 Kritik zu den Zusammenhängen zwischen den Optimierungsmaßnahmen

Der entwickelte Leitfaden ist darauf ausgelegt, verschiedene Optimierungsmaßnahmen gleichermaßen zu berücksichtigen und zu verbessern. Allerdings bestehen zwischen den einzelnen Maßnahmen Wechselwirkungen, die zu Zielkonflikten führen können. Beispielsweise kann eine stark wirtschaftlich orientierte Auswahl an Gehölzen die ökologische Vielfalt, dargestellt anhand des Shannon- und Evenness-Index, mindern, während eine breitere Auswahl an Gehölzen mit höheren Kosten und möglicherweise geringeren Erlösen einhergeht. Soziale Aspekte können wiederum wirtschaftliche Faktoren beeinflussen, zum Beispiel wenn zusätzliche Arbeitskräfte erforderlich sind, deren Kosten

die Wirtschaftlichkeit des Systems beeinträchtigen. Der Leitfaden liefert keine abschließende Lösung für diese Spannungsfelder, sondern setzt auf eine Priorisierung der Zielstellungen, die von den Anwendenden selbst getroffen wird, als möglichen Lösungsansatz.

5.6 Repräsentativität des erstellten Praxisbeispiels

Das in der Masterarbeit erstellte Praxisbeispiel bietet eine teilweise Repräsentativität, da es unterschiedliche Produktionsrichtungen innerhalb eines Agroforstsystems abbildet. Dadurch können Anwendende, auch wenn ihre individuellen Prioritäten, von denen im Beispiel dargestellten abweichen, grundlegende Vorgehensweisen und Entscheidungsprozesse für ihre eigene Planung ableiten.

Ein wesentlicher Aspekt des Praxisbeispiels ist seine Standortwahl, die sich durch besonders trockene Bedingungen auszeichnet. Diese Standortcharakteristik erfordert spezifische Anpassungen sowohl bei der Auswahl geeigneter Gehölze als auch bei den Bewirtschaftungsmaßnahmen und Intensitäten. Die im Rahmen der Arbeit erstellte Gehölzartenliste stellt hierbei eine wertvolle Hilfestellung dar, indem sie eine gezielte Auswahl standortgerechter und produktionsorientierter Arten ermöglicht. Dennoch können nicht alle Standortfaktoren und individuelle Parameter in der Liste vollständig erfasst werden, sodass es in bestimmten Fällen zu Einschränkungen kommen kann. Die endgültige Wahl der Gehölze sollte daher stets unter Berücksichtigung der spezifischen lokalen Gegebenheiten erfolgen. Obwohl das Praxisbeispiel speziell auf die Gegebenheiten des untersuchten Standortes abgestimmt wurde, bleibt die zugrunde liegende Methodik dennoch auf andere Standorte übertragbar. Die allgemeinen Prinzipien der Planung und Optimierung von Agroforstsystemen lassen sich in abgewandelter Form auch in Regionen mit anderen klimatischen oder bodenkundlichen Bedingungen anwenden. In diesem Sinne dient das Praxisbeispiel weniger als starre Vorgabe, sondern vielmehr als flexibles Modell, das je nach Standortbedingungen individuell angepasst werden kann.

Besonders in Hinblick auf die Optimierungsmaßnahmen ist zu berücksichtigen, dass diese im Praxisbeispiel lediglich auf einer konzeptionellen Ebene erläutert werden. Die spezifischen Werte und Ergebnisse, die im Rahmen dieser Maßnahmen berechnet wurden, sind ausschließlich für den betrachteten Standort sowie der dort gewählten Gehölzarten und Rahmenbedingungen gültig. Sie lassen sich daher nicht unmittelbar auf andere Agroforstsysteme übertragen, sondern sollen vielmehr die Methodik der Bewertung und Entscheidungsfindung veranschaulichen. Darüber hinaus spielen wirtschaftliche

Rahmenbedingungen und soziale Aspekte eine entscheidende Rolle, die stark standortabhängig sind und daher eine differenzierte Betrachtung erfordern. Insbesondere wirtschaftliche Parameter, wie Investitionskosten der Pflanzung oder Erlöspotenziale, unterliegen regionalen Schwankungen und können je nach vorherrschenden Marktbedingungen erheblich variieren. Ähnlich verhält es sich mit sozialen Aspekten, die von lokalen Gegebenheiten, gesetzlichen Vorgaben sowie der gesellschaftlichen Akzeptanz von Agroforstsystemen abhängen. Während das Praxisbeispiel somit als wertvolle Orientierungshilfe dient, sind stets individuelle Anpassungen an die jeweiligen Bedingungen erforderlich, um eine erfolgreiche Anwendung zu erzielen.

5.7 Vergleich der Ergebnisse zu anderen Studien

Ein Vergleich mit bestehenden Studien zeigt, dass Agroforstsysteme insbesondere in ökologischer und ökonomischer Hinsicht umfassend analysiert wurden, während soziale Aspekte oftmals nur am Rande behandelt werden.

So kommt beispielsweise eine Studie von Köthke et al. (2022) zu dem Ergebnis, dass Agroforstsysteme sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen können, wobei die jeweilige Intensität der Untersuchung variiert. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass Agroforstsysteme mehrdimensionale Systeme darstellen, sodass keine absoluten und für alle Standorte gleichermaßen gültigen Aussagen getroffen werden können. Hinsichtlich der ökologischen Aspekte der in Köthke et al. (2022) verwendeten Studien zeigen diese, dass positive Effekte nachgewiesen werden können, allerdings immer in Abhängigkeit vom jeweiligen Standort und den spezifischen Planungsdetails. Die ökonomischen Vorteile hingegen hängen maßgeblich von der individuellen Planung des Systems ab und können daher nicht pauschal als garantiert betrachtet werden. Während ökologische Effekte folglich gut belegt sind, bleibt die Wirtschaftlichkeit eines solchen Systems von zahlreichen variablen Faktoren abhängig. Die sozialen Aspekte wurden laut Köthke et al. (2022) bisher noch nicht in ausreichender Tiefe untersucht, sodass deren langfristige Auswirkungen gegenwärtig nur schwer abzuschätzen sind.

Eine Untersuchung von Jacobi et al. (2014) analysierte verschiedene Agroforstsysteme zur Kakaoproduktion in Bolivien und zeigte, dass neben ökologischen Vorteilen auch soziale Aspekte positiv beeinflusst wurden. Insbesondere die Bio-Zertifizierung förderte die Gründung von Kooperationen, die den Wissensaustausch und die technische Unterstützung unter den Produzenten verbesserten, was zur nachhaltigen Entwicklung der Gemeinschaften beitrug.

Ein Vortrag von Blake-Rath et al. (2024) kommt zu dem Ergebnis, dass Agroforstsysteme zur Diversifizierung beitragen und Landwirte die ökologischen Vorteile anerkennen, insbesondere in Hinblick auf die Erhöhung der zukünftigen Resilienz solcher Systeme. Gleichzeitig wurde festgestellt, dass Produkt- und Einkommensdiversifizierungen die Anpassungsfähigkeit der Betriebe verbessern kann. Dennoch bestehen Herausforderungen, wie beispielsweise die teilweise hohen Investitionskosten oder die langen Amortisationszeiten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Agroforstsysteme sowohl ökologische als auch ökonomische Vorteile bieten können, jedoch stets in Abhängigkeit von standortspezifischen Bedingungen und individuellen Planungsentscheidungen. Während zahlreiche Studien die ökologischen Effekte dieser Landnutzungsform belegen, bleibt die wirtschaftliche Rentabilität aufgrund variabler Einflussfaktoren nur schwer allgemeingültig zu bestimmen. Zudem zeigt sich, dass soziale Aspekte bislang nur unzureichend erforscht wurden, obwohl erste Untersuchungen Hinweise auf potenziell positive Auswirkungen liefern. Angesichts dieser Erkenntnisse besteht weiterhin Forschungsbedarf, um alle Dimensionen der Nachhaltigkeit von Agroforstsystemen besser zu verstehen und ihre langfristigen Effekte fundiert bewerten zu können.

5.8 Zukunftsaussichten für Agroforstsysteme

Die Agroforstwirtschaft als Bewirtschaftungsform hat sich bereits teilweise als eine Methode des nachhaltigen Anbaus etabliert, die ökologische, ökonomische und soziale Aspekte vereinen kann. Im Nachfolgenden werden zukünftige Belange für solche Systeme dargestellt.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen für Agroforstsysteme haben sich in den letzten Jahren erheblich verändert, wobei die EU-Agrarpolitik gemäß Böhm (2024: S. 5 f.) eine zunehmend wichtige Rolle spielt. In der Reform der GAP für den Zeitraum 2023 bis 2027 sagte er, dass Agroforstwirtschaft als nachhaltige Bewirtschaftungsmethode anerkannt und auch als förderfähige Maßnahme definiert wird. Diese Anerkennung stelle einen wichtigen Schritt in der rechtlichen und finanziellen Unterstützung dar. In Deutschland wurde die Agroforstwirtschaft damit offiziell aufgenommen, jedoch bleibt der bürokratische Aufwand ein Hindernis (DEFAF e.V., 2024). Die Bürokratie und Komplexität der anfallenden Arbeiten führen dazu, dass Agroforst in der Praxis häufig nicht ausreichend genutzt wird. Um die Implementierung zu erleichtern, wären einfache und unbürokratische Förderprozesse in der Zukunft notwendig. Alternativ könnte auch die Einbindung von Agroforstsystemen in

langfristige Förderprogramme, die sogar über die aktuelle GAP hinaus gehen einen Anreiz schaffen, um die Anfangsinvestitionen sowie die laufenden Kosten eines solchen Systems besser zu tragen, um es so attraktiver zu gestalten. Auch könnte die Unterstützung durch spezifische Schulungsprogramme und eine praxisorientierte Beratung entscheidend beitragen, um die Umsetzung von Agroforst zu fördern und auch die Akzeptanz dessen zu erhöhen.

Des Weiteren besteht ein erheblicher Forschungsbedarf in einigen Bereichen der Agroforstwirtschaft, um die langfristige Tragfähigkeit dieser zu gewährleisten. Insbesondere sind detaillierte wirtschaftliche Analysen erforderlich, um die Rentabilität von Agroforstsystemen unter verschiedenen klimatischen und wirtschaftlichen Bedingungen zu ermitteln. Außerdem besteht ein Handlungsbedarf zur Analyse der Effizienz bestimmter Gehölzarten und deren Kombinationen, damit diese einen bestmöglichen ökologischen, ökonomischen und eventuell sozialen Nutzen bringen können.

6 Fazit

Die Masterarbeit bietet eine detaillierte und praxisorientierte Untersuchung zur nachhaltigen Planung und Implementierung von Agroforstsystemen auf Grünlandflächen. Durch die klare Strukturierung in den Bereichen Methodik, Planung sowie Optimierung (ökologisch, ökonomisch und sozial) werden sowohl die Chancen als auch die Herausforderungen solcher Systeme gut abgebildet. Die größte Stärke des Leitfadens liegt in der praxisnahen Ausrichtung und der Verbindung von Theorie und praktischer Anwendung unterstützt durch anschauliche Grafiken. Allerdings gibt es auch erkennbare Schwächen. So trägt die Notwendigkeit eines gewissen Grundwissens in Land- und Forstwirtschaft zur Anwendbarkeit des Leitfadens bei. Insgesamt liefert die Arbeit einen wertvollen Beitrag zur Implementierung von Agroforstsystemen, indem sie sowohl ökologische als auch ökonomische und soziale Ziele hervorhebt und die Herausforderungen in der Planung realistisch darstellt. Langfristig könnte eine stärkere politische Unterstützung sowie weitergehende Forschung zu den praktischen Aspekten, wie etwa der Wahl der Gehölze oder der Wirtschaftlichkeit von Agroforstsystemen, zu einer breiteren Akzeptanz führen.

Die Masterarbeit stellt folglich einen praktischen Leitfaden dar, der als nützliches Werkzeug für Planer und Landwirte dienen kann, jedoch aufgrund der bürokratischen und wirtschaftlichen Unsicherheiten, die die Umsetzung behindern können, auf weitere langfristige, politische und wirtschaftliche Unterstützung angewiesen ist.

7 Quellen

- Aachener Stiftung Kathy Beys. (2015a, November 13). *Lexikon der Nachhaltigkeit | Definitionen | Nachhaltigkeit Definition*. Lexikon der Nachhaltigkeit; Aachener Stiftung Kathy Beys. URL: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/definitionen_1382.htm, zuletzt abgerufen am: 21.11.2024
- Aachener Stiftung Kathy Beys, 2005-2023. (2015b, Oktober 19). *Lexikon der Nachhaltigkeit | Definitionen | Biodiversität*. Lexikon der Nachhaltigkeit; Aachener Stiftung Kathy Beys. URL: https://www.nachhaltigkeit.info/artikel/biodiversitaet_1831.htm, zuletzt abgerufen am: 31.03.2025
- Aas, G. (2024). *Die Moorbirke (Betula pubescens) – Verbreitung, Variabilität und Ökologie*. URL: https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbau-bergwald/dateien/die_moorbirke_verbreitung__variabilit%C3%A4t_und_%C3%96kologie_-_lwf_wissen_87.pdf, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Al. (2022, Mai 16). *Mulberry tree growth rate, mature size (and growing tips)*. Hands-On Gardening. URL: <https://handsongardening.com/mulberry-tree-bush-growth-rate-mature-height-size/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Ammann, P. (2020). *Birke – eine Baumart mit Potenzial*. WALD und HOLZ. URL: https://www.waldwissen.net/assets/wald/baeume_waldpflanzen/laub/wsl_birke_mit_potezial/Artikel_Birke_Wald_und_Holz.pdf, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Arhonditsis, G. B., Shimoda, Y., & Kelly, N. E. (2019). Allometric Theory: Extrapolations From Individuals to Ecosystems. In B. Fath (Hrsg.), *Encyclopedia of Ecology (Second Edition)* (S. 242–255). Oxford: Elsevier.
- Aroniahof Kober. (o. J.). *Aroniabeeren*. URL: <http://www.aroniahof-kober.at>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

