



## Agroforst

**Wie Bäume auf dem Acker zur Lösung der Biodiversitäts- und Klimakrise beitragen können**

 Bundesministerium  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

 Bundesministerium  
Bildung, Wissenschaft  
und Forschung



LAND  
OBERÖSTERREICH



umweltbundesamt<sup>U</sup>



Theresia Markut

Richard Petrsek

Peter Meindl

Mia Sol Guggiari Dworatzek



Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Markut, T.; Petrsek, R., Meindl, P., Guggiari Dworatzek, M.S. (2024). Agroforst - Wie Bäume auf dem Acker zur Lösung der Biodiversitäts- und Klimakrise beitragen können. Endbericht von StartClim2023.A in StartClim2023: Biodiversität, Klimakippeffekte und sozioökonomische Klimaindikatoren, Auftraggeber: BMK, BMWF, Klima- und Energiefonds, Land Oberösterreich.

Wien, im September 2024

StartClim2023.A

Teilprojekt von StartClim2023

Projektleitung von StartClim:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie und Klimatologie, Gregor-Mendel-Straße 33, 1190 Wien

[www.startclim.at](http://www.startclim.at)

StartClim2023 wurde aus Mitteln des BMK, BMWF, Klima- und Energiefonds und dem Land Oberösterreich gefördert.

**StartClim2023.A**

## Inhaltsverzeichnis

A-1	Kurzfassung.....	6
A-2	Abstract.....	8
A-3	Einleitung und Problemstellung .....	9
A-4	Methoden.....	10
A-4.1	Allgemeine Definitionen und Geltungsbereich.....	10
A-4.2	Methode CO <sub>2</sub> -Bindungspotential von AFS .....	11
A-4.3	Methode Biodiversitätspotential von Agroforstsystemen.....	12
A-4.4	Methode AFS als Klimawandelanpassungsmaßnahme.....	14
A-5	Ergebnisse .....	15
A-5.1	Ergebnisse CO <sub>2</sub> -Bindungspotential von AF-Typen.....	19
A-5.2	Ergebnisse Biodiversitätspotential von AF-Typen.....	23
A-5.3	Ergebnisse AFS als Klimawandelanpassungsmaßnahme .....	27
A-5.3.1	Klimawandelanpassungen mit biophysikalischer und sozio-ökonomischer Wirkung .....	28
A-5.3.1	Darstellung der Ergebnisse in den Illustrationen .....	34
A-5.4	Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Regionen .....	35
A-6	Ausblick.....	37
A-7	Verwendete Abkürzungen .....	39
A-8	Literaturverzeichnis .....	40

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. A-1:</b> Illustriertes Agroforstsystem 1 "Wertholz ausschließlich" © Kristin Gyimesi.....	15
<b>Abb. A-2:</b> Illustriertes Agroforstsystem 2 "Wertholz mit (Schalen-) Frucht" © Kristin Gyimesi.....	16
<b>Abb. A-3:</b> Illustriertes Agroforstsystem 3 "Kurzumtrieb" © Kristin Gyimesi.....	17
<b>Abb. A-4:</b> Illustriertes Agroforstsystem 4 "Frucht intensiv (Obst)" © Kristin Gyimesi.....	18
<b>Abb. A-5:</b> Illustriertes Agroforstsystem 5 "Mischsystem" © Kristin Gyimesi.....	18
<b>Abb. A-6:</b> In der oberirdischen Biomasse (Derbholz) gespeicherte Menge an Kohlenstoff [t C / ha AF] pro Jahr (blau, linke Achse) bzw. pro gesamter Standzeit (grün, rechte Achse).....	20
<b>Abb. A-7:</b> Schematische Ergebnisdarstellung der CO <sub>2</sub> -Bindung der fünf verschiedenen AF-Typen.....	21
<b>Abb. A-8:</b> Bewertungsergebnisse der fünf AF-Typen zu den Biodiversitätsindikatoren Artenvielfalt von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen. Erklärung zu Bewertungsskala siehe Tab. A-4:.....	23
<b>Abb. A-9:</b> Bewertungsergebnisse der fünf AF-Typen zu dem Biodiversitätsindikator „Abundanz seltener bzw. rarer Arten“. Erklärung zu Bewertungsskala siehe Tab. A-4:.....	25
<b>Abb. A-10:</b> Bewertungsergebnisse der fünf AF-Typen zu dem Biodiversitätsindikator „Biotop- bzw. Habitatvielfalt“. Erklärung zu Bewertungsskala siehe Tab. A-4:.....	25
<b>Abb. A-11:</b> Aggregiertes Biodiversitätspotential der fünf AF-Typen als Ergebnis der Expert:innenrunde.....	26
<b>Abb. A-12:</b> Wortwolke von Diskussionsbeiträgen während der Expert:innen-Runde.....	27
<b>Abb. A-13:</b> Schematische Darstellung des Mikroklimas entlang eines Acker-Baum-Acker Transekts (Jacobs et al., 2022).....	30

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. A-1:</b> Verwendete Werte für den gebundener Kohlenstoff in der oberirdischen Biomasse (Derbholz).....	12
<b>Tab. A-2:</b> Institutionen und Fachbereiche der Biodiversitäts-Expert:innen.....	13
<b>Tab. A-3:</b> Beschreibung der Biodiversitätsindikatoren.....	13
<b>Tab. A-4:</b> Bewertungsskala Einfluss auf die Biodiversität (-indikatoren) .....	14
<b>Tab. A-5:</b> Die fünf im Projekt definierten und bewerteten AF-Typen.....	15
<b>Tab. A-6:</b> Beschreibende Parameter der fünf AF-Typen.....	19
<b>Tab. A-7:</b> CO <sub>2</sub> -Bindungspotential der AF-Typen.....	20
<b>Tab. A-8:</b> Kennwerte Energie-Substitutionseffekt AF-Typ #3 KUP.....	22
<b>Tab. A-9:</b> Kategorisierung der Klimawandelanpassungsbereiche von AFS nach Quandt et al, 2023 und Hernandez-Morcillo et al., 2018.....	28
<b>Tab. A-10:</b> Wissenschaftlich Evidenz der Klimawandelanpassungsfähigkeiten von AFS.....	29
<b>Tab. A-11:</b> Zusammenfassung der quantifizierbaren Klimawandelanpassungsleistungen durch AFS.....	35

## A-1 Kurzfassung

Agroforstsysteme sind eine Form der Landwirtschaft, bei der auf einer Fläche zwei (oder mehr) verschiedene Kulturen wachsen und beide genutzt werden: einerseits eine übliche Ackerkultur<sup>1</sup>, wie zB: Getreide, Gemüse, Sonnenblumen, Raps oder ähnliches und andererseits Gehölze, wie zB. Laubbaumarten, wie sie auch im Wald vorkommen, oder Obstbäumen wie zB Apfelbäume, Walnussbäume usw. Um diese Agroforstsysteme modern mit großen Maschinen bewirtschaften zu können, stehen die Bäume in regelmäßigen Reihen in Abständen von 30m oder mehr und haben einen hohen Stamm, damit der Traktor und andere landwirtschaftliche Maschinen knapp an ihnen vorbeifahren können (etwa 1m Abstand), ohne dass die Äste der Bäume diese behindern.

Die Ackerkultur und die Baumreihen werden nicht nur beide genutzt und beerntet, sie stehen auch miteinander in Austausch. Nämlich sowohl oberirdisch als Schattenspender, Windbremse und Lebensraum als auch unterirdisch mit den Wurzeln, Nährstoffen und Wasserhaushalt. Diese Art der Landwirtschaft ergibt somit ein Agrarökosystem mit speziellen Eigenschaften.

Das Projekt hat das Ziel, fünf verschiedene Agroforstsysteme exemplarisch darzustellen und anhand dieser zu berechnen wieviel CO<sub>2</sub> die Bäume binden können, weiters einzuschätzen welche Wirkung Agroforstsysteme auf die Biodiversität haben und einzuschätzen, inwiefern Agroforstsysteme eine Anpassung an die Klimakrise sein können.

Im Zuge des StartClim-Projekts wurde festgestellt, dass

- fünf verschiedene Agroforstsysteme nur ein sehr eingeschränktes Bild für die gesamte Vielfalt aller Agroforstsysteme, die es in der Praxis in den Ackerbaugebieten in Österreich gibt (darüber hinaus gibt es noch die Agroforstsysteme auf Wiesen und Weiden) abgeben können.
- alle Agroforstsysteme CO<sub>2</sub> (eines der relevantesten Treibhausgase) aus der Atmosphäre binden und somit Treibhausgase reduzieren. Und zwar durchschnittlich 2.27 t CO<sub>2</sub> pro Hektar und Jahr (1.05 - 4.09 t CO<sub>2</sub>), das ist ein Viertel der jährlichen pro Kopf Emissionen eines Menschen in Österreich.
- alle fünf Agroforstsysteme durch die Einschätzung von 10 Biodiversitäts-Expert:innen einen Vorteil für die Biodiversität bzw. Naturvielfalt im Vergleich zu einem Acker ohne Baumreihen haben, und zwar zwischen 1.7 Punkte und 10.7 Punkte von max. möglichen 15 Punkten.
- alle fünf Agroforstsysteme auch eine Möglichkeit für die Betriebe darstellen, bei fortschreitender Klimakrise Nahrungsmittel produzieren zu können. Diese Form der Landwirtschaft ist also eine betriebliche Klimawandelanpassungs-Strategie, indem durch die Bäume 1) ein günstiges Kleinklima auf dem Feld geschaffen wird, 2) der Boden tiefer durchwurzelt ist und das Wasser besser halten kann, 3) wertvoller Humus im Boden aufgebaut werden kann, 4) Ökosystemdienstleistungen zur Verfügung gestellt werden können usw. Aufgrund der noch geringen Anzahl wissenschaftlicher Publikationen zu dem Thema, war es schwierig festzustellen, wie groß der Vorteil von Agroforstsystemen bei fortschreitender Klimakrise im Vergleich zur Ackerfläche ohne Baumreihen ist.

Alle fünf Agroforstsysteme wurden illustriert, um die wesentlichen Merkmale der AF-Typen auf den Punkt zu bringen und mit den Ergebnissen zu CO<sub>2</sub>-Bindung, Biodiversität und Klimawandelanpassung ergänzt.

Die Ergebnisse zeigen deutlich weiteren Forschungsbedarf zu Agroforstsystemen in Österreich auf. Weil Agroforstsysteme eine Wirkung auf viele Bereiche haben können (Boden, Wasser, Luft, Tiere, Pflanzen und Lebensräume) und daher Wissen aus vielen Disziplinen erforderlich ist (Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Ökologie, Landschaft, Gesellschaft, Wirtschaft, Recht, ...), ist es äußerst sinnvoll

---

<sup>1</sup> Im Projekt sind es Ackerkulturen. Es gibt auch Agroforstsysteme auf Wiesen und Weiden.

verschiedene Fachrichtungen miteinander arbeiten zu lassen. Vor allem die Erforschung der Agroforstsysteme als betriebliche Anpassungsstrategie an die Klimakrise und der Zusammenhang zur Biodiversität sind wichtige Aufgaben für die Zukunft, weil Agroforstsysteme einen Beitrag zur Bewältigung dieser Krisen leisten können. Es wird daher vorgeschlagen, Anreize für die praktische Umsetzung von multifunktionalen Agroforstsystemen (im Förderwesen) zu schaffen.

