

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT

IUNR

## **Wassermanagement und Agroforst**

Optimierung des Wassermanagements eines Schweizer Landwirtschaftsbetriebs durch  
Agroforstsysteme und eine Konzeptionierung von syntropischen Futterhecken in der Schweiz

Bachelorarbeit

von

**Cyrill Achermann**

Bachelorstudiengang UI17

11.01.2024

BLH

Fachkorrektur:

Mareike Jäger, Christa Hirschvogel

ZHAW / IUNR, Grüental, Postfach, 8820 Wädenswil

**Impressum**

Autoren            Cyrill Achermann

Schlagworte        Agroforst, Wassermanagement, Syntropischer Agroforst, Futterhecke, Biodiversität, Walnuss

Zitiervorschlag   Achermann, C. (2024). Wassermanagement und Agroforst. Bachelorarbeit. ZHAW.  
Unveröffentlicht.

Institut            Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW  
Departement N, Life Sciences and Facility Management  
Grüentalstrasse 14, Postfach  
8820 Wädenswil

## Zusammenfassung

Die Landwirtschaft steht vor den Herausforderungen des Klimawandels, gekennzeichnet durch höhere Temperaturen, längere Trockenperioden und häufigere sowie intensivere Extremwetterereignisse. Gleichzeitig wächst die gesellschaftliche Forderung nach nachhaltiger Landwirtschaft, die innovative Ansätze erfordert. Die Agroforstwirtschaft, eine Kombination von Bäumen und Hecken mit landwirtschaftlichen Kulturen, zeigt Potenzial für die Förderung der Artenvielfalt, Reduktion der Bodendegradation und Entwicklung natürlicher Resilienz gegenüber klimatischen Veränderungen.

Die Ziele dieser Arbeit waren, erstens, ein Agroforstsystem zu planen mit Fokus auf der Optimierung des Wassermanagements und zweitens, die Entwicklung eines Konzepts für Futterhecken unter Anwendung eines syntropischen Ansatzes. Basierend auf einem Bedürfniskatalog, der gemeinsam mit dem Bewirtschafter erstellt wurde, konnten die Erwartungen und Anforderungen an das System abgeglichen werden. In einem anschliessenden Schritt wurde die Planung durch eine umfassende Kombination von Literaturrecherche, GIS-Plänen, Klimadaten und Expert:inneninterviews weiter ausgearbeitet. In jedem Planungsschritt wurden gezielt Möglichkeiten zur effizienten Nutzung der Wasserressourcen geprüft und, wo sinnvoll, integriert. Ein Agroforstsystem mit vier Teilbereichen resultiert aus dem Planungsprozess, die unterschiedlich stark von zentralen Anforderungen an das System geprägt sind. Der Weidebereich mit Futterhecken dient zur Bereitstellung zusätzlicher Futterressourcen während Trockenzeiten und bietet Schatten in Hitzeperioden. Der Bereich mit Baumnuss-Hochstämmen fokussiert auf eine ökonomisch rentable Produktion hochwertiger Früchte. Kleine Parzellen mit Versuchspflanzungen von robusten Nuss- und Fruchtbäumen, welche gegenüber intensiver Hitze und reduzierten Wassermengen widerstandsfähig sind, repräsentieren die dritte Pflanzung. Der letzte Bereich ist der Biodiversitätsförderung zugeordnet und beinhaltet diverse Hochstamm-Wildobstbäume. Durch die Analyse der Komponenten des syntropischen Ansatzes im Agroforst, wie sie von Ernst Götsch, dem Entwickler der Methode, beschrieben werden, konnte eine Anpassung an das Schweizer Klima entwickelt werden. Es folgte eine Implementierung dieser Systemkomponente in die Planung einer Futterhecke, die in der Schweiz umsetzbar wäre. Die Effektivität und Angemessenheit des syntropischen Ansatzes bei einer Futterhecke im Schweizer Kontext, sowohl klimatisch als auch ökonomisch, bedarf weiterer praktischer Untersuchung. Hingegen stellt die Integration von Kriterien zur Minderung von Extremwetterereignissen in den Planungsprozess von Agroforstsystemen ein sinnvoller Ansatz dar.

## Abstract

Agriculture is facing the challenges of climate change, characterized by higher temperatures, longer periods of drought, and more frequent and intense extreme weather events. Concurrently, there is a growing societal demand for sustainable agriculture, necessitating innovative approaches. Agroforestry, a combination of trees and hedges with agricultural crops, demonstrates potential for promoting biodiversity, reducing soil degradation, and enhancing natural resilience to climatic changes. The objectives of this study were, firstly, to plan an agroforestry system with a focus on optimizing water management and, secondly, to develop a concept for fodder hedges using a syntropic approach. Based on a needs assessment catalog created in collaboration with the farmer, expectations and requirements for the system were aligned. Subsequently, the planning was further refined through a comprehensive combination of literature review, GIS maps, climate data, and expert interviews. In each planning step, possibilities for efficient water resource utilization were systematically examined and, where applicable, integrated. An agroforestry system with four distinct sections emerged from the planning process, each varying in its degree of influence by central system requirements. The grazing area with fodder hedges serves to provide additional feed resources during dry periods and offers shade in heatwaves. The section with high-stemmed walnut trees focuses on economically viable production of high-quality fruits. Small plots with trial plantings of resilient nut and fruit trees, capable of withstanding intense heat and reduced water quantities, constitute the third planting. The final section is dedicated to biodiversity promotion, housing various high-stemmed wild fruit trees. Through an analysis of the components of the syntropic approach in agroforestry, as described by Ernst Götsch, the method's developer, an adaptation to the Swiss climate was devised. Subsequently, this system component was implemented into the planning of a fodder hedge, which could be realized in Switzerland. The effectiveness and appropriateness of the syntropic approach in the context of a fodder hedge in Switzerland, both climatically and economically, require further practical investigation. However, the integration of criteria for mitigating extreme weather events into the planning process of agroforestry systems represents a sensible approach.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Abstract

Einleitung .....	7
Hintergrund .....	7
1.1 Zielsetzung .....	9
1.2 Vorgehen .....	9
2 Material und Methoden .....	10
2.1 Vorgehen Planung Agroforstsystem .....	10
2.1.1 Planung der Agroforstsysteme .....	10
2.1.2 Syntropische Futterhecke .....	10
2.2 Recherche .....	11
2.3 Planungswerkzeug .....	11
2.4 Einschränkungen .....	11
3 Grundlagen der Planung des Agroforstsystems .....	12
3.1 Ausgangslage und Ziel .....	12
3.2 Standort .....	13
3.3 Aufbau des Agroforstsystems .....	15
3.3.1 Ausrichtung der Reihen und Reihenabstand .....	15
3.3.2 Pflanzdesign .....	16
3.3.3 Arten und Sortenauswahl .....	17
3.4 Bewirtschaftung .....	21
3.4.1 Pflanzung .....	21
3.4.2 Baumscheibenpflege .....	21
3.4.3 Alternative Methoden zur Unterdrückung der Konkurrenzvegetation .....	21
3.4.4 Formierung, Schnitt, Wertastung .....	24
3.4.5 Wildtierschutz .....	24
3.5 Wirtschaftlichkeit .....	25
3.6 Finanzierung .....	26
3.6.1 Förderung .....	26
3.6.2 Direktzahlungen .....	27
3.7 Zurechnungsflächen .....	28
3.8 Theorie Projekt syntropische Futterhecke .....	29
3.8.1 Begriff «Syntropie» .....	29
3.8.2 Elemente im syntropischen Agroforst .....	29
3.8.3 Vorgehen von Ernst Götsch beim Anlegen neuer syntropischen Agroforstparzellen .....	32
3.8.4 Tropisches und gemäßigtes Klima im Vergleich .....	33
3.8.5 Wie funktioniert syntropischer Agroforst im gemäßigten Klima? .....	34

4	Ergebnisse .....	36
4.1	Planung des Agroforstsystems .....	36
4.1.1	Ausrichtung der Reihen und Reihenabstand.....	36
4.1.2	Sortenwahl.....	39
4.1.3	Baumabstand und Anordnung der Kulturen .....	44
4.1.4	Zurechnungsflächen .....	45
4.1.5	Ackervorbereitung/Pflanzung .....	46
4.1.6	Wildtierschutz .....	46
4.2	Bewirtschaftung .....	48
4.2.1	Baumscheibenpflege .....	48
4.2.1	Schnitt .....	48
4.2.2	Frostschutz.....	49
4.2.3	Schädlingskontrolle.....	49
4.2.4	Ernte und Verarbeitung.....	50
4.3	Planung einer syntropischen Futterhecke .....	51
4.3.1	Die optimalen Ertragspflanzen definieren.....	51
4.3.2	Geeignete Begleitpflanzen der Ertragspflanzen .....	52
4.3.3	Die Zugehörigkeit der Pflanzengemeinschaften in der Sukzession .....	52
	Diskussion .....	54
5	Literaturverzeichnis .....	55
	Abbildverzeichnis .....	67

# Einleitung

## Hintergrund

Die Landwirtschaft steht zunehmend vor den Herausforderungen der Klimaerwärmung, die sich unter anderem in höheren Temperaturen, längeren Trockenperioden sowie häufigeren und intensiveren Extremwetterereignissen äussern. Dieser Trend wird sich bis Ende Jahrhundert mit grosser Wahrscheinlichkeit akzentuieren (Swiss Federal Office for the Environment, 2022). Parallel dazu, wächst in der Gesellschaft die Forderung nach verstärkter Implementierung naturnaher Produktionssysteme, die einen minimalen negativen Einfluss auf die Umwelt ausüben. Diese Forderung erstreckt sich darüber hinaus - auf die Förderung der Biodiversität und auf einen Tierbestand, der sich mit auf dem Betrieb produziertem Futter ernähren lässt («Initiativtext», 2021).

In ökologischer Hinsicht trägt die Inklusion von Bäumen im Produktionskontext zur Erhaltung der Artenvielfalt bei - dies geschieht unter anderem durch die Erhöhung der Habitatsdiversität, sowie die Reduzierung der Abdrift von Pflanzenschutzmitteln (Kay, Jäger, et al., 2019). Darüber hinaus wirken Bäume schützend auf Boden und Wasser, indem sie die Erosion mindern, den Wasserrückhalt fördern, Nährstoffverluste reduzieren und das Bodenleben vitalisieren (García de Jalón et al., 2018; Pardon et al., 2020). Zudem fungieren sie als zusätzlicher CO<sub>2</sub>-Speicher im System (Kay, Rega, et al., 2019).

## Agroforstsysteme

In einem Agroforstsystem werden landwirtschaftliche und forstwirtschaftliche Praktiken kombiniert, wobei mehrjährige Gehölze auf derselben Fläche wie landwirtschaftliche Nutzpflanzen angebaut werden. Traditionelle Agroforstsysteme sind in der Schweiz weit verbreitet und sind v.a. in der Form von Waldweiden im Bereich des Jura- und Voralpen, sowie Streuobstwiesen im Mittelland zu finden (Herzog et al., 2018). Die Praxis des Sammelns von Blättern und Zweigen von Bäumen und Sträuchern zur Fütterung von Nutztieren wurde bereits seit der Spätbronzezeit (3000 v. Chr.) eingesetzt. Speziell im Winter, aber generell in Zeiten der Futterknappheit, wurde auf Blattfütterung zurückgegriffen, was auch durch Funde aus römischen Siedlungen in der Schweiz belegt ist (Hejzmanová et al., 2014; Leuzinger et al., 2002).

Der Grundgedanke von Agroforstsystemen besteht darin, Interaktionen zwischen Bäumen, Sträuchern und Nutzpflanzen oder Tieren zu optimieren und die effiziente Nutzung von nicht gleichzeitig beanspruchten Ressourcen zu ermöglichen (Cannell et al., 1996; Mead & Willey, 1980).

Auf dieser Grundlage sind in den letzten Jahren moderne Agroforstsysteme entstanden, die auf die Optimierung des Designs hinsichtlich Ertrags- und Aufwandsoptimierung, sowie bereitgestellter Umweltleistungen setzen. Im Kontext der Diskussion über den Klimawandel werden zunehmend Fragen zu Veränderungen der Umwelteinflüsse, zur Steigerung der Systemresilienz und zur Kohlenstoffspeicherung relevant (Kay et al., 2020).

Kay et al. (2019) beschreibt vier Arten von modernen silvoarablen Systemen (die Kombination von Ackerflächen und Hochstammbäumen), welche in der Schweiz angetroffen werden:

1. Ackerparzellen mit Hochstamm-Bäumen zur Fruchtnutzung (Mostobst, Brennobst, Tafelobst für die Direktvermarktung – mehrheitlich Biobetriebe)

2. Ackerparzellen mit Obstbäumen zur extensiven Nutzung (Mostobst)
3. Ackerparzellen mit Bäumen zur Doppelnutzung Frucht und Holz (v.a. Nussbäume, zum Teil aber auch Birnen- und Kirschbäume)
4. Ackerparzellen mit Bäumen zur Wertholznutzung (v.a. Wildobstarten, zum Teil auch Edellaubbaumarten oder Obstbäume zur Holznutzung)

Hinsichtlich zunehmender Sommerhöchsttemperaturen und Trockenheit sowie dem damit verbundenen Qualitätsverlust von Raufutter, werden auch silvopastorale Agroforstsysteme – die Kombination aus Weidefläche und mehrjährigen Kulturen – oft in Form von Futterhecken, neu konzipiert.

### **Futterhecke**

Eine Futterhecke setzt sich aus verschiedenen Kulturen zusammen, die gemeinsam als wertvolle Ergänzung des Tierfutters dienen sollen. Die Futterhecke wird bei Bedarf beerntet, wobei bei jungen Pflanzen manuell Triebe abgeschnitten werden, um sie den Tieren zu verfüttern. In späteren Jahren können die Sträucher, je nach Art, auch direkt von den Tieren abgegrast werden. Laub aus Futterhecken als Futterergänzung ist auch speziell in Sommermonaten interessant, da einerseits das Futterangebot auf Weiden zurückgeht und der Proteingehalt im Gras sinkt (Ravetto Enri et al., 2020). Futterhecken bieten Vorteile wie:

- Trockenheitstoleranz durch tiefreichende Wurzelsysteme in niederschlagsarmen Perioden
- Protein- Energie- und Mineralstoffreiche Futterergänzung zu Zeiten knappen Angebots (Gresset & Schoop, 2022)
- Schatten und Windschutz für Nutztiere, was eine Reduktion im Energieaufwand zur Regulierung des Temperaturhaushaltes zur Folge hat (Béral & Moreau, 2020)
- Schattenwurf der Bäume und Sträucher, was eine Entwicklungsverzögerung des Grases zur Folge, die im Spätsommer zu einem höheren Rohprotein-Gehalt und einer besseren Verdaulichkeit führt (Goust, 2023)

Diese selektive Nutzung etabliert die Futterhecke als nachhaltige Ressource in der Tierernährung und bietet eine flexible und effiziente Futterquelle für moderne landwirtschaftliche Betriebe.

Als Vorbild für produktive und gleichzeitig boden- und umweltschonende Agroforstsysteme hat ein Schweizer Agroforstpionier, Ernst Götsch, von seinem Betrieb in Brasilien aus, weltweit Aufmerksamkeit erlangt. Er nennt sein System „syntropisch“ und imitiert natürliche Abläufe, ohne die in der Natur dafür benötigten Zeiträume zu beanspruchen (Götsch, 1994). Dieses System wird auf der ganzen Welt kopiert und adaptiert.

Für diese Arbeit stellen sich folgende Forschungsfragen:

- 1) Wie kann die Planung und Bewirtschaftung eines Agroforstsystems in der Schweiz gestaltet werden, um das Potenzial der Mitigation zunehmender Trockenperioden, sowie Starkniederschlägen auszuschöpfen?
- 2) Wie kann der syntropische Ansatz auf das Schweizer Klima und dessen Herausforderungen in Form einer Futterhecke übertragen werden?

## 1.1 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit ist:

Die Planung eines Agroforstsystems mit Fokus auf der Optimierung des Wassermanagements in Hedingen, Zürich.

Das Entwickeln eines Konzeptes für Futterhecken unter Anwendung eines syntropischen Ansatzes in Hedingen, Zürich.

## 1.2 Vorgehen

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein umfassendes Literaturstudium gemacht, welches im Kapitel 2.1 erörtert wird. Diese Literaturrecherche diente dazu, einen umfassenden Einblick in den aktuellen Wissensstand im Bereich der Agroforstsysteme zu erhalten. Die Erstellung eines Bedürfniskatalogs erfolgte im Anschluss an mehrere Interviews mit dem Bewirtschafter des landwirtschaftlichen Betriebs. Dieser diente als wesentliche Grundlage für die nachfolgende Planung des Agroforstsystems.

Die Analyse von GIS-Plänen und Klimadaten spielte eine entscheidende Rolle im Planungsprozess, indem räumliche Informationen wie Topografie, Bodenbeschaffenheit, Wind und Niederschlagsmuster integriert wurden. Vorhandene Bodenanalysen lieferten eine umfassende Grundlage für die Planung und ermöglichten eine Beurteilung der Bodenqualität und -eignung.

Die Planungsphase war von einer iterativen Vorgehensweise geprägt. In enger Zusammenarbeit mit dem Landwirt und unter Einbeziehung von Fachexpertise, wurden dabei fortlaufend Anpassungen und Optimierungen vorgenommen.

Im zweiten Abschnitt dieser Arbeit erfolgte die Adaption des syntropischen Ansatzes auf den Schweizer Kontext und dessen Anwendung auf eine Futterhecke im Agroforst. Der Begriff "Syntropie" wurde hergeleitet und die Elemente im syntropischen Agroforst definiert.

Ein Vergleich zwischen Klimaxwäldern (stabiler Endzustand der Vegetation, der sich im Laufe der Sukzession herausbildet) in tropischen und gemässigten Klimazonen wurde gemacht, um die Unterschiede und Gemeinsamkeiten hervorzuheben. Auf dieser Grundlage wurde abgeleitet, wie der syntropische Ansatz auf das gemässigte Klima übertragen werden kann.

Diese Erkenntnisse wurden in die Planung einer Futterhecke integriert, um die praktische Umsetzung des syntropischen Agroforstsystems im Schweizer Kontext zu demonstrieren.

## 2 Material und Methoden

Der Standort für den in dieser Arbeit besprochenen Betrieb befindet sich in Hedingen, Zürich (47°29'78"N, 8°44'83E), 550 m ü. M. Hedingen hat eine durchschnittliche Jahrestemperatur von 10.7°C und einen durchschnittlichen jährlichen Niederschlag von 1370 mm. Auf den ca. 20 ha des Hofes werden 16 Mutterkühe gehalten und Ackerbau betrieben. Weitere Informationen in den Abschnitten 3.1 (Ausgangslage und Ziel) und 3.2 (Standort).

### 2.1 Vorgehen Planung Agroforstsystem

#### 2.1.1 Planung der Agroforstsysteme

Zusammen mit dem Bewirtschafter wurde ein Bedürfniskatalog erstellt und durch Literaturrecherche ausgearbeitet sowie strukturiert. Unter Berücksichtigung der verfügbaren Standortqualitäten und -einschränkungen wurden verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten für ein Agroforstsystem erörtert, wobei eine spezifische Variante weiterentwickelt wurde.

Die Auswahl der Kulturen erfolgte vor dem Hintergrund der effizienten Wassernutzung, Diversifizierung und Risikominimierung. Hierbei lag der Fokus auf robusten Pflanzen mit zeitlich gestaffelter Ernte und geringem Verderb.

Einer Analyse der Betriebsmöglichkeiten und potenziellen Bewirtschaftungsarten folgte eine entsprechende Empfehlung. Besondere Aufmerksamkeit galt der Bewirtschaftung, welche ein optimales Wachstum der Bäume und eine zeitnahe Nutzung der Vorteile des Agroforstsystems zur Folge haben soll. Zentral dabei war die Nutzung von Ressourcen, die auf dem Betrieb vorhanden sind, sowie der Reduzierung des Arbeitsaufwands.

Abschliessend wurden wesentliche Punkte im Zusammenhang mit den Direktzahlungen und den damit verbundenen Anforderungen festgehalten. Diese wurden spezifisch vom Bewirtschaftenden gewünscht und dienen als Unterstützung für die erforderlichen Eingaben bei der zuständigen Behörde und bei der Umsetzung.

Bei allen Entscheidungen floss die grundlegende Anforderung eines verbesserten Wasser-managements und der Minderung von Extremwetterereignissen, insbesondere Trockenzeiten und Starkniederschlägen, mit ein.

#### 2.1.2 Syntropische Futterhecke

Für die Planung der syntropischen Futterhecke wurden die Methoden von Ernst Götsch anhand seiner eigenen Projekte sowie Pflanzungen von ehemaligen Mitarbeitern und anderen von ihm beeinflussten Personen analysiert. Diese Erkenntnisse wurden in Prozessschritte unterteilt. Nachfolgend erfolgte die Definition von Einschränkungen, gefolgt von einer Anpassung an das gemässigte mitteleuropäische Klima. Dies resultierte in einer standortangepassten Vorgehensweise zur Schaffung von syntropischen Systemen in der Schweiz. Die Umsetzung dieser Methode wurde durchgeführt und anschliessend überprüft.

## 2.2 Recherche

Die Recherche besteht aus einer Literaturrecherche, Interviews und Gesprächen mit Expert:innen, sowie Standort- und Klimaanalysen. Die für die Literaturrecherche verwendeten Datenbanken sind Google Scholar, Research Gate, Elsevier und Science Direct.

## 2.3 Planungswerkzeug

Die digitale Planung des Layouts wurde basierend auf Kartenmaterial von Swisstopo in QGIS-Desktop 3.30.1 gemacht.

## 2.4 Einschränkungen

Diese Arbeit beschränkt sich auf die Planung der Agroforstsysteme, sowie das Erstellen des Konzepts einer syntropischen Futterhecke. Die Umsetzung des Projekts, sowie das Monitoring der Fläche ist nicht Bestand dieser Arbeit.

### 3 Grundlagen der Planung des Agroforstsystems

Im Folgenden werden die Rahmenbedingungen sowie der notwendige theoretische Hintergrund für die Planung des Agroforstsystems und das Konzept der syntropischen Futterhecke erörtert.

#### 3.1 Ausgangslage und Ziel

Die Planung des Agroforstsystems erfolgt auf einem Betrieb, der 16 Mutterkühe hält und Ackerbau betreibt. Probleme stellen Häufungen von Frühjahrestrockenheit sowie Sommertrockenheit dar, welche in den letzten Jahren wiederholt zu einer Futterknappheit führten. Finanziell ist der Betrieb von Direktzahlungen und einem Grossabnehmer seiner Produkte abhängig.

Ziel des Bewirtschaftenden ist es die Resilienz seines Betriebs zu erhöhen und zugleich eine nachhaltige Transformation in ökologischer, wirtschaftlicher und sozialer Hinsicht zu erreichen. Ein spezieller Fokus ist es, die negativen Auswirkungen von Extremwetterereignissen wie Trockenzeiten, sowie Starkniederschläge zu reduzieren. Dabei soll eine möglichst ganzheitliche Herangehensweise gewählt werden, bei der ein Ort mit hoher Biodiversität und Landschaftsqualität für Mensch und Tier geschaffen wird. Der Bewirtschafter zeigt eine grosse Motivation und Freude an Bäumen und Strukturen, die der Biodiversität dienen; Baumbewirtschaftungskennnisse sind jedoch noch nicht ausgeprägt. Der Wille, Neues im Umgang mit Bäumen und Sträuchern zu lernen und sich weiterzubilden ist vorhanden.

Zur Abwägung der Interessen wurden die Bedürfnisse des Bewirtschafters aufgenommen und in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** 1 verschiedenen Umweltbereichen sowie wirtschaftlichen Interessen zugeteilt.