- Avila, A. L. de, & Albrecht, A. (2017). *Betula pendula*. URL:
https://www.waldwissen.net/assets/waldwirtschaft/waldbau/fva_artensteckbriefe/betula_pendula_baumartensteckbrief.pdf, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Avila, A. L. de, Häring, B., Rheinbay, B., Brüchert, F., Hirsch, M., & Albrecht, A. (2021).
Artensteckbriefe 2.0: alternative Baumarten im Klimawandel: eine Stoffsammlung.
 URL: https://www.fva-bw.de/fileadmin/publikationen/sonstiges/2021_fva_artensteckbriefe.pdf
- Bajc, M., Aravanopoulos, F., Westergren, M., Fussi, B., Kavaliauskas, D., Alizoti, P., Kiourtsis, F., & Kraigher, H. (2020). *Gemeine Esche (Fraxinus excelsior L.)*.
<https://doi.org/10.20315/SFS.172>
- Bakker.com. (o. J.). *Japanische Esskastanie - Castanea crenata*. Bakker.com. URL:
<https://de-de.bakker.com/collections/japanische-esskastanie-castanea-crenata-lat>,
 zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- BALDUR-Garten. (o. J.). *Berberitze richtig schneiden und pflegen*. URL:
<https://www.baldur-garten.de/onion/content/pflege-tipps/ziergeh%C3%B6lze/berberitze>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Baudach, F., Ponick, W., Greiser, G., & Martin, I. (2022). *Status und Entwicklung ausgewählter Wildtierarten in Deutschland. Jahresbericht 2020*. URL:
https://www.jagdverband.de/sites/default/files/2022-01/2022-01_Broschuere_Wild-Bericht_2020.pdf, zuletzt abgerufen am: 17.02.2025
- Baumpfleger-Lübeck. (o. J.). *Baumschutz in Lübeck, Bäume auf Baustellen*. URL:
<https://www.baumpfleger-luebeck.de/baumschutz>, zuletzt abgerufen am: 03.03.2025
- Baumschule Horstmann. (o. J.-a). *Aschweide / Grauweide - Salix cinerea*. Baumschule Horstmann. URL: <https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/729/53141/Aschweide-Grauweide.html>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Baumschule Horstmann. (o. J.-b). *Blaue Heckenkirsche - Lonicera caerulea*. Baumschule

Horstmann. URL: [https://www.baumschule-](https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/729/63758/Blaue-Heckenkirsche.html)

[horstmann.de/shop/exec/product/729/63758/Blaue-Heckenkirsche.html](https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/729/63758/Blaue-Heckenkirsche.html), zuletzt

abgerufen am: 24.02.2025

Baumschule Horstmann. (o. J.-c). *Korbweide / Flechtweide / Hanfweide - Salix viminalis*.

Baumschule Horstmann. URL: [https://www.baumschule-](https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/687/79/Korbweide-Flechtweide-Hanfweide.html)

[horstmann.de/shop/exec/product/687/79/Korbweide-Flechtweide-Hanfweide.html](https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/687/79/Korbweide-Flechtweide-Hanfweide.html),

zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Baumschule Horstmann. (o. J.-d). *Mirabelle „Bellamira“ - Prunus domestica subsp.*

syriaca „Bellamira“. Baumschule Horstmann. URL: [https://www.baumschule-](https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/90/54313/Mirabelle-Bellamira.html)

[horstmann.de/shop/exec/product/90/54313/Mirabelle-Bellamira.html](https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/90/54313/Mirabelle-Bellamira.html), zuletzt

abgerufen am: 24.02.2025

Baumschule Horstmann. (o. J.-e). *Salweide / Palmweide - Salix caprea*. Baumschule

Horstmann. URL: [https://www.baumschule-](https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/687/74/Salweide-Palmweide.html)

[horstmann.de/shop/exec/product/687/74/Salweide-Palmweide.html](https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/687/74/Salweide-Palmweide.html), zuletzt

abgerufen am: 24.02.2025

Baumschule Horstmann. (o. J.-f). *Schmalblättrige Ölweide - Elaeagnus angustifolia*.

Baumschule Horstmann. URL: [https://www.baumschule-](https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/687/26/Schmalblaettrige-Oelweide.html)

[horstmann.de/shop/exec/product/687/26/Schmalblaettrige-Oelweide.html](https://www.baumschule-horstmann.de/shop/exec/product/687/26/Schmalblaettrige-Oelweide.html), zuletzt

abgerufen am: 24.02.2025

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. (o. J.). *Bedeutung des Humus für die*

Bodenfruchtbarkeit. URL: <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/031125/>, zuletzt

abgerufen am: 23.01.2025

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. (2015). *Silber-Weide – Kurzbeschreibung*

heimischer Gehölze. URL:

<https://www.lfl.bayern.de/iab/kulturlandschaft/184694/index.php>, zuletzt abgerufen

am: 24.02.2025

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. (2024, Mai). *Agroforstsysteme in Bayern*.

URL:

https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/agroforstsysteme_in_bayern_lfl-information.bf.pdf, zuletzt abgerufen am: 08.01.2025

Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau. (2017, Mai). *Kiwibeere, die kleinfruchtige Kiwi (Actinidia arguta)*. URL:

https://www.lwg.bayern.de/mam/cms06/gartenakademie/dateien/3170-kiwibeere_kleinfruchtige_kiwi.pdf, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Bayerischer Landesverband für Gartenbau und Landespflege e. V. (o. J.). *Lagerung von Kernobst*. URL: https://www.garten-traunstein.de/wp-content/uploads/2023/04/MB_Lagerung_von_Kernobst.pdf, zuletzt abgerufen am: 14.03.2025

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus.

(o. J.). *Die Moorbirke (Betula pubescens)*. URL:

<https://www.lwf.bayern.de/moorbirke>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

BayernCollab. (o. J.). *Alnus incana (L.) Moench – Grau-Erle*. URL:

<https://collab.dvb.bayern/spaces/TUMForst/pages/74360440/Alnus+incana+L.+Moench+%E2%80%93+Grau-Erle>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

BayWa. (2025). *Wühlmauskorb blank*. URL:

<https://www.baywa.de/de/pflanzenbau/obstbau/betriebsmittel/-wuehlmauskorb-blank-/p-000000000001439852/>, zuletzt abgerufen am: 13.03.2025

Bergwaldprojekt e.V. (o. J.). *Agroforst | Bergwaldprojekt e.V.* URL:

<https://www.bergwaldprojekt.de/oekosysteme/agroforst>, zuletzt abgerufen am: 08.04.2025

blizz-z. (o. J.). *Baumschutz Wild-Verbiss*. URL: <https://www.blizz-z.de/baumschutz-wild-verbiss.html>, zuletzt abgerufen am: 03.03.2025

Böhm, C. (2024, Februar). *Themenblatt Nr. 3: Agroforstsysteme in der GAP ab 2023 – ein Überblick*. URL: <https://agroforst-info.de/wp->

content/uploads/2024/02/Themenblatt_3-2.Auflage-Web.pdf, zuletzt abgerufen am: 04.10.2024

Böhm, C., Tsonkova, P., Mohr, T., Schröder, C., Lorenz, C., Ludewig, M., Bösel, B., Dommel, J., Wagner, N., & Domin, T. (2020, April). *Konzept zur Förderung von Agroforstflächen als Agrarumwelt- und Klimamaßnahme (AUKM) im Rahmen des Kulturlandschafts- programms (KULAP) des Landes Brandenburg*. URL: https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2020/06/Konzept_Agroforst_AUKM__Druck.pdf, zuletzt abgerufen am: 01.03.2025

Brandl, J. (2021, Dezember). *Die Schwarzerle*. URL: https://www.bildungsserver-wald.de/fileadmin/bildungsserver-wald.de/bildungsmaterial/baumarten/Baum-Info_-_Schwarzerle.pdf, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Brust, J. (2024, Januar 22). *Staunässe und Pflanzenwachstum*. BWagrar. URL: <https://www.bwagrar.de/themen/pflanze/article-7821014-204224/staunaesse-und-pflanzenwachstum-.html>, zuletzt abgerufen am: 05.02.2025

BUND Markdorf. (o. J.). *Sortenliste Sträucher*. BUND - BUND für Naturschutz und Umwelt in Deutschland. URL: https://markdorf.bund.net/natur/heckenstraeucheraktion/sortenliste-straeucher/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA-5a9BhCBARIsACwMkJ469_azfUyBWf3kpOS-QxWhQysEUptYJsCUuoF00G6kxetHEc3E_ikaAnQ4EALw_wcB, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. (o. J.). *Allgemeines zur Bodennutzung*. BMEL-Statistik. URL: <https://www.bmel-statistik.de/landwirtschaft/bodennutzung-und-pflanzliche-erzeugung/allgemeines-zur-bodennutzung>, zuletzt abgerufen am: 05.10.2024

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. (2024a, April 9). *Agroforstwirtschaft - ökologisch und ökonomisch vielversprechend*. Praxis-Agrar. URL:

<https://www.praxis-agrar.de/pflanze/ackerbau/agroforstwirtschaft>, zuletzt abgerufen am: 04.03.2025

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung. (2024b, Juni 3). *Agroforst –*

Landnutzungssystem mit Zukunftspotenzial. Ökolandbau.de. URL:

<https://www.oekolandbau.de/landwirtschaft/oekologischer-pflanzenbau/anbausysteme/agroforst-landnutzungssystem-mit-zukunftspotenzial/>,
zuletzt abgerufen am: 05.10.2024

Bundesinformationszentrum Landwirtschaft. (2023, Oktober 12). *Was ist*

Grünlandwirtschaft und was macht sie so wertvoll?: BZL. URL:

<https://www.landwirtschaft.de/tier-und-pflanze/pflanze/nutzpflanzen-allgemein/was-ist-gruenlandwirtschaft-und-was-macht-sie-so-wertvoll>, zuletzt abgerufen am:
04.12.2024

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2024, Oktober 28). *GAP-*

Strategieplan für die Bundesrepublik Deutschland. BMEL. URL:

<https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/eu-agrarpolitik-und-foerderung/gap/gap-strategieplan.html>, zuletzt abgerufen am: 18.03.2025

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. (2024, Oktober

23). *Folgen des Klimawandels*. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. URL:

<https://www.bmz.de/de/themen/klimawandel-und-entwicklung/folgen-des-klimawandels-124774>, zuletzt abgerufen am: 04.10.2024

Burgdorf, N. (o. J.). *Braune Flecken im Moor: Ein Nadelpilz bedroht unsere heimischen Spirken und Latschen!* URL:

<https://www.lwf.bayern.de/service/presse/360717/index.php>, zuletzt abgerufen am:
24.02.2025

Busniah, M., Hakiki, A., & Martinius, M. (2020). Diversity of Hymenopteran parasitoid in agricultural and primary forest in Lubuk Kilangan, Padang, West Sumatera, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 497. Jg.

- CBACK. (o. J.). *Salix alba - Silberweide*. URL: <https://green-24.de/forum/salix-alba-silberweide-t98067.html>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- DEFAF e.V. (o. J.). *Pro und Contra Agroforst*. | DEFAF e.V. URL: <https://agroforst-info.de/chancen/>, zuletzt abgerufen am: 04.03.2025
- DEFAF e.V. (2024, März 7). *Bürokratie verhindert effektive, leicht umsetzbare Maßnahmen für mehr Vielfalt auf dem Acker*. URL: https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2024/03/2024-03-07_Pressemitteilung-Anpassung-Oeko-Regelungen-fuer-mehr-Vielfalt-auf-dem-Acker.pdf, zuletzt abgerufen am: 24.03.2025
- DEFAF e.V. (2025, März 31). *Förderhöhe für Agroforstsysteme verdreifacht • DeFAF Verbandsarbeit zahlt sich aus*. URL: https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2025/03/DeFAF_Pressemitteilung_Agroforst_OeR3_hoehere.Praemie_600EURha.pdf, zuletzt abgerufen am: 01.04.2025
- Deutsche Wildtier Stiftung. (2017, März). *Rotwildverbreitung in Deutschland*. URL: https://www.rothirsch.org/wp-content/uploads/2014/03/rwg_aktuell_170801.jpg, zuletzt abgerufen am: 17.02.2025
- Deutscher Wetterdienst. (2020, September 23). *Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Übersicht - Frostgefährdung*. URL: https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/allgemein/frostgefaehrung_doku.html?lsbld=647848, zuletzt abgerufen am: 23.01.2025
- Dušek, R., & Popelková, R. (2017, September 26). *Theoretical view of the Shannon index in the evaluation of landscape diversity*. AUC GEOGRAPHICA. URL: https://www.researchgate.net/publication/320051115_Theoretical_view_of_the_Shannon_index_in_the_evaluation_of_landscape_diversity, zuletzt abgerufen am: 10.12.2024
- DWD. (2023a, Juli 26). *Niederschlag: vieljährige Mittelwerte 1991 - 2020*. URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/nieder_9120