## A-2 Abstract

Agroforestry systems represent a specific form of agriculture in which two different crops are cultivated simultaneously on a single area. Both crops are harvested and include on the one hand, a common arable<sup>2</sup> crop such as cereals, vegetables, sunflowers, rapeseed, etc., and on the other hand, rows of trees with large deciduous tree species such as those found in forests and/or fruit trees including apple trees, walnut trees, etc. In order to cultivate these agroforestry systems in a modern manner with large machines, trees are planted in regular rows at a distance of 30m or more and have a high trunk, enabling the tractor and other agricultural machines to drive in close proximity (approximately 1m distance) to the trees without damaging branches. Furthermore, the arable crop and the rows of trees not only enable diverse harvests, but also interactions between crops and trees. Interactions above ground include shade, wind breaks and habitats, while below ground roots, nutrients and the water balance are in interaction.

The aim of the project is to present five different exemplary agroforestry systems, calculate the amount of CO<sub>2</sub> the trees can bind, assess the impact agroforestry systems have on biodiversity, and clarify the extent to which agroforestry systems can be an adaptation to the climate crisis.

The findings of the StartClim project show that

- Five different agroforestry systems provide only a rough insight into the overall diversity of all agroforestry systems existing in practice in arable farming areas in Austria (in addition, there are also agroforestry systems on meadows and pastures).
- All agroforestry systems bind CO<sub>2</sub> (an important greenhouse gas) from the atmosphere, thereby reducing greenhouse gases. The mean sequestration rate was 2.27 tons of CO<sub>2</sub> per hectare and year (1.05 -4.09 tons of CO<sub>2</sub>), which is a quarter of the per capita emissions of one person in Austria.
- All five agroforestry systems exhibited greater biodiversity or natural diversity compared to a field without tree rows. Assessed by 10 biodiversity experts, diversity was rated between 1.7 and 10.7 points (out of a maximum possible of 15 points).
- All five agroforestry systems represent an opportunity for farms to produce food as the climate crisis progresses. Agroforestry systems are a concrete climate change adaptation strategy, where 1) trees create a favourable microclimate in the field, 2) the soil is more deeply rooted, retaining water more efficiently, 3) valuable humus can be built up in the soil, 4) ecosystem services were provided, etc. However, it was very difficult to determine, based on the available scientific publications, how great of an advantage agroforestry systems have compared to arable land without tree rows as the climate crisis progresses.

All five agroforestry systems were illustrated and supplemented with the results on CO<sub>2</sub> sequestration, biodiversity and climate change adaptation.

The results clearly show a need for further research into agroforestry systems in Austria. It is extremely useful work transdisciplinary, as agroforestry systems impact many fields (soil, water, air, animals, plants and habitats) and require knowledge from many disciplines (agriculture, forestry, ecology, landscape, society, economics, law, ...). Above all, agroforestry systems have the potential to contribute to alleviating the crisis of climate change and biodiversity loss. Therefore, incentives for the practical implementation of multifunctional agroforestry systems (such as subsidies) are suggested.

---

<sup>2</sup> In the project, these are arable crops. There are also agroforestry systems on meadows and pastures.

## A-3 Einleitung und Problemstellung

Agroforst bedeutet die Kultivierung von Bäumen auf einem Acker- oder Grünlandschlag, wobei beide Kulturen gepflegt, genutzt und geerntet werden und miteinander interagieren. Moderne Agroforstsysteme (AFS) sind eine Möglichkeit in der Landwirtschaft, mit nur einer langfristigen, gut geplanten Maßnahme den vielfältigen, aktuellen Herausforderungen entgegenzutreten (Klimakrise, Biodiversitätsverluste, Erosion, Grundwasserschutz...). Dementsprechend steigt die Nachfrage der Landwirt:innen nach modernen Ansätzen dieser multifunktionalen Anbausysteme.

Agroforstsysteme können sowohl eine Form der klimawandelangepassten Landnutzung darstellen (u.a. Reduzierung von Hitzestress durch Änderung des Mikroklimas), als auch zur Reduzierung der Treibhausgase beitragen (CO<sub>2</sub>-Speicherung in der Holzbiomasse und im Boden). Die Strukturierung der Landschaft durch die Bäume in Agroforstsystemen hat eine biodiversitätsfördernde Wirkung, ohne dabei die Fläche außer Nutzung zu stellen. Die Baumstreifen in Agroforstsystemen werden ebenfalls gepflegt und genutzt, jedoch anderes als der angrenzende Acker (oder Grünland). Da diese Maßnahme ein hohes Potential an vorteilhaften Auswirkungen haben, ist es verwunderlich, dass Agroforst kaum in der landwirtschaftlichen Praxis, bei den Konsument:innen oder Entscheidungstragenden angekommen ist. Das Projekt soll ein Impuls sein, um relevante Informationen zusammenzutragen, neue Erkenntnisse zu generieren und die Ergebnisse leicht verständlich darzustellen.

Agroforstsysteme, im Sinne von Baumstreifen am Acker (Alley-Cropping), bieten viel Gestaltungsspielraum bei ihrer Umsetzung: Baumarten, Standzeit der Bäume, Baumdichten pro Hektar, Management der Baumstreifen und des Unterwuchses, Ziele die mit AFS von/m Betriebsleiter:innen verfolgt werden, usw. Diese Vielfalt kann anfangs zu Verwirrungen, unterschiedlichen Bildern im Kopf und mitunter vielleicht auch zu widersprüchlichen Einschätzungen durch Praktiker:innen, Wissenschaftler:innen, Entscheidungsträger:innen und Konsument:innen führen.

Das Projekt will die sehr hohe Bandbreite an Ausgestaltungen von Agroforstsystemen in der Praxis klassifizieren und mit Erkenntnissen aus der Literatur und neuen Einschätzungen von Expert:innen aus Österreich zu einem geordneten System vervollständigen. Einerseits durch eine Abschätzung ihres CO<sub>2</sub>-Bindungspotentials in der oberirdischen Holzbiomasse und andererseits durch eine Kategorisierung ihres biodiversitätssteigernden Nutzens. Außerdem wird ihre Wirksamkeit als Klimawandelanpassungsmaßnahme in Ackergebieten theoretisch abgehandelt. Die gewonnenen Erkenntnisse stellen der interessierten Bevölkerung eine Vorstellung von Agroforstsystemen zur Verfügung und bieten Entscheidungstragenden in Österreich eine erste Grundlage zu dieser komplexen Querschnittsthematik (Landwirtschaft, Holzproduktion, Klima, Wasser, Luft, Boden, Landschaft, ...) aufgrund von systematisch zusammengetragenen wissenschaftlichen Erkenntnissen.

## A-4 Methoden

### A-4.1 Allgemeine Definitionen und Geltungsbereich

Die Bewertungen der Agroforstsysteme (AFS) hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Bindungspotential, Biodiversitätspotential und Eignung als betriebliche Klimawandelanpassungsmaßnahme wird anhand von **fünf** verschiedenen, klar **definierten, silvoarablen<sup>3</sup> Agroforst-Typen (AF-Typen)** vorgenommen. Silvopastorale AFS (AFS auf Grünland oder anderen Weideflächen) wurden bei der Betrachtung ausgeschlossen, weil zB Streuobstwiesen, als weit verbreitetes silvopastorales System in Österreich, wissenschaftlich vergleichsweise gut untersucht sind und in der Bevölkerung gut wahrgenommen werden. Weiters hat die Beweidung einen großen Effekt auf zB. Biodiversität, der nur schwierig mit Ackerflächen vergleichbar ist. Hinzukommt, dass der Umweltdruck und daher die Dringlichkeit zum Handeln gerade in ackerbaulich geprägten Regionen sehr groß ist (zB: Kay et al. 2019a).

Bei der Auswahl, welche AF-Typen bewertet werden sollen und können, war die Relevanz für Österreich (kommt in Österreich vor<sup>4</sup> und ist von vielen Ackerbaubetrieben realisierbar) sowie die große Bandbreite der Ausgestaltung (möglichst hohe Verschiedenartigkeit) ausschlaggebend. Weiters wurden die AF-Typen hinsichtlich ihrer Gehölz-Komponente definiert und nicht über die Acker-Bewirtschaftung, die bei allen AFS gleich angenommen wurde (siehe auch Auflistung unten). Die Auswahl der AFS-Typen erfolgte also modellhaft anhand ihrer Häufigkeit in Österreich und nicht aufgrund einer speziellen Fläche eines exemplarischen Betriebes.

#### Folgende Kriterien wurden für die Definition der AF-Typen festgelegt:

- Ausschlusskriterien im Projekt
  - AFS im Wald sind ausgeschlossen (Waldweide, Hutweide), da die Unterschiede der Ökosysteme Wald vs. Acker zu groß sind und nicht vergleichbar sind.
  - AFS im Grünland ausgeschlossen (Vergl. Streuobst), da Datenlage im Grünland gut und vergleichsweise wissenschaftlich gut untersucht.
  - Beweidung, da Effekt der Beweidung groß und im Rahmen des Projekts nicht verglichen werden kann.
- Konstanten im Projekt
  - Pflanzdesign
    - Alley-cropping Systeme (Baumstreifen in regelmäßigem Abstand)
    - Baumstreifenbreite: immer 2m
    - Abstand der Baumreihen = Ackerfläche zwischen den Baumreihen: 30m
    - Nord-Süd Ausrichtung der Baumstreifen
    - Reifes AFS, erwachsene Bäume (nicht junges AFS, nicht überaltertes AFS)
    - Großfläche Umsetzung auf etwa 40ha

<sup>3</sup> AFS auf Ackerflächen

<sup>4</sup> Datengrundlage: FiBL Datenbank der AFS in Österreich

- Bewirtschaftung
  - Übliche Ackerbewirtschaftung (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, ...)
  - Ebene Fläche (keine Hanglage)
  - im Baumstreifen: kein Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteleinsatz, keine Einsaat, ~2-mal jährlich mulchen/mähen
- Standort
  - Niederschlag: 600-800mm,
  - 200-400 Höhenmeter
- gute Bodenverhältnisse (Ackerzahl ~60 von 100)

Da es in Österreich nur sehr, sehr wenige ältere AFS gibt und aufgrund der Tatsache, dass Illustrationen die wesentlichen Merkmale besser auf den Punkt bringen als Fotos (zB. Escardó, 2022; Venâncio, 2022), wurden die fünf exemplarischen AFS-Typen von einer Graphikerin illustriert (siehe Kap. A-5, Abb. A-1: bis Abb. A-5:).

Die Illustrationen werden mit den Ergebnissen der drei Bewertungen ergänzt. Diese werden als Postkarte gedruckt und können als Freecard verteilt werden, um die interessierte Bevölkerung (Kund:innen von AF-Betrieben, Konsument:innen) in Kontakt mit Agroforst und den wissenschaftlichen Erkenntnissen dazu zu bringen, sowie Landwirt:innen weiter zu informieren. Die Illustrationen sind auch [hier downloadbar](#).

Ausblick: Weitere Ergebnisse z.B. hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Nitratauswaschung, Grundwasserneubildung, Erosion, Ästhetik in der Landschaft, etc. könnten in Folgeprojekten analog dem im beantragten Projekt entwickelten Schema auf den Illustrationen ergänzt werden.