Tabelle 1: Zuteilung der Bedürfnisse und Ziele des Bewirtschaftenden in Umweltbereiche, sowie wirtschaftliche Anforderungen

	Nachhaltigkeitsaspekte	Ziele der geplanten Agroforstsysteme	Quellen
Umweltbereiche	Boden	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erosionsschutz (Wind und Starkniederschläge)</li> <li>Verbesserte Sickerleistung und Wasserhaltekapazität</li> <li>Reduktion der Auswaschung von Nährstoffen</li> <li>Humusaufbau durch zusätzlichen Grünguteintrag</li> <li>Steigerung der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul>	(Fattet et al., 2011) (Fattet et al., 2011) (Isaac & Borden, 2019) (Seitz et al., 2017)
	Klimawandel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduktion Hitzestress</li> <li>Mitigation Trockenheitsrisiken</li> <li>Kohlenstoffbindung in Pflanzen und Boden</li> </ul>	(Reyes et al., 2021) (Huo et al., 2021; van Noordwijk et al., 2021) (Seitz et al., 2017)
	Biodiversität und Landschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>Biodiversitätsförderung durch vielfältige Lebensräume</li> <li>Steigerung des ästhetischen Wertes der Landschaft</li> </ul>	(Rega et al., 2018) (Kaeser et al., 2010)
Ökonomie/So	Landwirtschaftliche Produktion	<ul style="list-style-type: none"> <li>Frucht und Holzproduktion</li> <li>Möglichst ungestörte Ackerbauliche Nutzung</li> </ul>	(Dupraz et al., 2018; Huo et al., 2021; Kocaçalikan & Terzi,

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weitere Nutzung des Graslandes</li> <li>• Zusätzliche Futterproduktion</li> <li>• Erhöhung der biologischen Effizienz (land equivalent ratio (LER))</li> <li>• Ökonomisch tragbares Weiterbestehen des landwirtschaftlichen Betriebes</li> </ul>	<p>2001; Vaccaro et al., 2022)</p> <p>(Cannell et al., 1996; Mead &amp; Willey, 1980; Mulia &amp; Dupraz, 2006; Sereke et al., 2014)</p>
Sicherheit/Soziales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Risikoreduktion von Extremwetterereignissen</li> <li>• Diversifizierung der Einkommensquellen</li> <li>• Reduktion der Abhängigkeit von einzelnen Kulturen</li> <li>• Reduktion externer Einkäufe von Futter und Kompost</li> </ul>	<p>(García De Jalón et al., 2018; Quandt et al., 2023; Reyes et al., 2021; Thiesmeier &amp; Zander, 2023)</p>

### 3.2 Standort

#### Standort und Klima

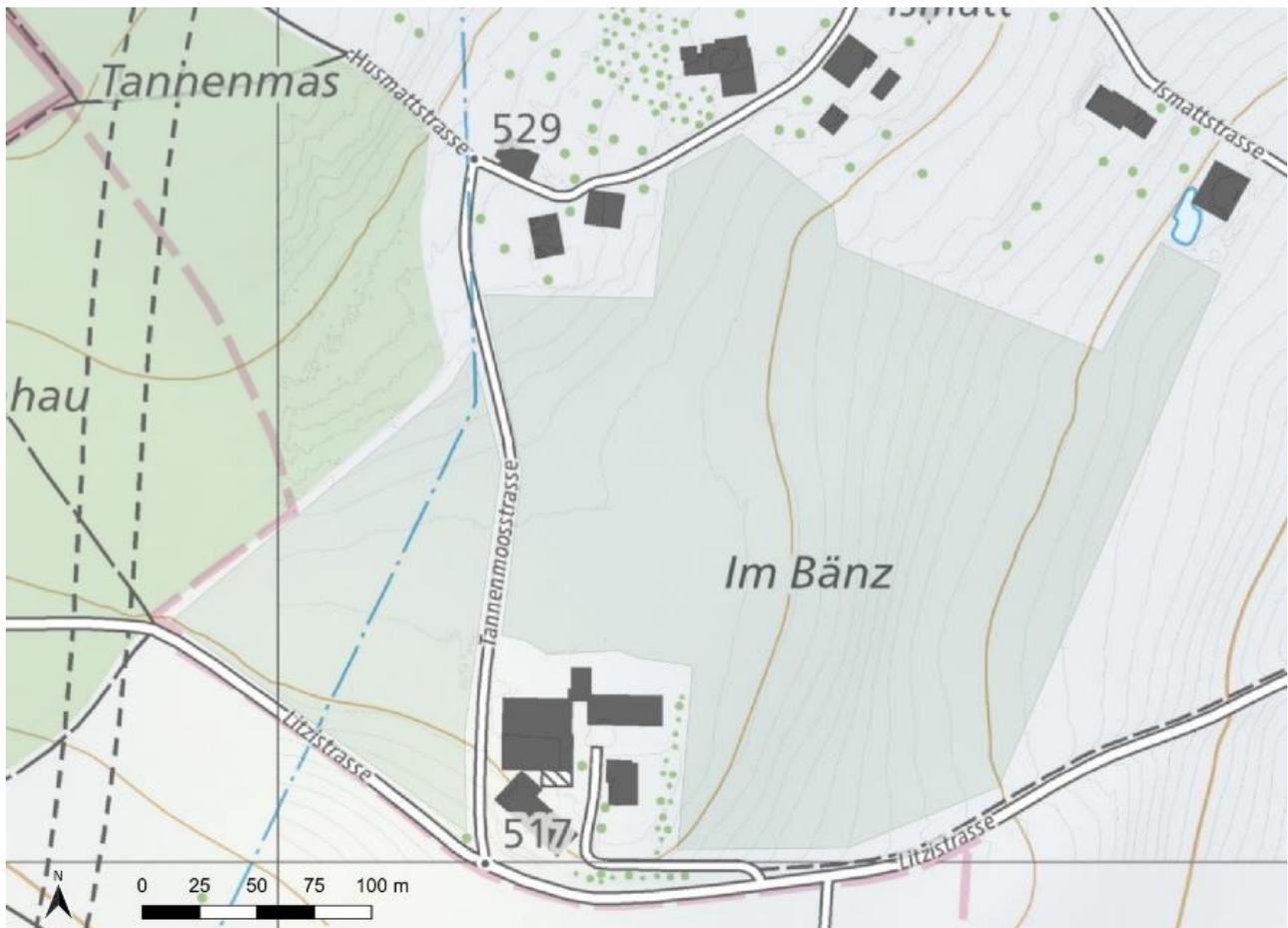


Abbildung 1: Die Fläche des Betriebs, auf welcher das Agroforstsystem entsteht. Die Parzelle ist grün hinterlegt, der Bauernhof im Zentrum. (Quelle: swisstopo, 2023)

Der Standort für den in dieser Arbeit besprochenen Betrieb befindet sich in Hedingen, Zürich (47°29'78"N, 8°44'83E), 550 m ü. M (Abbildung 1). Hedingen hat eine durchschnittliche Jahrestemperatur von 10.7°C und einen durchschnittlichen jährlichen Niederschlag von 1370 mm. Die jährlichen Niederschlagsmengen weisen über die letzten 50 Jahre einen negativen Trend von 50 mm pro Jahrzehnt auf und die Temperaturen einen positiven Trend von 0.5° C pro zehn Jahre. Dabei waren die Niederschlagsmengen in der Vergangenheit gleichmässig auf das ganze Jahr verteilt. In den letzten Jahren konnten jedoch gehäuft Trockenheitsperioden im Frühjahr sowie im Sommer beobachtet werden (Abbildung 2). Die Hauptwindrichtung ist aus SSW, wobei die stärksten Winde Bise (NE) und Föhn (SW) sind. Windgeschwindigkeiten über 20 km/h kommen in der Regel gehäuft im Winterhalbjahr (zwischen September und April) vor. (meteoblue, 2023)

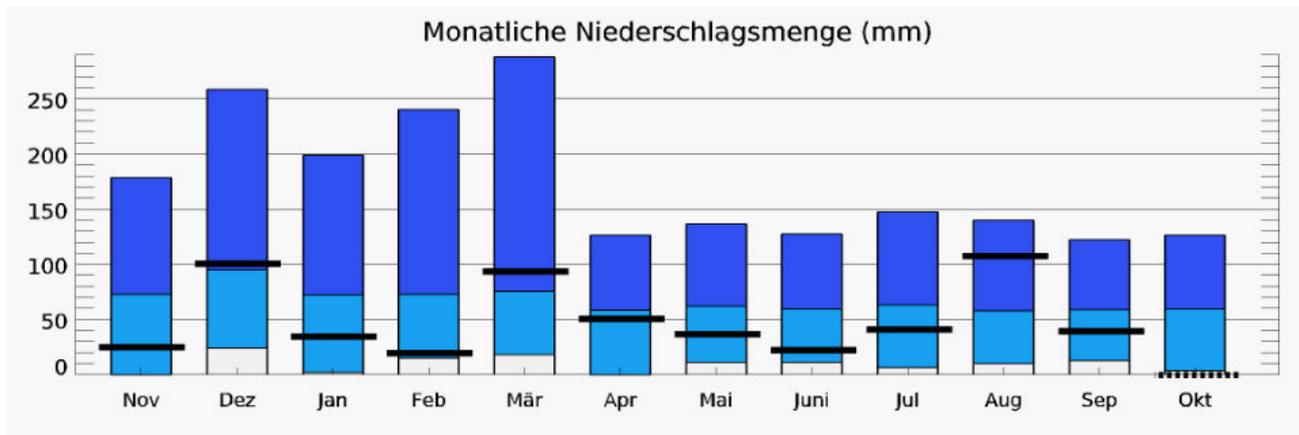


Abbildung 2: Monatliche Niederschlagsmengen, durchschnittlicher NS der letzten 30 Jahre (Grenze von hellblauer und dunkelblauer Fläche), Niederschlag 2022 (Schwarze Linie), (Quelle meteoblue, 2023)

### Fläche, Boden, Wasserhaushalt

Der Betrieb bewirtschaftet 18.5 ha, wovon ca. 6.5 ha arrondierte Landwirtschaftsflächen sind, auf welcher das Agroforstsystem entstehen soll. Bodenproben zufolge besteht die Versuchsfläche aus senkrecht durchwaschener Braunerde (PH 6.5) mit einer pflanzennutzbaren Gründigkeit von 70-100cm, (Fruchtfolgefläche zweiter Güte) (swisstopo, 2023). Der gesamte Betrieb wird seit 2018 pfluglos bewirtschaftet und wendet Grundsätze der regenerativen Landwirtschaft an. Die Fläche ist nicht besonders frostgefährdet, da sie ein leichtes Gefälle aufweist. In der Fruchtfolge wird neben Klee gras auch Winterweizen, Dinkel und Hafer angebaut.

### Natürliche und künstliche Einschränkungen

Grundsätzlich sind keine Probleme bekannt, welche die Planung des Agroforstsystems einschränken würden (z.B. Staunässe, Überflutungswahrscheinlichkeit, Problempflanzen, übermässiger Maudruck, etc.)

Im östlichen Teil des Betriebs wurden teilweise Drainagen installiert, die im Jahr 1911 verlegt wurden. Laut Angaben der Baudirektion Abteilung Landwirtschaft (2018) haben diese eine Lebensdauer von 120 Jahren. Aufgrund des hohen Alters der Drainagen sind die vorhandenen Pläne (siehe Anhang) nach Aussage der Unterhaltsgenossenschaft Hedingen, der Eigentümerin der Drainageleitungen, mutmasslich ungenau und unverlässlich. Diese Pläne sollten lediglich als allgemeine Information über das Vorhandensein von Drainageleitungen betrachtet werden. Es liegen keine Pläne vor, dass die Leitungen erneuert oder instandgesetzt werden sollen. Zusätzlich ist unklar, wie effektiv die bestehenden Drainagen sind (persönliches Telefonat mit Vertreter der Unterhaltsgenossenschaft Hedingen).

Im westlichen Teil des Betriebs führt eine Stromleitung durch die Dauerwiese; die einzuhaltenen Abstände sind in der Verordnung elektrischer Leitungen (VeL) geregelt. Bei der Positionierung der Futterhecken ist darauf zu achten, dass ein ausreichender Abstand zur Stromleitung eingehalten wird. Dies soll sicherstellen, dass die Futterhecken und deren Bewirtschaftung die Leitung und deren Instandhaltung nicht beeinträchtigen. Feuerbrand, eine bakterielle Krankheit welche v.a. Kernobst betrifft, konnte in der Gegend, wahrscheinlich aufgrund der geringen Obstbaumdichte, nicht beobachtet werden. Die nächstgelegenen Baumschulen oder Obstanlagen (Gebiete geringer Prävalenz) sind über 5 km entfernt.

### 3.3 Aufbau des Agroforstsystems

In einem Agroforstsystem beeinflussen sich Kulturen ober- sowie unterirdisch, was in der Planung berücksichtigt werden muss (Tabelle 2). Dabei wird versucht, die positiven Einflüsse zu nutzen und die negativen zu beschränken.

Tabelle 2: Ober- und unterirdische Einflüsse von Kulturen in Agroforstsystemen, unterteilt in positive und negative Einflüsse

Einflüsse	Oberirdisch	Unterirdisch
<b>Positiv</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erosionsschutz</li> <li>- Windschutz</li> <li>- Sonnenschutz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erhöhte Bodenfeuchtigkeit durch Schattenwurf und hydraulischer Lift</li> <li>- Bildung eines Mykorrhiza-Netzwerkes</li> </ul>
<b>Negativ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ungleichmässiger Schattenwurf</li> <li>- Platzverfügbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nährstoffkonkurrenz</li> <li>- Wasserkonkurrenz</li> </ul>
<b>Neutral</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeitlich und örtlich unabhängige Nutzung von Ressourcen</li> </ul>	

(Ong et al., 1991)

#### 3.3.1 Ausrichtung der Reihen und Reihenabstand

Mit dem Reihenabstand kann der Fokus eines Agroforstsystems stark beeinflusst werden. Bei weiten Abständen entsteht ein ackerbau- oder graslandbetontes System mit einer geringen Baumdichte. Der Einfluss der Bäume ist gering und die Ackerkultur wird minimal durch die Bäume beeinflusst. Bei engen Baumreihen entsteht eine plantagenähnliche, wertholz- oder fruchtdominante Variante. Es muss beachtet werden, dass mit einer Veränderung der Baumdichte nicht nur Einfluss auf die Menge und Qualität der Ernte genommen wird, sondern auch alle Ökosystemleistungen, die das System schafft, verändert werden. (Dupraz et al., 2018; Eichhorn et al., 2006)

#### Baumreihen

Die verminderte Sonneneinstrahlung auf den Boden durch den Schattenwurf der Baumreihen spielt eine entscheidende Rolle bei der Senkung der Maximaltemperaturen und der verminderten Austrocknung des Bodens in der Umgebung der Bäume. Gleichzeitig strebt man jedoch an, den Schattenwurf auf die Ackerkulturen so gering wie möglich zu halten, da dies ein potenziell wachstumslimitierender Faktor sein kann. Zudem wird versucht, eine möglichst gleichmässige

Verteilung des Schattens über die Ackerfläche zu gewährleisten, um ein einheitliches Ausreifen des gesamten Pflanzenbestandes zu fördern. Eine ausgewogene Abstimmung zwischen dem Schattenwurf zur Optimierung des Wassermanagements und der Sicherstellung einer gleichmässigen sowie ausreichenden Lichtversorgung für die Ackerkulturen ist unerlässlich, um ein erfolgreiches Wachstum zu gewährleisten. Dupraz et al. (2018) beschreiben die Analyse einer prozessbasierten 3D-Modellierung von Agroforstsystem in Baumreihenpflanzungen, welche die Entwicklung über 40 Jahre berechnete. Dabei wurde die Beschattung der Unterkulturen durch die Bäume, abhängig von der geografischen Breite, Baumabstand und Reihenausrichtung, simuliert. Die Modellierung zeigt, dass in mittleren Breiten, wie in der Schweiz, generell Nord-Süd- sowie Ost-West-Ausrichtungen ähnliche Sonneneinstrahlungswerte der Kulturen ermöglichen. Jedoch weist eine Nord-Süd-Ausrichtung eine homogenere Beschattung der Ackerkulturen, sowie ein besseres Wuchsverhalten der Bäume auf und wird somit empfohlen. Ebenfalls wird aufgezeigt, dass der Beschattungseffekt bei weiten Baumreihen (35m) knapp 20% geringer ist als bei engen Baumreihen (16m). Die Simulation zeigt in unseren Breiten (47°N) ein Maximum der Beschattung von ausgewachsenen Bäumen (50cm BHD) in weiten Reihen von ca. 35%, was für die meisten schattentoleranten Kulturen wie Weizen, Gerste und Roggen nur zu einer geringen Reduktion der Ernte (<20%) führen sollte (Ong et al., 1991). Basierend auf diesen Ergebnissen hat Vaccaro et al. (2022) den Einfluss von moderater (40%), sowie starker (90%) Beschattung von Gerste in zwei Agroforstsystemen in der Schweiz untersucht, bei moderater Beschattung resultierten keine signifikant tieferen Erträge.

### **Baumabstand**

Die Wahl des Baumabstands wird v.a. durch die Platzanforderungen der Bäume und die gewünschte Baumdichte des Agroforstsystems bestimmt. Bei Reihenpflanzungen wird, abhängig von Kronendurchmesser und Endstammbreite, ein Baumabstand von 8-15m empfohlen (Jäger, 2017; Van Lerberghe, 2017).

### **Futterhecken**

Die Fläche, auf der die Futterhecken gepflanzt werden sollen, wird als Dauerweide genutzt und unterliegt anderen Einschränkungen in Bezug auf die Ausrichtung des Agroforstsystems. Der Beschattungseffekt der Bäume ist erwünscht, da er den Kühen im Sommer eine energetisch günstige Möglichkeit bietet, ihre Körpertemperatur zu regulieren (Goust, 2023). Darüber hinaus fungiert die Hecke als effektiver Windschutz, was nach Raskin & Osborn (2019) dazu beitragen kann, den Windstress zu reduzieren.

Zu den entscheidenden Faktoren zählen sowohl die einfache Einzäunung der Fläche als auch die Erweiterung der Weidefläche, was insbesondere bei der Beweidungspraxis des "mob grazing" (eine Weidemanagement-Technik, bei der Viehherden auf kleinen Weideflächen konzentriert werden und zu neuen Weideflächen bewegt werden), eine essenzielle Rolle in der täglichen Arbeit des Betriebs spielt.

## **3.3.2 Pflanzdesign**

Es kann beobachtet werden, dass Bäume in Agroforstsystemen in zwei unterschiedlichen Anordnungen vorkommen: durchmischt oder in nebeneinander liegenden gleichen Kulturen. Diese verschiedenen Anordnungen weisen Vor- und Nachteile, sowohl in Bezug auf die Bewirtschaftung, als auch auf die Gesamtwirkung des Agroforstsystems auf, wie in Tabelle 3 detailliert aufgeführt.

Tabelle 3: Vor- und Nachteile durchmischter, sowie gleichartiger Anordnung der Kulturen von Reihenpflanzungen in Agroforstsystemen.

Anordnung der Kulturen	Vorteile	Nachteile
Durchmischung der Kulturen/Sorten	Diversere Interaktionen verschiedener Kulturen Bessere Etagenausnutzung möglich Natürliche Barriere für Pathogene Optisch attraktiver Geringere Beschattung	Ernte und Separation der Ernteprodukte aufwändiger Beobachtung und Vergleich derselben Kulturen schwieriger
Selbe Kulturen nebeneinander	Bewirtschaftung (PSM, Ernte, Schnitt) einfacher und schneller Bessere Vergleichbarkeit der Individuen (Erkennen von Befall, Nährstoffdefizit) Baumabstände/Platzverhältnisse uniform	Leichte Übertragung von Pathogenen Plantagenartige Optik Platzkonflikt (Kronen auf gleicher Höhe, selbe Ausmasse) Starke Beeinflussung der Unterkulturen

### 3.3.3 Arten und Sortenauswahl

Bei der Auswahl der Bäume stehen die Bedürfnisse und Kenntnisse des Bewirtschafters im Mittelpunkt. Da ein Kompromiss zwischen der Steigerung der Produktion (Futter, Früchte und Holz), der Förderung der Biodiversität sowie wirtschaftlicher Tragbarkeit und Arbeitsaufwand erreicht werden soll, wurde das System in vier Teilsysteme aufgeteilt.

- Eine intensiv bewirtschaftete Fläche (für einen Bio-Hochstammbobstgarten), bei der die Erwirtschaftung des Ertrags im Fokus steht
- Versuche auf kleinen Parzellen mit dem Ziel der Direktvermarktung oder der Schaffung ansprechender Versuchskulturen.
- Eine extensive Fläche zur Förderung der Biodiversität und der langfristigen Produktion von hochwertigem Nutzholz.
- Kulturen in Heckenanordnung zur Steigerung der Futterproduktion während Trockenperioden

Bäume haben unterschiedliche Anforderungen an, respektive Auswirkungen, auf ihre Umwelt. Insbesondere werden bei der Auswahl Faktoren wie der Bodenanspruch, das Klima (Temperatur, Niederschlag, potenzielle Evapotranspiration), die Grösse und Form, das Wachstum (ober- und unterirdisch), die Anfälligkeit für Krankheiten und Schädlinge sowie die Ertragsmenge und Qualität (Frucht und/oder Holz) berücksichtigt.

### Hochstamm-Walnussproduktion zur Nuss und Wertholzproduktion

Durch den hohen Anteil der Walnussproduktion am Gesamtsystem, wurde basierend auf den Faktoren in Tabelle 4 eine faktenbasierte Auswahl der Sorten getroffen.

Tabelle 4: Hauptfaktoren für die Auswahl der Walnussbäume, welche in die Bereiche Robustheit, Wuchs, Fruchtqualität und Bestäubung eingeteilt wurde.

<b>Walnuss</b>	<p>Es wurden nur lateral tragende Sorten in Betracht gezogen, da terminale Sorten aufgrund ihrer Grösse, Beschattung, extensiven Wurzeln und niedrigerem Ertrag eher eine Möglichkeit für Einzelbäume und weniger für Agroforstsystem darstellen.</p> <p>Schlüsselfaktoren für die Auswahl der Sorten waren folgende:</p> <p><b>Robustheit:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Krankheitsresistenz</li> <li>- Frostempfindlichkeit (Erster Austrieb, Blütezeit)</li> <li>- Trockenheitsresistenz</li> </ul> <p><b>Wuchs:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Wuchskraft</li> <li>- Wuchsform, Grösse</li> <li>- Zeit bis Ertragsbeginn</li> </ul> <p><b>Fruchtqualität:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ertragsniveau</li> <li>- Äussere Qualität: Schalendicke, Kernanteil, Nussgrösse</li> <li>- Innere Qualität: Geschmack, Farbe</li> </ul> <p>Basierend auf diesen Faktoren wurde eine Vorauswahl getroffen und mit Hilfe von Heinrich Gubler und dessen Daten aus den Versuchspflanzungen der Baumschule Gubler die Sorten ausgewählt.</p> <p><b>Bestäubung:</b></p> <p>Walnussbäume sind einhäusig und können sich oft selbst befruchten, jedoch sind die männlichen Blüten bei den meisten Sorten vor den weiblichen reif (proterandrisch), je nach Witterung kann dieser Effekt verstärkt auftreten und eine Fremdbefruchtung notwendig machen. Kommerziell wird empfohlen 3-10% Befruchtersorten zu verwenden, um gleichmässigeren und höheren Erträge zu ermöglichen (Krueger, 2000)</p>
----------------	---

### Apfel- Kastanien- und Pekanbäume

Ein Anliegen des Bewirtschafters besteht darin, mittelfristig einige Produkte direkt vermarkten zu können. Bei der Auswahl liegt der Fokus dieser Kulturen auf Robustheit, Pflegeleichtigkeit und der Erzeugung hochwertiger Produkte (Tabelle 5) mit der Möglichkeit zur Entwicklung von Nischenprodukten.

Tabelle 5: Apfel- Kastanien und Pekanbäume werden nach Kriterien wie Robustheit, Fruchtqualität, Wuchs und klimatischer Eignung ausgewählt.

<b>Apfel</b>	<p><b>Robustheit:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pilzkrankheiten (Monilia, Schorf, Mehltau, Krebs)</li> <li>- Feuerbrandanfälligkeit (Erwinia amylovora)</li> <li>- Ein Fokus wird der Anfälligkeit auf den seit ca. 2010 in der Schweiz</li> </ul>
--------------	---

	<p>beobachteten Pilz <i>Marssonina Coronaria</i> (<i>Diplocarpon coronariae</i>) gelegt. Im extensiven Bio-Hochstammanbau erschwerend ist, dass kaum wirksame PSM existieren oder aufgrund der Grösse der Hochstammobstbäume nicht zufriedenstellend angewendet werden können.</p> <p>(Gravalon &amp; Perren, 2021; Müller &amp; Bühler, 2023)</p> <p><b>Eignung für Mostproduktion:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aroma, Geschmack</li> <li>- Zucker/Säure (absolut und relativ)</li> <li>- Ertragsniveau</li> </ul> <p><b>Wuchs:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eignung als Hochstamm</li> <li>- Wuchsstärke</li> <li>- Alternanz</li> <li>- Bestäubung</li> </ul> <p>(Brunner et al., 2015; Schöneberg &amp; Perren, 2018)</p>
Kastanien	<p><b>Robustheit:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistenz oder Toleranz gegenüber Kastanienminiermotte, Gallwespe und Kastanienrindenkrebs</li> </ul> <p><b>Fruchtqualität:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Guter Geschmack</li> <li>- Grosse Früchte</li> <li>- Einfache Schälbarkeit</li> </ul> <p><b>Pflegeanforderungen:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pflegeleicht</li> </ul>
Pekan	<p>Die Auswahl an Sorten, welche an unser Klima angepasst sind und in der Schweiz angeboten werden ist sehr überschaubar, die Wahl begrenzt.</p> <p><b>Klima:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Frühjahrsfrosttoleranz durch späten Austrieb</li> <li>- Frühreife Sorten aufgrund von kürzerer Vegetationsperiode als in Herkunftsgebiet (US-Südstaaten)</li> </ul> <p><b>Robustheit:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Venturia effusa</i> ist eine Pilzkrankheit, welche im kommerziellen Anbau in den US-Südstaaten erhebliche Schäden verursacht, resistente oder robuste Sorten sind vorzuziehen.</li> </ul> <p><b>Bestäubung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pekanbäume sind proterandrisch, können sich aber meist nicht selbst bestäuben, da sich die männliche und die weibliche Blüte meist nicht überschneiden. Daher ist auf ergänzende Sorten zur Bestäubung zu achten.</li> </ul>

### Hochstamm-Wildobstsorten zur Wertholzproduktion und Biodiversitätsförderung

Nur lokale, wenn möglich seltene oder gefährdete, Arten werden ausgewählt. Wildobstsorten, die von Silvocultura unterstützt werden und bei Möglichkeit zu Direktzahlungen für Hochstamm-Obstgärten qualifizieren, werden priorisiert. Unter anderem sind die Biodiversitätsförderung, sowie Schaffung von attraktiven und diversen Strukturen (Tabelle 6) zentrale Anliegen in der Auswahl von Wildobstsorten.