- _SV_html.html;jsessionid=6CAFC520C5C6D05CF2AA8D27F0DADCF7.live21072?view=nasPublication&nn=16102, zuletzt abgerufen am: 17.02.2025
- DWD. (2023b, August 16). *Lufttemperatur: vieljährige Mittelwerte 1991 - 2020*. URL: https://www.dwd.de/DE/leistungen/klimadatendeutschland/mittelwerte/temp_9120_SV_html.html;jsessionid=6CAFC520C5C6D05CF2AA8D27F0DADCF7.live21072?view=nasPublication&nn=16102, zuletzt abgerufen am: 17.02.2025
- DWD. (2025, Februar 17). *Index of /climate_environment/CDC/observations_germany/climate/monthly/kl/historical/*. URL: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/monthly/kl/historical/, zuletzt abgerufen am: 17.02.2025
- Ebben. (o. J.-a). *Amelanchier alnifolia „Smoky“ Erlenblättrige Felsenbirne „Smoky“*. URL: <https://www.ebben.nl/de/treeebb/amasmoky-amelanchier-alnifolia-smoky/pdf/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Ebben. (o. J.-b). *Platanus occidentalis*. URL: <https://www.ebben.nl/de/treeebb/ploccide-platanus-occidentalis/pdf/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Ehring, A., Steinacker, L., & Nagel, R.-V. (2019). *Anbau von Schwarznuss und Hybridnuss*. URL: http://www.ignuss.de/index_html_files/Anbau%20von%20Schwarznuss%20-%20schnellwachsende%20Baumarten.pdf, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Engel, M., Kaule, L., Kühnbach, M., Mette, T., & Falk, Wolfgang. (2024). *Die Moorbirke (Betula pubescens Ehrh.) -Verbreitung, Standort und Ökologie*. URL: <https://www.lwf.bayern.de/waldbau-bergwald/waldbau/339212/index.php>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- ETH Zürich. (1995). *Alnus incana Moench*. URL: https://www.gebirgswald.ch/tl_files/gebirgswald/de/09_Lehre_Forschung/Baumarten_ETH/15-Weisserle.pdf, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (o. J.-a). *Agroforstsysteme*. URL:
<https://pflanzen.fnr.de/energiepflanzen/anbausysteme/agroforstsysteme>, zuletzt
abgerufen am: 19.10.2024
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (o. J.-b). *Energieholz*. URL:
<https://pflanzen.fnr.de/energiepflanzen/anbausysteme/energieholz>, zuletzt
abgerufen am: 05.02.2025
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2012). *Energieholz aus der Landwirtschaft*.
URL: https://www.fnr.de/fileadmin/Projekte/2021/Mediathek/energieholz_web.pdf,
zuletzt abgerufen am: 22.02.2025
- finanz-tools.de. (2025, Februar 28). *Inflationsraten in Deutschland*. URL:
<https://www.finance-tools.de/inflation/inflationsraten-deutschland>, zuletzt abgerufen
am: 13.03.2025
- Five Oak projects. (2022, Mai). *Tree Survey*. URL:
[https://docs.planning.org.uk/20231016/91/S1N55DHZMTD00/y4nscem470bzof6](https://docs.planning.org.uk/20231016/91/S1N55DHZMTD00/y4nscem470bzof6.pdf).
pdf, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Forster, M., Falk, W., & Reger, B. (2019, Juni). *Praxishilfe Klima – Boden –
Baumartenwahl*. URL:
[https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/praxishilfe_baumarten_bf.p](https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/praxishilfe_baumarten_bf.pdf)
df, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025
- Fortin, M., Van Couwenberghe, R., Perez, V., & Piedallu, C. (2019, März). *Evidence of
climate effects on the height-diameter relationships of tree species* (Nr. 1). *Annals
of Forest Science*; BioMed Central. URL:
<https://annforsi.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-018-0784-9>, zuletzt
abgerufen am: 24.02.2025
- Fraunhofer IAO. (2019, Oktober). *Agroforst: Nachhaltige Landnutzung in Deutschland*.
URL: [https://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/agroforst-](https://www.iao.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/aktuelles/agroforst-nachhaltige-landnutzung-in-deutschland.html)
nachhaltige-landnutzung-in-deutschland.html, zuletzt abgerufen am: 07.01.2025

- Frei, L., Nenninger, C., & Blaser, R. (2004). *Gehölzportrait: Sambucus nigra*. URL:
<https://www.wsl.ch/gehoelze/SchwarzerHolunder#:~:text=Der%20ideale%20Boden%20ist%20m%C3%A4ssig,Schwarze%20Holunder%20als%20N%C3%A4hrstoffzeiger%20bezeichnet.>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Friess, D. (2023, Dezember 20). *Biodiversität: Fünf Gründe für das Artensterben und was ihr dagegen tun könnt*. URL:
<https://www.ardalpha.de/wissen/natur/tiere/artenschutz/biodiversitaet-artenschutz-artensterben-klimawandel-tiere-natur-100.html>, zuletzt abgerufen am: 10.01.2025
- Fussi, B., Rau, B., Kavaliauskas, D., & Šeho, M. (2021, August). *Verbesserung der Erntebasis beim Feldahorn*. URL:
https://www.waldwissen.net/assets/waldwirtschaft/waldbau/genetik/lwf_feldahorn_erntebasis/644_Fs_Rau_Ka_Se_Feldahorn_Verbesserung_der_Erntebasis.pdf,
zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Google Satellite. (2025). *Karte der Grünlandfläche des Praxisbeispiels*. URL:
https://earth.google.com/web/search/Z%c3%b6rbig-Gro%c3%9fz%c3%b6beritz/@51.61656469,12.17832116,90.47006948a,427.28947412d,35y,0h,0t,0r/data=CiwiJgokCbOeYxw34jRAEa-eYxw34jTAGR64OM52XkIAIUaKxzo8_UnAQgIIATIpCicKJQohMVJzVi04c2NNN1VNX21sSExvXzZrZXM2bmxBbjR0R1N4IAE6AwoBMEICCABKCAiAnd2yAhAB,
zuletzt abgerufen am: 03.04.2025
- Greifenhagen, C. (o. J.). *Kornelkirsche Cornus mas Beschreibung Steckbrief Systematik*.
URL: https://www.pflanzen-deutschland.de/Cornus_mas.html, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Grosser, D., & Ehmcke, G. (o. J.). *Das Holz der Lärche – Eigenschaften und Verwendung*.
URL:
https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldschutz/dateien/das_holz_der_laerche_w69.pdf, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025

GRUBE.de. (2025). *Grube Fachkatalog Nr. 66*. URL:

<https://katalog.grube.de/frontend/getcatalog.do?catalogId=797895&startpage=499>,
zuletzt abgerufen am: 13.03.2025

heckenshop.de. (o. J.). *Kupfer-Felsenbirne (Amelanchier lamarckii)*. Kupfer-Felsenbirne

(Amelanchier lamarckii) | 100-125cm | Im Topf gewa, 17,38 €. URL:

<https://heckenshop.de/kupfer-felsenbirne-amelanchier-lamarckii-100-125cm-im-topf-gewachsen-5l>,
zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Heil, E. (2020). *Methode der Systematischen Literaturrecherche*. URL: [https://www.uni-](https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb09/institute/VKE/nutr-ecol/lehre/SystematischeLiteraturrecherche.pdf)

[giessen.de/de/fbz/fb09/institute/VKE/nutr-ecol/lehre/SystematischeLiteraturrecherche.pdf](https://www.uni-giessen.de/de/fbz/fb09/institute/VKE/nutr-ecol/lehre/SystematischeLiteraturrecherche.pdf),
zuletzt abgerufen am: 07.11.2024

Hein, S. (2004, Januar 1). *Produktionsziele mit Bergahorn und Steuerung des*

Wachstums. Allgemeine Forstzeitschrift/ Der Wald. URL:

[https://www.researchgate.net/profile/Hein-](https://www.researchgate.net/profile/Hein-Sebastian/publication/259995909_Hein_S_2005_Produktionsziele_und_zielgerichtetes_Wachstumssteuerung_mit_Bergahorn_Acer_pseudoplatanus_L_Allgemeine_Forstzeitschrift_Der_Wald_32004_49-52/links/550c15b10cf2b2450b4e9343/Hein-S-2005-Produktionsziele-und-zielgerichtete-Wachstumssteuerung-mit-Bergahorn-Acer-pseudoplatanus-L-Allgemeine-Forstzeitschrift-Der-Wald-3-2004-49-52.pdf)
Sebastian/publication/259995909_Hein_S_2005_Produktionsziele_und_zielgerichtet
ete_Wachstumssteuerung_mit_Bergahorn_Acer_pseudoplatanus_L_Allgemeine_
Forstzeitschrift_Der_Wald_32004_49-52/links/550c15b10cf2b2450b4e9343/Hein-
S-2005-Produktionsziele-und-zielgerichtete-Wachstumssteuerung-mit-Bergahorn-
Acer-pseudoplatanus-L-Allgemeine-Forstzeitschrift-Der-Wald-3-2004-49-52.pdf,
zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Hering, T., Reinhold, D. G., Biertmpfel, A., & Vetter, D. A. (2013, Mai). *Leitlinie*

Energieholz. URL: https://www.tll.de/www/daten/publikationen/leitlinien/ll_eholz.pdf

Hoffmann, I. (2021, April). *Schwund der Artenvielfalt bedroht die Ernährungssicherheit*.

Welthungerhilfe.de - Für eine Welt ohne Hunger und Armut. URL:

[https://www.welthungerhilfe.de/welternaehrung/rubriken/klima-ressourcen/ohne-](https://www.welthungerhilfe.de/welternaehrung/rubriken/klima-ressourcen/ohne-biodiversitaet-keine-ernaehrungssicherheit)
biodiversitaet-keine-ernaehrungssicherheit, zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

Hübner, R. (2021, November 4). *Möglichkeiten der Agroforstwirtschaft Wohin geht die*

Reise? URL: <https://www.lanu.de/media/tyfo14603->

70ea12a4a2c4044f77f74bf578e75a9e/huebner_agroforstwirtschaft.pdf, zuletzt
abgerufen am: 17.03.2025

Humberg. (2022, Juli 7). *Baumscheiben: Pflege und Bepflanzung*. URL: <https://humberg-baumschutz.de/magazin-humberg/detailseite/baumscheiben-pflege-und-moegliche-bepflanzung>, zuletzt abgerufen am: 03.03.2025

Ifo, S. A., Moutsambote, J.-M., Koubouana, F., Yoka, J., Ndzai, S. F., Bouetou-Kadilamio, L. N. O., Mampouya, H., Jourdain, C., Bocko, Y., Mantota, A. B., Mbemba, M., Mouanga-Sokath, D., Odende, R., Mondzali, L. R., Wenina, Y. E. M., Ouissika, B. C., & Joel, L. J. (2016, August 8). *Tree Species Diversity, Richness, and Similarity in Intact and Degraded Forest in the Tropical Rainforest of the Congo Basin: Case of the Forest of Likouala in the Republic of Congo*. International Journal of Forestry Research. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1155/2016/7593681>, zuletzt abgerufen am: 11.09.2024

International Dendrology Society. (o. J.). *Castanea mollissima*. URL: <https://www.treesandshrubsonline.org/articles/castanea/castanea-mollissima/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Internetredaktion LpB BW. (2023, Mai). *Nachhaltigkeit*. URL: <https://www.lpb-bw.de/dossier-nachhaltigkeit>, zuletzt abgerufen am: 21.11.2024

Jäger, M. (2017, Januar). *Agroforstsysteme Hochstamm-, Wildobst- und Laubbäume mit Kulturpflanzen kombinieren*. URL: <https://www.oberland-ost.ch/images/pdf/landschaft/HOFO/Agrarforstsysteme.pdf>, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025

Jenkins, J. C., Chojnacky, D. C., & Heath, L. S. (2014, Januar 1). *Updated generalized biomass equations for North American tree species*. Forestry. URL: https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/jrnl/2014/nrs_2014_chojnacky_001.pdf, zuletzt abgerufen am: 07.10.2024

- Johansson, T. (2011). *Biomass of willow (Salix caprea L.)*. URL:
https://pub.epsilon.slu.se/14861/7/johansson_t_171208.pdf, zuletzt abgerufen am:
 24.02.2025
- Jung, N., & Grote, C. (o. J.). *Steckbrief zu Lonicera caerulea / Blaue Heckenkirsche*. URL:
https://botanischer-garten-hoexter.de/pflanze-lyonicera_caerulea.html#fab-wissenschaftlichedaten-headline, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Kaesler, A., Palma, J., Sereke, F., & Herzog, F. (2010, November). *Umweltleistungen von Agroforstsystemen*. URL:
<https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjmorHxnuiKAXWf3AlHHbKUBioQFnoECBYQAQ&url=https%3A%2F%2Fira.agroscope.ch%2Fen-US%2FPage%2FEinzelpublikation%2FDownload%3FeinzelpublikationId%3D25922&usg=AOvVaw1S8gTPfXomyjJRexanAXJX&opi=89978449>, zuletzt abgerufen am: 09.01.2025
- Kavaliauskas, D., Karopka, M., Cremer, E., & Forreiter, L. (2019). *Die Spirke in süddeutschen Mooren*. URL: <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/baeume-und-waldpflanzen/nadelbaeume/nachzucht-der-moorkiefer>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Kellner, J. (2024, September 29). *Kastanienholz » Eigenschaften & Verwendung des Holzes*. URL:
https://www.hausjournal.net/kastanienholz?utm_source=chatgpt.com#google_vignette, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025
- KG, G. S., & Gartencenter Selbach. (o. J.). *Kornelkirsche, Cornus mas*. Gartencenter Selbach KG. URL: <https://www.gartencenter-selbach.de/artikel/170/kornelkirsche>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Klatt, F. (2023). *Systematic Literature Reviews in den Wirtschaftswissenschaften*. URL:
<https://www.tu.berlin/wm/bibliothek/forschen-lehren/systematic-literature->

- reviews/beschreibung-systematic-literature-review-methode#c982468, zuletzt
abgerufen am: 20.11.2024
- Klein, D., & Schulz, C. (2023, Dezember). *Kohlenstoffspeicherung von Bäumen*. URL:
https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb27_kohlenstoff_2023_rz_web_bf.pdf, zuletzt abgerufen am: 05.01.2025
- Kunz, J., Mellert, K.-H., Forster, M., Falk, W., Seho, M., Reger, B., & Klemmt, H.-J. (2020, Juli). *Praxishilfe Klima – Boden – Baumartenwahl, Band II*.
- Kvålseth, T. O. (2015). Evenness indices once again: critical analysis of properties. *SpringerPlus*, 4. Jg., Heft 1, S. 232.
- Landesportal Sachsen-Anhalt. (2023, März 3). *Nutzungskonzept für Agroforstsysteme*. URL: https://www.inet17.sachsen-anhalt.de/webClient_ST_P/public?disposition=inline&resource=ST23_DZ_Merkblatt_NK_AFS_final.pdf, zuletzt abgerufen am: 05.03.2025
- Landeszentrum Wald Sachsen-Anhalt. (2016, März 4). *Definitionen wichtiger forstlicher Begriffe*. URL: https://landeszentrumwald.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MW/MWL/03_Dokumente/05_Forsten/Definitionen_wichtiger_forstlicher_Begriffe.pdf, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025
- Landmann, M. Y., & Plaas, E. (2024, April). *Praxiswissen Hecken*. URL: https://www.thuenen.de/media/institute/lv/Projekt-Downloads-pdf/CatchHedge/2024-04a__Hackschnitzel_aus__Feld-_Hecken-Moeglichkeiten_und_Grenzen.pdf?utm_source=chatgpt.com, zuletzt abgerufen am: 13.03.2025
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen. (o. J.). *Holunder – Roh giftig oder nicht?* URL: https://www.lwk-niedersachsen.de/lwk/news/40734_Holunder_-_Roh_giftig_oder_nicht, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025
- Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. (2024). *Erfahrungssätze für Maschinenring-Arbeiten 2024*. URL:

- <https://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/beratung/pdf/erfahrungssaetze-wl.pdf>, zuletzt abgerufen am: 03.04.2025
- Lea. (2020, April 27). *Schlehen: Pflanzen, Vermehren & Schneiden*. Plantura. URL: <https://www.plantura.garden/obst/schlehen/schlehen-pflanzenportrait>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Leo, L. (2018, Juni 4). *Bucheckern essen: Inhaltstoffe & Rezepte*. Plantura. URL: <https://www.plantura.garden/gehoelze/buchen/bucheckern-essen>, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025
- Lesche, S. (2025, Januar). *Scheitholzpreise*. URL: https://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/biogenefestbrennstoffe/dateien/mb_scheitholzpreise.pdf, zuletzt abgerufen am: 08.04.2025
- Leuschner, C., Wesche, K., Meyer, S., Krause, B., Steffen, K., Becker, T., & Culmsee, H. (2013). *Veränderungen und Verarmung in der Offenlandvegetation Norddeutschlands seit den 1950er Jahren: Wiederholungsaufnahmen in Äckern, Grünland und Fließgewässern*. URL: https://www.zobodat.at/pdf/Ber-Reinh-Tuexen-Ges_25_0166-0182.pdf, zuletzt abgerufen am: 31.03.2025
- Lexikon der Geowissenschaften. (o. J.). *Shannon-Index*. URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/shannon-index/14873>, zuletzt abgerufen am: 11.09.2024
- Loql. (o. J.). *Die Zukunft der Landwirtschaft: Agroforstwirtschaft als nachhaltige Lösung*. URL: <https://www.loql.com/blog/die-zukunft-der-landwirtschaft-agroforstwirtschaft-als-nachhaltige-lösung>, zuletzt abgerufen am: 04.03.2025
- Lubera. (o. J.). *Kirschpflaume (Prunus cerasifera) - Pflege, Schneiden*. Pflanzenversand und Gartenversand Lubera® | Ihr Garten-Shop. URL: <https://www.lubera.com/de/gartenbuch/kirschpflaume-prunus-cerasifera-pflege-schneiden-p3136>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Luick, R., & Vonhoff, W. (2010, Januar 11). *Wertholzpflanzungen – das Thema Agroforstsysteme in moderner Inszenierung*. URL:

- https://www.waldwissen.net/assets/waldwirtschaft/nebennutzung/agroforst_weide/fva_streuobstwiesen_wertholzproduktion/fva_streuobstwiesen_wertholzproduktion_gesamt.pdf, zuletzt abgerufen am: 13.03.2025
- Luidold, M. (2011). *Forstschutzbericht Steiermark 2011*. URL: https://www.agrar.steiermark.at/cms/dokumente/11973247_100807381/9ebe249e/L%C3%A4nderbericht%20Stmk%202011.pdf, zuletzt abgerufen am: 01.03.2025
- Markut, T., Meindl, P., & Kummer, S. (2022). *Agroforst - Von der Idee bis zur Umsetzung*. URL: <https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1248-agroforst.pdf>, zuletzt abgerufen am: 27.02.2025
- Marschall, K. B., Nicolas. (2025, Januar 1). *Grenzstandort*. Lexikon des Agrarraums. URL: <https://www.agrarraum.info/lexikon/grenzstandort>, zuletzt abgerufen am: 27.01.2025
- Maskell, L., Henrys, P., Norton, L., Smart, S., & Wood, C. (2013, Januar). *Distribution of Ash trees (Fraxinus excelsior) in Countryside Survey data*. URL: <https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/532357/1/N532357CR.pdf>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Matthews, G. (1993). *Forestry Commission Technical Paper: The carbon content of trees*. URL: <https://cdn.forestresearch.gov.uk/1993/09/fctp004.pdf>, zuletzt abgerufen am: 09.10.2024
- Max-Planck-Gesellschaft. (o. J.). *Biodiversität*. URL: <https://www.mpg.de/biodiversitaet>, zuletzt abgerufen am: 15.11.2024
- Ministerium für Raumordnung, Landwirtschaft und Umwelt. (2016). *Merkblatt zur Bewirtschaftung von Eichenbeständen*. URL: https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfva/common/veroeffentlichen/merkblaetter/ST_Merkblatt_Eichenbestaende_2016.pdf, zuletzt abgerufen am: 13.03.2025
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie. (2020). *Merkblatt zur Bewirtschaftung von Edellaubholzbeständen*. URL: https://mw.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MW/MWL/01_Bilder/05_For

sten/Forst/Waldschutz/Edellaubholz_0920_web.pdf, zuletzt abgerufen am:
24.02.2025

Moldaschl, E., Mayer, M., Weiß, M., Matthews, B., Schmid, C., Banko, G., & Weiss, P.

(2025). *Organische Böden in Österreich: Ausmaß, Bewirtschaftung und Treibhausgasemissionen*. URL:

https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0932.pdf?utm_source=chatgpt.com, zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

Monning, E. (2018, August 24). *Ulmen*. Mein schöner Garten. URL: <https://www.mein-schoener-garten.de/pflanzen/ulmen>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Morhart, C., Sheppard, J., Douglas, G., Lunny, R., Spiecker, H., & Nahm, M. (2015).

WERTHOLZ-PRODUKTION IN AGROFORST-SYSTEMEN. URL:

<https://www.agroforst.ch/wp-content/uploads/leitfaden-wertholzproduktion-in-afs.pdf>, zuletzt abgerufen am: 07.04.2025

Morus alba (White Mulberry). (o. J.). URL:

<https://landscapeplants.aub.edu.lb/Plants/GetPDF/fa00bedb-9563-4f30-bbc5-a2b6586f3816>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

NABU. (o. J.). *Was ist Biodiversität?* NABU - Naturschutzbund Deutschland e.V. URL:

https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/naturschutz/13654.html/?utm_source=chatgpt.com, zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

National Poplar and Willow Users Group. (2007, Mai). *Growing poplar and willow trees on*

farms. URL: <https://www.poplarandwillow.org.nz/documents/growing-poplar-and-willow-trees-on-farms.pdf>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

NaturaDB. (2023a, Februar 22). *Japanische Kastanie: Expertenwissen für den Garten*.

URL: <https://www.naturadb.de/pflanzen/castanea-crenata/>, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025

- NaturaDB. (2023b, Oktober 19). *Lamberts-Hasel: Expertenwissen für den Garten*. URL: <https://www.naturadb.de/pflanzen/corylus-maxima/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Naturkapital Deutschland – TEEB DE. (2017). *Grünlandumbruch: Ein gesellschaftliches Verlustgeschäft*. URL: https://www.ufz.de/export/data/462/191159_Fallstudie_Gr%C3%BCnland_Web.pdf?utm_source=chatgpt.com, zuletzt abgerufen am: 10.01.2025
- Nawaz, M. A., Krutovsky, K. V., Mueller, M., Gailing, O., Khan, A. A., Buerkert, A., & Wiehle, M. (2018, September). *Morphological and Genetic Diversity of Sea Buckthorn (Hippophae rhamnoides L.) in the Karakoram Mountains of Northern Pakistan* (Nr. 3). Diversity; Multidisciplinary Digital Publishing Institute. URL: <https://www.mdpi.com/1424-2818/10/3/76>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- NC State. (o. J.). *Prunus cerasifera*. URL: <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/prunus-cerasifera/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Neumann, M., Nicolussi, K., Patzelt, G., Böhm, R., Leitgeb, E., Englisch, M., Geburek, T., Krehan, H., Steyrer, G., Schadauer, K., Lexer, M. J., Seidl, R., Rammer, W., & Jäger, D. (2006, April 5). *Klimawandel – Auswirkungen auf die Forstwirtschaft*. URL: https://bfw.ac.at/030/pdf/1818_pi10.pdf, zuletzt abgerufen am: 23.01.2025
- Neusch, J. (2023, Februar 6). *Schritt-für-Schritt-Anleitungen schreiben: So geht's*. Focus online. URL: https://praxistipps.focus.de/schritt-fuer-schritt-anleitungen-schreiben-so-gehts_155511, zuletzt abgerufen am: 06.11.2024
- Nordischer Shop. (o. J.). *Hippophae rhamnoides – Sanddorn – Wildform*. URL: <https://www.nordischer-shop.at/produkt/hippophae-rhamnoides-sanddorn/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt. (2021, Juni). *Merkblatt Edellaubbäume*. URL: https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfvfa/common/veroeffentlichen/merkblaetter/SH_Merkblatt_Edellaubbaeume_2021.pdf, zuletzt abgerufen am: 13.03.2025

Obere Jagdbehörde. (2023, Juni 5). *Jagdstrecken Sachsen-Anhalt Jagdjahr 2022/23*.

URL: https://www.sachsen-anhalt.de/fileadmin/tsa_rssinclude/LSA_Jagdstrecken_JJ_2022.pdf, zuletzt abgerufen am: 17.02.2025

OBI. (2025). *LUX Gärtnerspaten mit Trittkante eingestielt 85 cm kaufen bei OBI*. OBI.de.

URL: <https://www.obide/p/9235334/lux-gaertnerspaten-mit-trittkante-eingestielt-85-cm>, zuletzt abgerufen am: 13.03.2025

Ochse, M., & Hundsdoerfer, M. (2020, Februar). *Empfehlungen zur Mahd von Grünflächen in der nördlichen Oberrheinebene*. URL:

https://www.pollichia.de/images/publikationen/Empfehlungen_Mahd_Artenvielfalt_Oberrheinebene_POLLICHIA_B1.pdf, zuletzt abgerufen am: 03.03.2025

Öffentlichkeitsarbeit, G.-A.-U. G.-. (o. J.). *Behandlung*. Georg-August Universität

Göttingen. URL: https://www.uni-goettingen.de/de/waldbau/56406.html?utm_source=chatgpt.com, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

OHG, S. P. (o. J.). *Salix viminalis*. Sauer Pflanzkulturen OHG. URL: <https://www.garten-sauer.de/artikel/7127/salix-viminalis>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Ökolandbau.de. (2024, Juni 4). *Planung von Agroforstsystemen: was ist zu beachten?*

URL: <https://www.oekolandbau.de/bio-in-der-praxis/oekologische-landwirtschaft/oekologischer-pflanzenbau/agroforstwirtschaft/was-bei-der-planung-von-agroforstsystemen-zu-bedenken-ist/>, zuletzt abgerufen am: 07.04.2025

Ornamental Trees. (o. J.). *Amelanchier alnifolia Obelisk*. Ornamental Trees. URL:

<https://www.ornamental-trees.co.uk/products/amelanchier-alnifolia-obelisk-tree>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Österreichische Baumfreunde. (o. J.). *Schwarzerle - Alnus glutinosa*. URL:

<https://baumfreunde.org/FinBa/alnus-glutinosa>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Paulownia-Baumschule. (o. J.). *Pekannuss*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/pekannuss-carya-illinoensis/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Paulownia-Baumschule. (2021, Oktober). *Schuppenrinden-Hickory Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/schuppenrinden-hickory-carya-ovata/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Paulownia-Baumschule. (2025a). *Eibe Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/eibe-taxus-baccata/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Paulownia-Baumschule. (2025b). *Fichte*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/fichte-picea-abies/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Paulownia-Baumschule. (2025c). *Gemeine Hasel Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/gemeine-hasel-corylus-avellana/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Paulownia-Baumschule. (2025d). *Kiefer Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/gemeine-kiefer-pinus-sylvestris/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Paulownia-Baumschule. (2025e). *Riesenmammutbaum Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/riesenmammutbaum-sequoiadendron-giganteum/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Paulownia-Baumschule. (2025f). *Schwarzkiefer Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/schwarzkiefer-pinus-nigra/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

- Paulownia-Baumschule. (2025g, März). *Echte Walnuss Forstpflanzen*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/echte-walnuss-juglans-regia/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Paulownia-Baumschule. (2025h, März). *Lärche*. URL: <https://www.paulownia-baumschule.de/europaeische-laerche-larix-decidua/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Paulownia-Baumschule. (2025i, März). *Speierling Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität - Paulownia Baumschule Schröder*. URL: <https://www.paulownia-baumschule.de/speierling-sorbus-domestica/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Paulownia-Baumschule. (2025j, März). *Stieleiche Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/stieleiche-quercus-robur/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Paulownia-Baumschule. (2025k, März). *Vogelbeere Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität - Paulownia Baumschule Schröder*. URL: <https://www.paulownia-baumschule.de/vogelbeere-sorbus-aucuparia/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Paulownia-Baumschule. (2025l, März). *Weißtanne*. URL: <https://www.paulownia-baumschule.de/weisstanne-abies-alba/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Paulownia-Baumschule. (2025m, März). *Wildapfel Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/wildapfel-malus-sylvestris/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Paulownia-Baumschule. (2025n, Oktober). *Traubeneiche Forstpflanzen online kaufen | Container-Qualität*. Paulownia Baumschule Schröder. URL: <http://www.paulownia-baumschule.de/traubeneiche-quercus-petraea/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Peratoner, G., & Pötsch, E. M. (2015). *Erhebungsmethoden des Pflanzenbestandes im Grünland*. URL: https://raumberg-gumpenstein.at/jdownloads/FODOK/3992-landw-res-extensivierungsversuche/fodok_2_16160_peratoner.pdf, zuletzt abgerufen am: 11.09.2024

Pfeifer, S., Bathiany, S., & Rechid, D. (2021, Juni). *Klimaausblick Landkreis Anhalt-*

Bitterfeld. URL:

https://www.gerics.de/products_and_publications/fact_sheets/landkreise/index.php
.de, zuletzt abgerufen am: 17.02.2025

Pflanzen von Falkenhayn. (o. J.-a). *Cydonia oblonga* „*Birnenquitte*“. URL: [https://www.vf-](https://www.vf-pflanzen.de/en/product-portfolio/standard-trees/product/cydonia-oblonga-birnenquitte/#standard-tree-with-a-girth-of-25---30-cm-15241)

[pflanzen.de/en/product-portfolio/standard-trees/product/cydonia-oblonga-](https://www.vf-pflanzen.de/en/product-portfolio/standard-trees/product/cydonia-oblonga-birnenquitte/#standard-tree-with-a-girth-of-25---30-cm-15241)
[birnenquitte/#standard-tree-with-a-girth-of-25---30-cm-15241](https://www.vf-pflanzen.de/en/product-portfolio/standard-trees/product/cydonia-oblonga-birnenquitte/#standard-tree-with-a-girth-of-25---30-cm-15241), zuletzt abgerufen
am: 24.02.2025