#### A-4.2 Methode CO<sub>2</sub>-Bindungspotential von AFS

Die fünf definierten AF-Typen (siehe Kap. A-5 und Tab. A-5:) werden hinsichtlich ihres CO<sub>2</sub>-Bindungspotentials analysiert (siehe auch Markut & Siegl, 2022). Dabei werden die Bestandsdichten (Bäume pro Hektar AFS) analog den definierten Konstanten (30m Abstand *zwischen* den Baumreihen) und den notwendigen Platz einer bestimmten Baumart (Abstand *in* der Baumreihe) berechnet. Es werden typische Standzeiten für die jeweiligen AF-Typen (Baumarten) angenommen und die Ergebnisse in t C bzw. t CO<sub>2</sub>eq pro Hektar und Jahr berechnet. Dabei wird die **oberirdische Baum-Biomasse des Derbholtzes**<sup>5</sup> berücksichtigt. Die unterirdische Baum-Biomasse beträgt etwa ein 1/4 der oberirdischen Baummasse (zB. IPCC 2006 Tab. 4.4.) und wurde hier nicht berücksichtigt, sowie andere Treibhausgas relevante Maßnahmen, wie zB:

- Kohlenstoff-Speicherung im Boden (siehe dazu Mayer et al., 2022, Shi et al., 2018),
- Extensivierung der Fläche und in Folge geringe N<sub>2</sub>O Emissionen pro Hektar,
- Erosionseffekte,
- Biomasseproduktion am Acker

Die Ergebnisse im vorliegenden Projektbericht sind daher **sehr konservative Zahlen und stellen die untere Grenze der möglichen CO<sub>2</sub>-Bindung** dar.

---

<sup>5</sup> Alle Holzteile des Baumes ab Astdurchmesser >7cm, kein Laub.

Es wurden vier verschiedene Baumarten berechnet, die sich aufgrund ihrer Wuchsform stark unterscheiden. Da der Wuchs innerhalb einer Baumart auch davon abhängt, ob der Baum sich in einem dichten Waldbestand entwickelt oder mehr oder weniger freistehend auf dem Feld, wurden Baumarten herangezogen, bei denen es gute Literatur für die Berechnung des Derbholzes der Baumart in Agroforstsystemen gibt. Folgende Baumarten(gruppen) wurden einzeln berechnet je nach AF-Typ in verschiedenen Anteilen für die Berechnung pro Hektar zusammengesetzt.

- *Juglans regia* (Walnuss) nach Schindler et al. 2023a
- *Prunus avium* (Vogelkirsche) nach Schindler et al. 2023b
- *Populus* sp. nach Sheppard et al. 2024
- Streuobstbäume nach Wiedermann et al. 2022, Tab. 1, S1

Folgende C-Werte in Tab. A-1: wurden für die Berechnungen der oberirdischen Baum-Biomasse verwendet und mit den beschreibenden Parametern der AFS (Tab. A-6: Baumart und Anzahl pro Hektar) multipliziert, um die Ergebnisse pro Hektar AFS (nicht pro Hektar reiner Baumbestand) und pro Jahr (bzw. gesamter Standzeit) darzustellen.

**Tab. A-1:** Verwendete Werte für den gebundener Kohlenstoff in der oberirdischen Biomasse (Derbholz).

Baum	t C pro Baum	angestrebter BHD [cm]	Standzeit [Jahre]
Obstbaum (Streuobst)	0.347	34	40
<i>Juglans regia</i> (Walnuss)	2.059	60	60
<i>Prunus avium</i> (Vogelkirsche)	0.454	40	50
<i>Populus</i>	0.0275	15	6

Die Umrechnung von t Kohlenstoff zu t CO<sub>2</sub> erfolgte mit Multiplikation mit dem Umrechnungsfaktor 3.67 (Molekulargewicht C → CO<sub>2</sub>).

Der Substitutionseffekt von fossilen Energieträgern durch Hackschnitzelproduktion und -einsatz sowie der Substitutionseffekt von (Bau-) Materialien durch Holzprodukte wurde abgeschätzt.

### A-4.3 Methode Biodiversitätspotential von Agroforstsystemen

Die in diesem Projekt ausgewählten exemplarischen silvoarablen Agroforstsysteme (AFS) (Kap. A-5 und Tab. A-5): werden in diesem Arbeitspaket hinsichtlich des Biodiversitätspotentials mittels Befragung im Rahmen einer Expert:innenrunde eingestuft. Die involvierten Expert:innen sollen neben ihrer Biodiversitätsexpertise entweder umfassend oder spezialisiert auf relevante Organismengruppen (z.B.: Pflanzengesellschaften, Bodenmikroorganismen, Vögel) im besten Fall auch einen Bezug zu Land- oder Forstwirtschaft aufweisen.

Das Hauptziel der durchgeführten Expert:innenrunde war die Einschätzung und Klassifikation der Auswirkungen unterschiedlicher silvoarablen Agroforstsysteme auf die Biodiversität. Durch die modellhaften Agroforst (AF) Typen soll hierbei das systemhafte Gesamtbild betrachtet und vor allem die Unterschiede zwischen diesen AFS herausgearbeitet werden. Dadurch wird die vorhersehbare

Auswirkung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen (z.B.: bei der Habitatvielfalt) relativiert und die systemimmanenten Besonderheiten deutlicher.

Für die Expert:innenrunde (ExR) wurden zahlreiche ausgewiesene Biodiversitätsexpert:innen in Österreich angefragt, wobei schlussendlich 10 Teilnehmende aus unterschiedlichen österreichischen Institutionen und Fachbereichen teilgenommen haben (Auflistung in Tab. A-2:).

**Tab. A-2:** Institutionen und Fachbereiche der Biodiversitäts-Expert:innen.

<b>Institutionen</b>	Universität für Bodenkultur Wien, Universität Graz, Österreichische Gesellschaft für Herpetologie, Umweltbundesamt Österreich, Universität Wien, Koordinationsstelle für Fledermausschutz und -forschung in Österreich, selbständige Ökolog:innen, Forschungsinstitut für biologischen Landbau Österreich, BirdLife Österreich
<b>Fachbereiche</b>	Funktionelle Diversität, Ökologie, Boden, Mikroorganismen, Wildbiologie und Jagdwirtschaft, Reptilien, Vögel, Insekten, Landwirtschaft, Fledermäuse

Die Teilnehmer:innen erhielten zur Vorbereitung für die ExR aufbereitete relevante Informationen zu Agroforst (-systemen), weiterführende Quellen für eine weitere Auseinandersetzung mit diesem Thema sowie erste Anleitungen für die ExR Methode. Die Expert:innenrunde fand am 20. März in den Räumlichkeiten des FiBL Österreich in Wien statt. Eine Bewertung der vorausgewählten (modellhaften) AF-Typen wurde durch die Expert:innen durchgeführt und diskutiert. Die Ergebnisse und Erkenntnisse daraus bilden das Fundament der Projektergebnisse zu Biodiversitätspotentialen von AFS. Anhand der Gemeinsamkeiten (Konstanten) sowie der detaillierten Beschreibung der vorgelegten Agroforstsysteme (Kap. A-5 und Tab. A-5:) wurden verschiedene Indikatoren für das jeweilige Biodiversitätspotential (Tab. A-3:) im Vergleich zu einer üblichen Ackerfläche ohne Agroforst behandelt.

**Tab. A-3:** Beschreibung der Biodiversitätsindikatoren

Biodiversität Indikator	Beschreibung
Artenvielfalt Pflanzen	Anzahl verschiedener Pflanzenarten in einem Ökosystem
Artenvielfalt Tiere	Anzahl verschiedener Tierarten in einem Ökosystem
Artenvielfalt Mikroorganismen	Anzahl verschiedener Arten und -gruppen von Mikroorganismen in einem Ökosystem
Abundanz seltener bzw. rarer Arten	Vorkommen und Anzahl der Individuen seltener bzw. rarer Arten
Biotop- bzw. Habitatvielfalt	Vielfalt der Lebensräume in einem Ökosystem

Bei den Indikatoren zur Artenvielfalt wird immer die gesamte Organismengruppe berücksichtigt, sollten sich relevante Unterschiede in den dazugehörigen Gruppen ergeben, hatten die Expert:innen die Möglichkeit dies zusätzlich anzugeben.

Für die Bewertung der Biodiversitätswirkung der einzelnen AF-Typen im Vergleich zur ausschließlichen Ackerfläche wurde eine siebenteilige Skala angewendet. Einerseits wurde dadurch

angezeigt, ob ein Einfluss zu erwarten ist und andererseits, ob der Einfluss negativ oder positiv auf die jeweiligen Biodiversitätsindikatoren wirkt und dies in welcher Stärke (Tab. A-4:).

**Tab. A-4:** Bewertungsskala Einfluss auf die Biodiversität (-indikatoren)

Punkte	-3	-2	-1	0	1	2	3
<b>Bedeutung</b>	starker negativer Einfluss auf Biodiversitäts-Indikator	deutlich negativ	gering negativ	Kein Einfluss auf Biodiversitäts-Indikator	gering positiv	deutlich positiv	starker positiver Einfluss auf Biodiversitäts-Indikator

Die ExR erfolgte entlang eines iterativen Prozesses angelehnt an der Delphi Methode (Delbecq et al., 1975). Nach einem inhaltlichen Input sowie detaillierte Erklärungen zu Bewertungsmethode und – ablauf durch das Projektteam führte jeder der Expert:innen für sich die erste Bewertung durch. Die Ergebnisse daraus wurden zusammengeführt, dabei wurde das arithmetische Mittel aller Bewertungen zu einem Biodiversitätsindikator so wie die Standardabweichung der einzelnen Bewertungen. herangezogen. Darüber hinaus wurden Unsicherheiten geklärt und Bewertungsunterschiede bei einzelnen Indikatoren thematisiert und diskutiert. Bei diesem Schritt konnten die Expert:innen ihre eigenen Einstufungen überdenken und, wenn nachvollziehbar argumentiert, verändern. Das daraus schlussendlich entstandene „gemeinsames Bild der AF-Typen“ hinsichtlich ihres Biodiversitätspotentials wurde präsentiert und gemeinsam reflektiert.

#### A-4.4 Methode AFS als Klimawandelanpassungsmaßnahme

Die Wirksamkeit von AFS als betriebliche Klimawandelanpassungsmaßnahme wurde mittels Literaturrecherche analysiert. Schlagworte bei der Literatursuche waren in Kombination mit „agroforest“: erosion, wind reduction, hydrology, Water use efficiency, droughts, heat stress, floods, heavy/intense rain (precipitation, rainfall), microclimate, resilience, ecosystem service\*, ...

Ein wertvoller Anhaltspunkt und Ausgangspunkt für internationale wissenschaftliche Erkenntnisse waren die Kapitel 2.2 und 2.3. und 2.7 des EURAF Briefings#27 (Lawson et al., 2023). Im nationalen Kontext war die vorhandene Literatur zu Hecken hilfreich (zB. Aus den MUBIL-Versuchen: Gerersdorfer et al., 2011; Friedel et al., 2019) sowie die Gespräche mit Johannes Schantl vom Versuchswesen in der Steiermark, der eine AF-Versuchsfläche in Hardt angelegt hat und laufend Versuche durchführt (pers. Comm, 2023, Schantl et al. 2024; Drexler et al. 2024) sowie ein Gespräch mit Dr. Thomas Lindenthal, der an der BOKU Wien am Zentrum für Globalen Wandel und Nachhaltigkeit sowie am FiBL arbeitet und forscht (pers. comm, 2024).