Als beitragsberechtigende Wildobstsorten gelten gemäss kantonaler Präzisierung Qualitätsstufe II, die Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*), der Speierling (*Sorbus domestica*), die Wildkirsche (*Prunus avium*), die Elsbeere (*Sorbus torminalis*), der Maulbeerbaum (*Morus sp.*), die Kirschpflaume (*Prunus cerasifera*) und die Mispel (*Mespilus germanica*). (Amt für Landschaft und Natur Zürich, 2022)

Tabelle 6: Kriterien für Hochstamm-Wildobstsorten, welche im östlichen Bereich des Agroforstsystems in oder angrenzend zu einer Q2 Fläche gepflanzt werden.

Wildobst	<p><b>Nutzen für Biodiversität:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Vögel</li> <li>- Bienen</li> <li>- Lepidoptera</li> </ul> <p><b>Robustheit:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lokale Arten, keine Kultursorten</li> <li>- Möglichst keine Krankheitsübertragung wie Feuerbrand</li> </ul> <p><b>Holzqualität:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dichte und Festigkeit</li> <li>- Geradfaserigkeit</li> </ul>
----------	---

### Futterhecken zur Erhöhung der Futterproduktion zu Trockenzeiten

Eine Futterhecke setzt sich aus verschiedenen Kulturen zusammen, die gemeinsam als wertvolle Ergänzung des Tierfutters dienen sollen. Die Futterhecke wird gelegentlich beerntet, wobei Triebe abgeschnitten werden, um sie den Tieren zu verfüttern. Um ein wertvolles Futter zu liefern, sowie gute Bewirtschaftungseigenschaften zu haben wurden Auswahlkriterien in Tabelle 7 definiert.

Pro Futterheckenabschnitt sollen zwei Hochstammbäume inkludiert werden, welche den Tieren im Sommer Schatten geben. Ausschlaggebend für die Auswahl der Bäume ist eine hohe Wüchsigkeit und eine geringe Dichte der Krone (beschränkte Beschattung der Heckenkulturen).

Tabelle 7: Auswahlkriterien für Heckenkulturen zur Futterproduktion in einem Agroforstsystem für Rinder.

Heckenkulturen	<p><b>Bewirtschaftung:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnitttoleranz</li> <li>- Wüchsigkeit</li> </ul> <p><b>Futterqualität:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hoher Rohproteingehalt</li> <li>- Gute Verdaulichkeit</li> <li>- Hohe Schmackhaftigkeit</li> <li>- Gehalt an kondensierten Tanninen unter 50g/kg TS</li> </ul>
----------------	---

	- Nicht toxisch für Rinder
--	----------------------------

(Goust, 2023; Gresset & Schoop, 2022)

## 3.4 Bewirtschaftung

Die umfassendste Betrachtung in der Bewirtschaftung konzentriert sich auf den Bereich der Walnussproduktion. Da die rentable Erzeugung von Nüssen im Mittelpunkt steht und diese massgeblich von der Bewirtschaftung abhängt, wird diesem Aspekt besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

### 3.4.1 Pflanzung

Eine sorgfältige Pflanzung der Bäume ist zentral für ein resilientes und erfolgreiches Agroforstsystem (Gubler, 2022).

Das Pflanzloch soll 50x50x50 cm aufweisen. Die Wurzeln sollten etagenweise radial nach aussen gezogen werden, um ein Verschlingen zu vermeiden. Die obersten Wurzeln sollten dabei 3–5 cm mit Erde bedeckt werden. Nach dem Antreten der Erde sollte im Bereich um den Stamm eine leichte Vertiefung geschaffen werden, um die Bewässerung zu verbessern. Anschliessend erfolgt das Angiessen mit etwa 10 Litern Wasser pro Baum.

Ein Pflanzpfahl wird auf der Wetterseite eingeschlagen, die Pfahlspitze sollte etwa 70–80 cm tief im Boden sein. Die Länge des Pfahls sollte bis etwa 10 cm unter den künftigen Kronenansatz reichen.

### 3.4.2 Baumscheibenpflege

Es wird empfohlen, in den Jahren vor dem Eintritt in die Ertragsphase eine mechanische Beikrautregulierung durchzuführen, um die Konkurrenzsituation für junge Bäume zu verbessern (Jäger, 2017; Van Sambeek & Garrett, 2004). Durch diese Praxis wird die Mineralisierung des Bodens beschleunigt (was ein gewünschter Düngeeffekt darstellt) und die Konkurrenz, welche auch Nährstoffe und Wasser konsumiert, beseitigt. Jedoch folgt, ähnlich wie beim Pflügen des Bodens, ein gewisser Bodenabbau. Die regenerativen Grundsätze, welche der Betrieb verfolgt, und der Anspruch an eine verbesserte Wassermanagement-Praxis erfordern die Untersuchung von alternativen Methoden zur Reduktion der Konkurrenzsituation. Diese Methoden sollten dem Ziel des effizienten Wassermanagements und der Bodenverbesserung gleichermassen gerecht werden.

### 3.4.3 Alternative Methoden zur Unterdrückung der Konkurrenzvegetation

Junge Walnussbäume reagieren besonders stark auf Konkurrenz im Bereich der Dimension der Krone des Baums. Dies zeigt sich in einem verlangsamten Wuchs und einer verringerten Ertragsleistung (Roncoroni et al., 2017). Verschiedene Lösungen stehen im biologischen Anbau zur Verfügung, um dem Problem zu begegnen:

- Mechanische Unkrautregulierung (Gubler, 2022; Jäger, 2017)
- Ausbringen einer organischen Mulchschicht (Ma et al., 2021; Song et al., 2018; Van Sambeek & Garrett, 2004)

- Anbringen von Biopolymeremulchfolien (Moreno & Moreno, 2008)
- Ansähen von konkurrenzschwächeren/Stickstoff bindenden Kulturen (Van Sambeek & Garrett, 2004)

### **Mulchen mit organischem Material**

Bei Beständen oder Sorten, wo kein hoher Wühlmausdruck herrscht, ist ein Mulchen der Baumscheibe eine Option. Wichtig ist, dass der Bereich unmittelbar um den Stamm (etwa 10-20 cm Radius) ohne Mulch bleibt, da sonst Fäulnis am Stamm entstehen könnte. Vorteile einer Mulchung mit organischem Material sind:

- Gute Unterdrückung von Unkräutern (ab einer Dicke von ca. 8cm) (Somireddy, 2012)
- Keine Durchfahrten zur mechanischen Unkrautregulierung während der Vegetationsperiode nötig
- Erhöhte Bodenfeuchtigkeit als Folge der reduzierten Evaporationsrate und somit bessere Überbrückung von Trockenperioden (ab 5cm, maximaler Effekt bei 10cm Mulchschicht) (McMillen, 2013)
- Ausgleichender Effekt in den Bodentemperaturen der obersten 10cm, Erhöhung der Bodentemperatur im Herbst und Winter (aktive Wurzelwachstumsperiode wird verlängert), sowie eine Reduktion der Bodentemperatur im Frühling und Sommer (Frostrisikoreduktion durch verspätete Entwicklung) (Kuhns et al., 1985; Sinkevičienė et al., 2009)
- Erhöhung der Bodennährstoffe (je tiefer das C/N-Verhältnis, desto schneller und stärker der Düngereffekt, Mulchschicht wird aber auch schnell abgebaut)
- Förderung von Bodenlebewesen wie Erdwürmer, Destruenten und Nematoden durch Streueintrag, Schutz und Feuchtigkeit (Vršič et al., 2021)

Mögliche Probleme einer Mulchung mit organischem Material:

- Beschaffungs-, Transport- und Ausbringungsaufwand
- Bei zu dicker Mulchschicht können Fäulnisprobleme entstehen
- Stickstoffentzug aus Boden durch Zersetzungsprozess der Mulchschicht bei weitem C/N- Verhältnis des Mulchmaterials (Van Sambeek & Garrett, 2004)
- Pathogene Bakterien und Pilze und Parasiteneier werden in der Mulchschicht konzentriert und durch die feuchte Umgebung z.T. gefördert. (Song et al., 2020)

Eine naheliegende Möglichkeit ist, Stroh aus der Getreideproduktion des Betriebs als Mulch zu nutzen. Song et al. (2018, 2020) haben Versuche zu verschiedenen Strohqualitäten (Unterschiede im C/N-Verhältnis) und Mächtigkeiten der Mulchschicht gemacht und deren Auswirkung mit anderen bekannten Baumscheibenbehandlungen verglichen. Dabei wurde festgestellt, dass ein C/N-Verhältnis von ca. 80 als Mischung aus Reis-(C/N 60) und Rapsstroh (C/N 100) mit einer Dicke von 3kg/m<sup>2</sup> oder 10cm die höchste Nettphotosyntheserate erzielte. Diese Erkenntnis könnte mit einer Mischung aus Haferstroh (C/N 60) und Weizenstroh (C/N 80-127), welche auf dem Betrieb aus der Getreideproduktion vorhanden ist, umgesetzt werden.

Aus der eigenen Waldbewirtschaftung des Betriebes fallen gelegentlich Holzschnitzel an, welche je nach Holzart und Zusammensetzung weite C/N-Verhältnisse von 100-500 aufweisen. Eine Mulchschicht bestehend aus Holzschnitzeln, würde während des Verrottungsprozesses dem Boden Stickstoff entziehen, was den Kulturpflanzen fehlen würde. Um den erforderlichen Stickstoff

für den Zersetzungsprozess der Holzschnitzel bereitzustellen, wird zuerst eine dünn aufgetragene Schicht aus Grasschnitt (C/N 10), Kompost (C/N 15-20) oder Mist (C/N 15-25) ausgebracht, gefolgt von der Holzsnitzelschicht. (Van Sambeek & Garrett, 2004)

Alternativ ist auch Mulch aus abgeerntetem Pilzsubstrat eine gute Alternative, welche kostenlos zur Verfügung steht (Transport- und Ausbringungskosten bleiben). Anbieter sind die meisten Pilzfarmen z.B. Fine Funghi in Gossau, SG oder Wauwil.

In Experimenten, welche von Ma et al. (2021) in einer Haselnussplantage von der Beijing Forestry University in der chinesischen Provinz Hebei durchgeführt wurden, konnten folgende Auswirkungen von Pilzsubstrat-Mulch festgestellt werden (verglichen wird mit einer mechanischen Bearbeitung, ohne Mulch):

- Reduktion der Beikräuter zwischen 50% (August, 5cm Mulchschicht) und 98% (Juni, 15cm Mulchschicht)
- Erhöhung der Blatt Nährstoffwerte aller Hauptnährstoffe,
- Erhöhung der Bodenfeuchtigkeit in niederschlagsarmen Perioden.
- Erhöhung der Bodentemperatur im Herbst und Winter (aktive Wurzelwachstumsperiode wird verlängert), sowie eine Reduktion der Bodentemperatur im Frühling und Sommer (Frostrisikoreduktion durch verspätete Entwicklung) (Kuhns et al., 1985)
- Grössere Früchte als Resultat der besseren Nährstoffversorgung

Die erzielten Resultate, die spezifisch für die Mulchart und Ausbringungsmächtigkeit sind, legen nahe, dass ihre Anwendbarkeit nicht nur auf andere Nussproduktionen übertragbar sein könnte, sondern wahrscheinlich auch auf die Obstproduktion.

Eine Option ist auch, eine stickstofffixierende Begleitvegetation wie Bunte Kronwicke (*Coronilla varia*) oder Zottige Wicke (*Vicia villosa*) zu sähen, die aufgrund ihrer grossen Oberfläche und der damit guten Unkraut verdrängenden Wirkung gut als «Lebendmulch» geeignet sind. Ihre Mehrjährigkeit ist, im Vergleich zu Klee, ein Vorteil in der Unterdrückung konkurrenzstarker Gräser. Die stickstoffbindende Wirkung dieser Kulturen reduziert die Konkurrenz zu den Bäumen, insbesondere wenn sie regelmässig gemulcht und die fixierten Nährstoffe pflanzenverfügbar gemacht werden. Die Unkrautunterdrückung ist aber deutlich schlechter als bei Mulch oder mechanischer Behandlung (Van Sambeek & Garrett, 2004). Zudem konnte bei Experimenten von Meyer (2016) eine leicht erhöhte Austrocknung des Bodens, im Vergleich zur mechanischen Bearbeitung, festgestellt werden.

Anorganische Mulchfolien werden oft im Gemüsebau, aber auch im Obstbau eingesetzt, jedoch ist das Abfallproblem der nicht verrottenden Folienresten für die Betriebsphilosophie keine Option. Alternative Biopolymeremulchfolien sind aus Polysacchariden wie Cellulose und Stärke aufgebaut und zersetzen sich in der Regel (abhängig von den äusseren Einflüssen) im Verlauf einer Vegetationsperiode. Im Vergleich zu Polyethylenfolien, welche normalerweise im Gemüsebau eingesetzt werden, kontaminieren BD somit die Umwelt nach ihrem Gebrauch nicht.

Biopolymeremulchfolien haben in Experimenten von Moreno & Moreno (2008) in intensiven Produktionen gute Unkraut unterdrückende Wirkung gezeigt. Die Methode sollte jedoch nur für eine begrenzte Zeit angewendet werden, da durch das Ausbleiben von Streueintrag eine Reduktion des gebundenen Kohlenstoffs sowie eine Abnahme der mikrobiellen Aktivität festgestellt werden konnten. Eine Adaption der Methode im unmittelbaren Stammbereich wäre dagegen

denkbar, wo eine Mulchschicht Probleme wie Schimmelgefahr des Stamms mit sich bringen kann und eine mechanische Reduktion der Beikräuter nicht immer die gewünschten Ergebnisse bringt.

### 3.4.4 Formierung, Schnitt, Wertastung

Auf einen Baumschnitt reagieren alle Bäume unterschiedlich, hierfür wird empfohlen, mindestens in den ersten Jahren, professionelle Hilfe bei Schnitt und Erziehung der Bäume zu konsultieren. Generell gilt, je kleiner die Wunden, umso besser überwallen diese.

#### Wertastung

Um hochwertiges Holz aus Bäumen gewinnen zu können, strebt man einen möglichst langen, astfreien Stamm an. Dabei sollte der asthaltige Kern innerhalb des Stammes minimal gehalten werden. Es empfiehlt sich, etwa 3 – 4 Jahre nach der Pflanzung damit zu beginnen, die Äste am Stamm zu entfernen. Es gilt zu beachten, dass dem Baum genügend Assimilationsfläche bleibt. Dazu werden zunächst die steileren und dickeren Äste entfernt (bei max. 5cm herauschneiden). Starke Seitenäste auch im Kronenbereich bei maximal 5 cm Durchmesser herauschneiden. Alle 2 – 4 Jahre müssen die Astungsmassnahmen an den für die Wertholzerzeugung bestimmten Bäumen durchgeführt werden.

Bei Walnuss ist ab Mitte Juni bis Ende August ein guter Zeitpunkt, um das Bluten und die Wasserschossbildung zu verringern. (BW, 2023; Gubler, 2018; Jäger, 2017)

### 3.4.5 Wildtierschutz

Grosswild wie Reh, Hirsch und Wildschwein können in kürzester Zeit massive Schäden an Jungbaumpflanzungen anrichten. Hasen und Wühlmäuse machen oft über längere Zeit und speziell im Winter bei Nahrungsknappheit grosse Schäden, wobei Wühlmäuse selektiver vorgehen und Nahrungspflanzen wie Kastanien, Sorbusgewächse, Kernobst und Holunder vorziehen.

Raubvögel wie Mäusebussard oder Schleiereule können bei der Kontrolle der Mäusepopulation helfen. Durch Strukturelemente können diese Arten gezielt gefördert werden.

Der Mäusebussard (*Buteo buteo*) ist hauptsächlich in kleinen Waldgebieten mit angrenzenden offenen Landschaften anzutreffen. Als Nahrungsbiotope bevorzugt er insbesondere Vegetationsflächen, die entweder durch menschliche Aktivitäten oder Tierbeweidung kurzgehalten werden. Seine Nahrung besteht grösstenteils aus Kleinsäugern, wobei Mäuse, insbesondere Wühlmäuse, ca. 40% ihres Nahrungsspektrums ausmachen. Diese Greifvögel sind Ansitzjäger und bevorzugen es, von erhöhten Sitzwarten aus Jagd auf ihre Beute zu machen. Nachts übernehmen Eulen die Rolle der Mausbekämpfung auf Streuobstwiesen. Auch für die meisten Eulen- und Kauzarten stellen Kleinsäuger wie Mäuse die bevorzugte Beute dar. Auf den Schweizer Streuobstwiesen sind v.a. der Waldkauz (*Strix aluco*) zu finden. (Greifvogelstation am Irchel, 2023)

### 3.5 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit von Agroforstsystemen hängt, wie jede andere Produktion, vom Kosten- und Ertragsverhältnis der Produktion, resp. der Produkte ab. Die Kostenseite wird von Direktkosten (Pflanzgut, Baumschutz, Düngung, etc.) und Strukturkosten (Arbeitskosten, Maschinen, Bodenmiete, Zins) geprägt. Die Ertragsseite ihrerseits von der Entwicklung der Preise für Unterkulturen, Baumprodukte, sowie Direktzahlungen.

Eine getrennte Betrachtung der Agroforstabschnitte der in dieser Arbeit geplanten Systeme ist sinnvoll. Der östliche Teil, der aus einer extensive Wertholzproduktion mit Grünland, resp. futterbaulicher Unternutzung besteht, ist vergleichbar mit den Systemen, welche Kaeser et al. (2011) untersuchte (40 Bäume/ha Vogelkirschen auf Grünland). Das System ist, trotz tieferen Direktzahlungen (nur Qualitätsstufe 1 und keine Teilnahme an Vernetzungsprogrammen) ab dem 3. Jahr rentabel.

In den letzten Jahren wurden auch Studien zur Wirtschaftlichkeit von Agroforstsystemen mit Walnussbäumen in der Schweiz gemacht, welche mit dem westlichen Teil, der Walnuss-Hochstammproduktion, vergleichbar ist. Hug et al. (2010) hat eine Machbarkeitsstudie für eine Walnussproduktion in Graubünden erstellt, wobei unterschiedlich intensive Systeme verglichen wurden. Die Version „Bio-Hochstamm“, welche mit dem in dieser Arbeit geplanten Produktionssystem verglichen werden kann, wird als die Variante mit der geringsten Marktabhängigkeit und den bestbezahlten Arbeitsstunden berechnet.

Bei beiden Studien wurde von tieferen Direktzahlungen, resp. unproduktiveren, terminalen Walnussbäumen ausgegangen, was eine konservativere Einschätzung der Wirtschaftlichkeit darstellt. Wenn Direktzahlungen von CHF 45 pro Baum berücksichtigt werden, wie dies von Kaeser et al. (2010) berechnet wurde (Abbildung 3), wird die Gewinnschwelle bei allen Agroforstformen schneller erreicht und über die gesamte Dauer eine wirtschaftlichere Produktion ermöglicht.

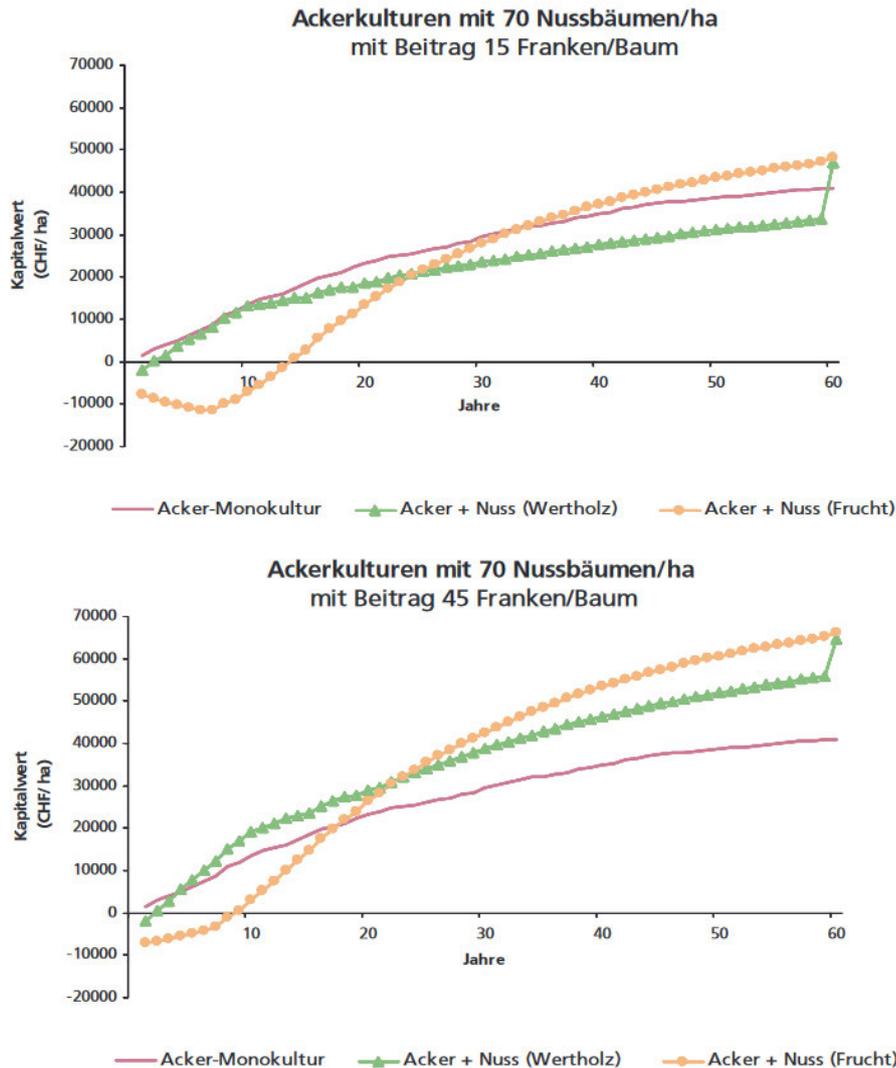


Abbildung 3: Entwicklung der Wirtschaftlichkeit von Schweiz Agroforstsystemen mit 70 Nussbäumen/ha, mit Direktzahlungen von CHF 15/Baum (oben) bzw. CHF 45/Baum (unten), Wertholz- (grün) und Fruchtproduktion (gelb) werden mit Acker-Monokulturen (rot) verglichen. (Quelle: Kaeser et al., 2010)

Da das Agroforstprojekt dieser Arbeit zusätzlich von einer Förderung profitiert (siehe Abschnitt 3.6.1), wird die Wirtschaftlichkeit nicht von den hohen Pflanzkosten (siehe Anhang A) belastet, die grösstenteils durch den Förderbetrag gedeckt sind. Dies wirkt sich naturgemäss von Anfang an positiv auf die Rentabilität des Systems aus.

### 3.6 Finanzierung

#### 3.6.1 Förderung

Das Projekt wird von einem Förderprogramm für Agroforst von SilvoCultura in Zusammenarbeit mit myclimate sowohl finanziell wie auch beratend unterstützt. Die finanzielle Unterstützung beträgt CHF 100.- pro gepflanzten Baum. Die erste Tranche der Auszahlung (CHF 70.-) erfolgt bei der Pflanzung der Bäume nach einer kostenlosen Erstberatung, gefolgt von der zweiten Tranche (CHF 30.-) im dritten Jahr nach der Zweitberatung.

### 3.6.2 Direktzahlungen

Es wird ein Hochstamm-Obstgarten mit Qualität angestrebt, der von Biodiversitätsfördergeldern der Qualitätsstufen 1 und 2, sowie Vernetzungsbeiträgen profitieren kann. Ebenfalls können Beiträge aus der Landschaftsqualitätsförderung beantragt werden. Unabhängig von Zahlungen für Biodiversität und Landschaftsqualität kann die Fläche der Bäume nach wie vor von Beträgen für Versorgungssicherheit (unverändert) und neu einem erhöhten Bio-Beitrag (Spezialkulturen anstelle von offener Ackerfläche) profitieren.