Pflanzen von Falkenhayn. (o. J.-b). *Prunus cerasifera* „*Nigra*“. URL: [https://www.vf-](https://www.vf-pflanzen.de/en/product-portfolio/specimen-trees/product/prunus-cerasifera-nigra-2/#standard-tree-with-a-girth-of-45---50-cm-12571)

[pflanzen.de/en/product-portfolio/specimen-trees/product/prunus-cerasifera-nigra-](https://www.vf-pflanzen.de/en/product-portfolio/specimen-trees/product/prunus-cerasifera-nigra-2/#standard-tree-with-a-girth-of-45---50-cm-12571)
[2/#standard-tree-with-a-girth-of-45---50-cm-12571](https://www.vf-pflanzen.de/en/product-portfolio/specimen-trees/product/prunus-cerasifera-nigra-2/#standard-tree-with-a-girth-of-45---50-cm-12571), zuletzt abgerufen am:
24.02.2025

Pflanzen.Forschung.Ethik. (2018, November 29). *Biodiversität und Ökologie – Welche*

Bedeutung hat die Vielfalt des Lebens? Pflanzen Forschung Ethik. URL:

[https://www.pflanzen-forschung-ethik.de/kontexte/biodiversitaet-](https://www.pflanzen-forschung-ethik.de/kontexte/biodiversitaet-oekologie.html?utm_source=chatgpt.com)
[oekologie.html?utm_source=chatgpt.com](https://www.pflanzen-forschung-ethik.de/kontexte/biodiversitaet-oekologie.html?utm_source=chatgpt.com), zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

pflanzmich.de. (o. J.). *Aschweide - Salix cinerea günstig kaufen*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/21980/aschweide.html>, zuletzt abgerufen am:
24.02.2025

pflanzmich.de. (2025a). *Eingriffeliger Weißdorn - Crataegus monogyna*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/16380/eingriffeliger-weissdorn.html>, zuletzt
abgerufen am: 13.03.2025

pflanzmich.de. (2025b). *Europäische Lärche - Larix decidua*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/25680/europaeische-laerche.html>, zuletzt
abgerufen am: 13.03.2025

pflanzmich.de. (2025c). *Feld-Ahorn - Acer campestre*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/13370/feld-ahorn.html>, zuletzt abgerufen am:
13.03.2025

pflanzmich.de. (2025d). *Gewöhnliche Berberitze - Berberis*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/30940/gewoehnliche-berberitze.html>, zuletzt
abgerufen am: 13.03.2025

pflanzmich.de. (2025e). *Hainbuche, Carpinus betulus*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/15100/hainbuche.html>, zuletzt abgerufen am:
13.03.2025

pflanzmich.de. (2025f). *Haselnuss-Strauch - Corylus avellana*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/15760/haselnuss-strauch.html>, zuletzt
abgerufen am: 13.03.2025

pflanzmich.de. (2025g). *Kornelkirsche - Cornus mas*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/15700/kornelkirsche.html>, zuletzt abgerufen
am: 13.03.2025

pflanzmich.de. (2025h). *Schlehe - Prunus spinosa günstig kaufen*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/20920/schlehe.html>, zuletzt abgerufen am:
13.03.2025

pflanzmich.de. (2025i). *Speierling - Sorbus domestica*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/28290/speierling.html>, zuletzt abgerufen am:
13.03.2025

pflanzmich.de. (2025j). *Traubeneiche - Quercus petraea*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/21320/traubeneiche.html>, zuletzt abgerufen am:
13.03.2025

pflanzmich.de. (2025k). *Vogelkirsche - Prunus avium*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/20610/vogelkirsche.html>, zuletzt abgerufen am:
13.03.2025

pflanzmich.de. (2025l). *Wildapfel - Malus sylvestris*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/19380/wildapfel.html>, zuletzt abgerufen am:
13.03.2025

pflanzmich.de. (2025m). *Wildbirne - Pyrus pyraaster*. URL:

<https://www.pflanzmich.de/produkt/21220/wildbirne.html>, zuletzt abgerufen am:
13.03.2025

Plants For A Future. (o. J.). *Castanea mollissima Chinese Chestnut*. URL:

<https://pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Castanea+mollissima>, zuletzt
abgerufen am: 24.02.2025

Probst, M. (2013, Januar). *Der Feldahorn*. URL:

[https://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Countries/Austri
a/Acer_campestreAUT.pdf](https://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Countries/Austria/Acer_campestreAUT.pdf), zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Professur Waldbau ETHZ. (2001). *Wildbirne*. URL:

[https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/usys/ites/forest-ecology-
dam/documents/Dendrologie/SEBA/SEBA1_AS_birne_2000.pdf](https://ethz.ch/content/dam/ethz/special-interest/usys/ites/forest-ecology-dam/documents/Dendrologie/SEBA/SEBA1_AS_birne_2000.pdf), zuletzt abgerufen
am: 24.02.2025

Prunus domestica „Hauszwetsche“ CAC. (o. J.). *Prunus domestica „Hauszwetsche“ CAC*.

URL: <https://pflanzen-fuer-dich.de/Prunus-domestica-Hauszwetsche-CAC>, zuletzt
abgerufen am: 24.02.2025

Rain, R., Czernia, D., & Bowater, J. (2024, Januar 30). *Shannon-Wiener Index Rechner*.

URL: <https://www.omnicalculator.com/de/oekologie/shannon-wiener-index-rechner>,
zuletzt abgerufen am: 11.09.2024

Regina. (o. J.). *Vogelbeeren: Giftigkeit, Verwendung & Wirkung - Plantura*. URL:

<https://www.plantura.garden/gehoelze/eberesche/vogelbeeren>, zuletzt abgerufen
am: 22.02.2025

Reise, J., Hennenberg, K., Böttcher, H., & Benndorf, A. (2021, August). *Natürliche Senken*

- *Die Potenziale natürlicher Ökosysteme zur Vermeidung von*

Treibhausgasemissionen und Speicherung von Kohlenstoff. URL:

[https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Kurzgutachten_Natuerliche_Senken_OEko
institut.pdf?utm_source=chatgpt.com](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Kurzgutachten_Natuerliche_Senken_OEko_institut.pdf?utm_source=chatgpt.com), zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

Roberti, G., von Pfeil, C., Funke, L., Kunzelmann, J., Rutz, T., & Kay, S. (2023, März).

Monitoring-Leitfaden für Agroforstsysteme - Methoden zur Messung der Umwelteffekte. ResearchGate. URL:

[https://www.researchgate.net/publication/369030095_Monitoring-](https://www.researchgate.net/publication/369030095_Monitoring-Leitfaden_fur_Agroforstsysteme_-_Methoden_zur_Messung_der_Umwelteffekte)

[Leitfaden_fur_Agroforstsysteme_-_Methoden_zur_Messung_der_Umwelteffekte](https://www.researchgate.net/publication/369030095_Monitoring-Leitfaden_fur_Agroforstsysteme_-_Methoden_zur_Messung_der_Umwelteffekte),
zuletzt abgerufen am: 03.03.2025

Rote-Liste-Zentrum. (2025). *Saat-Esparsette*. Rote-Liste-Zentrum - Rote-Liste-Zentrum

Rote-Liste-Zentrum. URL: <https://www.rote-liste-zentrum.de/de/Detailseite.html>,
zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

Sachsen-Anhalt-Viewer. (2025, Februar 17). *Fläche des Praxisbeispiels bei Großzöberitz*.

URL: [https://www.geodatenportal.sachsen-](https://www.geodatenportal.sachsen-anhalt.de/mapapps/resources/apps/viewer_v40/index.html?lang=de)
[anhalt.de/mapapps/resources/apps/viewer_v40/index.html?lang=de](https://www.geodatenportal.sachsen-anhalt.de/mapapps/resources/apps/viewer_v40/index.html?lang=de), zuletzt
abgerufen am: 17.02.2025

Sächsisches Staatsministerium für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft.

(o. J.). *Berechnete Maschinenkosten für Stilllegung (CC-Mulchen)*. URL:
[https://www.landwirtschaft.sachsen.de/bpsplanweb/planung/konventionell/maschin](https://www.landwirtschaft.sachsen.de/bpsplanweb/planung/konventionell/maschinenkostendetail/3362?Mechanisierungsvariante=0&Leistungsgruppe=0&Gebiet=0)
[enkostendetail/3362?Mechanisierungsvariante=0&Leistungsgruppe=0&Gebiet=0](https://www.landwirtschaft.sachsen.de/bpsplanweb/planung/konventionell/maschinenkostendetail/3362?Mechanisierungsvariante=0&Leistungsgruppe=0&Gebiet=0),
zuletzt abgerufen am: 13.03.2025

Safro Milan Havlis. (o. J.). *Corylus maxima „PURPUREA“*. URL:

https://www.havlis.cz/karta_en.php?kytkaid=5405, zuletzt abgerufen am:
24.02.2025

Safro Milan Havlis. (2022, Oktober 18). *Elaeagnus angustifolia* - Havlis.cz. URL:

https://www.havlis.cz/karta_en.php?kytkaid=5375, zuletzt abgerufen am:
24.02.2025

Schlegel & Co. Gartenprodukte GmbH. (o. J.). *Weißer Maulbeere.de*. Die Forstpflanze.

URL: <https://www.die-forstpflanze.de/weisse-maulbeere>, zuletzt abgerufen am:
22.02.2025

- Schlesinger, R. C. (o. J.). *Carya laciniosa* (Michx. f.) Lould. URL:
https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/misc/ag_654/volume_2/carya/laciniosa.htm,
 zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Schmidt, O., & Huber, G. (2010, Februar). *Die bayerischen Schwarzpappelvorkommen*.
 URL:
https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/w64_schwarzpappel.pdf,
 zuletzt abgerufen am: 24.02.2025
- Schmitt, H. (2025, Oktober 2). *Übersicht über die heimischen Baumarten in Deutschland*.
 URL: <https://www.fsc-deutschland.de/wp-content/uploads/2018-09-11-Uebersicht-heimische-BAen-in-D-1.pdf>, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025
- Schroed, F. G. (2015). *Amelanchier lamarckii*. URL:
<https://www.pnwherberaria.org/m/datasets/vascular-plants/pages/rosaceae/amelanchier-lamarckii.htm>, zuletzt abgerufen am:
 24.02.2025
- Schulz, C. (2024, März 8). *Wie viel CO₂ speichert ein Baum pro Jahr?* ForTomorrow. URL:
<https://www.fortomorrow.eu/de/blog/co2-baum>, zuletzt abgerufen am: 17.12.2024
- Schulz, V., Sharaf, H., Weisenburger, S., Morhar, C., Konold, W., Stolzenburg, K.,
 Spiecker, H., & Nahm, M. (2020, August). *Agroforst-Systeme zur Wertholzerzeugung*. URL: https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2020/10/Agroforst-Systeme_Leitfaden.pdf, zuletzt abgerufen am:
 23.01.2025
- Seidel, S. (2012, April 13). *Infoblatt Bodentypen*. URL:
[https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20\(alte%20Ausgabe\)&artikel_id=104564&inhalt=klett71prod_1.c.231715.d](https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20(alte%20Ausgabe)&artikel_id=104564&inhalt=klett71prod_1.c.231715.de)
 e, zuletzt abgerufen am: 17.02.2025
- Siebert, C. (2022, März 2). *Welche Formen von Agroforst gibt es? » Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen*. URL:

<https://lh.hessen.de/umwelt/biorohstoffnutzung/agroforstsysteme/welche-formen-von-agroforst-gibt-es/>, zuletzt abgerufen am: 17.10.2024

Silber-Weide (Salix alba). (o. J.). URL:

https://www.lfu.bayern.de/wasser/auen/grundlagen/auen_naturhaushalt/doc/silber_weide.pdf, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Smith, J. (2010). *The History of Temperate Agroforestry*. URL:

https://orgprints.org/id/eprint/18173/1/History_of_agroforestry_v1.0.pdf, zuletzt abgerufen am: 04.10.2024

Sparmann, A. (2020, Januar 8). *Insektensterben in Deutschland*. URL:

<https://www.boell.de/de/2020/01/08/insektensterben-deutschland-abwaerts-im-trend>, zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

Springmann, S., Morhart, C., & Spiecker, H. (2015). *Leitfaden zur Ästung von*

Edellaubbaumarten. URL: https://agroforst-iww.uni-freiburg.de/wp-content/uploads/2022/10/Aestungsleitfaden_2015.pdf, zuletzt abgerufen am: 03.03.2025

Staatsbetrieb Sachsenforst. (o. J.). *Rechnen zahlt sich aus!* URL:

https://www.sbs.sachsen.de/download/sbs/8_RechnenZahltSichAus.pdf, zuletzt abgerufen am: 14.03.2025

Stadtwerke Bitterfeld-Wolfen GmbH. (2025, Januar 1). *Allgemeine Preise für die*

Versorgung mit Trinkwasser. URL: https://sw-bitterfeld-wolfen.de/wp-content/uploads/2024/12/Preisblatt_Trinkwasser_01_01_2025.pdf, zuletzt abgerufen am: 13.03.2025

Stallmann, M. (2023, März 1). *Paludikultur: Wiedervernässte Moore für mehr Klimaschutz*

[Text]. Umweltbundesamt; Umweltbundesamt. URL:

<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/paludikultur-wiedervernaesste-moore-fuer-mehr>, zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

Stanze Gartencenter GmbH. (o. J.). *Amelanchier alnifolia, Erlenblättrige Felsenbirne*.

Stanze Gartencenter GmbH. URL: <https://www.stanze->

gartencenter.de/artikel/1198/amelanchier-alnifolia, zuletzt abgerufen am:

24.02.2025

Statistisches Bundesamt. (2024a, März 19). *Zum Tag des Waldes: 52,5 Millionen Tonnen*

CO₂ im Jahr 2021 netto vom Wald absorbiert. Statistisches Bundesamt. URL:

<https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der->

[Woche/2024/PD24_12_p002.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/Zahl-der-Woche/2024/PD24_12_p002.html), zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

Statistisches Bundesamt. (2024b, April 25). *Arbeits- und Lohnnebenkosten*. Statistisches

Bundesamt. URL: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitskosten->

[Lohnnebenkosten/_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Arbeitskosten-Lohnnebenkosten/_inhalt.html), zuletzt abgerufen am: 24.03.2025

Statistisches Bundesamt. (2025, Januar 1). *Gesetzlicher Mindestlohn in Deutschland*.