Aus der gefundenen Literatur wurde ein Raster erstellt, um die vielfältigen Möglichkeiten der Anpassung an die Klimakrise zu sortieren. Es war aufgrund des Arbeitsaufwandes nicht Inhalt des Projekts, ein geeignetes Indikatorenset zusammenzustellen, entsprechende Sekundärdaten zu recherchieren oder Primärdaten zu erheben und ein Bewertungsmodell zu entwickeln.

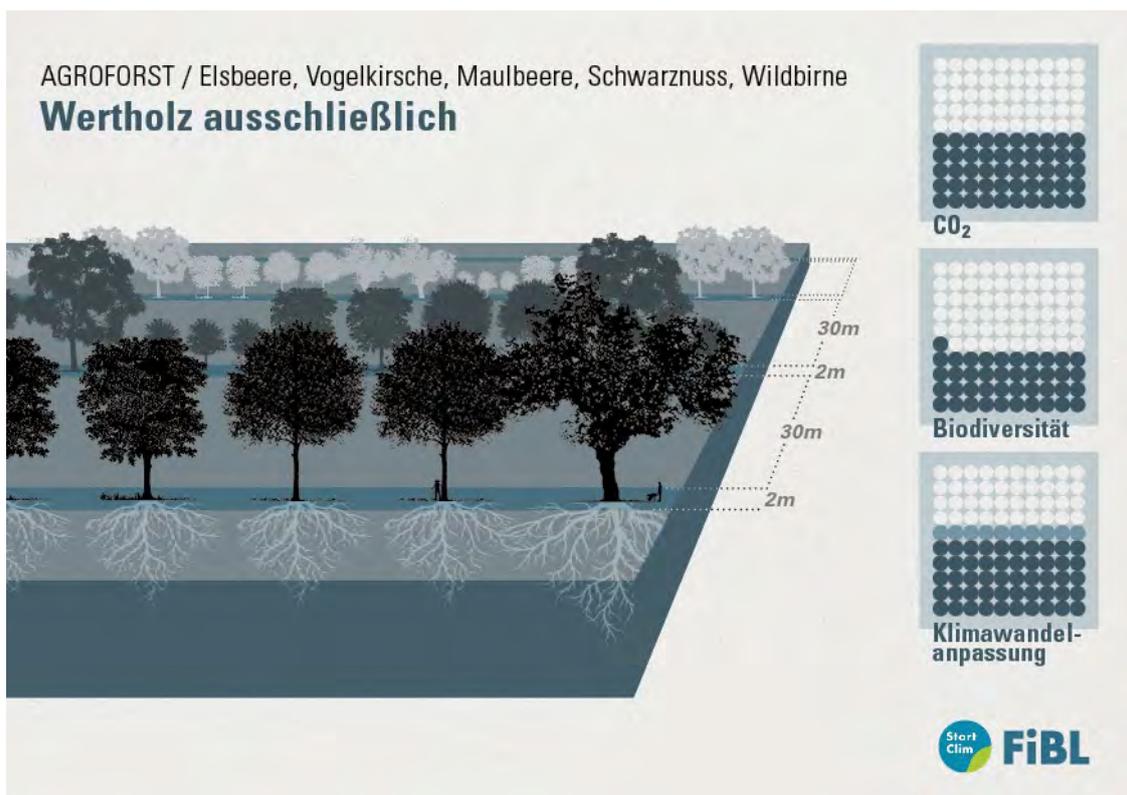
Die Bewertung erfolgte also aufgrund von Abschätzungen und ist daher mit Unsicherheiten zu betrachten.

## A-5 Ergebnisse

Folgende fünf AF-Typen wurden ausgewählt (Tab. A-5:), beschrieben und illustriert (Abb. A-1: bis Abb. A-5:).

**Tab. A-5:** Die fünf im Projekt definierten und bewerteten AF-Typen.

Nr.	AF-Typ	Baumarten, -gruppen
1	Wertholz ausschließlich	zB. Schwarznuss, Maulbeere, Sorbus Arten, Wildbirne,...
2	Wertholz mit möglicher Fruchtnutzung	zB. Walnuss, Esskastanie, andere Schalenfrüchte,...
3	Kurzumtriebsplantage (KUP)	Pappel
4	Frucht intensiv (Obst)	veredeltes Hochstamm Tafelobst: Apfel, Birne, Zwetschke,...
5	Mischsystem	Obst, Wertholz, Ammenbäume, ev. Sträucher dazwischen,...

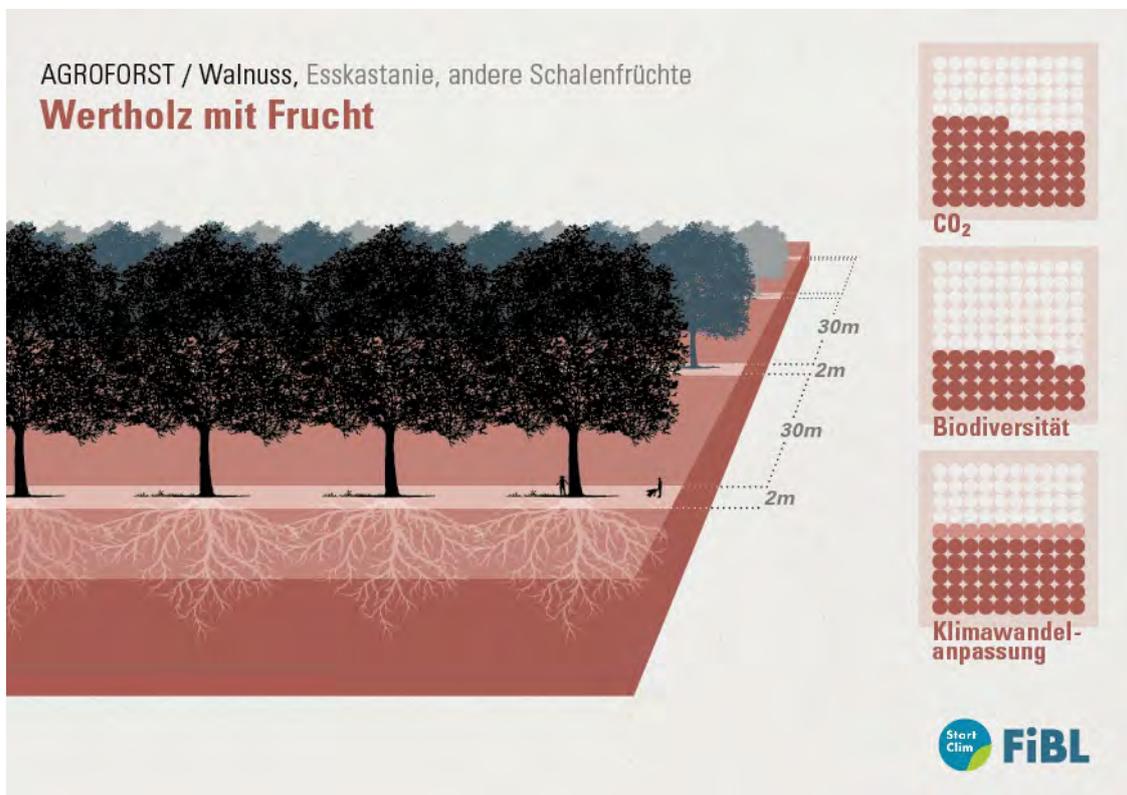


**Abb. A-1:** Illustriertes Agroforstsystem 1 "Wertholz ausschließlich" © Kristin Gyimesi.

Das Ziel des AF-Typs #1 "Wertholz ausschließlich" ist es, einen möglichst langen, geraden astfreien Stamm, einen großen Brusthöhendurchmesser (BHD) und gute Qualität zu erzielen (Abb. A-1:). Die Bäume werden daher hoch aufgeastet (mind. 4m), Zwiesel und Wasserreiser vermieden sowie für einen möglichst geraden Schaft Sorge getragen. Je nach eingesetzter Laubbaumart, werden die Baumabstände in der Reihe gewählt, wobei die Faustregel gilt:  $BHD \text{ (in dm)} * 2,5 = \text{Abstand (in m)}$ .

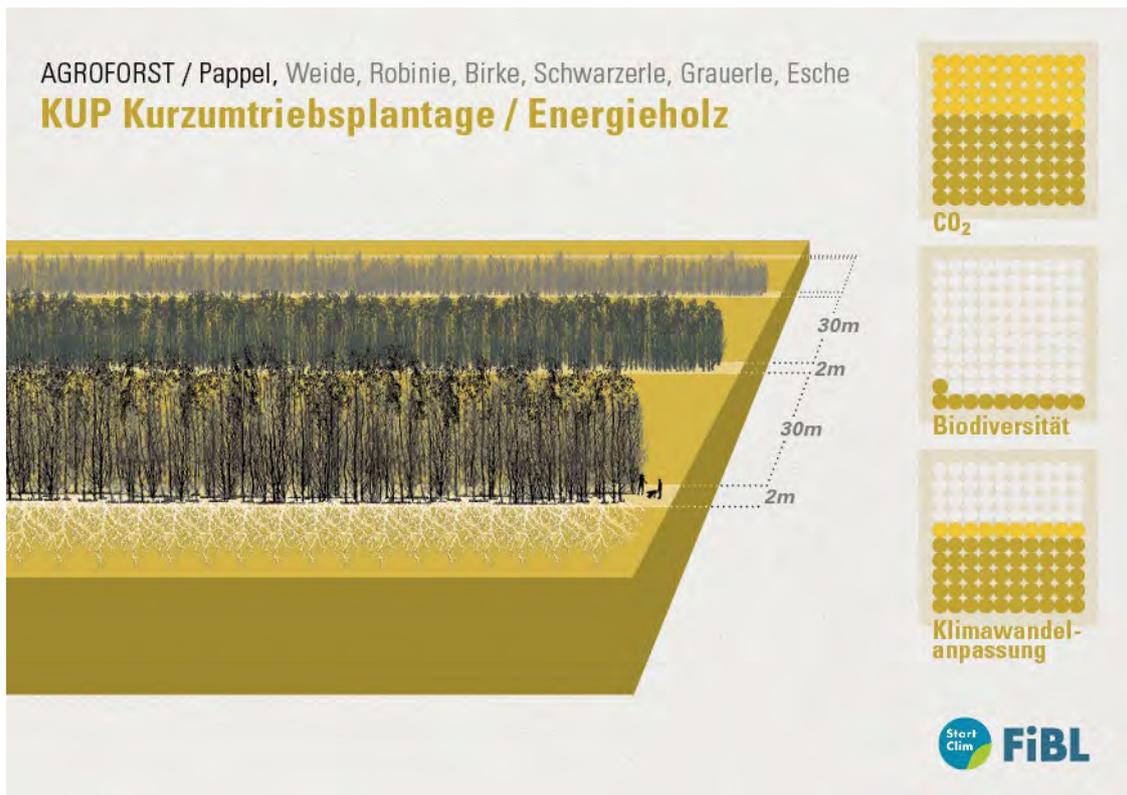
Wird zB ein BHD von 60cm angestrebt ergibt das einen Pflanzabstand von 15m ( $6\text{dm} \cdot 2,5 = 15\text{m}$ ) in der Reihe. Mögliche Arten für die agroforstliche Wertholzproduktion sind Walnuss, Schwarznuss, Elsbeere, Speierling, Vogelkirsche, Maulbeere, Wildbirne, Wildapfel, Schwarzerle, ... die artspezifischen Grenzen des Wachstums sind bei den Ziel-BHD und daher bei den Pflanzabständen in der Baumreihe zu berücksichtigen. Wenige bis mehrere Arten werden bei diesem AF-Typ auf einer AF-Fläche kombiniert. Umtriebszeiten von mehreren Jahrzehnten sind üblich (zB 60 Jahre).