Gemäss Direktzahlungsverordnung (DZV) werden Hochstamm-Feldobstbäume, wie in Tabelle 8 dokumentiert, gefördert (Q1- und Q2-Beträge sind additiv):

*Tabelle 8: Direktzahlungen aufgeteilt in Biodiversitätsbeiträge verschiedener Qualitätsstufen und Vernetzungsbeiträge, sowie Landschaftsqualitätsbeiträge, Zahlungen für Nussbäume oben und Zahlungen für Obst-, Wildobst-, und Kastanienbäume unten.*

Direktzahlung nach Baumart	Förderung	Betrag in CHF
Direktzahlung pro Nussbaum Q2	Vernetzung	5.00
	Q1	13.50
	Q2	16.50
	Landschaftsqualität	10.00 bis zum Betriebsplafond (max. CHF 200/ha)
	<b>Total</b>	<b>45.00</b>
Direktzahlung pro Obst-, Wildobst- und Kastanienbaum	Vernetzung	5.00
	Q1	13.50
	Q2	31.50
	Landschaftsqualität	10.00 bis zum Betriebsplafond (max. CHF 200/ha)
	<b>Total</b>	<b>60.00</b>

#### Voraussetzungen für Direktzahlungen Qualitätsstufe 1

Folgende Mindestanforderungen müssen erfüllt sein:

- Ökologischer Leistungsnachweis gemäss DZV erfüllt
- Baumanzahl von min. 20 beitragsberechtigten Bäume auf Betrieb
- Stammhöhe bei Steinobst mindestens 1.2 m, bei den übrigen Bäumen mindestens 1.6 m
- Baumdichte max. 120 Bäume pro ha bei Kern- und Steinobst, max. 100 Bäume pro ha bei Kirsch-, Nussbäumen und Edelkastanien
- Fachgerechte Pflege bis zum 10. Standjahr (Schnitt, Stamm- und Wurzelschutz)
- Pflanzenschutzmittel
- Anmeldung via Strukturdatenerhebung im Agriportal bis Ende Februar
- Eine normale Entwicklung und Ertragsfähigkeit des Baumes muss gewährleistet werden
- Pflanzenschutzmittel sind in angemessenem Rahmen erlaubt.
- Herbizideinsatz ist generell verboten, um den Stamm freizuhalten. Ausnahme: Jungbäume unter 5 Jahre

## **Voraussetzungen für Direktzahlungen Qualitätsstufe 2**

- Einhalten der Anforderungen der Qualitätsstufe 1
- Mindestgrösse Obstgarten: 10 Bäume, 20a
- Baumabstand: max. 30m von Baumstamm zu Baumstamm
- Baumdichte: min. 30 max. 120 Bäume pro ha (Kirsch-, Nussbäumen und Edelkastanien 100/ha)
- Fachgerechter Schnitt und Pflege, sowie Feuerbrandanordnungen
- Mindestens 1 Nisthöhle/10 Bäume, sowie deren Pflege/Reinigung
- Zurechnungsflächen (in Absatz 3.7 präzisiert)
- Anmeldung via Strukturdatenerhebung (mit 1:2000 Plan) im Agriportal mit folgender Prüfung der Q2-Kriterien

(Amt für Landschaft und Natur Zürich, 2019; Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (DZV), 2013)

## **Voraussetzungen für Vernetzungsbeitrag**

Voraussetzungen für Vernetzungsbeitrag basiert auf Q1-Kriterien und dem Vernetzungsprojekt. Die Anmeldung erfolgt via Trägerschaft des Vernetzungsprojekts.

(Amt für Landschaft und Natur Zürich, 2019; Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (DZV), 2013)

## **Anmeldung Futterhecke**

Die Fläche der Futterhecken kann als Dauerwiese angemeldet werden, wobei zu beachten ist, dass die Hauptnutzung der Fläche eine Schnittnutzung sein muss. In einem späteren Stadium kann die Hecke, nach einem Erstschnitt, auch direkt abgegrast werden. In diesem Fall ist eine Anmeldung als Dauerweide nicht möglich, da sich die Tiere zwischen den Hecken frei bewegen müssen, ohne durch einen Zaun eingeschränkt zu sein. (Landwirtschaftliche Begriffsverordnung (LBV), 1998)

## **Anmeldung Baumstreifen**

Die Baumstreifen können als Dauerwiese angemeldet werden. Dies bedingt eine Schnittnutzung pro Jahr mit Ernte des Grases, weiter bestehen keine Einschränkungen bezüglich Schnittzeitpunkt oder Mulchung. (Landwirtschaftliche Begriffsverordnung (LBV), 1998)

## **3.7 Zurechnungsflächen**

Für die Anmeldung von Biodiversitätsfördergelder der Qualitätsstufe II müssen Bäume in Agroforstsystemen Zurechnungsflächen aufweisen. Dies sind Flächen, welche den biodiversitätsfördernden Charakter der Bäume ergänzen und entweder im Unternutzen oder höchstens 50m vom Obstgarten entfernt liegen müssen.

Für Agroforstsysteme bis 200 Bäume braucht es pro Baum 0.5 Aren Zurechnungsfläche, welche wie folgt angemeldet werden dürfen:

- Extensiv genutzte Wiesen
- Wenig intensiv genutzte Wiese der Qualitätsstufe II

- Streueflächen
- Extensiv genutzte Weiden und Waldweiden der Qualitätsstufe II
- Buntbrachen
- Rotationsbrachen
- Säume auf Ackerfläche
- Hecken, Feld- und Ufergehölze

Falls die Zurechnungsfläche (oder nur ein Teil davon) nicht eine Biodiversitätsförderfläche der Qualitätsstufe II, eine Bunt- oder Rotationsbrache ist, müssen ausreichend Strukturelemente (eine pro 20 Bäume) zur Förderung der Biodiversität vorhanden sein. Für Informationen zu Strukturelementen gibt es ein Merkblatt von Agridea „Biodiversitätsförderung Qualitätsstufe II von Hochstamm-Feldobstbäumen“. (Amt für Landschaft und Natur Zürich, 2022)

## 3.8 Theorie Projekt syntropische Futterhecke

### 3.8.1 Begriff «Syntropie»

Die syntropische Landwirtschaft ist eine landwirtschaftliche Methode, die darauf abzielt, ein regeneratives Ökosystem nachzuahmen. In diesem System werden Pflanzen verschiedener Sukzessionsstufen gleichzeitig auf engstem Raum kultiviert. Dabei spielen Partnerbäume und Partnersträucher eine entscheidende Rolle, die neben Dünge- und Schutzfunktionen ebenfalls die Entwicklung von Mykorrhiza fördern.

Die Idee basiert auf dem biologischen Prinzip der Syntropie, wobei Energie aus der Umwelt konzentriert wird (im Gegensatz zum besser bekannten Gegenteil, der Entropie). Dabei werden natürliche Abläufe imitiert, ohne die natürlich dafür nötigen Zeiträume zu beanspruchen. Dies ermöglicht die gleichzeitige Existenz und Interaktion von Pflanzenarten mit unterschiedlichen Höhen, Dimensionen und Lebenszyklen. Die Methode betont das zeitnahe Ernten von Kulturpflanzen und das regelmässige Schneiden von Bäumen, um Platz für nachfolgende Pflanzen zu schaffen und Biomasse für Mulch zu produzieren. Dies fördert dichte und vielfältige Ökosysteme, die an die Komplexität eines natürlichen Regenwaldes erinnern. Häufig wird die Direktsaat gegenüber dem Umpflanzen bevorzugt, da dies zu genetisch vielfältigeren und somit resilienteren Ökosystemen führt.

Die syntropische Landwirtschaft wurde von Ernst Götsch in Brasilien mit dem Ziel entwickelt, Böden zu regenerieren und die biologische Vielfalt zu fördern. Es ist wichtig zu betonen, dass Götsch nicht der einzige Praktizierende dieser Methode ist und Brasilien nicht der alleinige Ort, an dem syntropische Landwirtschaft betrieben wird. Die Grundsätze dieser nachhaltigen Landwirtschaft sind allgemeingültig und können auch in der Schweiz erfolgreich angewandt werden.

(Bösel & Häusler, 2023; Götsch, 1994, 2023; Stadler-Kaulich, 2021)

### 3.8.2 Elemente im syntropischen Agroforst

Zentrale Elemente des syntropischen AF sind die Sukzession, der dynamische Schnitt, die Dichte der Bepflanzung, die hohe Artendiversität und daraus folgend die Robustheit des Systems

aufgrund einer hohen lokalen Anpassung und das produktive System, das seine Ressourcen bewahrt, obwohl ihm periodisch Ernteprodukte entzogen werden.

### Sukzession

Es wird unterschieden zwischen primärer und sekundärer Sukzession. Der Unterschied ist die Intensität der Störung, welche der Boden erfährt. Primäre Sukzession würde nach einem Felssturz oder einer nicht renaturierten Kiesgrube einsetzen, wo der ganze Oberboden entfernt oder zugeschüttet wurde und neu geschaffen werden muss. Im Kontext der syntropischen Landwirtschaft sprechen wir von der sekundären Sukzession, wo die Vegetation entfernt wird, jedoch der Boden grösstenteils an Ort bleibt und nach wie vor fruchtbar ist. Gemein haben beide Varianten der Sukzession, dass die natürliche Entwicklung immer in Richtung Klimaxvegetation des Bioms geht, was in Gebieten, wo Bäume wachsen können, der Klimaxwald ist. Je nach Biom ist die Chance einer erfolgreichen (primären oder sekundären) Sukzession, ohne menschliche Unterstützung, unterschiedlich und somit auch das Risiko, welches mit (Brand-) Rodungen, Intensivkulturen, Tagebau, etc. einhergeht (Prach & Walker, 2019).

In der Landwirtschaft wird die Sukzession jedes Jahr wieder zurückgesetzt, denn unsere Hauptnahrungsmittel sind Gräser und somit Pionierarten. Es gibt immer andere Pionierarten, die auch in die Nische passen, welche wir auf dem Acker öffnen - die Beikräuter, welche aufwändig beseitigt werden müssen. Die Antwort der syntropischen Landwirtschaft ist es, nicht jedes Jahr die Sukzession neu zu starten, sondern zu lenken und etablierte Individuen zu nutzen. Darunter so dicht zu säen, pflanzen und mulchen, dass der Boden bedeckt ist und sich unerwünschte Arten nicht breitmachen können.

Die Vegetation in Pionier-, Sekundär- (I, II und III) und Klimaxarten (Tabelle 9) einzuteilen hilft, die syntropische AF-Parzelle zu planen und die Arten gemäss ihrer Sukzessionsstellung einzuteilen. Die Idee ist, dass kurzlebige Arten dann der Pflanzengemeinschaft Platz machen, wenn sie ihre Funktion (Schutz, Düngung, Bodenaufbau, etc.) erfüllt haben und länger lebende Arten mehr Platz brauchen. In der syntropischen AF-Parzelle wird mit der Pflanzung von Klimaxarten aber nicht gewartet, bis die Abfolge von Pionier- bis Sekundärarten III genügend Boden aufgebaut hat, wie dies in der Natur geschieht. Hier greifen wir als BeobachterInnen und LenkerInnen ein und schaffen den Klimaxarten von Beginn an so viel Platz, Nährstoffe, Licht und Schutz, wie sie benötigen. Sukzession bedeutet stetige Veränderung durch die Entwicklung der Pflanzengemeinschaften von Pionier- zu Klimaxarten. (Stadler-Kaulich, 2021)

Tabelle 9: Sukzessionsstufen anhand von Lebenszyklus und deren definierenden Eigenschaften von Pionierart, Sekundärarten I, II, III bis Klimaxarten

Sukzessionsstufe	Lebenszyklus	Definierende Eigenschaft der Arten	Beispiel
Pionierarten	Einjährig	Kolonisation karger Böden, oft viel Blattmasse und sehr kleine Samen, formen Samenbanken im Boden, hohes Lichtbedürfnis	Ackerwinde <i>Convolvulus arvensis</i>
Sekundärarten I:	Zweijährig	Sehr genügsam, robust	Kapuzinerkresse <i>Tropaeolum majus</i>
Sekundärarten II	Bis zu 20 Jahre	Genügsam, oft buschförmig, bieten Schutz, brauchen aber selbst (fast)	Erbсенstrauch <i>Caragana</i>

		keinen, leben oft in Symbiose mit stickstoffbindenden Bakterien	<i>arborescens</i>
Sekundärarten III	Bis zu 100 Jahre	Brauchen Humusschicht, Pflanzengemeinschaften, Schutz	Salweide <i>Salix caprea</i>
Klimaxarten	Über 100 Jahre	Bodenfruchtbarkeit, Bodenleben, Schutz, Pflanzengemeinschaften nötig, investieren oft in grosse Früchte und Samen, hartes Holz, oft Mykorrhizasymbionten	Nussbaum <i>Juglans regia</i>

(Stadler-Kaulich, 2021; Tiebel et al., 2018)

In diesem Kapitel wird die Definition der Sukzessionsstufen über den Lebenszyklus verwendet, da sie einfach in der Planung anzuwenden ist. Es werden in der Literatur manchmal auch Pionierarten beschrieben, welche 20 Jahre und älter werden. Nach dieser Definition wären dies Sekundär III-Arten.

### Der dynamische Schnitt

Dichte, artenreiche Pflanzengemeinschaften werden nicht der Natur überlassen, denn schnellwachsende Arten (oft Arten der frühen Sukzession) überwachsen langsamer wachsende (der höheren Sukzession). Götsch (1994) beobachtete, dass dies zu einem übermässigen Beschatten und Verdrängen und somit einem verlangsamten Wachstum des Systems führte. Er bemerkte, dass ein Verjüngungsschnitt von Pflanzen der tieferen Sukzession einen Wachstumsschub im ganzen System auslöste. Ebenso verlangsamten Arten, welche sich ihrem Lebensende näherten, das Wachstum der umliegenden Pflanzen und machten die Pflanzengemeinschaft schwächer und anfälliger. Daraus folgerte er, dass:

- Der dynamische Schnitt nicht nur Platz für andere Arten (meist Ertragsarten) macht, sondern Wachstumsimpulse der ganzen Pflanzengemeinschaft weitergibt.
- Der Schnitt die Möglichkeit gibt, einzelne Pflanzen zu fördern und andere zurückzuhalten, indem er ihnen mehr Licht, Platz, Durchlüftung und Blattfläche gibt oder nimmt.
- Der Schnitt immer die ganze Vegetation beeinflusst und betrifft: Gräser, Stauden (oberirdisch nicht verholzend), Sträucher (oberirdisch verholzend und oft verzweigter Wuchs) und Bäume
- Der Schnitt auch auf normalerweise kurzlebige Begleitbäume (der frühen Sukzession) dynamisierend wirkt, welche so länger den Boden verbessern können.
- Das Schnittmaterial als Mulch den Boden schützt und düngt und Regenwürmer und andere Kleinstlebewesen fördert

(Götsch, 1994)

Neben dem Schnitt der Begleitarten erhalten die Ertragsbäume (wie Obstbäume), wie in traditionellen Obstgärten, einen artgerechten Erziehungs-, Aufbau-, Erhaltungs-, oder Verjüngungsschnitt. Dabei sollen die Begleitarten die Ertragsbäume unterstützen und deren Wachstum weichen und nicht umgekehrt.

### **Dichte der Bepflanzung und Artendiversität**

Die dichte Pflanzung von Nutz- und Begleitpflanzen verschiedener Sukzessionsstufen hat zum Ziel, den Boden vor Erosion, Trockenheit und extremen Temperaturen zu schützen, aber auch das Bodenleben anzuregen. Unerwünschtem Bewuchs versucht man mit einer grossen Auswahl an (gewollter) Konkurrenz keine Möglichkeit zur Ausbreitung zu lassen. Wo sich trotzdem hartnäckige Beikräuter durchsetzen, wird mit einem Schnitt, einer Neupflanzung oder einer Mulchschicht eingegriffen. (Bösel & Häusler, 2023; Stadler-Kaulich, 2021)

Bei der Einführung einer neuen Pflanzenart ist es entscheidend, sie neben einen Partnerbaum aus einer früheren Sukzessionsstufe zu setzen. Neben gutem Boden und ausreichend Licht ist die richtige Platzierung in der Sukzession in der richtigen Reihenfolge und zum passenden Zeitpunkt entscheidend für eine erfolgreiche Ansiedlung. (Götsch, 1994)

Pflanzen passen sich ihren Standorten an, respektive setzten sich diejenigen Individuen durch, welche am besten an einen Standort angepasst sind (Darwin & Kebler, 1859). Das sind die Pflanzen, welche wir in einer natürlichen Umgebung antreffen. Das heisst, dass die Individuen, welche im Wald oder am Waldrand eines Ortes wachsen, wahrscheinlich die geeignetste Genetik für diesen Ort haben. In der syntropischen Landwirtschaft macht man sich diese Vorauswahl der Natur zu Nutze und sammelt oft Samen, Kerne, Nüsse oder Triebe von lokalen Vertretern der gewünschten Vegetation, welche dann auf der eigenen Parzelle nebenan gesät oder gesetzt werden.

Durch das generative Vermehren (Zucht aus Samen und Kernen) erreicht man eine genetische Vielfalt der Individuen und somit eine heterogenere, diversere Population, welche weniger anfällig auf einzelne Erreger oder Schädlinge reagiert. Sämlinge (von tief wurzelnden Sträuchern und Bäumen) werden in der Ausbildung ihrer (Pfahl-)Wurzeln, durch Töpfe oder Umschulungen, nicht gestört und können schneller tiefere Schichten erreichen. Wie Penuelas & Filella, (2003) mittels Deuterium labeling zeigen konnten, agieren tiefwurzelnde Bäume in Trockenzeiten als Wasserlift für Pflanzen ihrer Gemeinschaft. Die Existenz von Wasserlift in einer Gemeinschaft hat auch indirekte Auswirkungen auf die Nährstoffaufnahme, biochemische Prozesse des Nährstoffzyklus und das Wachstum und die Überlebensfähigkeit von Wurzeln (Dawson, 1993). Dies bedeutet, dass auch Mikroorganismen der Pflanzengemeinschaft, welche wichtige Funktionen in der Rhizosphäre ausüben, vom Wasserlift profitieren und im Umkehrschluss der Baum von den Mikroorganismen.

### **3.8.3 Vorgehen von Ernst Götsch beim Anlegen neuer syntropischen Agroforstparzellen**

Das Vorgehen, welches von Ernst Götsch in der Erstellung neuer syntropischen Anlagen verwendet wird, kann in vier Schritte zusammengefasst werden.

1. Die optimalen Ertragspflanzen werden identifiziert.
2. Die bevorzugten Begleitpflanzen der Ertragspflanzen werden gesucht, die bei einem natürlichen Vorkommen in ähnlichen Böden und Klimata vorkommen.
3. Die Zugehörigkeit der Pflanzengemeinschaften in der Sukzession wird in Erfahrung gebracht.
4. Diese in der Sukzession ersten Pflanzen werden dann mit ihren ganzen Pflanzengemeinschaften gesetzt, gesät oder gepflanzt.

Bei der Pflanzung wird auf eine möglichst weite genetische Vielfalt der Sorten und Arten geachtet, damit möglichst viele Nischen besetzt werden können.

Die systematische Beobachtung spielt eine entscheidende Rolle, um das System zum optimalen Zeitpunkt anpassen zu können. Dabei ist das Ziel immer die maximale biologische Aktivität. Dabei sollte den folgenden Punkten besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden:

- Das Timing, um eine Pflanzengemeinschaft zu verändern, neu hinzuzufügen oder herauszunehmen ist ausschlaggebend, damit jede Pflanze optimale Verhältnisse vorfindet und ein maximales Wachstum des Systems ermöglicht.
- Das Wachstum und Vorankommen in der Sukzession werden mit einem dynamischen Schnitt und gezieltem Herausnehmen der alternden Pflanzen (welche ihre Funktion im System bereits erfüllt haben) beschleunigt.

(Götsch, 1994, 2023)

### 3.8.4 Tropisches und gemässigttes Klima im Vergleich

Um die syntropischen Methoden von Götsch erfolgreich auf das Schweizer Klima anzuwenden, ist es entscheidend zu verstehen, inwiefern sich das gemässigte mitteleuropäische Klima vom nordost-brasilianischen Klima in Salvador, Estado de Bahia, unterscheidet. Die wesentlichen Unterschiede zwischen beiden Klimazonen sind in Tabelle 10 dargestellt.

*Tabelle 10: Vergleich tropischer und gemässigter Böden und derer Eigenschaften in einer natürlich vorkommenden Klimaxvegetation.*

Klima	Tropisches Klima in Nordost-Brasilien (Bahia)	Feuchte kühl-gemässigte Zone
Klimaxvegetation	Tropischer Regenwald	Sommergrüner Laub-, Mischwald
Boden	Ferralsole: sehr alt, z.T. einige Meter tief, stark verwittert, folglich kaum primäre verwitterbare Minerale, intensive Auswaschung von Si, Ca, Mg, K, Na	Cambiosole, Luvisole: jung, mässig verwittert (folglich hohe Gehalte an verwitterbaren Mineralen), gute Aggregatstabilität, hohe Porosität
Vegetation/Streueintrag	Beständige Nachlieferung sehr grosser Streumengen aus immergrünem Regenwald, rascher mikrobieller Abbau	Laub-, Misch- oder Nadelwälder, sowie Büsche, Stauden und Gräser, jahreszeitlich geprägter Streueintrag
Kationenaustauschkapazität (KAK)	KAK im Oberboden sehr tief aufgrund von hohem PH (6.5) und Kaolinit (Zweischichttonmineralien)	KAK meist mittel bis hoch, aufgrund von Oxydation von Fe <sup>2+</sup> zu Fe <sup>3+</sup> (Verbraunung) entstehenden Tonminerale (Illite, Smectite, Vermiculite)
Nährstoffkreislauf	Streufall mit rascher Zersetzung, Nährstofffreisetzung, schnelle Nährstoffaufnahme der Pflanzen aus den Oberbodenhorizonten, Nährstoffixierung erst in tiefem	Kontinuierliche Nährstoffnachlieferung aus Verwitterung, Streueintrag saisonal

	Unterboden, welcher von Tiefwurzler genutzt werden kann	
Biologische Aktivität	Unter Wald hohe mikrobielle Aktivität, da kontinuierlich feucht und warm, gute Durchwurzelbarkeit	Saisonal unterschiedlich tief bis hoch, reichlich Bodenwürmer, gute Durchwurzelbarkeit
Gefahr einer landwirtschaftlichen Nutzung	Waldrodung unterbricht Streunachlieferung und somit den Nährstoffkreislauf, es folgt starker Humusschwund, Nährstoffauswaschung und Bodenverdichtung	Bei intensiver Ackernutzung Gefahr von Erosion der Humusschicht durch Starkniederschlag oder Wind, hohe Steingehalte, z.T. flachgründig, Wasserstau, Trockenheit, Bodenverdichtung

(Amelung et al., 2018; Zech et al., 2014)

Die Grundlage des syntropischen Systems liegt in der Idee, die Lücken zu schliessen, die durch die Rodung des Regenwaldes entstanden sind und somit die ökologische Vielfalt sowie die Funktionen des ursprünglichen Ökosystems und deren Produktivität zu restaurieren.

### 3.8.5 Wie funktioniert syntropischer Agroforst im gemässigten Klima?

Im Unterschied zum Fehlen des Regenwaldes sind die Konsequenzen einer Rodung und folgenden übermässigen Nutzung des Landwirtschaftslandes im gemässigten Klima, nicht sofort evident. Es findet aber ein kontinuierlicher Verlust an Fruchtbarkeit und Resilienz statt, der mit externen Inputs auszugleichen versucht wird. Abhängig von den äusseren Verhältnissen, kann der Fruchtbarkeitsverlust auch an Standorten des gemässigten Klimas aggressiv und daher weit fortgeschritten sein. Ein Beispiel hierfür ist Brandenburg, Deutschland, wo geringe Niederschlagsmengen, kräftige Winde und ausgedehnte landwirtschaftliche Flächen, verbunden mit jahrzehntelanger intensiver Landbewirtschaftung, zu erheblichen Störungen des Systems geführt haben (Bösel & Häusler, 2023). Da die Fruchtbarkeit einer Fläche in erheblichem Masse vom Humusgehalt und den darin enthaltenen Mikro- und Makroorganismen abhängt, ist es von grosser Bedeutung, dessen Erhalt zu gewährleisten (Agroscope, 2018; Nordrhein-Westfalen, 2015). Diese Bedeutung kann mit der Rolle vom Kronendach des Regenwaldes und dessen Funktionen im tropischen System verglichen werden. Die Methoden von Götsch eignen sich auch für diesen Zweck, jedoch in Abhängigkeit von der Intensität der Störung des Systems, in unterschiedlichem Masse.