Statistisches Bundesamt. URL:

[https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Verdienste/Mindestloehne/Tabellen/ges-](https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Verdienste/Mindestloehne/Tabellen/gesetzlicher-mindestlohn.html)

[etzlicher-mindestlohn.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Arbeit/Verdienste/Mindestloehne/Tabellen/gesetzlicher-mindestlohn.html), zuletzt abgerufen am: 13.03.2025

Steinke, B. (2021, Januar). *Pflanze des Januar*. NABU Düsseldorf. URL:

<https://www.nabu-duesseldorf.de/archiv-1/2021/die-gemeine-eibele/>, zuletzt

abgerufen am: 22.02.2025

Stephan, H., Wichert, M., Puhlmann, T., & Ahmed, S. H. (2024a, Juni 28). *Eingriffeliger*

Weißdorn - gestalte deinen Garten ökologisch & pflegeleicht. URL:

<https://www.naturadb.de/pflanzen/crataegus-monogyna/>, zuletzt abgerufen am:

24.02.2025

Stephan, H., Wichert, M., Puhlmann, T., & Ahmed, S. H. (2024b, Juni 28). *Sanddorn*. URL:

<https://www.naturadb.de/pflanzen/hippophae-rhamnoides/>, zuletzt abgerufen am:

22.02.2025

Stephan, H., Wichert, M., Puhlmann, T., & Ahmed, S. H. (2024c, November 22). *Silber-*

Pappel. URL: <https://www.naturadb.de/pflanzen/populus-alba/>, zuletzt abgerufen

am: 24.02.2025

Stiftung Unternehmen Wald. (o. J.). *Wie viel Kohlendioxid (CO₂) speichert der Wald bzw.*

ein Baum. Stiftung Unternehmen Wald. URL: <https://www.wald.de/waldwissen/wie->

viel-kohlendioxid-co2-speichert-der-wald-bzw-ein-baum/, zuletzt abgerufen am:
09.10.2024

Stone. (2024, Februar 24). *Morus alba*. URL:

<https://www.fs.usda.gov/database/feis/plants/tree/moralb/all.html>, zuletzt
abgerufen am: 24.02.2025

Stovall, J. (o. J.). *Rosaceae Aronia arbutifolia - red chokeberry (Lab 9)*. URL:

<https://www.sfadendro.com/index.php/tree-identification/photo-fact-sheets/rosaceae-aronia-arbutifolia-red-chokeberry-lab-9>, zuletzt abgerufen am:
24.02.2025

Suard, T., Caminada, L., Amsler, S., & Häseli, A. (2024). *Walnüsse*. URL:

<https://www.fibl.org/fileadmin/documents/shop/1757-walnuesse.pdf>, zuletzt
abgerufen am: 24.02.2025

Sühlfleisch, K. (2021). *Wertholz – Qualität zahlt sich aus*. URL:

https://www.waldbauernschule.bayern.de/mam/cms02/waldbauernschule/dateien/afz_24_21_wbs_wertholz_richtig_bereitstellen.pdf, zuletzt abgerufen am:
31.03.2025

Swiderska, O. (2024, März 22). *Leitfaden - alles, was Sie wissen müssen*. Publuu. URL:

<https://publuu.com/de/knowledge-base/leitfaden-alles-was-sie-wissen-mussen/>,
zuletzt abgerufen am: 06.11.2024

Thees, O., & Kittl, B. (2023, Mai 17). *Holz als Teil der Energiewende*. URL:

<https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/klima-und-umwelt/holz-als-teil-der-energiewende>, zuletzt abgerufen am: 22.02.2025

Timberpolis. (o. J.). *Ferkelnuss | Carya glabra | Holzart*. URL:

<https://www.timberpolis.de/s202401/-Carya-glabra>, zuletzt abgerufen am:
24.02.2025

umschule Waldgarten. (o. J.). *Königsnuss - Carya laciniosa*. Baumschule für essbare

Landschaften & Online Shop. URL: <https://www.baumschule->

waldgarten.de/shop/koenigsnuss---carya-laciniosa/, zuletzt abgerufen am:
24.02.2025

Umweltbundesamt. (2017, August). *Urbanisierung und Bodenschutz*. URL:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/kbu_urbanisierung_und_bodenschutz_august_2017.pdf?utm_source=chatgpt.com,
zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

Umweltdachverband. (o. J.). *Ökosystemleistungen*. URL:

<https://www.umweltdachverband.at/themen/naturschutz/biodiversitaet/oekosystemleistungen/>, zuletzt abgerufen am: 20.10.2024

Umweltinformationszentrum. (2024, Oktober 18). *Agroforstwirtschaft Vorteile: Nachhaltige Landnutzung*. URL: <https://www.umfis.de/agroforstwirtschaft-vorteile/>, zuletzt abgerufen am: 08.04.2025

Unsel, R., Reppin, N., Eckstein, K., Zehlius-Eckert, W., Hoffmann, H., & Huber, T. (2011). *Leitfaden Agroforstsysteme*. URL: https://agroforst-oesterreich.at/wp-content/uploads/2021/08/leitfaden_agroforstsysteme_bfn_2011.pdf, zuletzt abgerufen am: 23.01.2025

Van den Berk Baumschulen. (o. J.). *Carya glabra*. URL:

https://www.vdberk.de/de_DE/pdf/tree/2114/carya-glabra.pdf, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Velázquez-Martí, B., & Cazco-Logrono. (2024, Oktober 22). *STRUCTURE ANALYSIS AND BIOMASS MODELS FOR PLUM TREE (PRUNUS DOMESTICA L.) IN ECUADOR*. ResearchGate. URL:

https://www.researchgate.net/publication/312932934_STRUCTURE_ANALYSIS_AND_BIOMASS_MODELS_FOR_PLUM_TREE_PRUNUS_DOMESTICA_L_IN_ECUADOR, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Vervuert, I. (2020). *Bergahorn im Heu*. URL: <https://gpm-vet.de/de/infothek/133-bergahorn-im->

heu#:~:text=Im%20Herbst%20kommt%20es%20zu,zur%20Ausl%C3%B6sung%2

Wagener, L. (2019, Mai 22). *Was ist eigentlich CO₂?* URL: <https://www.co2online.de/klimaschuetzen/was-ist-co2/>, zuletzt abgerufen am: 05.01.2025

URL: https://www.wbv-holzkirchen.de/wp-content/uploads/2024/02/Ergebnis-nach-HA_2024.pdf, zuletzt abgerufen am: 13.03.2025

Gartencenter GmbH & Co. KG. URL: <https://www.pflanzen-koelle.de/ratgeber/pflanzen-a-z/wie-pflege-ich-meine-kaetzchenweide-richtig/>,
zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

oblonga. Pflanzen-Kölle Gartencenter GmbH & Co. KG. URL:
<https://www.pflanzen-koelle.de/ratgeber/pflanzen-a-z/wie-pflege-ich-meinen-quittenbaum-richtig/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Pflanzen-Kölle Gartencenter GmbH & Co. KG. URL: <https://www.pflanzen-koelle.de/ratgeber/pflanzen-a-z/wie-pflege-ich-meinen-zwergmispel-richtig/>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

<https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/waldumbau/entscheidungen-hilfen-fuer-die-richtige-baumart>, zuletzt abgerufen am: 01.03.2025

Ley GmbH. URL: <https://pflanzenkatalog.ley-baumschule.de/de-de/artikel/29619/fraxinus-americana>, zuletzt abgerufen am: 24.02.2025

Baumschule Ley. Wilhelm Ley GmbH. URL: <https://pflanzenkatalog.ley->

baumschule.de/de-de/artikel/32471/ulmus-glabra-lutescens, zuletzt abgerufen am:
24.02.2025

Windfinder.com. (2025). *Jährliche Wind- und Wetterstatistiken für Bitterfeld-Wolfen*. URL:
https://de.windfinder.com/windstatistics/bitterfeld?utm_source=chatgpt.com, zuletzt
abgerufen am: 17.02.2025

Witasek. (o. J.). *Freiwuchs 500 - 120 cm*. WITASEK Onlineshop | Pflanzenschutz. URL:
[https://www.witasek.com/baumschutz/baumschutzsaehlen-gitter-und-](https://www.witasek.com/baumschutz/baumschutzsaehlen-gitter-und-netze/6/freiwuchs-500-120-cm)
[netze/6/freiwuchs-500-120-cm](https://www.witasek.com/baumschutz/baumschutzsaehlen-gitter-und-netze/6/freiwuchs-500-120-cm), zuletzt abgerufen am: 03.03.2025

Wrede, A., Averdieck, H., & Ufer, T. (2019, April). *Richtig pflanzen - so klappt's*. URL:
[https://www.lksh.de/fileadmin/PDF_Downloadcenter/Flyer_Broschueren/Gartenbau](https://www.lksh.de/fileadmin/PDF_Downloadcenter/Flyer_Broschueren/Gartenbau/flyer_Pflanzanleitung_Das_richtige_Handling_von_Gehoelzen_auf_der_Baustelle.pdf)
[/flyer_Pflanzanleitung_Das_richtige_Handling_von_Gehoelzen_auf_der_Baustelle.](https://www.lksh.de/fileadmin/PDF_Downloadcenter/Flyer_Broschueren/Gartenbau/flyer_Pflanzanleitung_Das_richtige_Handling_von_Gehoelzen_auf_der_Baustelle.pdf)
pdf, zuletzt abgerufen am: 13.03.2025

WWF. (2022, Juni 13). *Den Klimawandel richtig bremsen: mit Wald*. URL:
[https://www.wwf.de/themen-projekte/waelder/wald-und-klima/den-klimawandel-](https://www.wwf.de/themen-projekte/waelder/wald-und-klima/den-klimawandel-richtig-bremsen-mit-wald)
[richtig-bremsen-mit-wald](https://www.wwf.de/themen-projekte/waelder/wald-und-klima/den-klimawandel-richtig-bremsen-mit-wald), zuletzt abgerufen am: 10.01.2025

Zehlius-Eckert, W., Tsonkova, P., & Böhm, C. (2020, Dezember 21). *Umweltleistungen von Agroforstsystemen*. URL: [https://agroforst-info.de/wp-](https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/03/02__Umweltleistungen.pdf)
[content/uploads/2021/03/02__Umweltleistungen.pdf](https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/03/02__Umweltleistungen.pdf), zuletzt abgerufen am:
08.01.2025

Zörbig, S. (o. J.). *Standortfaktoren*. URL: [https://www.stadt-](https://www.stadt-zoerbig.de/Wirtschaft/Standortfaktoren)
[zoerbig.de/Wirtschaft/Standortfaktoren](https://www.stadt-zoerbig.de/Wirtschaft/Standortfaktoren), zuletzt abgerufen am: 17.02.2025

Anhang

Anhangsverzeichnis

Anhang I: Leertabelle für die Produktionsziele des Agroforstsystems	157
Anhang II: Liste der Gehölzarten nach Produktionsziel und ihrer Beheimatung in Deutschland.....	158
Anhang III: Liste der Gehölzarten nach Bodenbedingungen, klimatischen Anforderungen, Krankheiten und Schädlingen, Wuchstempo sowie Wertholz- und Energieholzmerkmalen	162
Anhang IV: Leertabelle zur Erfassung der Gehölzarten für den Shannon- und Evenness-Index.....	170

Anhang I: Leertabelle für die Produktionsziele des Agroforstsystems

Zielstellung	Wichtig	Nice to have	Unwichtig
Produktionsziel			
Wertholz			
Fruchtertrag			
Energieholz			
Weitere:			
Ökologie			
Biodiversität/ Artenförderung			
Kohlenstoffspeicherung			
Weitere:			
Ökonomie			
Schneller Return of Investment			
Langfristige Kapitalanlage			
Weitere:			
Soziales			
Verwendung heimischer Arten			
Öffentlichkeitsarbeit			
Demonstrationsfläche			
Weitere:			
Sonstiges:			
Windschutz			
Weitere:			

Quelle: eigene Darstellung

Anhang II: Liste der Gehölzarten nach Produktionsziel und ihrer Beheimatung in Deutschland

Gehölz		Eignung für ...			Heimisch in Deutschland?		Besonderheit	Quelle
Deutsche Bezeichnung	Botanische Bezeichnung	Wertholz	Fruchtertrag	Energieholz	Ja	Nein		
Laubbäume								
Berg-Ahorn	Acer pseudoplatanus	+			X		Blätter und Samen sind giftig für Pferde	Q1, Q2, Q14
Feldahorn	Acer campestre	+			X			Q1, Q2
Spitzahorn	Acer platanoides	+			X			Q1, Q2
Schwarz-Erle	Alnus glutinosa			+	X			Q1, Q3
Weiß-Erle	Alnus incana			+	X			Q1, Q3
Gemeine Birke	Betula pendula	+		+	X			Q1, Q2, Q3
Moor-Birke	Betula pubescens	+		+	X			Q1, Q2, Q3
Gemeine Hainbuche	Carpinus betulus	(+)	+		X		auch im Strauchwuchs möglich	Q1, Q4, Q5
Ferkelnuss	Carya glabra	(+)	+			X		Q1, Q9
Pekannuss	Carya illinoensis	+	+			X		Q1, Q9
Königsnuss	Carya laciniata	+	+			X		Q1, Q9
Schuppenrinden-Hickory	Carya ovata	+	+			X		Q1, Q9
Japanische Kastanie	Castanea crenata	+	+			X		Q1, Q6, Q7
Chinesische Kastanie	Castanea mollissima	+				X		Q1, Q7
Edelkastanie	Castanea sativa	+	+		X			Q1, Q2, Q7
Baum-Hasel	Corylus colurna	+	+			X		Q1, Q9
Quitte	Cydonia vulgaris	+	+			X		Q1
Schmalblättriger Ölbaum	Elaeagnus augustifolia	(+)				X	auch im Strauchwuchs möglich	Q1
Rot-Buche	Fagus sylvatica	+	(+)		X		Bucheckern nur in gegartem Zustand verzehrbar	Q1, Q4, Q5
Amerikanische Esche	Fraxinus americana	+				X		Q1, Q4, Q8
Gemeine Esche	Fraxinus excelsior	+		+	X			Q1, Q4, Q8
Hybridnuss	Juglans intermedia	+				X		Q1, Q2
Schwarznuss	Juglans nigra	+				X		Q1, Q2