Das Ziel des AF-Typs #2 "Wertholz mit Frucht" ist es, eine Doppelnutzung des Baumertrages zu versuchen, indem sowohl jährlich die Früchte (meist Schalenfrüchte) als auch am Ende des Umtriebs das Holz in guter Qualität geerntet wird (Abb. A-2:). Dabei wird ebenfalls der Stamm hoch aufgeastet und gleichzeitig beim Formschnitt auf eine große Baumkrone (wichtig für Fruchtansatz) geachtet. Aufgrund des Managementaufwands und Vermarktungsstrategien wird meist nur eine Baumart gewählt und somit ergibt sich ein gleichmäßiger (großer) Pflanzabstand in der Baumreihe. Typische Baumart für die Doppelnutzung ist die Walnuss. Umtriebszeiten von mehreren Jahrzehnten sind üblich (zB 40 oder 50 Jahre).



**Abb. A-2:** Illustriertes Agroforstsystem 2 "Wertholz mit (Schalen-) Frucht" © Kristin Gyimesi.

Das Ziel des AF-Typs #3 "Kurzumtrieb" ist es, Energieholz für die Hackschnitzelproduktion zu erzeugen (Abb. A-3:). Dazu werden in sehr dichtem Bestand meist die schnellwüchsigen, ausschlagfähigen Baumarten, meist Pappel, als Ruten oder Stecklinge ein- oder zweireihig gepflanzt. Es ergibt sich somit ein dichter, geschlossener, einförmiger Baumstreifen, mit sehr kurzen Umtriebszeiten von 4-7 Jahren.



**Abb. A-3:** Illustriertes Agroforstsystem 3 "Kurzumtrieb" © Kristin Gyimesi.

Das Ziel des AF-Typs #4 "Frucht intensiv" ist es, Früchte, meist Kernobst oder Steinobst zu produzieren (Abb. A-4:). Aufgrund des Wachstums dieser Bäume, wird in einem Abstand von etwa 7-8m in der Baumreihe gepflanzt und aufgrund der Überfahrt mit großen Traktoren direkt neben den Bäumen auf dem Acker auch möglichst hoch aufgeastet (Superhochstamm). Umtriebszeiten von mehreren Jahrzehnten sind üblich (zB 40 Jahre).

Das Ziel des AF-Typs #5 "Mischsystem" ist es, auch den Abstand zwischen den Bäumen in der Baumreihe auszunutzen und zusätzlich produzierende Strauchpflanzen zu etablieren, um eine große Vielfalt an Produkten zu erzielen (Abb. A-5:). Die Bäume bestehen aus Arten, die für die Fruchtnutzung und/oder Holznutzung geeignet sind und dazwischen werden zB. Beerensträucher (zB: Himbeeren) oder Zwergsträucher (zB Sanddorn) gepflanzt. Die Lebensdauer (Umtrieb) der Gehölze ist sehr unterschiedlich und daher gestaltet sich dieses System zeitlich sehr dynamisch.

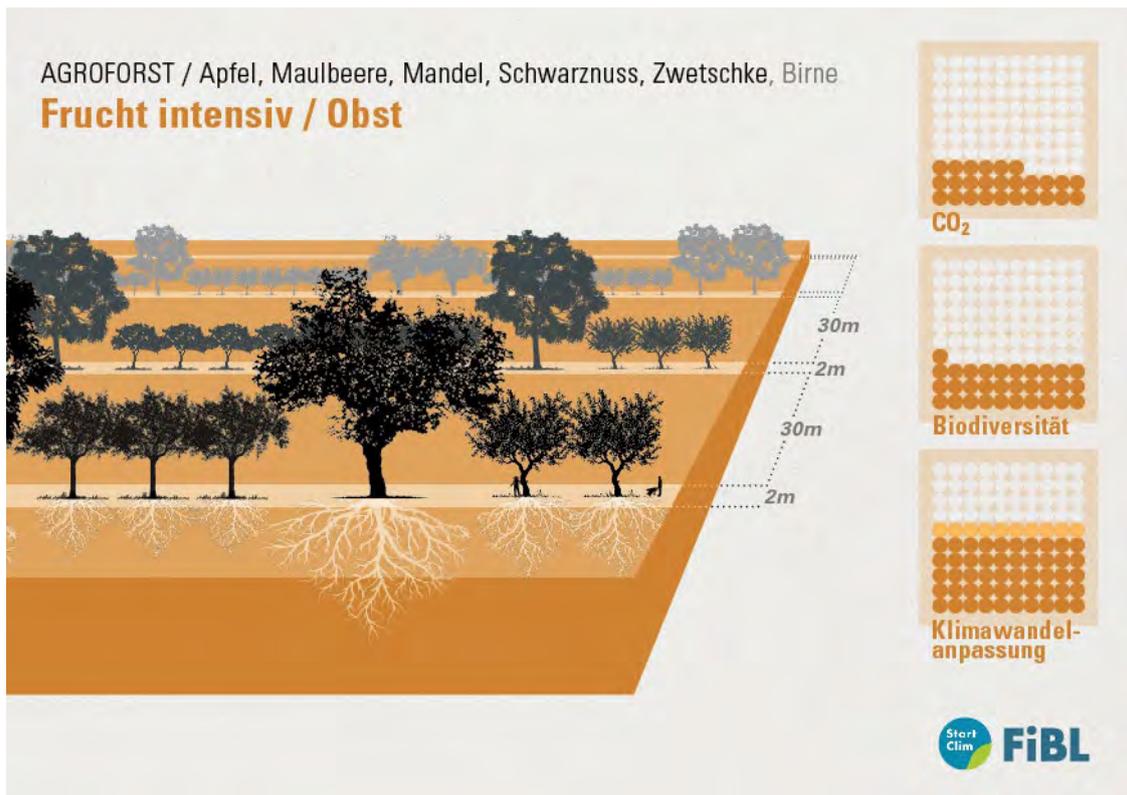


Abb. A-4: Illustriertes Agroforstsystem 4 "Frucht intensiv (Obst)" © Kristin Gyimesi.

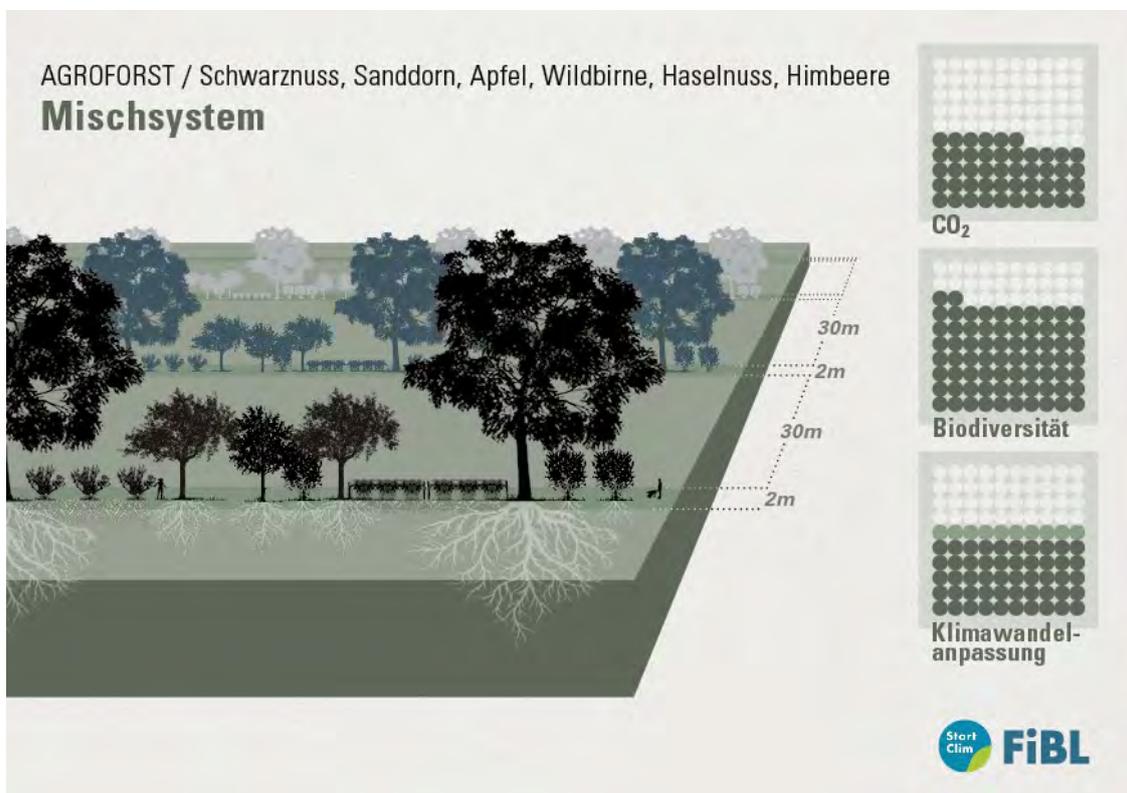


Abb. A-5: Illustriertes Agroforstsystem 5 "Mischsystem" © Kristin Gyimesi.

Aus den oben genannten Beschreibungen und der für alle AF-Typen gleichen Annahme, dass 3 Reihen pro ha mit jeweils 80m Länge (nicht 100m, da Platz für Gewende benötigt wird oder bei sehr langen Reihen, die Reihen unterbrochen werden, um Wege zu verkürzen) angelegt sind, ergeben sich die beschreibenden Parameter der verschiedenen AF-Typen (Tab. A-6):

**Tab. A-6:** Beschreibende Parameter der fünf AF-Typen.

Nr.	AF-Typ	Abstand Bäume in der Reihe	Anz. Bäume/Reihe	Bäume /ha	Umtriebszeit [Jahre]	Anmerkungen
1	Wertholz ausschließlich	13	7.2	21	60	große Bäume
2	Wertholz mit möglicher Fruchtnutzung	20	5.0	15	50	große Bäume
3	Kurzumtrieb (KUP)	1	81.0	243	7	Pappel
4	Frucht intensiv (Obst)	8	11.0	33	40	Obstbäume
5	Mischsystem	9	9.9	30	1/3: 60 1/3: 50 1/3: 40	1/3 große Bäume, 1/3 Obstbäume und 1/3 Vogelkirschen

### A-5.1 Ergebnisse CO<sub>2</sub>-Bindungspotential von AF-Typen

Die Ergebnisse des CO<sub>2</sub>-Bindungspotentials der fünf verschiedenen AF-Typen schwanken zwischen **1.05 t CO<sub>2</sub> pro Hektar und Jahr** (AF-Typ #4 Frucht intensiv) **und 4.09 t CO<sub>2</sub> pro ha und a** (AF-Typ #3 KUP). Pro Standzeit, die sehr unterschiedlich ist (zwischen 6 und 60 Jahren), hat der AF-Typ #3 KUP das geringste Bindungspotential (25t CO<sub>2</sub>) und der AF-Typ #1 Wertholz das höchste (120 tCO<sub>2</sub>). Alle Ergebnisse sind in Tab. A-7: gelistet.