Humus übernimmt eine zentrale Rolle im Boden des gemässigten Klimas und ist massgeblich an folgenden Funktionen des Bodens beteiligt:

- Regulationsfunktion des Wasserhaushaltes
- Speicher und Abgabe von Nährstoffen
- Verbesserung der Bodenstruktur
- Beteiligung am Ionenaustausch
- PH-Puffer
- Kohlenstoffsенke

(Folnović, 2015; LfL Bayern, 2023)

Um die Funktionen des Bodens konstant zu halten, ist es erforderlich, dem periodischen Entzug durch Ernte durch Zufuhr von organischer Substanz entgegenzuwirken. Ohne diese Zufuhr nimmt der Gehalt an organischer Substanz aufgrund von Abbauprozessen des Bodenlebens (Mineralisierung) und Erosion stetig ab.

Um die Zufuhr von organischer Substanz zu erhöhen und Abtrag zu beschränken, können Elemente des syntropischen Agroforst genutzt werden:

### **Schaffen einer dichten, diversen Bepflanzung**

- Wiederherstellung eines Schutzes vor übermässiger Erosion
- Anpflanzen von zukünftigem Mulchmaterial (Bäume und Sträucher der frühen Sukzession)
- Reduktion der Auswaschung von Nährstoffen
- Schaffen eines vielfältigen Lebensraumes für Mikroorganismen und Bodenlebewesen
- Tiefwurzelnde Bäume und Sträucher agieren als hydraulischer Lift in Trockenperioden
- Genetische Vielfalt erhöht Resilienz gegenüber Störungen

### **Regelmässiger Schnitt der Kulturen**

- Platz für optimale Entwicklung der Pflanzengemeinschaft wird geschaffen
- Mulchen zur Bereitstellung von organischem Material und Beikrautunterdrückung
- Wachstumsimpulse für die ober- und unterirische Pflanzengemeinschaft

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Planung des Agroforstsystems

Das grundlegende Ziel der Planung war ein Kompromiss aus einer Maximierung der positiven Einflüsse des Agroforstsystems, bei einer möglichst kleinen Beeinträchtigung der Ackerfläche, mittels einer ökologisch sowie wirtschaftlich sinnvollen Gestaltung.

#### 4.1.1 Ausrichtung der Reihen und Reihenabstand

Aufgrund der beschriebenen Analysen (Abschnitt 0) entstand die Bestrebung, in einer ersten Variante die Beschattung der Ackerkulturen durch weite Reihen und eine Nord-Süd-Ausrichtung zu minimieren sowie zu homogenisieren. Angewendet auf die existierenden Grenzen der Parzelle und das Relief konnte eine annähernde Nord-Süd-Ausrichtung (6°Ost) umgesetzt werden (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dem Abstand der Baumreihen sind von der Direktzahlungsverordnung (DZV) Grenzen gesetzt und erlauben einen maximalen Abstand von 30m. Ebenfalls beachtet wurde die Sähmaschinenbreite des Betriebes (3m), welche nicht variiert werden kann. Mit 27m wurde ein Vielfaches derer für die Bearbeitungsbreite festgelegt. Beidseitig wurde ein halber Meter Baumabstand addiert, was einer Distanz von 28m zwischen den Baumreihen und mit einfachen Pflanzreihen und den gegebenen Randeffekte einer Dichte von weniger als 30 Bäume pro Hektare entspricht. In einer Schweizer Studie von Sereke et al. (2014) wurden Schlüsselfaktoren für die Profitabilität von Agroforstsysteme anhand von Walnuss- und Kirschbaumsystemen mit unterschiedlichen Pflanzdichten und Unternutzen untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass schon leichte Veränderungen der Marktpreise für Ackerkulturen, Frucht und Holz, sowie Direktzahlungen die Wirtschaftlichkeit der Systeme stark verändern. Dabei zeigten Agroforstsysteme mit 40 Bäumen pro Hektare eine deutlich stärkere wirtschaftliche Abhängigkeit von den Erlösen der Ackerkultur verglichen mit Agroforstsystemen mit einer Pflanzdichte von 70 Bäumen pro Hektare. Dabei zeigten sich Agroforstsysteme mit 70 Bäumen pro Hektare deutlich resilienter gegenüber Erlösreduktionen der Ackerkultur (z.B. weitere Öffnung der Freihandelsbestimmungen), verglichen mit Agroforstsysteme mit 40 Bäumen pro Hektare. Da auch der Wunsch nach mehr Bäumen bestand, wurden anstelle von Einzelreihen Doppelreihen geplant und somit eine Baumdichte von knapp 50 Bäumen pro Hektare erreicht.

#### Doppelreihen

Eine Erhöhung der Bäume pro Fläche, ohne dass die Ackerkultur stärker beeinträchtigt wird, kann mit Baumpflanzungen in Doppelreihen erreicht werden (Fang et al., 2005; Goddard, 2020) Begründet wird, dass der negative Randeffekt der Bäume auf die Ackerfläche (Beschattung, Nährstoffkonkurrenz, Wasserkonkurrenz) durch die zwei nahe liegenden Baumreihen kleiner ist als dies eine Erhöhung der Baumdichte mittels separater Reihen wäre. In den Studien werden Agroforstsysteme mit Pappeln zur Wertholzgewinnung untersucht, jedoch scheint es plausibel, den Effekt in gewissem Masse auch auf eine Fruchtproduktion zu übertragen. Doppelreihen haben den weiteren Vorteil, dass die DZV-Vorgabe (DZV 12.2.9f) bezüglich der benötigten Zurechnungsfläche für die Bäume zwischen den Reihen angelegt werden kann. Wobei das Risiko besteht, dass die Beschattung der Zwischenflächen nach einigen Jahrzehnten für eine hochwertige

Zurechnungsfläche zu stark werden könnte. Ebenfalls wird die Pflege und Ernte der Bäume durch die ackerfreie Fläche zwischen den Reihen erleichtert.

Solange die Bäume und ihr Schattenwurf noch klein sind, können die Flächen zwischen den Doppelreihen für Ackerbau genutzt werden. Dies hat den Vorteil, dass die Wurzeln der Bäume auf beiden Seiten der Baumreihen dieselbe Wurzelkonkurrenz erfahren und in tiefe Schichten ausweichen (Cardinael et al., 2015). Nach einigen Jahren, wenn die Lichtkonkurrenz zu gross und der Anbau von Ackerkulturen unwirtschaftlich wird, kann die Fläche zwischen den Doppelreihen als Zurechnungsfläche oder Dauerwiese genutzt werden.

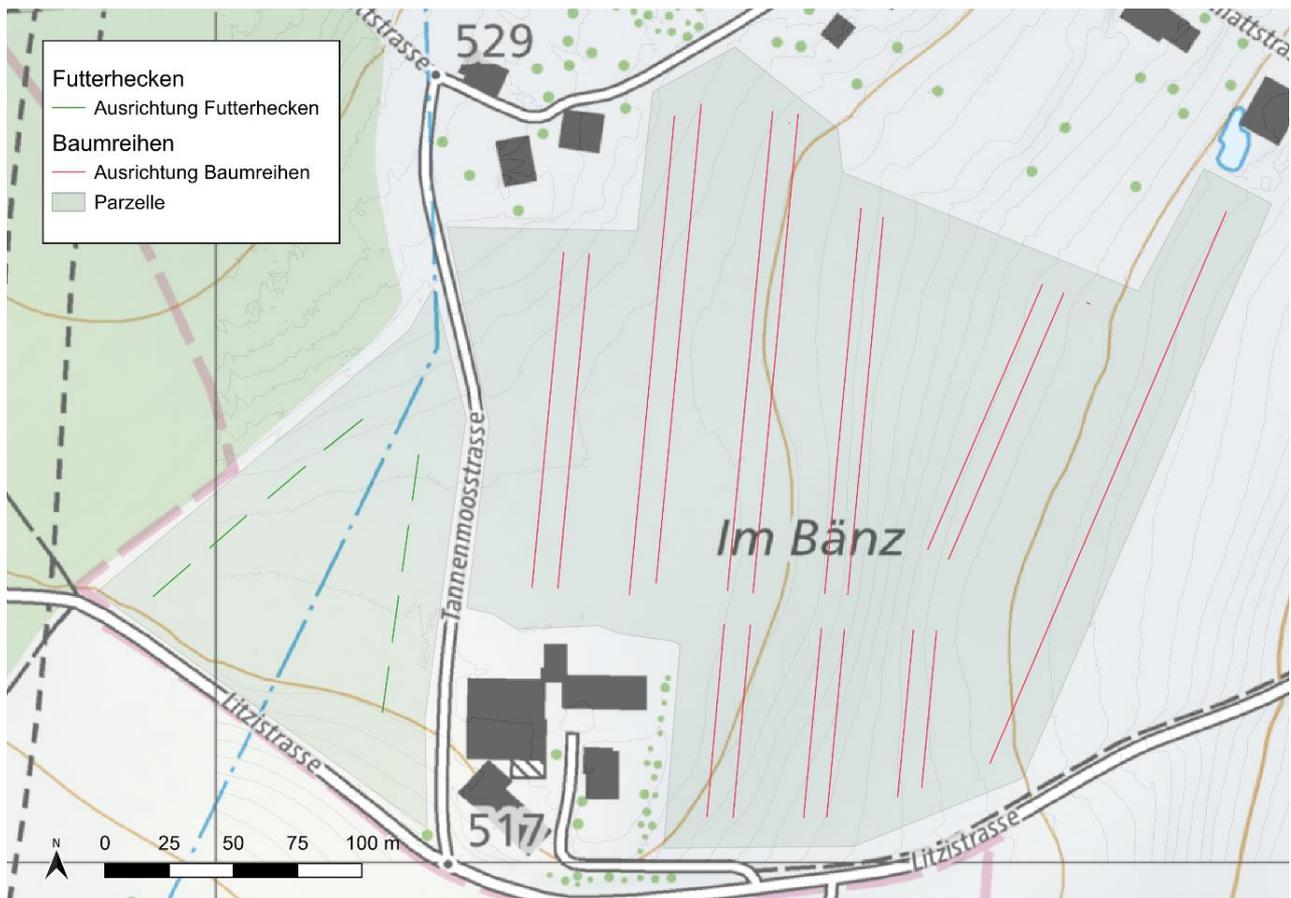


Abbildung 4: Die Ausrichtung der Baumreihen ist 6° Ost resp. 23° Ost. (Quelle: swisstopo, 2023)

### Arbeitswege

Kurze und effiziente Arbeitswege sind ein zentrales Bedürfnis des Betreibers. Dem wurde, mit einer Unterbrechung der Baumreihen (Ost-West) auf halber Höhe, Rechnung getragen. Dadurch sind ein direkter Durchgang zur Beweidung, sowie die Bearbeitung aller Flächen möglich.

### Hecken

In der östlichen Weidefläche zwischen der Litzistrasse, Tannenmoosstrasse und dem Wald werden zwei Hecken angelegt. Beide Hecken sind in vier Abschnitte unterteilt, wobei jeder Abschnitt eine Länge von 20 Metern aufweist. Die einzelnen Abschnitte werden durch 10 Meter breite Durchgänge voneinander getrennt. Diese Anordnung dient der Vereinfachung von Beweidungs- und Bewirtschaftungsaktivitäten auf der Fläche. Pro Heckenabschnitt werden 12 Heckenpflanzen und 2 Bäume gepflanzt. Der äusserste Abschnitt der Hecke befindet sich in einer

Entfernung von 20 Metern zur Parzelleneinhegung und somit ungefähr 25 Meter vom Wald entfernt.



Abbildung 5: Östlicher Teil des Agroforstsystems, mit den zwei Hecken. Jede Hecke besteht aus 4 Heckenabschnitten, welche 10m voneinander entfernt sind. Rot dargestellt sind die Heckenkulturen, die Bäume in der Futterhecke sind grün. (Quelle: swisstopo, 2023)



Abbildung 6: Ein Futterheckenabschnitt besteht aus 12 Heckenpflanzen in zwei Reihen, welche zueinander versetzt sind. Zwei Hochstamm-bäume sind Teil der Futterhecke und dienen der Beschattung. (Quelle: swisstopo, 2023)

### 4.1.2 Sortenwahl

Das Ziel der Resilienzsteigerung und Risikominimierung auf ökologischer, sowie wirtschaftlicher Ebene wird auch mittels Diversifizierung der Baumkulturen und Sorten angestrebt.

Das Agroforstsystem ist in vier Teile aufgeteilt:

- Hochstamm-Walnussproduktion zur Nuss- und Wertholzproduktion
- Hochstamm-Wildobstsorten zur Wertholzproduktion und Biodiversitätsförderung
- Kastanien-, Pekan- und Apfelbäume
- Futterhecken zur Erhöhung der Futterproduktion zu Trockenzeiten

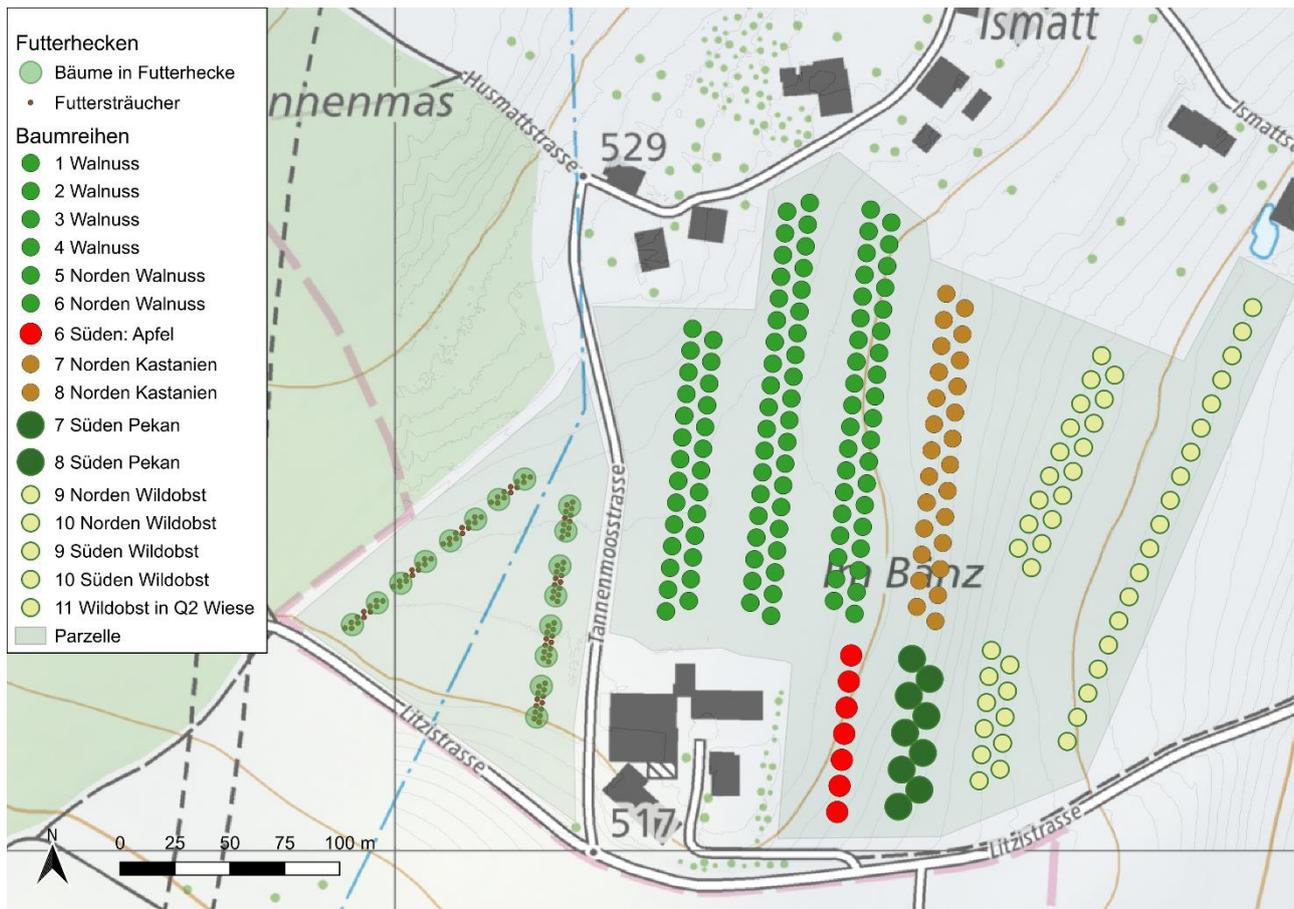


Abbildung 7: Übersicht der Reihen und geplanten Kulturen im Agroforstsystem, die Grösse der Punkte entspricht der Ausmasse der Baumkronen. (Quelle: swisstopo, 2023)

### Hochstamm-Walnussbäume zur Nuss und Wertholzproduktion

Auf ca. einem Drittel der Fläche wird eine Hochstamm-Walnussproduktion entstehen. Dies ist eine pflegeleichte Kultur, welche eine Kombination aus Fruchtertrag, Holzertrag und Direktzahlungen ermöglicht. Ebenfalls profitieren Walnussbäume von einer Reihenpflanzung mit Getreide besonders und zeigten in Versuchen nach 6 Jahren 65% höhere Brusthöhendurchmesser und 142% höhere Blattbiomasse, verglichen mit Kontrollpflanzungen (Chiffot et al., 2006). Einerseits nutzen Walnussbäume die guten Ackerböden, zeigen aber auch eine ausgeprägte Plastizität in ihrer Wurzelverteilung. Davon profitieren die Ackerkulturen durch eine reduzierte Konkurrenz und die Bäume durch das Erschliessen tieferer Bodenschichten, mit der damit verbundenen besseren Wasser- und Nährstoffversorgung. Da Walnussbäume erst Ende April mit dem Blattwachstum beginnen, stellen Walnussbäume auch oberirdisch eine gute Ergänzung zu Wintergetreide dar. (Cardinael et al., 2015)

Die Auswahl an Sorten wurde mittels den in 3.3.2 beschriebenen Faktoren reduziert und mit Hilfe von Heinrich Gubler und dessen Versuchspflanzungen und Daten, die Sorte Ferouette als Hauptertragsorte und Fernor als Befruchtersorte ausgewählt.

Ferouette ist eine der neuesten Sorten aus dem französischen Zuchtprogramm des Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) und wurde 2010 herausgebracht (Bernard et al., 2017). Aufgrund der neuen Genetik wurde Ferouette noch nicht in aktuellen Sortenversuchen inkludiert und ist z.B. noch nicht in Sortenempfehlungen von Agroscope zu finden. Ferouette ist eine Züchtung aus Franquette und Howard und hat im Vergleich mit Fernor, welche aus einer

Kreuzung von Franquette und Lara entstand, mit Howard eine sehr resistente Sorte Abstammung (Ahi Koşar et al., 2022). In Anbauversuchen der Gubler Baumnusschule zeigt sich Ferouette im Schweizer Klima äusserst resistent gegen Pilzkrankheiten, hat aber auch einen kräftigen aufrechten Wuchs und einen sehr frühen Ertragsbeginn, vergleichbar mit Lara. Ausschlaggebend für die Wahl war auch die Beobachtung einer ausgeprägten Trockenheitstoleranz, um auch in niederschlagsarmen Perioden ohne Bewässerung auszukommen. Andere produktive, laterale Sorten wie Mars, Lara und Chandler zeigten im Gegensatz zu Ferouette in den letzten Jahren mit z.T. trockenen Sommer- resp. Frühlingsbedingungen reduzierte Erträge, zu kleine Kerne und ein schwaches Wachstum (H. Gubler).

Fernor, als eine der spätesten Walnussorten, zeigt nicht nur eine gute Anpassung an unser Klima mit Spätfrösten, sondern auch optimale Eigenschaften zur Befruchtung von Ferouette. Als robuste und ertragreiche Sorte, welche eine gute Selbstfruchtbarkeit zeigt (Ahi Koşar et al., 2022, H. Gubler), passt sie mit Ferouette gut in das Konzept einer relativ extensiven Bio-Hochstamm Walnussproduktion.

Die Walnussbäume werden als zweijährige Ruten von 2.5m bestellt.

### **Kastanien-, Pekan- und Apfelbäume**

Die Auswahl der Kastanien-, Pekan- und Apfelbäume erfolgte anhand der Kriterien in Abschnitt 3.3.2.

#### **Kastanienproduktion**

In der Kastanienproduktion wird mit Brunella, Südtyroler Gelbe und Bouche de Betizac auf bereits erfolgreich in der Schweiz kultivierte Sorten mit aufrechten Wuchs und grossen, qualitativ hochwertigen und leicht schälbaren Früchten gesetzt. Diese Sorten bestäuben sich gegenseitig gut und brauchen keine weitere Bestäubersorten (Andermatt, 2023; Rusterholz & Husistein, 1999).

#### **Pekanproduktion**

In der Schweiz gibt es erst wenig Erfahrung in der Pekanproduktion. Die drei Sorten Pawnee, Osage und Mohawk werden oft zusammen angepflanzt, da sie sich gegenseitig gut bestäuben, im gemässigten Schweizer Klima (in warmen Jahren) gut ausreifen und eine hohe Qualität der Früchte aufweisen.

#### **Apfelproduktion**

Im südlichen Teil der Reihe 6 werden je zwei Exemplare vier verschiedener Apfelsorten zur Most-, sowie Apfelringeproduktion gepflanzt.

Das Pflanzgut wird als Hochstamm mit Krone bestellt.

<b>Apfel</b>	<b>Sorte</b>	<b>Beschreibung</b>
	Heimenhofer	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wenig anfällig auf Feuerbrand und Rost</li> <li>- Starkes Wachstum, gross, braucht zwingend Erziehungsschnitte, aufgrund sehr steiler Äste</li> <li>- Spezialmostapfel, saftig und aromatisch</li> <li>- grosse Frucht, auch für Trocknung geeignet</li> <li>- Kann zu Alternanz neigen</li> </ul>
	Reanda	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistente Züchtung gegen Feuerbrand und Rost, ev.</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Marsonninaanfällig</li> <li>- Spezialmostapfel</li> <li>- Auch Tafelsorte für Direktverkauf</li> <li>- Eher klein</li> </ul>
	Bohnapfel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wenig anfällig auf Feuerbrand und Rost</li> <li>- Mittelstarker Wuchs</li> <li>- Spezialmostapfel, saftig säuerlich</li> <li>- Auch Tafelsorte, Apfelringe möglich</li> </ul>
	Empire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sehr schwache Anfälligkeit auf Feuerbrand und Mehltau, leicht schorfanfällig</li> <li>- Guter Tafel-, Most- und Ciderapfel (hoher Zuckergehalt)</li> <li>- Guter Bestäuber</li> </ul>

(Gravalon & Perren, 2021; Müller & Bühler, 2023; Schöneberg et al., 2016; Schöneberg & Perren, 2018)

### Hochstamm-Wildobst

Die Wildobstpflanzung umfasst 48 Bäume und ist aufgeteilt in Reihe 9, 10 und 11. Die Bäume werden in der Qualität «Heister» bestellt.

Wildobstart	Beschreibung	Anzahl Bäume
Elsbeere <i>Sorbus torminalis</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiefgründiger Standort mit frischen und basenreichen Böden (kalktolerant), auch gut an mässig frische bis sehr trockene Standorte angepasst, erträgt dauernasse Böden nicht,</li> <li>- Bienenweide, Nahrung für Vogel- und Kleinsäugerarten Lebensraum für Insekten</li> <li>- Mauswurzelschutz erforderlich</li> <li>- Wertvolles Holz</li> </ul> <p>(Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, 2017; Schwab, 2001)</p>	10
Vogelbeere <i>Sorbus aucuparia</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiefgründiger Standort, nicht lehmig, vernässt oder sehr trocken, spätfrosttolerant</li> <li>- Nahrung für Wildbienen, Vögel, Brutort für Vögel</li> <li>- Gerader, langer Stamm guter Qualität, schnell wachsend</li> <li>- Flachwurzelnd mit Wurzeläusläufer (zurückschneiden)</li> </ul> <p>(Burga et al., 2019)</p>	10

## Ergebnisse

Speierling <i>Sorbus domestica</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fruchtbare, frische Standorte, ohne Staunässe, auf tiefgründigen Standorten trockenheitstolerant</li> <li>- Stark gefährdet, genetische Verarmung des kleinen Bestandes</li> <li>- Einfach zu Asten aufgrund starker Apikaldominanz und dünnen Seitenästen</li> <li>- Mauswurzelschutz erforderlich</li> <li>- Wertvolles Holz, starker Wuchs, wenn ungestört</li> </ul> <p>(Rudow, 2001)</p>	10
Wildbirne <i>Pyrus pyraeaster</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Humoser Standort, nicht stark lehmig, tiefgründig, keine Staunässe</li> <li>- Grosse Trockenheitstoleranz, gute Anpassung an Standorte</li> <li>- Stark gefährdet, genetische Verarmung des Bestandes</li> <li>- Vermutlich Feuerbrandresistent</li> </ul> <p>(Barengo, 2001)</p>	9
Wildkirsche <i>Prunus padus</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anspruchslos bezüglich Standortes</li> <li>- Wertvoll für Vögel und Insekten</li> <li>- Auffallend schöne Blütenpracht</li> </ul>	9

## Futterhecken

Für die Futterhecken wurden Kulturen nach den in Abschnitt 3.3.3 definierten Kriterien ausgewählt. Die Gewichtung der einzelnen Pflanzenarten in der Hecke erfolgte anhand der Eignung sowie unter Berücksichtigung der Kosten.