Echte Walnuss	Juglans regia	+	+			X		Q1, Q2, Q9
Tulpenbaum	Liriodendron tulipifera	+				X		Q1
Wild-Apfel	Malus sylvestris	+	+		X		geringe Neigung zu Drehwuchs	Q1, Q2, Q9
Weißer Maulbeere	Morus alba	+	+			X		Q1, Q2, Q9, Q11
Ahornblättrige Platane	Platanus acerifolia/ hispanica	+		+		X		Q1
Amerikanische Plantane	Plantanus occidentalis	+		+		X		Q1
Silber-Pappel	Populus alba			+		X		Q1, Q3
Schwarz-Pappel	Populus nigra			+	X			Q1, Q3
Zitter-Pappel	Populus tremula			+	X			Q1, Q3
Wild-Kirsche	Prunus avium	+	+		X		geringe Neigung zu Drehwuchs	Q1, Q2, Q9
Kirschpflaume	Prunus cerasifera	+	+			X		Q1, Q2, Q9
Zwetschge	Prunus domestica	+	+			X		Q1, Q2, Q9
Mirabelle	Prunus domestica subsp. syriaca	+	+			X		Q1, Q2, Q9
Wild-Birne	Pyrus pyraeaster	+	+		X		geringe Neigung zu Drehwuchs	Q1, Q2, Q9
Trauben-Eiche	Quercus petraea	+		+	X			Q1, Q4, Q8
Stiel-Eiche	Quercus robur	+		+	X			Q1, Q4, Q8
Silber-Weide	Salix alba			+	X			Q1, Q3
Sal-Weide	Salix caprea			+	X			Q1, Q3
Asch-Weide	Salix cinerea			+	X			Q1, Q3
Korb-Weide	Salix viminalis			+	X			Q1, Q3
Eberesche/ Vogelbeere	Sorbus aucuparia ssp. aucuparia	+	+		X		Früchte nur verarbeitet problemlos genießbar	Q1, Q10, Q12
Speierling	Sorbus domestica	+	+		X			Q1, Q2, Q9
Elsbeere	Sorbus torminalis	+	+		X			Q1, Q2, Q9
Winter-Linde	Tilia cordata	+			X			Q1, Q2
Sommer-Linde	Tilia platyphyllos	+			X			Q1, Q2
Silber-Linde	Tilia tomentosa	+		+		X		Q1

Berg-Ulme	Ulmus glabra	+			X			Q1, Q3
Feld-Ulme	Ulmus minor	+			X			Q1, Q3
Flatter-Ulme	Ulmus laevis	+			X			Q1, Q3
Nadelbäume								
Weiß-Tanne	Abies alba	+			X			Q1, Q4
Atlas-Zeder	Cedrus atlantica	+				X		Q1
Libanon-Zeder	Cedrus libani	+				X		Q1
Europäische Lärche	Larix decidua	+			X		Neigung zu Drehwuchs	Q1, Q4, Q15
Japanische Lärche	Larix kaempferi	+				X		Q1, Q12
Gemeine Fichte	Picea abies	+			X			Q1, Q4
Moor-Kiefer	Pinus mugo rotundata	+			X			Q1, Q4
Schwarz-Kiefer	Pinus nigra	+						Q1, Q12
Gemeine Kiefer	Pinus sylvestris	+			X			Q1, Q4
Douglasie	Pseudotsuga menziesii	+				X		Q1, Q4
Riesenmammutbaum	Sequoiadendron giganteum	+				X		Q1
Europäische Eibe	Taxus baccata	+			X		fast alle Pflanzenteile sind giftig	Q1, Q13
Sträucher								
Kiwibeere	Actinidia arguta		+	+		X	zur Fruchtbildung sind männliche und weibliche Sträucher notwendig	Q16, Q17
Rote Aronia	Aronia arbutifolia		+	+		X		Q16, Q17
Erlenblättrige Felsenbirnen	Amelanchier alnifolia		+	+		X		Q16, Q17
Kupfer-Felsenbirne	Amelanchier lamarckii		+	+		X		Q16, Q17
Gemeine Berberitze	Berberis vulgaris		+	+	X			Q16, Q17
Kornelkirsche	Cornus mas		+	+	X			Q16, Q17
Gemeine Hasel	Corylus avellana		+	+	X			Q16, Q17
Lambertshasel	Corylus maxima		+	+		X		Q16, Q17
Gewöhnliche Zwergmispel	Cotoneaster integerrimus			+		X	alle Pflanzenteile sind giftig	Q16, Q17
Eingriffeliger Weißdorn	Crataegus monogyna		+	+	X			Q16, Q17

Sanddorn	Hippophae rhamnoides		(+)	+	X		zur Fruchtbildung sind männliche und weibliche Sträucher notwendig	Q16, Q17, Q18
Maibeere/ Honigbeere	Lonicera caerulea		+	+				Q16, Q17
Schlehe	Prunus spinosa		+	+	X			Q16, Q17
Schwarzer Holunder	Sambucus nigra		+	+	X		Früchte nur verarbeitet problemlos genießbar	Q16, Q17, Q19

Legende: + geeignet, (+) teilweise geeignet

Quelle: [Q1] (Schmitt, 2025), [Q2] (V. Schulz et al., 2020), [Q3] (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V, 2012), [Q4] (Forster et al., 2019), [Q5] (Leo, 2018), [Q6] (Kellner, 2024), [Q7] (NaturaDB, 2023a), [Q8] (Hering et al., 2013), [Q9] (Jäger, 2017), [Q10] (Regina, o. J.), [Q11] (Schlegel & Co. Gartenprodukte GmbH, o. J.), [Q12] (Kunz et al., 2020), [Q13] (Steinke, 2021), [Q14] (Vervuert, 2020), [Q15] (Grosser & Ehmcke, o. J.), [Q16] (BUND Markdorf, o. J.), [Q17] (Thees & Kittl, 2023), [Q18] (Stephan et al., 2024b), [Q19] (Landwirtschaftskammer Niedersachsen, o. J.)

Anhang III: Liste der Gehölzarten nach Bodenbedingungen, klimatischen Anforderungen, Krankheiten und Schädlingen, Wuchstempo sowie Wertholz- und Energieholzmerkmalen

Gehölz		Bodenbedingungen			klimatische Anforderungen			Krankheiten & Schädlinge	Wuchstempo	Wertholz		Energieholz	Quelle
Dt. Bezeichnung	Bot. Bezeichnung	Nährstoffansprüche	pH-Wert	Staunässe-toleranz	Wasserbedarf	Trockenstress-toleranz	Frost-härte			BHD [cm]	Hiebsreife [Jahre]	max. Umtriebszeit	
Laubbäume													
Berg-Ahorn	Acer pseudoplatanus	hoch	nicht sehr sauer	gering	500 bis 1.600 mm	gering	gering bis mäßig	einige, z.B. Teefleckenkrankheit, Ahorn gallwespe	mäßig	60	75	-	Q1, Q2
Feldahorn	Acer campestre	gering	6 bis 8	gering	mäßig	hoch	hoch	einige, z.B. Mehltau	mäßig	bis 60	150 bis 200	-	Q3, Q4
Spitzahorn	Acer platanoides	hoch	eher basisch	gering	750 bis 950 mm	mäßig	gering	einige, z.B. Cryptostroma corticale	mäßig bis schnell	60 bis 100	bis 180	-	Q1
Schwarz-Erle	Alnus glutinosa	hoch	sauer bis neutral	hoch	hoch	gering	mäßig	wenige	schnell	45	-	20	Q5, Q6, Q7
Weiß-Erle	Alnus incana	gering	eher basisch	mäßig	hoch	hoch	hoch	wenige	schnell	40	-	20	Q7, Q8, Q9
Gemeine Birke	Betula pendula	anspruchslos	3 bis 8	gering	400 bis 2.000 mm	gering bis mäßig	gering	viele, z.B. Phytophthora ramorum, Birkenprachtkäfer	schnell	60 bis 70	60	20	Q7, Q10, Q11
Moor-Birke	Betula pubescens	gering	saure Böden	hoch	500 bis 2.000 mm	gering	hoch	wenige	schnell	50 bis 70	60	20	Q7, Q12, Q13, Q14
Gemeine Hainbuche	Carpinus betulus	mäßig	4 bis 7	mäßig	500 bis 1.400 mm	mäßig	gering	wenige	schnell	50 bis 70	30 bis 40	-	Q1
Ferkelnuss	Carya glabra	hoch	eher sauer	gering	mäßig	hoch	hoch	wenige	mäßig	60 bis 100	k.A.	-	Q15, Q16
Pekannuss	Carya illinoensis	mäßig bis hoch	4,5 bis 8	gering bis mäßig	hoch	hoch	hoch	wenige	mäßig	120 bis 200	130 bis 140	-	Q17

Könignuss	<i>Carya laciniosa</i>	hoch	5 bis 7	gering	gering bis mäßig	hoch	mäßig	wenige	langsam	bis 120	75 bis 200	-	Q18
Schuppenrinden -Hickory	<i>Carya ovata</i>	mäßig bis hoch	6 bis 8	mäßig bis hoch	hoch	hoch	hoch	wenige	mäßig	30 bis 90	130 bis 140	-	Q19, Q20
Japanische Kastanie	<i>Castanea crenata</i>	mäßig	sauer	gering	600 bis 1.600 mm	hoch	hoch	wenige	schnell	60	60	-	Q21
Chinesische Kastanie	<i>Castanea molissima</i>	gering	leicht sauer bis basisch	gering	mäßig	hoch	hoch	wenige	schnell	bis 180	bis 200	-	Q22, Q23
Edelkastanie	<i>Castanea sativa</i>	mäßig	sauer	gering	600 bis 1.600 mm	mäßig	hoch	einige, z.B. Schlauchpilz	schnell	60	60	-	Q1
Baum-Hasel	<i>Corylus columna</i>	gering bis hoch	6,6 bis 8	gering	540 bis 1.500	hoch	gering	wenige	schnell	60	20 bis 40	-	Q1
Apfelquitte	<i>Cydonia oblonga</i>	mäßig	5 bis 6,6	gering	mäßig	hoch	mäßig	wenige	schnell	25 bis 35	bis 50	-	Q24, Q25
Schmalblättriger Ölbaum	<i>Elaeagnus augustifolia</i>	anspruchslos	anspruch slos	gering	gering	hoch	hoch	wenige	schnell	10 bis 12	-	-	Q26, Q27
Rot-Buche	<i>Fagus sylvatica</i>	mäßig	3 bis 8	gering	500 bis 1.800 mm	gering	gering	wenige	schnell	60	40	-	Q1
Amerikanische Esche	<i>Fraxinus americana</i>	hoch	anspruch slos	gering bis mäßig	mäßig	mäßig	hoch	einige, z.B. Hymenoscyphus fraxineus, Eschenprachtkäfer	schnell	> 60	70 bis 100	-	Q28, Q29
Gemeine Esche	<i>Fraxinus excelsior</i>	hoch	> 5,5	mäßig	mäßig bis hoch	gering	gering	einige, z.B. Hymenoscyphus fraxineus, Eschenprachtkäfer	schnell	> 60	70 bis 100	-	Q7, Q28, Q30
Hybridnuss	<i>Juglans intermedia</i>	hoch	5 bis 8	gering	640 bis 1.780 mm	mäßig	hoch	wenige	mäßig bis schnell	50 bis 60	50 bis 65	-	Q1, Q31
Schwarznuss	<i>Juglans nigra</i>	hoch	> 5	mäßig	640 bis 1.780 mm	mäßig	gering	wenige	mäßig bis schnell	50	40 bis 50	-	Q1
Echte Walnuss	<i>Juglans regia</i>	mäßig bis hoch	6 bis 8	mäßig bis hoch	700 bis 1.200 mm	hoch	mäßig	einige, z.B. Walnussbrand, Walnussfruchtfliege	mäßig	60 bis 80	60 bis 80	-	Q32, Q33

Tulpenbaum	Liriodendron tulipifera	hoch	6 bis 8	gering	760 bis 2.030	mäßig	mäßig	wenige	schnell	> 60	40 bis 50	-	Q1
Wild-Apfel	Malus sylvestris	gering bis mäßig	6,5 bis 8,5	mäßig bis hoch	gering bis mäßig	hoch	hoch	wenige	langsam	40 bis 90	80 bis 100	-	Q34
Weißer Maulbeere	Morus alba	hoch	6 bis 7,5	gering	mäßig	hoch	mäßig	wenige	schnell	10 bis 20	20	-	Q35, Q36, Q37
Ahornblättrige Platane	Platanus acerifolia/ hispanica	anspruchlos	eher basisch	mäßig	gering bis mäßig	hoch	hoch	einige, z.B. Platanenkrebs, Platanennetzwanze	schnell	60 bis 80	40 bis 50	20	Q1, Q7
Amerikanische Plantane	Platanus occidentalis	hoch	anspruchlos	gering bis mäßig	760 bis 2.030 mm	hoch	mäßig bis hoch	einige, z.B. Platanenkrebs	schnell	bis 300	50	20	Q7, Q38, Q39
Silber-Pappel	Populus alba	hoch	basisch	gering	mäßig	hoch	hoch	einige, z.B. Baumkrebse	schnell	50	-	20	Q7, Q40
Schwarz-Pappel	Populus nigra	hoch	5,5 bis 7,5	mäßig	hoch	hoch	hoch	wenige	schnell	20 bis 50	-	20	Q7, Q41, Q42
Zitter-Pappel	Populus tremula	anspruchlos	5 bis 6	hoch	400 bis 2.000 mm	mäßig	hoch	einige, z.B. Pappelbock, Feuerschwamm	schnell		-	20	Q1, Q7
Wild-Kirsche	Prunus avium	hoch	5,5 bis 8,5	gering	400 bis 1.400 mm	hoch	gering	einige, z.B. Monilia, Kirschen-Blattlaus	mäßig bis schnell	50	70	-	Q1
Kirschpflaume	Prunus cerasifera	mäßig	6 bis 8	gering	hoch	gering	hoch	einige, z.B. Monilia Fruchtfäule	langsam bis mäßig	bis 50	60 bis 80	-	Q43, Q44, Q45
Zwetschge	Prunus domestica	hoch	neutral bis basisch	gering	gering	hoch	hoch	einige, z.B. Monilia Fruchtfäule	langsam	25	70 bis 100	-	Q46, Q47
Mirabelle	Prunus domestica subsp. syriaca	hoch	6 bis 7	gering	mäßig	mäßig	hoch	wenige	schnell	25	70 bis 100	-	Q48
Wild-Birne	Pyrus pyraeaster	gering	leicht sauer bis basisch	gering	gering bis mäßig	hoch	gering	wenige	langsam bis mäßig	> 50	100 bis 120	-	Q49