Ein Vergleich zeigt das Potential von AFS auf: Eine Person in Österreich verursacht durchschnittlich etwa 9t CO<sub>2</sub>eq pro Jahr (UBA, 2021). Um die Erde nicht zu überfordern, stehen aber nur 2.3t CO<sub>2</sub>eq pro Person zur Verfügung, daher müssten 6.7t CO<sub>2</sub>eq pro Person gebunden werden. Das wäre mit 3.3 ha AFS möglich (Median aus den 5 AF-Typen im Projekt), wobei die Bäume nur etwa 5% der Agroforstfläche beanspruchen und weiterhin produktiv sind, u.a. auch für die menschliche Ernährung.

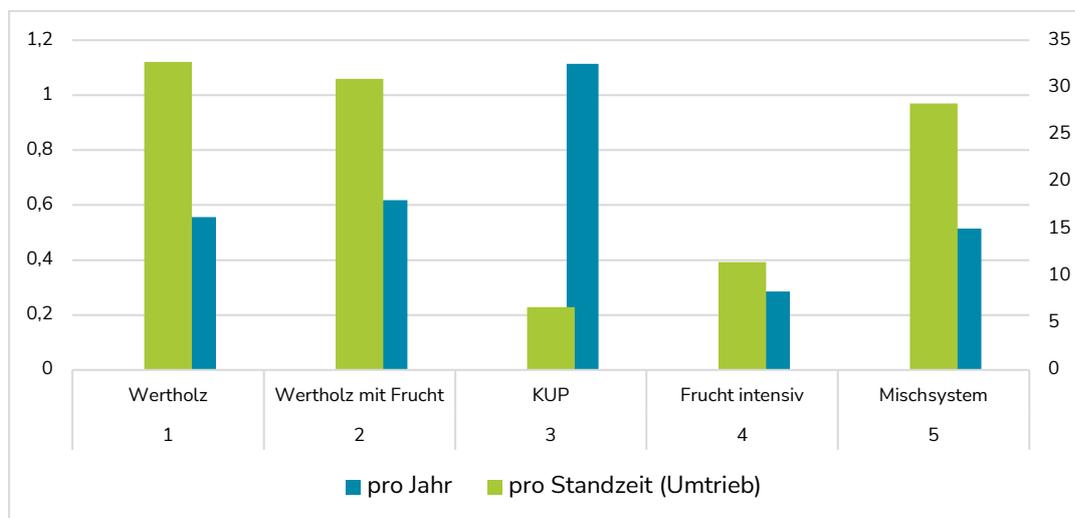
Ein anderer Vergleich aus dem Bereich Mobilität zeigt, dass die Menge an gespeichertem CO<sub>2</sub> pro Jahr in einem Hektar Agroforstsystem (Median an den fünf AF-Typen) gleichzusetzen ist mit den Treibhausgasemissionen einer etwa 1.100km langen Autofahrt mit einem EURO5 Diesel-Auto bzw. einer 40.000km langen Autofahrt mit einem Elektroauto (das entspricht in etwa dem Erdumfang).

Zusätzlich werden mit AFS weitere Umweltleistungen erbracht, die in Kap. A-5.2 (Biodiversität) und Kap. A-5.3 (Klimawandelanpassung) beschrieben werden.

**Tab. A-7:** CO<sub>2</sub>-Bindungspotential der AF-Typen.

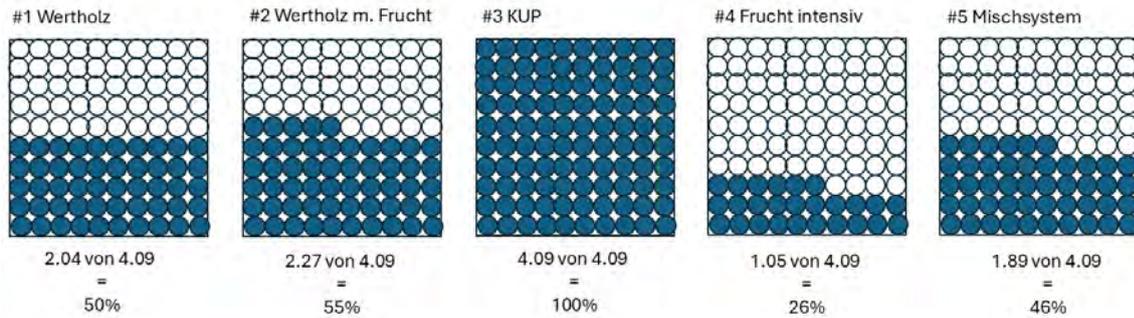
Nr	AF-Typ	t CO <sub>2</sub> Bindung pro ha und ges. Standzeit	t CO <sub>2</sub> Bindung pro ha und Jahr
1	Wertholz	120	2.04
2	Wertholz mit Frucht	113	2.27
3	KUP	25	4.09
4	Frucht intensiv	42	1.05
5	Mischsystem	104	1.89

Abb. A-6: stellt die Ergebnisse [t C] in einer Graphik dar: der AF-Typ #3 Kurzumtrieb hat zwar die höchste jährliche Kohlenstoffspeicherung pro Jahr (1.114 t C/ha AF/a) aber die geringste pro der kurzen Standzeit von 6 Jahren, wobei mehrere Umtriebe mit diesem System angestrebt werden. Die geringste jährliche Kohlenstoffspeicherung ist bei dem AF-Typ #4 Frucht intensiv zu verzeichnen (0.286 t C /ha AF/a), da aufgrund der kleineren Bäume weniger Kohlenstoff eingelagert wird, der durch engere Pflanzung in der Reihe und somit mehr Bäume pro ha nicht aufgeholt werden kann. Die anderen AF-Typen #1, 2 und 5 zeigen eine Kohlenstoffspeicherung in ähnlichen Größen: 0.515-0.618t C / ha AF /a.

**Abb. A-6:** In der oberirdischen Biomasse (Derbholz) gespeicherte Menge an Kohlenstoff [t C / ha AF] pro Jahr (blau, linke Achse) bzw. pro gesamter Standzeit (grün, rechte Achse).

Für die Ergebnisdarstellung auf den Illustrationen wird für die max. mögliche CO<sub>2</sub>-Bindung der AF-Typ mit dem größten Bindungspotential pro ha und Jahr herangezogen (Abb. A-7:). Das ist AF-Typ #3 KUP. Alle anderen AF-Typen werden relativ zum AF-Typ #3 KUP dargestellt.

Die geschätzte Unsicherheit der Ergebnisse ist in ihren Größenordnungen und Verhältnissen der AFS zueinander gering. Die Unsicherheiten der absoluten Zahlen sind aufgrund der Annahmen zu BHD und Standzeit höher.



**Abb. A-7:** Schematische Ergebnisdarstellung der CO<sub>2</sub>-Bindung der fünf verschiedenen AF-Typen.

Der Vergleich zwischen den AF-Typen, mit dem KUP System als max. möglich erreichbaren, sollte nicht so stehen bleiben, da die CO<sub>2</sub>-Bindung von KUP-Systemen nur von kurzer Dauer ist und nur zu einem Teil CO<sub>2</sub> reduzierend ist (Substitutionseffekt von fossilen Energieträgern durch Hackschnitzel). Der kurzzeitig gespeicherte Kohlenstoff gelangt durch Verbrennung der Hackschnitzel rasch wieder in die Atmosphäre, nur der Verdrängungseffekt (Substitution) von fossilen Energieträgern wäre ein dauerhafter reduzierender Effekt von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre. Ein solcher Energiesubstitutions-Effekt wurde überschlagsmäßig berechnet, indem das im AF-Typ #3 KUP gebundene CO<sub>2</sub> in den Heizwert umgerechnet wurde. Die CO<sub>2eq</sub> der Verbrennung pro kWh für Hackschnitzel aus Weichholz (inkl. der biogenen Emissionen, also das was vorher im Holz gespeichert wurde) wird den CO<sub>2eq</sub> bei der Verbrennung von Erdgas pro kWh in einem eher kleinen Verbrenner gegenübergestellt. Die Berechnungsschritte und Zahlen sind in Tab. A-8: ersichtlich, wobei hier die Unsicherheiten mit jedem Berechnungsschritt steigen (Umrechnung gebundener Kohlenstoff in Schüttraummeter von Hackschnitzel; Heizwert abhängig vom Wassergehalt der Hackschnitzel,....)

**Tab. A-8:** Kennwerte Energie-Substitutionseffekt AF-Typ #3 KUP.

	AFS #3 KUP	Hackschni tzel	Erdgas	Anmerkungen
t C / Jahr / ha AFS	1.11			
t dm / Jahr / ha AFS	2.32			t C / t dm; Faktor 1/0.48 (UBA 2021; IPCC 2006 Tab. 4.3.)
m <sup>3</sup> fm / Jahr / ha AFS	5.396			t / m <sup>3</sup> ; Faktor 1/0.43 ( Tab. 2 UBA 2000 (konservative Berechnung: Fichtenwert), bzw. IPCC 2006 Tab. 4.14)
m <sup>3</sup> Hackschnitzel (LK Stmk.) / Jahr / ha AFS	13.490			Faktor 2.5 (LK Steiermark, 2012)
kg Hackschnitzel / Jahr / ha AFS	3373			250kg / m <sup>3</sup> srm Hackschnitzel (230-250kg)
Heizwert kWh / 1m <sup>3</sup> srm Hackschnitzel Pappel	667			LK Steiermark, 2012
Heizwert kWh / ha AFS	8993			Heizwert von Pappeln aus einem ha AFS #3 KUP
kg CO <sub>2</sub> eq/kWh		0.024	0.280	ecoinvent 3.9 Datensätze Heat, natural gas, at boiler modulating <100kW/RER und Heat, softwood chips from forest, at furnace 50kW/CH
kg CO <sub>2</sub> eq /kWh Heizwert (ohne Biogene Emissionen)		213	2516	
kg CO <sub>2</sub> eq /kWh Heizwert (mit Biogenen Emissionen)	4087	4300	2517	
<b>Substitution durch fossile Energieträger (Wärme mit Erdgas)</b>		<b>59%</b>		

Bei der Verbrennung von Hackschnitzel werden also 59% der Emissionen eingespart im Vergleich zur Verbrennung der gleichen Menge Energie (Heizwert) von Erdgas<sup>6</sup>. Dieser Sachverhalt wird auch in den Illustrationen Rechnung getragen, indem die CO<sub>2</sub>-Bindung und der Substitutionseffekt von fossilen Energieträgern (Wärme in Form von Erdgas) farblich differenziert dargestellt wird (Abb. A-3:).

Bei allen anderen AF-Typen ist die Umtriebszeit viel länger, daher die Speicherung von Kohlenstoff in der Holzbiomasse länger und somit ist das CO<sub>2</sub> zumindest für diesen längeren Zeitraum der Atmosphäre entzogen. Es wird davon ausgegangen, dass das Holz von Edelholzarten nicht verbrannt, sondern Großteiles zu langlebigen Produkten verarbeitet wird (Baustoff, Konstruktionsholz, Möbel, ....) und somit der gespeicherte Kohlenstoff längerfristig (oder dauerhaft) der Atmosphäre entzogen wird (siehe dazu auch Tsonkova & Böhm, 2019). Für die Materialsubstitution geben Sathre & O'Connor

<sup>6</sup> Im Falle der Substitution von Heizöl durch Hackschnitzel, wäre der Effekt noch größer, nämlich 72%.