Art	Beschreibung	Anzahl pro Heckengruppe
Weisse Maulbeere, <i>Morus alba L.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnelles Wachstum</li> <li>- Schnitttoleranz</li> <li>- Ausgezeichnete Protein- und Energiegehalte</li> <li>- Sehr gute Verdaulichkeit</li> <li>- Hohe Schmackhaftigkeit</li> </ul>	4
Weiden, <i>Salix sp.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wuchsstark bis 3m pro Jahr</li> <li>- Schnitttoleranz</li> <li>- Proteinreich, gute Verwertbarkeit</li> <li>- Einfache Handhabung der Ruten</li> </ul>	5
Linde, <i>Tilia sp.</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnitttoleranz</li> <li>- Gute Mineralstoffgehalte der Blätter</li> <li>- Blätter verrotten gut und tragen zur Bodenverbesserung bei</li> </ul>	1

Gemeine Esche <i>Fraxinus excelsior</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnitttoleranz</li> <li>- Gute Protein- und Energiegehalte</li> <li>- Gute Verdaulichkeit</li> <li>- Hohe Schmackhaftigkeit</li> <li>- Risiko: Eschentriebsterben (<i>Chalara fraxinea</i>) und Eschenprachtkäfer (<i>Agrilus planipennis</i>)</li> </ul>	1
Schwarzerle/ Herzblättrige Erle  <i>Alnus glutinosa/cordata</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnitttoleranz</li> <li>- Gute Protein- und Energiegehalte</li> <li>- Stickstoffbinder</li> <li>- Risiko: Bedingt Trockenheitstolerant</li> </ul>	1

(Goust, 2023; Gresset & Schoop, 2022; Hejcmanová et al., 2014; Kittl, 2023; Lauber et al., 2018; Stadler-Kaulich, 2021)

In jedem Abschnitt der Hecke werden zwei Hochstammbäume der folgenden Arten (Tabelle 11) eingefügt.

Tabelle 11: Auswahl der Hochstammbäume, welche in die Hecke integriert werden.

Art	Eigenschaften
Holzapfel, <i>Malus sylvestris</i>	Zusätzliches Futter
Vogelbeere, <i>Sorbus aucuparia</i>	Schnelles Wachstum, lichter Wuchs
Winterlinde, <i>Tilia cordata</i>	Wertvoll für Biodiversität
Flaumeiche, <i>Quercus pubescens</i>	Wertvoll für Biodiversität, Trockenheitstolerant

### 4.1.3 Baumabstand und Anordnung der Kulturen

Die Baumabstände innerhalb der Reihen wurden anhand von den Endgrößen der Kulturen und Anbauempfehlungen wie folgt festgelegt (Tabelle 12):

Tabelle 12: Anordnung und Baumabstand der Kulturen und Position auf dem Betrieb.

Kultur	Anordnung	Position im Agroforstsystem	Baumabstand
Walnuss	Bestäubersorte in Hauptwindrichtungen verteilt	Reihen 1-4, 5 und 6 Nord	10m
Apfel	Jeweils zwei Bäume pro Sorte nebeneinander	Reihe 6 Süd	12m
Kastanien	Selbe Sorten nebeneinander	Reihen 7 und 8 Nord	12m
Pekan	Selbe Sorten nebeneinander	Reihen 7 und 8 Süd	17m
Wildobst	durchmischt	Reihen 9, 10, 11	10m

#### Anordnung der Kulturen

Aufgrund der Effizienzsteigerung bei der Bewirtschaftung der ertragsrelevanten Kulturen (Baumnuss, Kastanien, Pekan und Apfel) sind diese in einheitlichen Pflanzungen (ganze Reihe selbe Kultur) angeordnet.

Der Wildobst-Hochstammbereich wird durchmisch angelegt, da Biodiversitätsförderung, Sortenerhaltung und das attraktive Erscheinungsbild im Vordergrund stehen. Grösse, Form und Höhe der Krone werden bei der Pflanzung beachtet, um optimale Platzverhältnisse zu schaffen. Auch die Futterhecke wird durchmisch angelegt, dies aufgrund des unterschiedlichen Platzbedarfs der Kulturen.

#### 4.1.4 Zurechnungsflächen

Zurechnungsflächen (Abbildung 8) sind einerseits in der Nähe von bestehenden Q2-Flächen geplant, andererseits an Orten, wo die wirtschaftliche Bearbeitung der Ackerfläche nicht gestört wird oder eine intensivere Bewirtschaftung des Bodens nicht möglich ist.

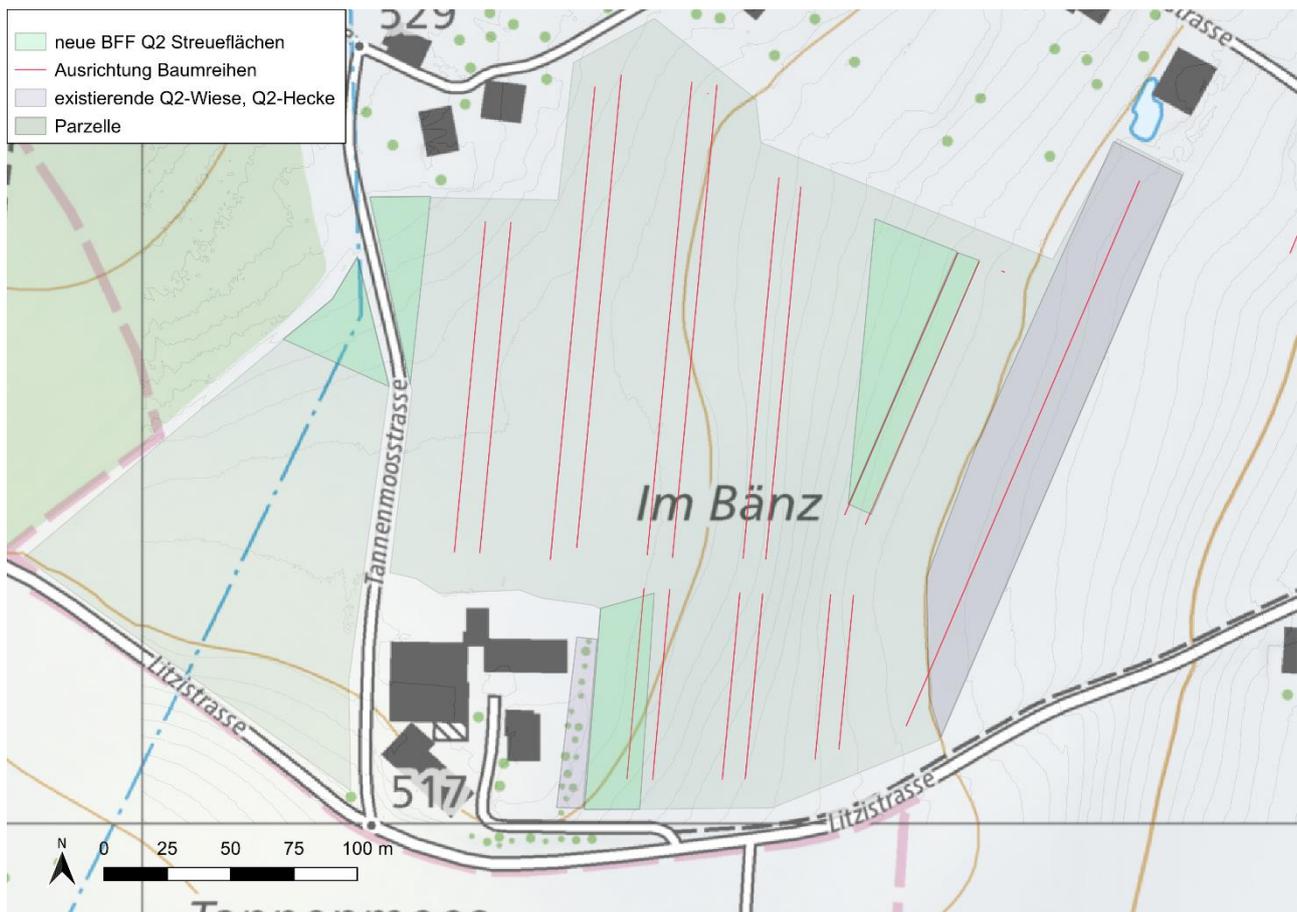


Abbildung 8: Übersicht der neuen Zurechnungsflächen (grün) und bestehenden Biodiversitätsförderflächen (violett), Quelle Swisstopo, 2023

In Tabelle 13 sind die vorhandenen Biodiversitätsförderflächen des Betriebs, die geplanten, sowie die benötigten Zurechnungsflächen aufgeführt. Geplant sind sämtliche Zurechnungsflächen als Flächen der Qualitätsstufe II anzulegen, wobei der Bewirtschafter motiviert ist, verschiedene Biodiversitätsförderflächentypen auszuprobieren. Für die verbleibende Ackerfläche genügen die restlichen 52 Aren Q2-Biodiversitätsförderflächen, wobei mit den neuen Ausgleichsflächen flexibel auf Änderungen in den Vorschriften reagiert werden kann.

Tabelle 13: Berechnung der bestehenden (violett) und neuen (grün) Zurechnungsflächen

Q2-Hecke	600 m <sup>2</sup>
Extensive, schon vorhandene Q2-Wiese	8'400 m <sup>2</sup>
Neue Q2-Dreiecksfläche bei Reihe 9	1'900 m <sup>2</sup>
Q2-Zwischenreihenfläche Wildobst (Reihen 9 und 10 Süd)	1'050 m <sup>2</sup>
Neue Q2-Dreiecksfläche östlich von Tannenmoosstrasse	830 m <sup>2</sup>
Neue Q2-Fläche zw. Obstbaumreihe 6 und Hecke	1'800 m <sup>2</sup>
Neue Q2- Fläche auf Westseite Tannenmoosstrasse	870 m <sup>2</sup>
Total neue Q2-Flächen	6'450 m <sup>2</sup>
Total Q2-Flächen	15'450 m <sup>2</sup>
Zurechnungsfläche für Bäume	10'250 m <sup>2</sup>
Biodiversitätsförderflächen (BFF)	5'200 m <sup>2</sup>

#### 4.1.5 Ackervorbereitung/Pflanzung

Die Reihen wurden im Herbst mit einer Rhenus Tec Tree line preparer Maschine (Abbildung 9) vorbereitet. Dies ist eine Kombination aus einer 5-10cm tiefen Fräse und einem mittig tiefen (35-45cm) und aussen weniger tiefen (20-30cm) Grubber. Durch die Grubberscharen wird der Boden tiefgründig gelockert, was eine zeitsparende Pflanzung der Bäume ermöglicht und den Pflanzen eine schnelle Wurzelbildung in die Tiefe. Die Fräse zerkleinert Wurzelresten der Vorkultur und soll durch die feinen Erdkrümel ein gutes Schliessen des Bodens nach der Pflanzung vereinfachen und die Wasseraufnahme erleichtern.

Vor der Pflanzung wurde eine Kompostschicht auf den Reihen verteilt, welche nach der Pflanzung mit Holzschnitzel überdeckt wird. Dies verhindert eine Stickstoffblockade der Mulchschicht und fördert die Entwicklung der Jungpflanzen (siehe Abschnitt 3.4.2).

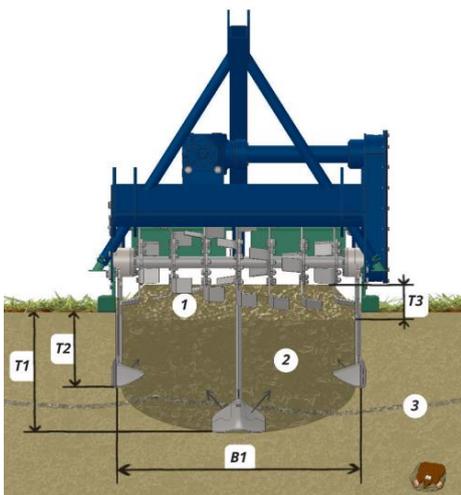


Abbildung 9: Rhenus Tec tree line preparer, zur Bodenbearbeitung vor Pflanzung (Quelle: Rhenus Tec, 2023)

#### 4.1.6 Wildtierschutz

Da die Ackerfläche zwischen den Bäumen in der Fruchtfolge auch als Weide genutzt wird, sind die Baumreihen mit einem Haag eingezäunt, um sie vor den Kühen zu schützen. Ein Maschendrahtzaun, der die gesamte Parzelle umgibt, verhindert das Eindringen von Grosswild.

Dank dieses Schutzes ist kein zusätzlicher Fegeschutz für die Bäume erforderlich, da weder Kühe noch Wild physisch Zugang zu den Bäumen haben. Hasen und andere Kleinnager, welche durch den Zaun gelangen können, könnten eine Gefahr für die Jungbäume darstellen. Da solche Kleintiere bis jetzt nur selten und einzeln gesichtet wurden, wird von einem beschränkten Risiko ausgegangen und auf einen Stammschutz verzichtet. Dieser verursacht nicht nur Kosten, sondern auch eigene Risiken wie Beschädigung des Stammgrundes und der Veredlungsstelle durch Feuchtigkeit (Jäger, 2017).

### Mausschutz

Gegen Schäden durch Wühlmäuse hilft ein Schutz des Wurzelballens aus Drahtgeflecht. Da sich der unverzinkte Draht im Laufe der Jahre im Boden zersetzt, kommt es nicht zu einem Verwachsen der Wurzeln. (Andersson, 2017)

Das Risiko von Mausverbiss wurde für jedes Teilsystem einzeln analysiert und in Tabelle 14 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dokumentiert.

Tabelle 14: Attraktivität der verschiedenen Baumkulturen für Mäuse und die folgende Baumscheibenpflege

AF-Teilsystem	Wühlmäuse	Wurzelschutz	Baumscheibenpflege
Walnuss	Gering	Nicht nötig	Mulchung uneingeschränkt möglich
Kastanien	Sehr hoch	Maschendrahtschutz um Wurzelballen	Baumscheibe ohne Bewuchs oder kurz
Pekan	Mittel	Maschendrahtschutz um Wurzelballen	Mulchung möglich, Monitoring notwendig
Apfel	Hoch	Maschendrahtschutz um Wurzelballen	Baumscheibe ohne Bewuchs oder tief
Futterhecke	Mittel	Kein Schutz nötig	Arten wählen, welche keinen Schutz brauchen
Wildobst	Hoch	Maschendrahtschutz bei stark anfälligen wie Sorbus sp.	Baumscheibe ohne Bewuchs oder tief

(Andersson, 2017; Husstein & Schwizer, 2002)

Neben dem direkten Wurzelschutz durch Maschendraht und der Risikominimierung durch Mulch- und Grasschnittoptionen setzt man auf die Förderung von natürlichen Räubern. In Zusammenarbeit mit dem Natur- und Vogelschutzverein Bezirk Affoltern (NVBA) wurde ein gemeinsames Projekt initiiert, das darauf abzielt, Vögel im Allgemeinen und Greifvögel im Besonderen zu fördern sowie die Mauspopulationen zu bekämpfen.

Bereits zu Beginn werden Sitzstangen für Vögel installiert, die die höchsten Triebe der Bäume überragen. Dies dient dem Schutz der Haupttriebe vor den Krallen der Vögel.

## 4.2 Bewirtschaftung

### 4.2.1 Baumscheibenpflege

#### **Walnuss:**

Eine mechanische Unkrautregulierung stellt eine wirksame Methode zur Unkrautkontrolle dar. Anschliessend bietet die Mulchung mit Kompost, Stroh und Kompost, Heu (falls von geringer Qualität) oder Pilzsubstrat, je nach Verfügbarkeit, eine Möglichkeit zur verbesserten Wasser- und Nährstoffversorgung. Holzschnitzel aus der Bearbeitung des Waldes, welche im Betrieb anfallen, sind aufgrund des hohen C/N- Verhältnisses nur in Kombination mit einer Mistschicht, Kompostschicht oder Grasmulchung (Stickstoffeintrag) unterhalb der Holzschnitzel zu verwenden, da sonst eine Stickstoffsperre das Wachstum der Bäume einschränken könnte. Bei der Anbringung von Mulch ist zu beachten, dass mindestens eine Handbreite Abstand zum Stamm des Baums oder zur Basis des Strauchs mulchfrei gehalten werden sollte. Dies verhindert ein Aufweichen der Rinde, insbesondere während langanhaltender feuchter Bedingungen. Gleichzeitig dient die Basis des Baumstamms als potenzieller Überwinterungsort für Schädlinge wie Läuse und Mäuse, deren Förderung durch eine Mulchauflage unbedingt vermieden werden sollte.

#### **Kastanien, Apfel und Pekan:**

Aufgrund der erwarteten Gefahr von Mäusebefall bei Kastanien, Apfel- und Pekanbäumen (Tabelle 14) wird bei der Pflege dieser Jungbäume entweder gänzlich auf Mulchen verzichtet, oder es wird lediglich eine dünnere Mulchschicht verwendet. Dieser präventive Ansatz zielt darauf ab, das Risiko von Mäusebefall zu minimieren und die Gesundheit sowie das Wachstum der Bäume zu schützen.

Aufgrund der noch etwas kühlen Bedingungen in unseren Breiten erscheint die Anwendung von Biopolymeremulchfolien bei Pekanbäumen in den ersten Jahren als eine überlegenswerte und vermutlich sinnvolle Massnahme. Durch die höheren Bodentemperaturen unter der Mulchfolie (verstärkter Effekt bei dunklen Folien) können die Vegetationsperiode verlängert und, speziell im Frühling und Herbst, die Auswirkungen zu kühler Witterung ausgeglichen werden. (Bandopadhyay et al., 2018)

### 4.2.1 Schnitt

#### **Walnussbäume**

Formierung	Das Ziel ist, neben dem Mitteltrieb 3-4 Leitäste anzuziehen. Nussbäume haben in jeder Blattachsel 3 Knospen, eine grosse, gut sichtbare, darunter eine kleinere, auch sichtbare, nochmals darunter ein drittes schlafendes Auge. Für Leitäste die 1. Knospe herausbrechen und aus der 2. oder 3. Knospe wachsen lassen. Diese sind besser mit dem Stamm verwachsen, was eine robuste und bruchsichere Krone ermöglicht. Ein Rückschnitt auf schlafende Augen ergibt kräftige Ruten mit guter Verwachsung. (Gubler, 2018)
Schnitt	Es ist wichtig, sich auf moderate Eingriffe zu beschränken, da ein gesunder Nussbaum auf radikales Zurückschneiden oft mit kräftigem Austrieb reagiert oder

	ihn nicht verträgt und stirbt. Nussbäume sollten nur während der Vegetationsperiode beschnitten werden, da sie während der Vegetationsruhe, bis nach dem Austrieb, stark "bluten". Laterale Nussbäume erfordern keinen jährlichen Schnitt, jedoch ist eine gelegentliche Auslichtung der Krone alle etwa 3 Jahre für eine gute Fruchtproduktion empfehlenswert. Bei Fruchtbäumen ist der optimale Zeitpunkt für den Schnitt direkt nach dem Austrieb (Ende April - Anfang Mai) für eine optimale Wundheilung. Der späteste Schnitt sollte zwischen der Ernte und dem Laubfall erfolgen, wobei die Wundheilung jedoch erst im folgenden Jahr einsetzt. (Gubler, 2018; THTreeservices, 2018)
--	--

#### 4.2.2 Frostschutz

Ein Stammanstrich verhindert im Spätwinter eine starke Erwärmung der Rinde gefrorener Stämme und Frostrisse, welche Eintrittspforten für Krankheitserreger wie Pilze, Bakterien und Viren sein können. (Andermatt Biocontrol, 2023b)

#### 4.2.3 Schädlingskontrolle

Für Walnuss als Hauptkultur wird hier vertieft auf die Hauptschädlinge und deren Bekämpfung eingegangen, für Kastanien, Pekan- und Apfelbäume, sowie Wildobstsorten wird auf Quellen verwiesen.

Kultur	Schädling	Präventiv	Kurativ
Juglans regia	Walnussfruchtfliege <i>Rhagoletis completa</i>	<p><b>Sortenwahl</b></p> <p>Ferouette: sehr geringer Befall (H. Gubler)</p> <p>Fernor: gute Resistenz, sowie geringe Auswirkungen auf Kern bei Befall (Solar et al., 2020; Sostizzo et al., 2018)</p> <p><b>Indikation</b></p> <p>Gelbfallen (z.B. Rebell amarillo) für Befallsdruckkontrolle (10 Fallen pro 50-100 Bäume) ab Ende Juni (Andermatt Biocontrol, 2023a)</p> <p><b>Entwicklungshemmung</b></p> <p>Befallene Früchte sofort entfernen und verbrennen</p> <p>Spritzung von Kaolin Tonmineralien z.B. WB Surround (Stähler, 2023)</p>	<p>Halten von Hühnern (Larvenfrass) unter befallenen Walnussbäumen zeigt gute Resultate (Samietz et al., 2012)</p> <p>Steinernema feltiae Nematoden parasitieren Walnussfruchtfliegenlarven (Spritzen)</p> <p>Combi-Protec (Köderkonzentrat mit Lockwirkung auf Apfelwickler und Walnussfruchtfliegen) + Insektizid (Audienz, Spinosad) (Omya Schweiz, 2022)</p>
	Marssonina-Blattfleckenpilz (antrachnose) <i>Gnomonia leptostyla</i>	<p><b>Sortenwahl</b></p> <p>Ferouette, sowie Fernor zeigen eine geringe Anfälligkeit (CTIFL, 2023; Sostizzo et al., 2018)</p> <p><b>Anbaudesign</b></p>	

	<p>Genügend Pflanzenabstand für gute Durchlüftung des Laubes</p> <p><b>Entwicklungshemmung</b></p> <p>Entfernen des infizierten Falllaubes</p> <p>Bei kleinen Bäumen: Spritzung von Kaolin Tonmineralien z.B. WB Surround</p> <p>Präventive Kupferhydroxidbehandlung bei hohem Druck in April, Mai, Juni (Symmes et al., 2022)</p>	
<p>Bakterienbrand (walnut blight) <i>Xanthomonas arboricola</i> pv. <i>juglandis</i></p>	<p><b>Sortenwahl</b></p> <p>Ferouette zeigt in Frankreich eine leichte Anfälligkeit (CTIFL, 2023), in der Ostschweiz bis jetzt kein Befall (H.Gubler). Fernor wird von (Sostizzo et al., 2018) zum Anbau in der Schweiz u.a. aufgrund geringer Anfälligkeit auf Bakterienbrand empfohlen.</p> <p>Genügend Pflanzenabstand für gute Abtrocknung des Laubes</p> <p>Flachgründige, Humusarme und saure Böden für Pflanzung meiden (nicht der Fall in Versuchsparzelle)</p> <p>Präventive, frühe (April, Mai) Kupferhydroxidbehandlung bei hohem Druck(Symmes et al., 2022)</p>	<p>Grosszügiger Rückschnitt von betroffenen Stellen kann Befall reduzieren (Kaľuźna et al., 2021)</p>
<p>Blattläuse</p>	<p>Eine genügend grosse Population von natürlichen Feinden, sollte die Blattlauspopulation im Griff halten können.</p>	
<p>Kleine und grosse Walnussblattlaus <i>C. juglandicola</i> und <i>P. juglandis</i></p>	<p>In Europa verursachen die beiden Walnussblattlaus-Arten keine beachtenswerten Schäden. Sie werden von vorkommenden Feinden gut kontrolliert. Die Schlupfwespe <i>Trioxys pallidus</i> hält die Populationen natürlich im Griff.</p>	
<p>Walnuss-Pockengallmilbe <i>Eriophyes tristriatus</i></p>	<p>Die Walnuss-Pockengallmilben verursachen keinen nennenswerten Schaden und müssen deshalb nicht bekämpft werden.</p>	
<p>Walnuss-Filzgallmilbe <i>Phytoptus erineus</i></p>	<p>Die Walnuss-Filzgallmilben verursachen nur einen geringen Schaden und müssen deshalb nicht bekämpft werden.</p>	

(Lampel & Meier, 2003)

#### 4.2.4 Ernte und Verarbeitung

Für die zukünftige Ernte werden spezialisierte Maschinen benötigt. Auflesemaschine, Schüttelmaschine, Spritzmaschine, Nusswascher müssen angeschafft werden. Bei Kapitalintensiven Neuanschaffungen wie Trocknungsmaschinen für Baumüsse macht ev. Sinn,

ein gemeinsamer Kauf mit anderen Betrieben zu koordinieren, sich in Verarbeitungszentren einzumieten oder sich in einem Maschinen- /Gerätepool zu organisieren.