Trauben-Eiche	Quercus petraea	gering	6 bis 8	gering bis mäßig	mäßig bis hoch	mäßig bis hoch	mäßig bis hoch	wenige	mäßig	70	120 bis 160	20	Q7, Q50
Stiel-Eiche	Quercus robur	gering	6 bis 8	mäßig	mäßig bis hoch	mäßig bis hoch	mäßig bis hoch	wenige	mäßig	70	120 bis 160	20	Q7, Q51
Silber-Weide	Salix alba	mäßig	eher basisch	hoch	mäßig bis hoch	hoch	hoch	wenige	mäßig	bis 100	-	20	Q7, Q52, Q53, Q54
Sal-Weide	Salix caprea	mäßig	4,5 bis 6,5	hoch	mäßig bis hoch	mäßig	mäßig	wenige	schnell	bis 200	-	20	Q7, Q55, Q56, Q57
Asch-Weide	Salix cinerea	mäßig	leicht sauer bis neutral	hoch	mäßig	gering	hoch	wenige	mäßig bis schnell	20 bis 50	-	20	Q7, Q58, Q59, Q60
Korb-Weide	Salix viminalis	anspruchslos	eher basisch	hoch	mäßig	mäßig	hoch	wenige	schnell	70 bis 100	-	20	Q7, Q61, Q62, Q63
Eberesche/ Vogelbeere	Sorbus aucuparia ssp. aucuparia	gering	6 bis 8	gering bis mäßig	gering bis mäßig	gering	mäßig	wenige	mäßig bis schnell	40 bis 50	50 bis 80	-	Q64
Speierling	Sorbus domestica	mäßig bis hoch	6,5 bis 8,5	niedrig	gering bis mäßig	hoch	niedrig bis mäßig	einige, z.B. Phytophthora-Pilze	langsam bis mäßig	80 bis 140	120 bis 140	-	Q65
Elsbeere	Sorbus torminalis	hoch	4,5 bis 8	niedrig	700 bis 1.500 mm	hoch	mäßig	wenige	langsam	45	60 bis 80	-	Q1
Winter-Linde	Tilia cordata	mäßig	6 bis 7,5	gering	700 bis 950 mm	mäßig bis hoch	gering bis mäßig	wenige	langsam	40 bis 60	100 bis 140	-	Q1

Sommer-Linde	Tilia platyphyllos	mäßig bis hoch	6 bis 8,5	gering	600 bis 950 mm	mäßig bis hoch	gering	einige, z.B. Lindenblattwespe, Brandkrustenpilz	langsam	100	100 bis 140	-	Q1
Silber-Linde	Tilia tomentosa	mäßig	5,8 bis 8,2	gering	500 bis 600	hoch	hoch	wenige	schnell	bis 100	20 bis 25	20	Q1, Q7
Berg-Ulme	Ulmus glabra	mäßig	5,5 bis 8	gering	mäßig	gering	mäßig	wenige	mäßig	bis 150	70 bis 140	-	Q66, Q67, Q68
Feld-Ulme	Ulmus minor	hoch	neutral bis basisch	gering bis mäßig	mäßig	mäßig bis hoch	hoch	wenige	mäßig bis schnell	> 50	70 bis 140	-	Q68, Q69
Flutter-Ulme	Ulmus laevis	mäßig bis hoch	eher sauer	hoch	500 bis 900	mäßig bis hoch	hoch	wenige	mäßig	bis 300	bis 300	-	Q1
Nadelbäume													
Weiß-Tanne	Abies alba	gering bis mäßig	5,5 bis 7,5	mäßig bis hoch	hoch	gering bis mäßig	mäßig bis hoch	einige, z.B. Tannenborkenkäfer	langsam	60	90 bis 130	-	Q70
Atlas-Zeder	Cedrus atlantica	mäßig	4 bis 6,5	gering	499 bis 1.786	gering	gering	einige, z.B. Großer Brauner Rüsselkäfer	mäßig	45	120	-	Q1
Libanon-Zeder	Cedrus libani	niedrig	6,5 bis 7,7	mäßig	600 bis 1.200	hoch	hoch	wenige	langsam	50 bis 60	120 bis 180	-	Q1
Europäische Lärche	Larix decidua	gering bis mäßig	5,5 bis 7	gering	mäßig bis hoch	mäßig	hoch	einige, z.B. Lärchenkrebs	mäßig	65	100 bis 140	-	Q71
Gemeine Fichte	Picea abies	gering	4 bis 5	gering bis mäßig	hoch	gering bis mäßig	mäßig bis hoch	einige, z.B. Borkenkäfer	schnell	45	80 bis 120	-	Q72
Moor-Kiefer	Pinus mugo rorundata	gering	eher sauer	hoch	hoch	gering	gering	einige, z.B. Lecanosticta	langsam	> 30	80 bis 140	-	Q73, Q74
Schwarz-Kiefer	Pinus nigra	niedrig	5 bis 7	gering	400 bis 1.300 mm	hoch	gering	wenige	langsam	100 bis 180	80 bis 100	-	Q1, Q75
Gemeine Kiefer	Pinus sylvestris	niedrig	5,5 bis 6,5	mäßig	niedrig	hoch	hoch	wenige	mäßig		80 bis 140	-	Q76

Douglasie	Pseudotsuga menziesii	hoch	5 bis 6	gering	610 bis 3.400 mm	gering bis mäßig	gering	wenige	schnell	50 bis 60	> 60	-	Q1
Riesenmammutbaum	Sequoiadendron giganteum	gering bis mäßig	5,5 bis 7,5	mäßig	900 bis 1.400 mm	mäßig	gering bis mäßig	wenige	mäßig bis schnell	bis 200	-	-	Q77
Europäische Eibe	Taxus baccata	gering	5,5 bis 8	mäßig	gering	mäßig bis hoch	hoch	wenige	langsam	30 bis 80	-	-	Q78
Sträucher													
Kiwibeere	Actinidia arguta	hoch	eher sauer	gering	hoch	gering bis mäßig	mäßig	wenige	schnell	-	-	20	Q7, Q79
Rote Aronia	Aronia arbutifolia	hoch	5 bis 6,5	gering	mäßig bis hoch	gering bis mäßig	hoch	wenige	langsam	2,5	-	20	Q7, Q80, Q81
Erlenblättrige Felsenbirne	Amelanchier alnifolia	gering bis mäßig	5,1 bis 7,5	gering	gering	hoch	mäßig bis hoch	wenige	schnell	12 bis 14	-	20	Q7, Q82, Q83, Q84
Kupfer-Felsenbirne	Amelanchier lamarckii	gering bis mäßig	6,1 bis 7,5	gering	mäßig	hoch	gering bis mäßig	wenige	mäßig	6,5 bis 10	-	20	Q7, Q85, Q86
Gemeine Berberitze	Berberis vulgaris	anspruchlos	anspruchlos	gering	gering	mäßig	mäßig	einige, z.B. Blattläuse, Mehltau	schnell	-	-	20	Q7, Q87
Kornelkirsche	Cornus mas	hoch	eher basisch	gering bis mäßig	mäßig	hoch	hoch	wenige	langsam	15 bis 20	-	20	Q7, Q88, Q89
Gemeine Hasel	Corylus avellana	gering bis mäßig	6 bis 8,5	gering bis mäßig	gering bis mäßig	mäßig bis hoch	hoch	wenige	schnell	10 bis 20	-	20	Q7, Q90
Lambertshasel	Corylus maxima	hoch	sauer bis basisch	gering	mäßig	hoch	mäßig bis hoch	wenige	schnell	10 bis 12	-	20	Q7, Q91, Q92
Gewöhnliche Zwergmispel	Cotoneaster integerrimus	hoch	neutral	gering	mäßig	hoch	mäßig bis hoch	wenige	schnell	-	-	20	Q7, Q93

Eingriffeliger Weißdorn	Crataegus monogyna	hoch	eher basisch	gering	gering	hoch	hoch	wenige	mäßig bis schnell	10	-	20	Q7, Q94, Q95
Sanddorn	Hippophae rhamnoides	hoch	6 bis 8	gering bis mäßig	mäßig	hoch	hoch	wenige	mäßig bis schnell	4 bis 6	-	20	Q7, Q96, Q97
Maibeere/ Honigbeere	Lonicera caerulea	hoch	3 bis 7	mäßig	mäßig bis hoch	gering	hoch	wenige	mäßig	-	-	20	Q7, Q98, Q99
Schlehe	Prunus spinosa	hoch	6 bis 8,5	gering	gering bis mäßig	hoch	hoch	wenige	mäßig	10	-	20	Q7, Q100, Q101
Schwarzer Holunder	Sambucus nigra	mäßig	4,5 bis 6,5	gering	mäßig	gering	mäßig	wenige	schnell	≤ 30	-	20	Q7, Q102

Quelle: [Q1] (Avila et al., 2021), [Q2] (Hein, 2004), [Q3] (Probst, 2013), [Q4] (Fussi et al., 2021), [Q5] (Brandl, 2021), [Q6] (Österreichische Baumfreunde, o. J.), [Q7] (Hering et al., 2013), [Q8] (ETH Zürich, 1995), [Q9] (BayernCollab, o. J.), [Q10] (Avila & Albrecht, 2017), [Q11] (Ammann, 2020), [Q12] (Engel et al., 2024), [Q13] (Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Tourismus, o. J.), [Q14] (Aas, 2024), [Q15] (Van den Berk Baumschulen, o. J.), [Q16] (Timberpolis, o. J.), [Q17] (Paulownia-Baumschule, o. J.), [Q18], (umschule Waldgarten, o. J.), [Q19] (Schlesinger, o. J.), [Q20] (Paulownia-Baumschule, 2021), [Q21] (Bakker.com, o. J.), [Q22] (Plants For A Future, o. J.), [Q23] (International Dendrology Society, o. J.), [Q24] (Wenk, o. J.-b), [Q25] (Pflanzen von Falkenhayn, o. J.-a), [Q26] (Baumschule Horstmann, o. J.-f), [Q27] (Safró Milan Havlis, 2022), [Q28] (Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Energie, 2020), [Q29] (Wilhelm Ley GmbH, o. J.-a), [Q30] (Bajc et al., 2020), [Q31] (Ehring et al., 2019), [Q32] (Paulownia-Baumschule, 2025g), [Q33] (Suard et al., 2024), [Q34] (Paulownia-Baumschule, 2025m), [Q35] (*Morus alba* (White Mulberry), o. J.), [Q36] (Stone, 2024), [Q37] (Al, 2022), [Q38] (Ebben, o. J.-b), [Q39] (Timberpolis, o. J.), [Q40] (Stephan et al., 2024c), [Q41] (Schmidt & Huber, 2010), [Q42] (Schmidt & Huber, 2010), [Q43] (Lubera, o. J.), [44] (Pflanzen von Falkenhayn, o. J.-b), [Q45] (NC State, o. J.), [Q46] (Velázquez-Martí & Cazco-Logrono, 2024), [Q47] (*Prunus domestica* „Hauszwetsche“ CAC, o. J.), [Q48] (Baumschule Horstmann, o. J.-d), [Q49] (Professur Waldbau ETHZ, 2001), [Q50] (Paulownia-Baumschule, 2025n), [Q51] (Paulownia-Baumschule, 2025j), [Q52] (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2015), [Q53] (CBACK, o. J.), [Q54] (*Silber-Weide* (*Salix alba*), o. J.), [Q55] (Johansson, 2011), [Q56] (Baumschule Horstmann, o. J.-e), [Q57] (Wenk, o. J.-a), [Q58] (pflanzmich.de, o. J.), [59] (Baumschule Horstmann, o. J.-a), [Q60] (Maskell et al.,

2013), [Q61] (Baumschule Horstmann, o. J.-c), [Q62] (OHG, o. J.), [63] (National Poplar and Willow Users Group, 2007), [64] (Paulownia-Baumschule, 2025k), [Q65] (Paulownia-Baumschule, 2025i), [Q66] (Wilhelm Ley GmbH, o. J.-b), [Q67] (Monning, 2018), [Q68] (Öffentlichkeitsarbeit, o. J.), [Q69] (Paulownia-Baumschule, 2025i), [Q70] (Paulownia-Baumschule, 2025l), [Q71] (Paulownia-Baumschule, 2025h), [Q72] (Paulownia-Baumschule, 2025b), [Q73] (Kavaliauskas et al., 2019), [Q74] (Burgdorf, o. J.), [Q75] (Paulownia-Baumschule, 2025f), [Q76] (Paulownia-Baumschule, 2025d), [Q77] (Paulownia-Baumschule, 2025e), [Q78] (Paulownia-Baumschule, 2025a), [Q79] (Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, 2017), [Q80] (Aroniahof Kober, o. J.), [Q81] (Stovall, o. J.), [Q82] (Ebben, o. J.-a), [Q83] (Stanze Gartencenter GmbH, o. J.), [Q84] (Ornamental Trees, o. J.), [Q85] (heckenshop.de, o. J.), [Q86] (Schroed, 2015), [Q87] (BALDUR-Garten, o. J.), [Q88] (KG & Gartencenter Selbach, o. J.), [Q89] (Greifenhagen, o. J.), [Q90] (Paulownia-Baumschule, 2025c), [Q91] (NaturaDB, 2023b), [Q92] (Safo Milan Havlis, o. J.), [Q93] (Wenk, o. J.-c), [Q94] (Stephan et al., 2024a), [Q95] (Fortin et al., 2019), [Q96] (Nordischer Shop, o. J.), [Q97] (Nawaz et al., 2018), [Q98] (Jung & Grote, o. J.), [Q99] (Baumschule Horstmann, o. J.-b), [Q100] (2020), [Q101] (Five Oak projects, 2022), [Q102] (Frei et al., 2004)

Anhang IV: Leertabelle zur Erfassung der Gehölzarten für den Shannon- und Evenness-Index

Dt. Bezeichnung	Bot. Bezeichnung	Zielanzahl [Stück]	Ertragsanteil (in %)
Laubbäume			
Nadelbäume			
Sträucher			

Quelle: eigene Darstellung