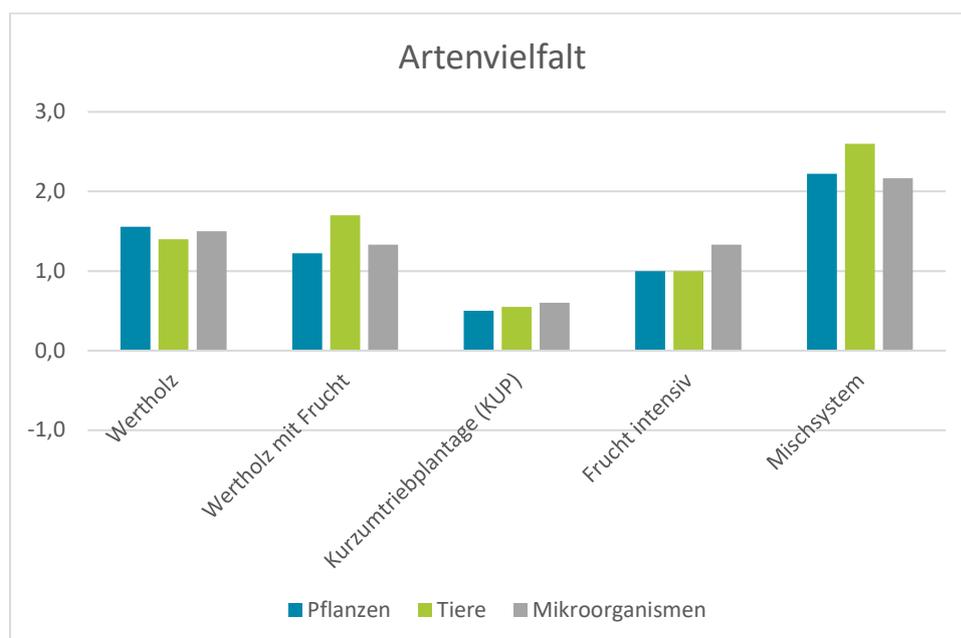
(2010) einen durchschnittlichen Verdrängungsfaktor (Emissionsreduzierung) von 2.1 pro t C Holzprodukt (Verdrängungsfaktoren von -2.3 bis 15, wobei die meisten im Bereich von 1.0 bis 3.0 liegen), was bedeutet, dass für jede t C an Holzprodukten, die anstelle von Nichte-Holzprodukten ersetzt werden, eine durchschnittliche Verringerung der Treibhausgasemissionen um etwa 2.1 t C erfolgt. In anderen Einheiten ausgedrückt entspricht dieser Wert einer Emissionsreduzierung von etwa 3.9 t CO<sub>2eq</sub> pro ofengetrockneter t Holzprodukt oder 1.9 t CO<sub>2eq</sub> pro m<sup>3</sup> Holzprodukt (Sathre & O'Connor, 2010). Daher wird bei allen anderen untersuchten AF-Typen (# 1, 2, 4, 5) davon ausgegangen, dass das in der Holzbiomasse gebundene CO<sub>2</sub> auch langfristig der Atmosphäre entzogen wird, da der Materialverdrängungseffekt (Materialsubstitution) sehr hoch ist und am Ende des Lebenszyklus zusätzlich noch eine Energiesubstitution in der Größenordnung von AF-Typ #3 KUP stattfinden kann. Die Darstellung der Ergebnisse der AF-Typen # 1, 2, 4, 5 erfolgt also ohne farbliche Differenzierung, da durch die CO<sub>2</sub> Bindung der Bäume und deren Verwendung das CO<sub>2</sub> dauerhaft der Atmosphäre entzogen wird.

### A-5.2 Ergebnisse Biodiversitätspotential von AF-Typen

Die Klassifizierung der fünf AF-Typen bezüglich ihres Biodiversitätspotentials setzt sich gleichermaßen aus den Bewertungen der einzelnen Biodiversitätsindikatoren zusammen:

#### Artenvielfalt

Sowohl bei der Artenvielfalt bei Pflanzen, Tieren als auch bei Mikroorganismen wurde der AF-Typ "Mischsystem" von den Expert:innen mit dem deutlich positivsten Einfluss bewertet (Abb. A-8:). Mit einem Durchschnittswert von 2.6 erreichte dabei die Artenvielfalt der Tiere den höchsten Wert. Alle drei Organismengruppen zeigten eine ähnliche Bewertungshöhe innerhalb der Agroforstsysteme. Bei den AF-Typen #1 "Wertholz", #2 "Wertholz mit Frucht" und #4 "Frucht intensiv" wurde für die Artenvielfalt ein gering positiver Einfluss angerechnet. Der leicht positive Einfluss durch AF-Typ #3 "Kurzumtriebsplantage" kann hingegen als kein Einfluss auf diese Biodiversitätsindikatoren beurteilt werden.



**Abb. A-8:** Bewertungsergebnisse der fünf AF-Typen zu den Biodiversitätsindikatoren Artenvielfalt von Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen. Erklärung zu Bewertungsskala siehe Tab. A-4:.

Bezüglich des AF-Typ #4“Frucht intensiv” wiesen die Expertinnen darauf hin, dass hier von einer intensiven Kultivierung der Obstbäume ausgegangen wurde. Durch den im konventionellen Erwerbsobstbau üblichen Pestizideinsatz (v.a. Insektizide, Herbizide, Fungizide) ergibt sich als Beispiel ein erwiesenermaßen negativer Einfluss auf die Artenvielfalt. Somit kam es zu einer leicht geringeren Einstufung dieses sowie des AF-Typen #2“Wertholz mit Frucht” im Vergleich zu dem AF-Typ #1“Wertholz”. Hervorgehoben wurde aber auch, dass bei einem z.B. vierzigjährigen Bestand von Wert- bzw. Edelholz auf einer Ackerfläche von einem deutlich positiven Einfluss auf die Artenvielfalt ausgegangen werden kann.

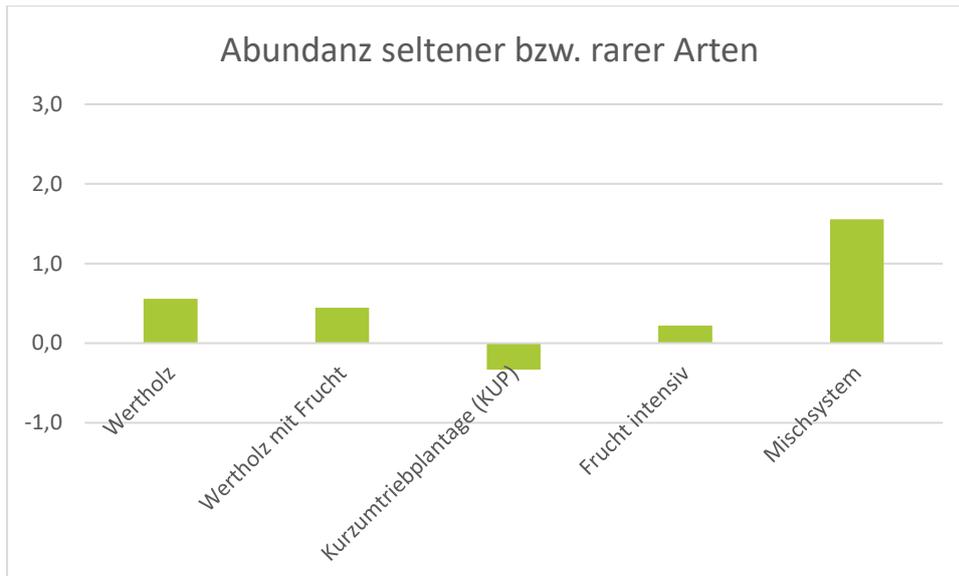
Varah et al. (2020, 2013) konnten viele positive Auswirkungen von silvoarablen AFS auf Bestäuber und die Bestäubung nachweisen. Die drei untersuchten Gruppen von Bestäubern wiesen dabei einen höheren Artenreichtum (insbesondere bei solitär-lebenden Bienen) und bessere Bestäubung als in der Vergleichsackerfläche auf.

Die Gestaltung und Bearbeitung des Unterwuchses der Bäume eines AFS wurde als weiterer in einer realen Agroforstanlage relevanter Faktor von den Expert:innen beurteilt. Auch durch die Pflanzdichte der Bäume kann es hier zu beachtlichen Unterschieden kommen, wie z.B.: bei der praxisüblichen engen Pflanzdichte bei Kurzumtriebsplantagen. Diesem AF-Typ wurde auch keine große Bedeutung für Vögel aufgrund der kurzen Standdauer der Bäume zugestanden. Nichtsdestotrotz kann jedoch auch dieser AF-Typ durch die erhöhte Strukturierung der Landschaft vorteilhaft für die Tierwelt (z.B.: als Wander-Korridor, zur Partnerfindung oder Reviererschließung) sein. Eine mögliche negative Auswirkung auf Vogelarten, die offene Landschaften bevorzugen, gilt es regional näher zu betrachten (siehe auch: Unseld et al., 2011 oder Hagist und Schürmann, 2021).

Durch die zu erwartende Steigerung von Mikrohabitaten auf Ackerflächen mit Agroforstsystemen ergeben sich für Mikroorganismen vielfältige Überlebensmöglichkeiten, wodurch von einer erhöhten Artenvielfalt in dieser Organismengruppe auszugehen ist. In der wissenschaftlichen Literatur zu silvoarablen AFS wird häufig von einem Vorteil für Bodenorganismen berichtet (z.B.: Cardinael et al., 2019). Die mikrobielle Biomasse, Diversität oder Aktivität kann in Agroforstsystemen und sogar in den dazwischen liegenden Ackerstreifen im Vergleich zu reinen Ackerflächen gesteigert werden (Beule & Karlovsky, 2021, Lacombe et al., 2009; Mungai et al., 2005). Diese vorteilhafte Auswirkung der AFS auf Bodenorganismen (z.B.: Bakterien, Pilze und Nematoden) kann auch die Stabilität des gesamten Ökosystems verbessern (Puskaric et al., 2021).