### 4.3 Planung einer syntropischen Futterhecke

Das Ziel der syntropischen Futterhecke besteht in der Schaffung einer abundanten, hochwertigen Futtermittel-Ressource in Zeiten begrenzter Grasproduktion. Der syntropische Ansatz steigert die Effizienz des Systems mittels einer intensiven Flächennutzung, förderlichen Interaktionen zwischen den Pflanzen und einer vertikal komplementären Raumnutzung. Die Bodenfruchtbarkeit wird durch einen ganzjährigen Schutz vor Niederschlag und Wind gewährleistet und bleibt langfristig erhalten. Als Gesamtsystem bleibt die syntropische Futterhecke resilient gegenüber Extremwetterereignissen und trägt zur autarken Futtermittelversorgung des landwirtschaftlichen Betriebs bei.

#### 4.3.1 Die optimalen Ertragspflanzen definieren

Im syntropischen System entsprechen die Ertragspflanzen grundsätzlich denen einer konventionellen Futterhecke, wie sie in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** definiert sind. Zusätzlich werden wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben, zwei Hochstammbäume pro Heckenabschnitt gesetzt. Innerhalb der Gattungen und Arten wird auf genetische Vielfalt (Tabelle 15) und lokale Anpassung geachtet. Es wird mit einem möglichst breiten Genpool gestartet, dicht gepflanzt und beobachtet. Pflanzen, welche die Erwartungen nicht erfüllen, werden in den Folgejahren durch besser geeignete Individuen des Bestandes ersetzt. Eine Vermehrung kann dabei durch eigene Stecklinge erfolgen.

Tabelle 15: Zusammensetzung der syntropischen Futterhecke nach Gattung, Art, Sorte und Anteil der Kulturen im System

Gattung	Arten	Sorten/Vermehrung	Anteil im System
Maulbeere <i>Morus sp.</i>	- Weiße Maulbeere <i>Morus alba</i> - Schwarze Maulbeere <i>Morus nigra</i>	Breite Sortenvielfalt nutzen und Ausprägungen wie Schattentoleranz, Wuchskraft, Trockenheitstoleranz für Standort in Hecke verwenden, Stecklingsvermehrung  (ProSpecieRara, 2023)	Hauptkultur, 20%
Weiden <i>Salix sp.</i>	- Silberweide <i>Salix alba</i> - Reifweide <i>Salix daphnoides</i> - Hanfweide <i>Salix viminalis</i> - Mandelweide <i>Salix triandra</i>	Verschiedene lokale Sorten von diesen Futterweidenarten nutzen, Stecklingsvermehrung  (Züllig-Morf, 2019)	Hauptkultur, 20%
Linde <i>Tilia sp.</i>	- Sommerlinde, <i>Tilia platyphyllos</i> - Winterlinde, <i>Tilia cordata</i>	lokal vorhandene Exemplare zur Vermehrung suchen und vermehren	10%
Erle, <i>Alnus sp.</i>	- Grau-Erle, <i>Alnus incana</i> - Herzblättrige Erle, <i>Alnus cordata</i> - Grün-Erle, <i>Alnus viridis</i>	lokal vorhandene Exemplare zur Vermehrung suchen und vermehren	10%

	- Schwarz-Erle, <i>Alnus glutinosa</i>		
Esche, <i>Fraxinus</i> <i>sp.</i>	- Gemeine Esche, <i>Fraxinus excelsior</i> - Manna Esche, <i>Fraxinus ornus</i> - Schmalblättrige Esche, <i>Fraxinus angustifolia</i>	Individuen vermehren, welche robust/resistent auf Eschenstengelbecherchen/ Eschenprachtkäfer sind	10%

(Lauber et al., 2018)

### 4.3.2 Geeignete Begleitpflanzen der Ertragspflanzen

Auf Standorten hoher ackerbaulichen Qualität, wie sie in Hedingen vorliegen, wo die Bodendegradation nur in geringem Masse stattgefunden hat und hohe Humusgehalte sowie eine gute Bodenstruktur vorhanden sind, werden lediglich wenige Begleitpflanzen pro Ertragspflanze benötigt. Welche Begleitpflanzen sich am besten für den Standort eignen erfolgt analog zur Beobachtung und Selektion der Ertragspflanzen beschrieben in Abschnitt 4.3.1.

Da die Heckenpflanzung sehr dicht, sowie in mehreren Etagen erfolgen soll ist eine exakte Aufteilung von Ertragspflanzen und Begleitpflanzen schwierig und wahrscheinlich nicht sinnvoll. Stadler-Kaulich (2021) empfiehlt auf sehr guten Standorten 80% Ertragspflanzen und 20% Begleitpflanzen, was für dieses Konzept als Richtwert genommen wird. 10% der Fläche für Ertragspflanzen wird für die Hochstammbäume geplant.

#### Stickstoffbinder:

- Ölweiden, *Elaeagnus sp.*, Frankia-Symbionten,
  - Russische Ölweide, *Elaeagnus umbellata*
  - Wintergrüne Ölweide, *Elaeagnus ebbingei* (schattenresistent)
  - Schmalblättrige Ölweide, *Elaeagnus angustiflora* (trockenheitsresistent)
- Erbsenstrauch, *Caragena aborescens*: Leguminose, anspruchslos
- Esparsette, *Onobrychis viciifolia*, Leguminose, trockenheitstolerant, Bodenlockerung

(Bösel & Häusler, 2023; Guadalupe Klich et al., 2018; Lamers & Khamzina, 2010; Stadler-Kaulich, 2021)

#### Bodendecker:

- Klee, *Trifolium sp.*, Leguminose
  - Feldklee, *Trifolium campestre*
  - Weissklee, *Trifolium repens*
  - Perserklee, *Trifolium resupinatum*
- Zychorie, *Cichorium intybus*
- Borretsch, *Borago officinalis*
- Kapuzinerkresse, *Tropaeolum majus*

### 4.3.3 Die Zugehörigkeit der Pflanzengemeinschaften in der Sukzession

In der Bewirtschaftung der Parzelle müssen Arten der früheren Sukzessionsstufen, bei Platzmangel oder Veränderung der Umweltbedingungen z.B. übermäßigem Schattenwurf, den anderen Arten weichen. In der

Tabelle 16: Einteilung der Arten der syntropischen Futterhecke nach Sukzessionsstufe und deren Stellung in der Parzelle sind sämtliche Ertrags- und Partnerarten ihrer Sukzessionsstufe nach geordnet.

*Tabelle 16: Einteilung der Arten der syntropischen Futterhecke nach Sukzessionsstufe und deren Stellung in der Parzelle*

Kultur	Sukzessionsstufe	Eigenschaften
Boretsch Klee Spitzwegerich Esparsette	Pionierart	Bodendecker, fällt bei starker Beschattung aus dem System, Spitzwegerich verträgt starke Belastung durch Kuhhufe
Zychorie Kapuzinerkresse	Sekundärart I	Bodendecker, kann geerntet werden, fällt bei starker Beschattung aus dem System
Erbsenstrauch	Sekundärart II	Kann stark zurückgeschnitten und verfüttert werden, Wachstumsimpulse für das System
Ölweiden	Sekundärart III	Kopfbaumschnitt auf Kniehöhe, bleibt als Stickstofflieferant im System
Weiden	Sekundärart III	Hauptkultur, Kopfbaumschnitt auf 2m
Maulbeeren	Sekundärart III	Hauptkultur, je nach Sorte Busch oder Kopfbaumschnitt
Wildapfel	Klimaxart	Hauptkultur, Hochstamm, Aufastung nötig
Vogelbeere	Klimaxart	Hauptkultur, Hochstamm, Aufastung nötig
Schwarzer Holunder	Klimaxart	Hauptkultur, Hochstamm, Aufastung nötig
Linde	Klimaxart	Hauptkultur, Hochstamm, Aufastung nötig

## Diskussion

Die Forderung nach naturnahen Systemen, welche die Resilienz der Landwirtschaft fördern und Herausforderungen wie dem fortschreitenden Klimawandel gewachsen sind, sind aktueller denn je. Agroforstsysteme besitzen das Potenzial, zur Stabilisierung des landwirtschaftlichen Systems beizutragen, indem sie zur Minderung von Extremwetterereignissen beizutragen. Diese Arbeit zeigt auf, wie die in den letzten Jahren gewonnen wissenschaftlichen Erkenntnisse konkret in die Planung und Bewirtschaftung von Agroforstsystemen integriert werden können. Dabei wird deutlich, dass in jedem Schritt der Planung Entscheidungen gefällt werden können, welche in ihrer Gesamtheit das Wassermanagement optimieren.

Die Grundlage für die Planung bildet ein Bedürfniskatalog, der in Zusammenarbeit mit dem Bewirtschafter erstellt wurde. Dieser Katalog ergänzt durch Literaturrecherche, Analysen von GIS- und Wetterdaten sowie Gespräche mit ExpertInnen machte deutlich, dass neben dem Wassermanagement, zahlreiche weitere Herausforderungen bei der Planung berücksichtigt werden müssen. Somit stellt die Planung in jeder Stufe ein Kompromiss dar, bei der dem Wassermanagement eine hohe Beachtung geschenkt wird. Die Datenlage macht aber auch deutlich, dass im Schweizer Mittelland die Wasserversorgung zur meisten Zeit unproblematisch ist und Trockenzeiten generell von kurzer Dauer sind. Für eine erfolgreiche Planung und deren Umsetzung sind Punkte wie die Reduktion von Arbeitsaufwand, die effiziente Nutzung des Platzes, die Förderung von, aber auch der Schutz vor (ungewollter) Biodiversität und schlussendlich eine wirtschaftliche Existenz genauso wichtig. Angesichts des langfristigen Anlagehorizonts von Agroforstsystemen und des klar erkennbaren Trends in der Klimaveränderung ist die Integration des Kriteriums "Trockenheitstoleranz" von wesentlicher Bedeutung.

Syntropische Agroforstsysteme entstanden in einer Klimazone mit erheblich stärkeren Extremen als sie im Schweizer Klima auftreten. Diese meist in Form von Starkniederschlägen, aber auch Trockenzeiten. Die Kopie der Vielschichtigkeit und des damit einhergehenden Schutzes der Klimaxvegetation sowie die Berücksichtigung der natürlichen Sukzessionsstufen in Neupflanzungen können auch auf das Schweizer Klima übertragen werden. Die gesteigerte Resilienz und die ausgeprägte Wuchskraft solcher Systeme sind in Norddeutschland unter trockenen und windigen Bedingungen beobachtbar. Jedoch ist der Mehraufwand in der Planung, Pflanzung und insbesondere im laufenden Unterhalt kritisch zu betrachten. Dies wird verstärkt durch das hohe Lohnniveau in der Schweiz und die geringere Dinglichkeit solcher Massnahmen. Die Schweizer Landwirtschaft ist bislang noch nicht an dem Punkt angelangt, an dem der Einsatz solch komplexer und aufwändiger Lösungsansätze unbedingt erforderlich ist.

Um die tatsächliche Komplexität und die resultierenden Vorteile, aber auch Herausforderungen, eines syntropischen Systems, wie in Abschnitt 4.3 beschrieben, zu verstehen, müssten praktische Versuche durchgeführt und das Konzept weiterentwickelt werden.

## 5 Literaturverzeichnis

- Agroscope. (2018). *Bodenfruchtbarkeit: Lebenswichtig für Landwirtschaft und Gesellschaft*.  
<https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/publikationen/agroscope-online-magazin-jahresbericht/2018/titelstory.html>
- Ahi Koşar, D., Koşar, M. B., Utku, Ö., Mert, C., & Ertürk, U. (2022). The Performance of Some Walnut (*J.regia*) Cultivars in Bursa Conditions, Turkey. *Tarım Bilimleri Dergisi*.  
<https://doi.org/10.15832/ankutbd.1089365>
- Amelung, W., Blume, H.-P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K., & Wilke, B.-M. (2018). *Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55871-3>
- Amt für Landschaft und Natur Zürich. (2019). *Merkblatt Hochstamm-Obstbäume*.
- Amt für Landschaft und Natur Zürich. (2022). *Kantonale Präzisierungen Qll.pdf*.  
[https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/naturschutz/beitraege/kantonale\\_praezisierungen\\_qll.pdf](https://www.zh.ch/content/dam/zhweb/bilder-dokumente/themen/umwelt-tiere/naturschutz/beitraege/kantonale_praezisierungen_qll.pdf)
- Andermatt. (2023). *Edelkastanie «Südtiroler Gelbe»*. <https://www.biogarten.ch/de-ch/edelkastanie-suedtiroler-gelbe--p21952?variant=22180>
- Andermatt Biocontrol. (2023a). *Rebell amarillo*. [https://www.biocontrol.ch/de-ch/rebell-amarillo--p23396?\\_\\_tenant=set&variant=15418](https://www.biocontrol.ch/de-ch/rebell-amarillo--p23396?__tenant=set&variant=15418)
- Andermatt Biocontrol. (2023b). *Stammanstrich – Schutz vor Frostrissen an Bäumen & Sträuchern*.  
<https://www.biogarten.ch/de-ch/stammanstrich--p19644?variant=19112>
- Andersson, O. (2017). *Themenblatt\_01-Wuehlmausschutz.pdf*. [http://www.streuobst-lueneburg.de/docs/themenblaetter/Themenblatt\\_01-Wuehlmausschutz.pdf](http://www.streuobst-lueneburg.de/docs/themenblaetter/Themenblatt_01-Wuehlmausschutz.pdf)
- Bandopadhyay, S., Martin-Closas, L., Pelacho, A. M., & DeBruyn, J. M. (2018). Biodegradable Plastic Mulch Films: Impacts on Soil Microbial Communities and Ecosystem Functions. *Frontiers in Microbiology*, 9, 819. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00819>
- Barengo, N. (2001). *Wildbirne Holzbirne Pyrus pyraaster.pdf*. Professur Waldbau ETHZ.  
[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)

- Baudirektion ALN. (2018). *Agrarbericht-Meliorationen* [Agrarbericht].
- Béral, C., & Moreau, J. C. (2020). Fourrages et Agroforesteries. *Association Francophone pour les Prairies et Fourrages*. <https://afpf-asso.fr/revue/fourrages-et-agroforesteries>
- Bernard, A., Lheureux, F., & Dirlewanger, E. (2017). Walnut: Past and future of genetic improvement. *Tree Genetics & Genomes*, 14(1), 1. <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1214-0>
- Bösel, B., & Häusler, M. (2023). *Rebellen der Erde* (3. Auflage).
- Brunner, H., Oppikofer, H., Häseli, A., & Weibel, F. (2015). *Sorten für den biologischen Obstbau und Hochstämmen*. FiBL.
- Burga, C. A., Bühner, S., & Klötzli, F. (2019). Mountain ash (*Sorbus aucuparia*) forests of the Central and Southern Alps (Grisons and Ticino, Switzerland – Prov. Verbano-Cusio-Ossola, N-Italy): Plant ecological and phytosociological aspects. *Tuexenia: Mitteilungen Der Floristisch-Soziologischen Arbeitsgemeinschaft*, 39, 121–138. <https://doi.org/10.14471/2019.39.016>
- BW, F. V. F. B.-W.-F. (2023). *Die Wertästung*. <https://www.waldwissen.net/de/waldwirtschaft/waldbau/bestandspflege/die-wertaestung>
- Cannell, M. G. R., Van Noordwijk, M., & Ong, C. K. (1996). The central agroforestry hypothesis: The trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. *Agroforestry Systems*, 34(1), 27–31. <https://doi.org/10.1007/BF00129630>
- Cardinael, R., Mao, Z., Prieto, I., Stokes, A., Dupraz, C., Kim, J. H., & Jourdan, C. (2015). Competition with winter crops induces deeper rooting of walnut trees in a Mediterranean alley cropping agroforestry system. *Plant and Soil*, 391(1), 219–235. <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2422-8>
- Chiffot, V., Bertoni, G., Cabanettes, A., & Gavaland, A. (2006). Beneficial Effects of Intercropping on the Growth and Nitrogen Status of Young Wild Cherry and Hybrid Walnut Trees. *Agroforestry Systems*, 66(1), 13–21. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-3650-3>
- CTIFL. (2023). *Variétés—Ferouette®—Variétés du noyer*. [https://varietes\\_noix.ctifl.fr/fiche/varietes/FEROUETTE](https://varietes_noix.ctifl.fr/fiche/varietes/FEROUETTE)

- Darwin, C., & Kebley, L. (1859). *On the origin of species by means of natural selection*.
- Dawson, T. E. (1993). Hydraulic lift and water use by plants: Implications for water balance, performance and plant-plant interactions. *Oecologia*, 95(4), 565–574. <https://doi.org/10.1007/BF00317442>
- Dupraz, C., Blitz-Frayret, C., Lecomte, I., Molto, Q., Reyes, F., & Gosme, M. (2018). Influence of latitude on the light availability for intercrops in an agroforestry alley-cropping system. *Agroforestry Systems*, 92(4), 1019–1033. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0214-x>
- Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft (DZV), Pub. L. No. 910.13 (2013).
- Eichhorn, M. P., Paris, P., Herzog, F., Incoll, L. D., Liagre, F., Mantzanas, K., Mayus, M., Moreno, G., Papanastasis, V. P., Pilbeam, D. J., Pisanelli, A., & Dupraz, C. (2006). Silvoarable Systems in Europe – Past, Present and Future Prospects. *Agroforestry Systems*, 67(1), 29–50. <https://doi.org/10.1007/s10457-005-1111-7>
- Fang, S., Xu, X., Yu, X., & Li, Z. (2005). Poplar in wetland agroforestry: A case study of ecological benefits, site productivity, and economics. *Wetlands Ecology and Management*, 13(1), 93–104. <https://doi.org/10.1007/s11273-003-3104-5>
- Fattet, M., Fu, Y., Ghestem, M., Ma, W., Foulonneau, M., Nespoulous, J., Le Bissonnais, Y., & Stokes, A. (2011). Effects of vegetation type on soil resistance to erosion: Relationship between aggregate stability and shear strength. *CATENA*, 87(1), 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.05.006>
- Folnović, T. (2015). Intensive Farming vs. Humus in Soil. *AGRIVI*. <https://www.agrivi.com/blog/intensive-farming-vs-humus-in-soil/>
- Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg. (2017). *Sorbus\_torminalis\_baumartensteckbrief.pdf*. [https://www.waldwissen.net/assets/waldwirtschaft/waldbau/fva\\_artensteckbriefe/sorbus\\_torminalis\\_baumartensteckbrief.pdf](https://www.waldwissen.net/assets/waldwirtschaft/waldbau/fva_artensteckbriefe/sorbus_torminalis_baumartensteckbrief.pdf)
- García De Jalón, S., Burgess, P. J., Graves, A., Moreno, G., McAdam, J., Pottier, E., Novak, S., Bondesan, V., Mosquera-Losada, R., Crous-Durán, J., Palma, J. H. N., Paulo, J. A., Oliveira, T. S., Cirou, E., Hannachi, Y., Pantera, A., Wartelle, R., Kay, S., Malignier, N., ...

- Vityi, A. (2018). How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. *Agroforestry Systems*, 92(4), 829–848. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0116-3>
- García de Jalón, S., Graves, A., Palma, J. H. N., Williams, A., Upson, M., & Burgess, P. J. (2018). Modelling and valuing the environmental impacts of arable, forestry and agroforestry systems: A case study. *Agroforestry Systems*, 92(4), 1059–1073. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0128-z>
- Goddard, L. (2020). *Multiple row systems for profitable agroforestry on cropland: Double rows of poplar to mitigate impact on crop yields and optimize wood revenues*. Association Française d'Agroforesterie (AFAF). <http://agroforestry.net.eu/wp-content/uploads/2019/12/PA60-Poplars-EN.pdf>
- Götsch, E. (1994). *BREAK-THROUGH IN AGRICULTURE*. 15.
- Götsch, E. (2023). *Agenda Gotsch – Ernst Götsch's Syntropic Farming Official Website*. Agenda Götsch. <https://agendagotsch.com/en/>
- Goust, J. (2023). *Arbres Fourragers*. terran.
- Gravalon, P., & Perren, S. (2021). Heute und Morgen der Mostobstproduktion. *Agroscope*.
- Greifvogelstation am Irchel. (2023). Greifvögel und Eulen in der Schweiz. *Greifvogelstation*. <https://greifvogelstation.ch/arten/>
- Gresset, F., & Schoop, J. (2022). *Futterbäume und sträucher\_Agridea.pdf*. Agridea.
- Guadalupe Klich, Pedro Bondia, & Osvaldo Fernandez. (2018). Forage Offer and Nutritive Value of *Elaeagnus angustifolia* in North Patagonia, Argentina. *Journal of Environmental Science and Engineering A*, 7(4). <https://doi.org/10.17265/2162-5298/2018.04.003>
- Gubler, H. (2018). Schnitt von Nussbäumen. *Nussbaumschule*. <https://nussbaeume.ch/pflege/>
- Gubler, H. (2022). *Nussproduktion*. gublernusss Webseite! <https://www.gublernuss.ch/anbau/>
- Hejcmanová, P., Stejskalová, M., & Hejcman, M. (2014). Forage quality of leaf-fodder from the main broad-leaved woody species and its possible consequences for the Holocene development of forest vegetation in Central Europe. *Vegetation History and Archaeobotany*, 23(5), 607–613. <https://doi.org/10.1007/s00334-013-0414-2>

- Herzog, F., Szerencsits, E., & Kay, S. (2018). *Proceedings\_EURAF.pdf*.
- Hug, R., Plantahof, L., Heinrich, U., Produktion, F., Bucher, J. S., & Nicca, C. (2010). *Machbarkeitsstudie Walnuss*.
- Huo, G., Gosme, M., Gao, X., Dupraz, C., Yang, J., & Zhao, X. (2021). Dynamics of interspecific water relationship in vertical and horizontal dimensions under a dryland apple-Brassica intercropping system: Quantifying by experiments and the 3D Hi-sAFe model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 310, 108620. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108620>
- Husstein, A., & Schwizer, T. (2002). Rund um den Walnussbaum. *Agroscope*.
- Initiativtext. (2021). *Initiative für sauberes Trinkwasser*. <https://www.initiative-sauberes-trinkwasser.ch/initiative/>
- Isaac, M. E., & Borden, K. A. (2019). Nutrient acquisition strategies in agroforestry systems. *Plant and Soil*, 444(1–2), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04232-5>
- Jäger, M. (2017). *Agroforstsysteme-agridea.pdf*. Agridea.
- Kaesler, A., Palma, J., Firesenay, S., & Herzog, F. (2010). *Umweltleistungen von Agroforst*. Agridea. [https://www.bioaktuell.ch/fileadmin/documents/ba/Pflanzenbau/Biodiversitaet/agroforst\\_AR\\_T\\_Bericht\\_736\\_D.pdf](https://www.bioaktuell.ch/fileadmin/documents/ba/Pflanzenbau/Biodiversitaet/agroforst_AR_T_Bericht_736_D.pdf)
- Kaesler, A., Sereke, F., Dux, D., & Herzog, F. (2011). Agroforstwirtschaft in der Schweiz. *Agrarforschung Schweiz*.
- Kalužna, M., Fischer-Le Saux, M., Pothier, J. F., Jacques, M., Obradović, A., Tavares, F., & Stefani, E. (2021). *Xanthomonas arboricola* pv. *juglandis* and pv. *corylina*: Brothers or distant relatives? Genetic clues, epidemiology, and insights for disease management. *Molecular Plant Pathology*, 22(12), 1481–1499. <https://doi.org/10.1111/mpp.13073>
- Kay, S., Jäger, M., & Herzog, F. (2019). Ressourcenschutz durch Agroforstsysteme – standortangepasste Lösungen. *Agrarforschung Schweiz*.
- Kay, S., Jäger, M., & Herzog, F. (2020). Moderne Agroforstsysteme in der Schweiz: *Berichte über Landwirtschaft - Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft*. <https://doi.org/10.12767/buel.v98i2.299>

- Kay, S., Rega, C., Moreno, G., den Herder, M., Palma, J. H. N., Borek, R., Crous-Duran, J., Freese, D., Giannitsopoulos, M., Graves, A., Jaeger, M., Lamersdorf, N., Memedemin, D., Mosquera-Losada, R., Pantera, A., Paracchini, M. L., Pari, P., Roces-Diaz, J., Rolo, V., ... Herzog, F. (2019). Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. *Land Use Policy*, 83, 581–593. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.025>
- Kittl, B. (2023). *Hoffnung für die Esche: Gegen das Eschentriebsterben resistente Bäume sind auch gegen Käfer gewappnet*. <https://www.wsl.ch/de/news/hoffnung-fuer-die-esche-gegen-das-eschentriebsterben-resistente-baeume-sind-auch-gegen-kaefer-gewappnet/>
- Kocaçalıkan, I., & Terzi, I. (2001). Allelopathic effects of walnut leaf extracts and juglone on seed germination and seedling growth. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 76, 436–440. <https://doi.org/10.1080/14620316.2001.11511390>
- Krueger, W. H. (2000). Pollination of English Walnuts: Practices and Problems. *HortTechnology*, 10(1), 127–130. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.10.1.127>
- Kuhns, M., Garrett, H., Teskey, R., & Hinckley, T. (1985). Root Growth of Black Walnut Trees Related to Soil Temperature, Soil Water Potential, and Leaf Water Potential. *Forest Science*, 31, 617–629.
- Lamers, J. P. A., & Khamzina, A. (2010). ORIGINAL ARTICLE: Seasonal quality profile and production of foliage from trees grown on degraded cropland in arid Uzbekistan, Central Asia. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(5), e77–e85. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00983.x>
- Lampel, G., & Meier, W. (2003). *Hemiptera: Sternorrhyncha – Aphidina*. Schweizerische Entomologische Gesellschaft.
- Landwirtschaftliche Begriffsverordnung (LBV), Pub. L. No. SR 910.91 (1998). <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1999/13/de>
- Lauber, K., Wagner, G., & Gyğax, A. (2018). *Flora Helvetica*.

- Leuzinger, U., Hedinger, B., Brem, H., Lantemann, C., Potthast, I., Rast-Eicher, A., Riens, R., Roth, M., & Schoch, W. H. (2002). *Tabula Rasa. Holzgegenstände aus den römischen Siedlungen Vitudurum und Tasgetium*.
- LfL Bayern. (2023). *Bedeutung des Humus für die Bodenfruchtbarkeit*. Institut für Agrarökologie und Biologischen Landbau. <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/031125/>
- Ma, Z., Zhang, Y.-Q., Wang, L.-J., Hu, G.-L., Gong, X.-Q., Bai, Q., Su, S.-C., & Qi, J.-X. (2021). Short-Term Effects of Spent Mushroom Substrate Mulching Thickness on the Soil Environment, Weed Suppression, Leaf Nutrients, and Nut Characteristics in a Hazelnut Orchard. *Agronomy*, 11(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061122>
- McMillen, M. (2013). The Effect of Mulch Type and Thickness on the Soil Surface Evaporation Rate. *Horticulture and Crop Science*. <https://digitalcommons.calpoly.edu/hcssp/22>
- Mead, R., & Willey, R. W. (1980). The Concept of a 'Land Equivalent Ratio' and Advantages in Yields from Intercropping. *Experimental Agriculture*, 16(3), 217–228. <https://doi.org/10.1017/S0014479700010978>
- meteoblue. (2023). *Simulierte historische Klima- und Wetterdaten für Hedingen*. meteoblue. [https://www.meteoblue.com/de/wetter/historyclimate/climatemodelled/hedingen\\_schweiz\\_6290434](https://www.meteoblue.com/de/wetter/historyclimate/climatemodelled/hedingen_schweiz_6290434)
- Meyer, M. (2016). *Eignung verschiedener Maßnahmen zur Freihaltung von Baumscheiben bei jungen Obsthochstämmen—PDF Free Download*. Kompetenzzentrum Obstbau-Bodensee (KOB). <https://docplayer.org/27347420-Eignung-verschiedener-massnahmen-zur-freihaltung-von-baumscheiben-bei-jungen-obsthochstaemmen.html>
- Moreno, M. M., & Moreno, A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Scientia Horticulturae*, 116(3), 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.01.007>
- Mulia, R., & Dupraz, C. (2006). Unusual Fine Root Distributions of Two Deciduous Tree Species in Southern France: What Consequences for Modelling of Tree Root Dynamics? *Plant and Soil*, 281(1), 71–85. <https://doi.org/10.1007/s11104-005-3770-6>

- Müller, H., & Bühler, M. (2023). *Hochstammobst—Robuste Obstsorten*.  
<https://www.hochstammobst.ch/79/geeignete-obstsorten>
- Nordrhein-Westfalen, L. (2015). *Humus und Bodenfruchtbarkeit*.
- Omya Schweiz. (2022). *AUDIENZ*.
- Ong, C. K., Corlett, J. E., Singh, R. P., & Black, C. R. (1991). Above and below ground interactions in agroforestry systems. *Forest Ecology and Management*, 45(1), 45–57.  
[https://doi.org/10.1016/0378-1127\(91\)90205-A](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90205-A)
- Pardon, P., Mertens, J., Reubens, B., Reheul, D., Coussement, T., Elsen, A., Nelissen, V., & Verheyen, K. (2020). *Juglans regia* (walnut) in temperate arable agroforestry systems: Effects on soil characteristics, arthropod diversity and crop yield. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 35(5), 533–549. <https://doi.org/10.1017/S1742170519000176>
- Penuelas, J., & Filella, I. (2003). Deuterium labelling of roots provides evidence of deep water access and hydraulic lift by *Pinus nigra* in a Mediterranean forest of NE Spain. *Environmental and Experimental Botany*, 49, 201–208. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00070-9)
- Prach, K., & Walker, L. R. (2019). Differences between primary and secondary plant succession among biomes of the world. *Journal of Ecology*, 107(2), 510–516.  
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13078>
- ProSpecieRara. (2023). *Sortenfinder | Gemüse, Obst, Beeren, Kartoffeln, Zierpflanzen, Kräuter*. ProSpecieRara. <https://www.prospecierara.ch/pflanzen/sortenfinder.html>
- Quandt, A., Neufeldt, H., & Gorman, K. (2023). Climate change adaptation through agroforestry: Opportunities and gaps. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 60, 101244.  
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2022.101244>
- Raskin, B., & Osborn, S. (2019). *The agroforestry handbook*.  
<https://www.soilassociation.org/media/19141/the-agroforestry-handbook.pdf>
- Ravetto Enri, S., Probo, M., Renna, M., Caro, E., Lussiana, C., Battaglini, L., Lombardi, G., & Lonati, M. (2020). Temporal variations in leaf traits, chemical composition and in vitro true

- digestibility of four temperate fodder tree species. *Animal Production Science*, 60.  
<https://doi.org/10.1071/AN18771>
- Rega, C., Bartual, A. M., Bocci, G., Sutter, L., Albrecht, M., Moonen, A.-C., Jeanneret, P., van der Werf, W., Pfister, S. C., Holland, J. M., & Paracchini, M. L. (2018). A pan-European model of landscape potential to support natural pest control services. *Ecological Indicators*, 90, 653–664. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.075>
- Reyes, F., Gosme, M., Wolz, K. J., Lecomte, I., & Dupraz, C. (2021). Alley Cropping Mitigates the Impacts of Climate Change on a Wheat Crop in a Mediterranean Environment: A Biophysical Model-Based Assessment. *Agriculture*, 11(4), Article 4.  
<https://doi.org/10.3390/agriculture11040356>
- Roncoroni, J. A., Hanson, B., & Hembree, K. J. (2017). *Weed Management / Walnut / Agriculture: Pest Management Guidelines / UC Statewide IPM Program (UC IPM)*.  
<https://ipm.ucanr.edu/agriculture/walnut/integrated-weed-management/>
- Rudow, A. (2001). *SEBA1\_AS\_speierling\_2000.pdf*.
- Rusterholz, P., & Husistein, A. (1999). *Brunella & Co – neue Kastaniensorten für nördlich der Alpen*.
- Samietz, J., Schwizer, T., Höhn, H., Linder, C., & Aluja, M. (2012). *Noircissement des noix dû aux mouches et aux maladies: Importance du choix variétal*. 44.
- Schöneberg, A., & Perren, S. (2018). Beschreibung wertvoller Mostapfelsorten. *Agroscope*.
- Schöneberg, A., Schlathölter, I., Pelludat, C., Holliger, E., Naef, A., & Perren, S. (2016). Schlussbericht Projekt HERAKLES: Nachhaltiges Feuerbrandmanagement—Alternativen zu Streptomycin? *Spezialpublikation*.
- Schwab, P. (2001). *SEBA1\_AS\_elsbeere\_2000.pdf*.
- Seitz, B., Carrard, E., Burgos, S., Tatti, D., Herzog, F., Jäger, M., & Sereke, F. (2017). *Erhöhte Humusvorräte in einem siebenjährigen Agroforstsystem in der Zentralschweiz* [Application/pdf]. <https://doi.org/10.24451/ARBOR.6871>

- Sereke, F., Graves, A. R., Dux, D., Palma, J., & Herzog, F. (2014). Innovative agroecosystem goods and services: Key profitability drivers in Swiss agroforestry. *Agronomy for Sustainable Development*, 35. <https://doi.org/10.1007/s13593-014-0261-2>
- Sinkevičienė, A., Jodaugienė, D., Pupalienė, R., & Urbonienė, M. (2009). The influence of organic mulches on soil properties and crop yield. *Agronomy Research* 7.
- Solar, A., Stampar, F., Veberic, R., & Trdan, S. (2020). How much walnut husk fly (*Rhagoletis completa* Cresson) affects nut quality of different walnut cultivars? *European Journal of Horticultural Science*, 85(1), 63–74. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2020/85.1.7>
- Somireddy, U. R. (2012). *Effect of Herbicide-Organic Mulch Combinations on Weed Control and Herbicide Persistence* [The Ohio State University]. [https://etd.ohiolink.edu/acprod/odb\\_etd/etd/r/1501/10?clear=10&p10\\_accession\\_num=osu1325255792](https://etd.ohiolink.edu/acprod/odb_etd/etd/r/1501/10?clear=10&p10_accession_num=osu1325255792)
- Song, D., Pan, K., Zhang, A., Wu, X., Tariq, A., Chen, W., Li, Z., Sun, F., Sun, X., Olatunji, O. A., & Zhang, L. (2018). Optimization of growth and production parameters of walnut (*Juglans regia*) saplings with response surface methodology. *Scientific Reports*, 8, 9992. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28345-6>
- Song, D., Tariq, A., Pan, K., Chen, W., Zhang, A., Sun, X., Ran, Y., & Zeng, F. (2020). Effects of straw mulching practices on soil nematode communities under walnut plantation. *Scientific Reports*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72530-5>
- Sostizzo, T., Bünter, M., Egger, B., & Mazzi, D. (2018). Walnussfruchtfliege – *Rhagoletis completa*. *Agroscope Merkblatt*.
- Stadler-Kaulich, N. (2021). *Dynamischer Aroforst*. oekom.
- Stähler. (2023). *Surround®: Produkte: Stähler Suisse SA*. <https://www.staehler.ch/de/produkte/detail/surround-r-%237565>
- Swiss Federal Office for the Environment. (2022). *Switzerland's Eighth National Communication and Fifth Biennial Report under the UNFCCC*.
- Swisstopo. (2023). <https://maps.zh.ch/>

- Symmes, E. J., Rijal, J. P., & Debiase, R. (2022). *Most Effective Treatment Timing for Key Diseases / Walnut / Agriculture: Pest Management Guidelines / UC Statewide IPM Program (UC IPM)* (UC ANR Publication 3471). <https://ipm.ucanr.edu/agriculture/walnut/treatment-timing-for-key-diseases/>
- Thiesmeier, A., & Zander, P. (2023). Can agroforestry compete? A scoping review of the economic performance of agroforestry practices in Europe and North America. *Forest Policy and Economics*, 150, 102939. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2023.102939>
- THTreeservices. (2018). Walnut Tree Pruning – Getting the Timing Right. *Tree Surgeons Essex | T.H Tree Services | Tree Care*. <https://thtreeservices.co.uk/walnut-tree-pruning-getting-timing-right/>
- Tiebel, K., Huth, F., & Wagner, S. (2018). Soil seed banks of pioneer tree species in European temperate forests: A review. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 11(1), 48. <https://doi.org/10.3832/ifer2400-011>
- Vaccaro, C., Six, J., & Schöb, C. (2022). Moderate shading did not affect barley yield in temperate silvoarable agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 96(4), 799–810. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00740-z>
- Van Lerberghe, P. (2017). *Analysing\_the\_site\_and\_choosing\_the\_tree\_species.pdf*. Agroforward. [https://www.agforward.eu/documents/leaflets/BestPractices/02\\_Analysing\\_the\\_site\\_and\\_choosing\\_the\\_tree\\_species.pdf](https://www.agforward.eu/documents/leaflets/BestPractices/02_Analysing_the_site_and_choosing_the_tree_species.pdf)
- van Noordwijk, M., Coe, R., Sinclair, F. L., Luedeling, E., Bayala, J., Muthuri, C. W., Cooper, P., Kindt, R., Duguma, L., Lamanna, C., & Minang, P. A. (2021). Climate change adaptation in and through agroforestry: Four decades of research initiated by Peter Huxley. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 26(5), 18. <https://doi.org/10.1007/s11027-021-09954-5>
- Van Sambeek, J. W., & Garrett, H. E. (2004). *Ground cover management in walnut and other hardwood plantings*. North Central Research Station, Forest Service, U.S. Department of Agriculture.

- Vršič, S., Breznik, M., Pulko, B., & Rodrigo-Comino, J. (2021). Earthworm Abundance Changes Depending on Soil Management Practices in Slovenian Vineyards. *Agronomy*, 11(6), Article 6. <https://doi.org/10.3390/agronomy11061241>
- Zech, W., Schad, P., & Hintermaier-Erhard, G. (2014). *Böden der Welt*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36575-1>
- Züllig-Morf, S. (2019). *Weiden Kultursorten*. Ott.

## Abbildverzeichnis

Abbildung 1: Die Fläche des Betriebs, auf welcher das Agroforstsystem entsteht. Die Parzelle ist grün hinterlegt, der Bauernhof im Zentrum. (Quelle: swisstopo, 2023).....	13
Abbildung 2: Monatliche Niederschlagsmengen, durchschnittlicher NS der letzten 30 Jahre (Grenze von hellblauer und dunkelblauer Fläche), Niederschlag 2022 (Schwarze Linie), (Quelle meteoblue, 2023).....	14
Abbildung 3: Entwicklung der Wirtschaftlichkeit von Schweiz Agroforstsystemen mit 70 Nussbäumen/ha, mit Direktzahlungen von CHF 15/Baum (oben) bzw. CHF 45/Baum (unten), Wertholz- (grün) und Fruchtproduktion (gelb) werden mit Acker-Monokulturen (rot) verglichen. (Quelle: Kaeser et al., 2010) .....	26
Abbildung 4: Die Ausrichtung der Baumreihen ist 6°Ost resp. 23° Ost. (Quelle: swisstopo, 2023)	37
Abbildung 5: Östlicher Teil des Agroforstsystems, mit den zwei Hecken. Jede Hecke besteht aus 4 Heckenabschnitten, welche 10m voneinander entfernt sind. Rot dargestellt sind die Heckenkulturen, die Bäume in der Futterhecke sind grün. (Quelle: swisstopo, 2023) .....	38
Abbildung 6: Ein Futterheckenabschnitt besteht aus 12 Heckenpflanzen in zwei Reihen, welche zueinander versetzt sind. Zwei Hochstammbäume sind Teil der Futterhecke und dienen der Beschattung. (Quelle: swisstopo, 2023).....	39
Abbildung 7: Übersicht der Reihen und geplanten Kulturen im Agroforstsystem, die Grösse der Punkte entspricht der Ausmasse der Baumkronen. (Quelle: swisstopo, 2023).....	40
Abbildung 8: Übersicht der neuen Zurechnungsflächen (grün) und bestehenden Biodiversitätsförderflächen (violett), Quelle Swisstopo, 2023 .....	45
Abbildung 9: Rhenus Tec tree line preparer, zur Bodenbearbeitung vor Pflanzung (Quelle: Rhenus Tec, 2023).....	46

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuteilung der Bedürfnisse und Ziele des Bewirtschaftenden in Umweltbereiche, sowie wirtschaftliche Anforderungen.....	12
Tabelle 2: Ober- und unterirdische Einflüsse von Kulturen in Agroforstsystemen, unterteilt in positive und negative Einflüsse.....	15
Tabelle 3: Vor- und Nachteile durchmischter, sowie gleichartiger Anordnung der Kulturen von Reihenpflanzungen in Agroforstsystemen.....	17
Tabelle 4: Hauptfaktoren für die Auswahl der Walnussbäume, welche in die Bereiche Robustheit, Wuchs, Fruchtqualität und Bestäubung eingeteilt wurde.....	18
Tabelle 5: Apfel- Kastanien und Pekanbäume werden nach Kriterien wie Robustheit, Fruchtqualität, Wuchs und klimatischer Eignung ausgewählt.....	18
Tabelle 6: Kriterien für Hochstamm-Wildobstsorten, welche im östlichen Bereich des Agroforstsystems in oder angrenzend zu einer Q2 Fläche gepflanzt werden.....	20
Tabelle 7: Auswahlkriterien für Heckenkulturen zur Futterproduktion in einem Agroforstsystem für Rinder.....	20
Tabelle 8: Direktzahlungen aufgeteilt in Biodiversitätsbeiträge verschiedener Qualitätsstufen und Vernetzungsbeiträge, sowie Landschaftsqualitätsbeiträge, Zahlungen für Nussbäume oben und Zahlungen für Obst-, Wildobst-, und Kastanienbäume unten.....	27
Tabelle 9: Sukzessionsstufen anhand von Lebenszyklus und deren definierenden Eigenschaften von Pionierart, Sekundärarten I, II, III bis Klimaxarten.....	30
Tabelle 10: Vergleich tropischer und gemäßigter Böden und derer Eigenschaften in einer natürlich vorkommenden Klimaxvegetation.....	33
Tabelle 11: Auswahl der Hochstammbäume, welche in die Hecke integriert werden.....	44
Tabelle 12: Anordnung und Baumabstand der Kulturen und Position auf dem Betrieb.....	44
Tabelle 13: Berechnung der bestehenden (violett) und neuen (grün) Zurechnungsflächen.....	46
Tabelle 14: Attraktivität der verschiedenen Baumkulturen für Mäuse und die folgende Baumscheibenpflege.....	47
Tabelle 15: Zusammensetzung der syntropischen Futterhecke nach Gattung, Art, Sorte und Anteil der Kulturen im System.....	51
Tabelle 16: Einteilung der Arten der syntropischen Futterhecke nach Sukzessionsstufe und deren Stellung in der Parzelle.....	53

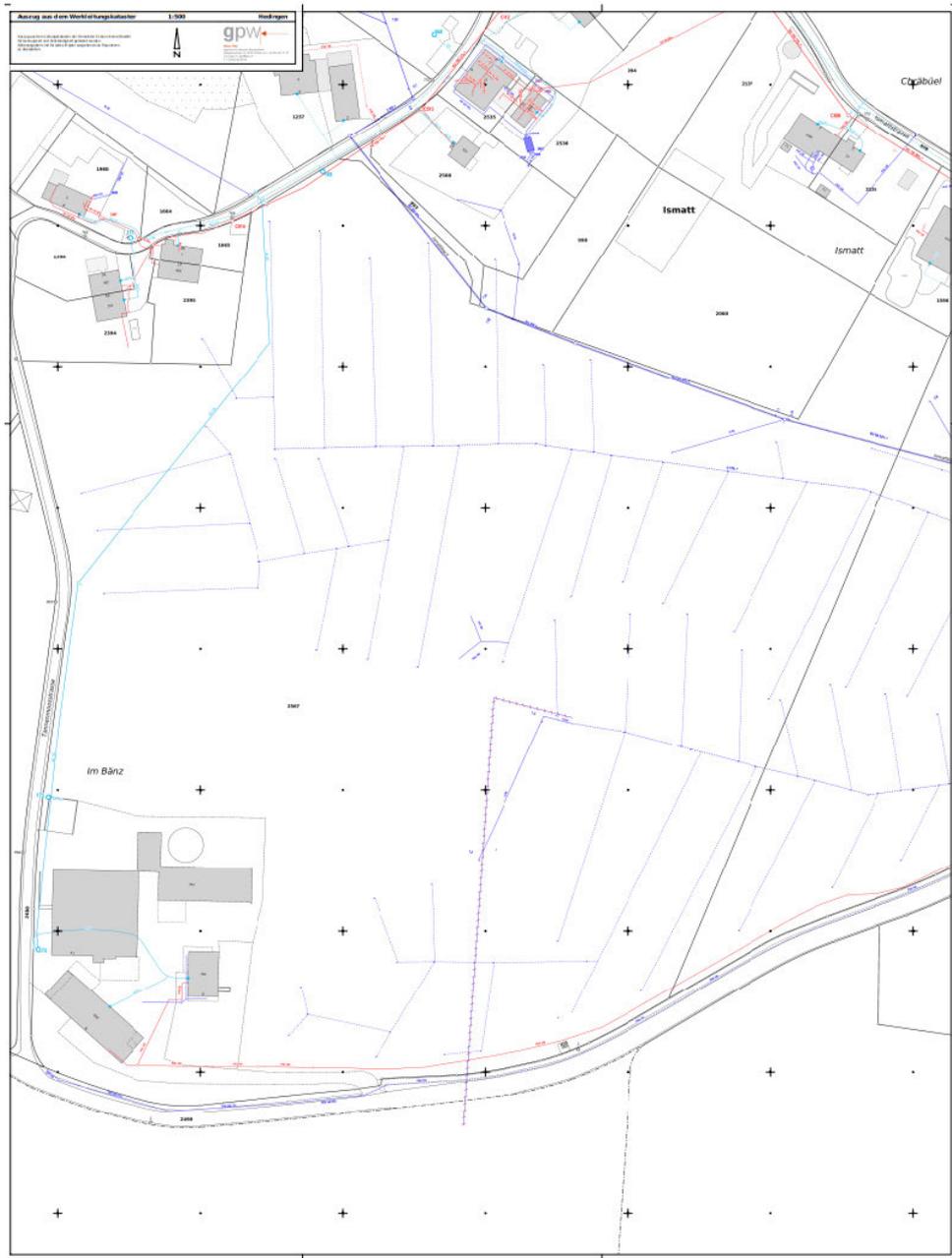
## Anhangsverzeichnis

Anhang A – Rohdaten

Anhang B – Selbständigkeitserklärung

# Anhang A

## Drainagesystem



## Kostenübersicht Pflanzmaterial

Bäume	Kosten [CHF]	Anzahl [Stk.]	Total [CHF]
<b>Obstbäume</b>			
Walnussbäume	89	104	9256
Apfelbäume	98	8	784
Kastanienbäume	84	26	2184
Pekanbäume	89	9	801
Total Obstbäume		147	13025
<b>Wildobstbäume</b>			
Vogelbeere	32	10	320
Elsbeere	39	10	390
Speierling	39	10	390
Traubenkirsche	59	9	531
Holzbirne	22	9	198
Total Wildobstbäume		48	1829
<b>Hecken</b>			
Weisse Maulbeere	22	32	704
Weiden	8	40	320
Linde	35	8	280
Esche	29	8	232
Erle	29	8	232
Total Hecken		96	1768
<b>Bäume in Hecken</b>			
Holzapfel	22	4	88
Feldulme	32	4	128
Flaumeiche	25	4	100
Vogelbeere	32	4	128
Total Bäume in Hecke		16	444
Total Kosten			17066

## Checkliste Pflanzung

Den grössten Einfluss auf den Anwuchserfolg der Bäume hat die Sorgfalt, mit welcher die Pflanzung durchgeführt wird.

Mindestens 3 Leute werden benötigt, besser 5 oder 7:

- 1 Person auf dem Traktor/Bagger, zum Pflanzloch öffnen
- 2er-Team zum Bäume setzen, am besten mehrere 2er-Teams

### **Bodenzustand:**

Boden sollte nicht zu nass sein, Erde darf nicht an Schaufel kleben bleiben.

Boden darf nicht gefroren sein.

### **Vorgehensweise:**

□ **Pflanzloch öffnen (min. 50cm x 50cm)**

Das Pflanzloch wird der Pflanze angepasst und nicht umgekehrt.

□ **Wurzelschnitt**

Wurzelspitzen kappen (oxidierte Schnittenden wegschneiden)

□ **Pflanze einsetzen**

Es muss auf eine gerade Ausrichtung der Pflanze geachtet werden.

□ **Pflanzloch schliessen**

Die obersten Wurzeln sollten 3-5 cm mit Erde bedeckt werden.

□ **Erde andrücken**

Die Erde rund um die Pflanze mit dem Fuss andrücken und gegen den Stamm hin leicht vertiefen.

□ **Angiessen**

Mit etwa 10 Litern Wasser pro Baum giessen.

### **Wichtige Kriterien für eine gute Pflanzung:**

- ✓ Aufrechter Sitz der Pflanze
- ✓ Gerade Ausrichtung der Wurzeln
- ✓ Ausreichende Verdichtung der Erde um die Wurzeln

### **Häufigste Fehler bei der Pflanzung:**

- ☞ Zu geringe Pflanzlochtiefe
- ☞ Abknicken der Wurzeln
- ☞ Zu starkes Beschneiden der Wurzeln

## Anhang B – Selbständigkeitserklärung

### **Erklärung betreffend das selbstständige Verfassen einer Semesterarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management**

Mit der Abgabe dieser Semesterarbeit versichern die Studierenden, dass sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst haben.

Die unterzeichnenden Studierenden erklären, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Semesterarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraf 39 und Paragraf 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmaßnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Unterschrift:

Küsnacht, 11.01.2024

.....  .....