### Abundanz seltener bzw. rarer Arten

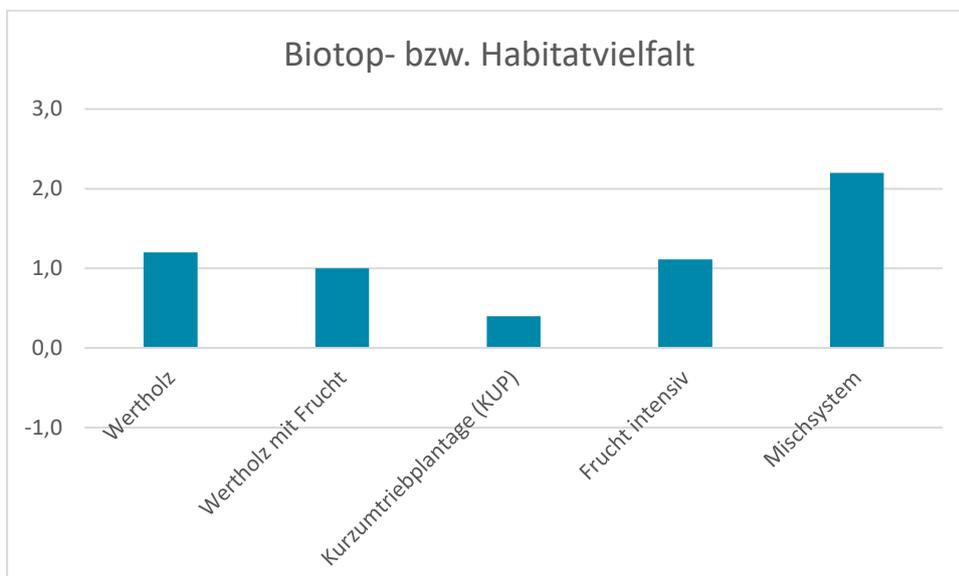
Die Abundanz (Anzahl der Individuen einer Art in einem Habitat) seltener beziehungsweise rarer Arten aller Organismengruppen wird von den fünf modellhaften AF-Typen den Expert:innen nach kaum bis nur leicht positiv beeinflusst (Abb. A-9:). Bei der AF-Typ #3“Kurzumtriebsplantage“ ergab sich im Durchschnittswert sogar ein leicht negativer Einfluss. Auch bei diesem Biodiversitätsindikator schnitt der AF-Typ #5“Mischsystem“ im Vergleich am besten ab, wenn auch nur mit einer leicht positiven Bewertung. Unter selten bzw. rar wurden anspruchsvolle und gefährdete Arten aller Organismengruppen verstanden. Bei diesen zumeist hoch spezialisierten Arten (Spezialisten) führt eine höhere Strukturierung der Landschaft nicht unbedingt zu mehr Individuen. Die positiven Auswirkungen von AFS allgemein auf die Biodiversität bedeuten somit nicht zwangsläufig eine spezielle, gezielte Förderung seltener oder gefährdeter Arten. Dies konnte bisher auch wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden, wobei sich nur sehr wenige Arbeiten diesem Thema annahmen (Kletty et al., 2023).



**Abb. A-9:** Bewertungsergebnisse der fünf AF-Typen zu dem Biodiversitätsindikator „Abundanz seltener bzw. rarer Arten“. Erklärung zu Bewertungsskala siehe Tab. A-4:.

### Biotop- bzw. Habitatvielfalt

Abseits der offenkundigen Etablierung eines neuen Lebensraums durch die Pflanzung von Bäumen auf Ackerflächen wurden von den Expert:innen Unterschiede zwischen den fünf AF-Typen bei der Biotop- und Habitatvielfalt identifiziert (Abb. A-10:). Im Gleichklang mit den Indikatoren der Artenvielfalt steht das #5 „Mischsystem“ an erster Stelle und die #3 „Kurzumtriebsplantage“ am anderen Ende der Bewertung. Die AF-Typen #1 „Wertholz“, #2 „Wertholz mit Frucht“ sowie #4 „Frucht intensiv“ haben einen beinahe gleich bewerteten, leicht positiven Einfluss auf die Biotop- bzw. Habitatvielfalt.



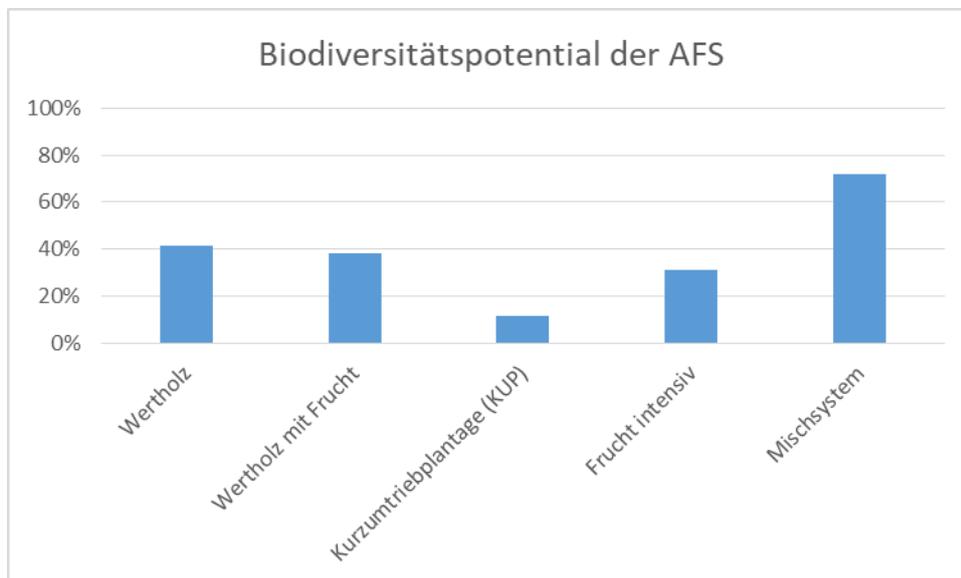
**Abb. A-10:** Bewertungsergebnisse der fünf AF-Typen zu dem Biodiversitätsindikator „Biotop- bzw. Habitatvielfalt“. Erklärung zu Bewertungsskala siehe Tab. A-4:.

Vielschichtige, artenreiche Agroforstsysteme wie zum Beispiel der Typ #5 „Mischsystem“ bieten nicht nur aufgrund dessen eine Vielzahl von möglichen Habitaten, sondern erweitern die Lebensräume im Vergleich zu reinen Ackerflächen generell durch eine permanente Vegetation (dadurch z.B.:

Überwinterungsmöglichkeiten (Boinot et al., 2019b; Bentrup et al., 2019)), naturnahe Lebensräume und geringere Störungen durch die Bewirtschaftung (z.B.: Bodenbearbeitung und Pestizideinsatz).

### Klassifizierung der fünf AF-Typen bezüglich ihres Biodiversitätspotentials

Die aus dem iterativen Prozess der Expert:innenrunde erstellten Werte für die jeweiligen fünf AF-Typen hinsichtlich der Biodiversitätsindikatoren Artenvielfalt (Pflanzen, Tiere, Mikroorganismen), Abundanz seltener bzw. rarer Arten sowie Habitat- bzw. Biotopvielfalt wurden für die Klassifizierung addiert, um so einen aggregierten und schnellen Überblick über das Biodiversitätspotential zu erhalten (Abb. A-11:). Diese Werte werden dann auch für die Ergebnisdarstellung auf den Illustrationen verwendet (Kap. A-5.3.1). Aufgrund der Anlehnung an einen Delphi Prozess ergeben sich für diese Resultate keine numerischen anzugebenden Unsicherheiten. Für eine Überprüfung ist eine Messung im Feld notwendig.



**Abb. A-11:** Aggregiertes Biodiversitätspotential der fünf AF-Typen als Ergebnis der Expert:innenrunde

Der AF-Typ #5“Mischsystem” erreicht ungefähr zwei Drittel der möglichen Punkte und weist somit das höchste Biodiversitätspotential der fünf AF-Typen auf. Die AF-Typen #1“Wertholz”, #2“Wertholz mit Frucht” sowie #4“Frucht intensiv” wurden unter der Hälfte eingestuft und zeigen im Verhältnis zueinanderstehend kaum Unterschiede. Das Biodiversitätspotential des AF-Typs #3“KUP” ist am geringsten ausgefallen bzw. erscheint kaum von Bedeutung. Da bei der Bewertungsskala auch negative Werte zur Verfügung standen, kann dennoch die Aussage getroffen werden, dass alle AF-Typen einen mehr oder weniger deutlichen positiven Einfluss auf die Biodiversität haben (Abb. A-11:). Dieses Ergebnis kann somit als Trend herangezogen werden, sollte aber aufgrund der modellhaften AF-Typen mit deren vorgegebenen Konstanten für real angelegte AFS im Detail nicht überinterpretiert werden. Regionale Gegebenheiten (z.B.: Klima, Boden, Topografie, Umfeld) sowie die Art der Bewirtschaftung und der Struktur sowohl der Baumfläche inkl. Unterwuchs (z.B. Breite der Baumreihe, Distanz dazwischen und Management) als auch der Ackerfläche sind hierfür zu beachtende Elemente, um das gegebene Biodiversitätspotential eines AFS zur Geltung zu bringen (siehe auch Abb. A-12:). Die aktuelle Literatur bearbeitete zumeist silvopastorale Systeme bzw. fokussierte auf spezielle Baumarten und Regionen und deren Eigenheiten (Kletty et al., 2023). Zukünftige wissenschaftliche Untersuchungen von silvoarablen AFS im regionalen Kontext werden die Möglichkeiten der Biodiversitätsförderung durch diese aufzeigen, konkretisieren und dadurch auch verbessern.



Abb. A-12: Wortwolke von Diskussionsbeiträgen während der Expert:innen-Runde

### A-5.3 Ergebnisse AFS als Klimawandelanpassungsmaßnahme

Die Fähigkeit, sich an die Herausforderungen der Klimakrise anzupassen, ist entscheidend für die Bewältigung von Klimavariabilität und -extremen. Agroforstpraktiken spielen dabei eine wichtige Rolle, indem sie helfen, potenzielle Schäden zu mindern, Chancen zu nutzen und mit den Auswirkungen umzugehen (Mosquera-Losada et al., 2017). Im Jahr 2018 stellte Hernandez-Morcillo et al. fest, dass Agroforstsysteme vor allem auf zwei Arten zur Anpassung beitragen können: durch die Verbesserung der Resilienz und/oder die Minderung von Gefahren. Weiterhin unterteilen Quandt et al. (2023) die Anpassungsfähigkeit von Agroforstsystemen in:

- Sozioökonomisch: Steigerung der Anpassungsfähigkeit und Reduzierung der Anfälligkeit, Unterstützung von Landwirten bei der Bewältigung von Risiken.
- Biophysikalisch: Erhöhung der Pufferkapazität des Agrarökosystems gegenüber extremen Wetterereignissen.

Die nachfolgende Tab. A-9: fasst beide Kategorisierungen zusammen, um einen klaren und allgemeinen Überblick über die Rolle von Agroforstsystemen bei der Anpassung an den Klimawandel zu geben.

**Tab. A-9:** Kategorisierung der Klimawandelanpassungsbereiche von AFS nach Quandt et al, 2023 und Hernandez-Morcillo et al., 2018.

	Resilienz verbessernd	Verminderung von Gefahren
Biophysikalisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der Habitatvielfalt</li> <li>• Erhöhung der strukturellen und funktionalen Diversität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verminderung der Auswirkungen von Wetterextremen</li> <li>• Verminderung von Stress für Pflanzen und Tiere</li> <li>• Bereitstellung von Wanderkorridoren für Wildtiere</li> </ul>
Sozio-ökonomisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Förderung der Möglichkeit zur Produktdiversität</li> <li>• Verbesserung der Produktqualität und -quantität</li> </ul>	

Während die Eigenschaften der Gefahrenminderung, die die Pufferkapazität des Systems erhöhen, auf verschiedenen biophysikalischen Stellschrauben beruhen, wird die Verbesserung der Resilienz hauptsächlich der Biodiversitätsförderung zugeschrieben (Mosquera-Losada et al., 2017). Letztere werden auch im Kap. A-5.2 dieses Berichts besprochen. In den folgenden Unterkapiteln werden wissenschaftliche Belege näher erläutert, die auf der Kategorisierung von Quandt et al. (2023) und Hernandez-Morcillo et al. (2018) basieren und die Bedeutung von Agroforstsystemen als Strategie zur Anpassung an den Klimawandel unterstreichen.

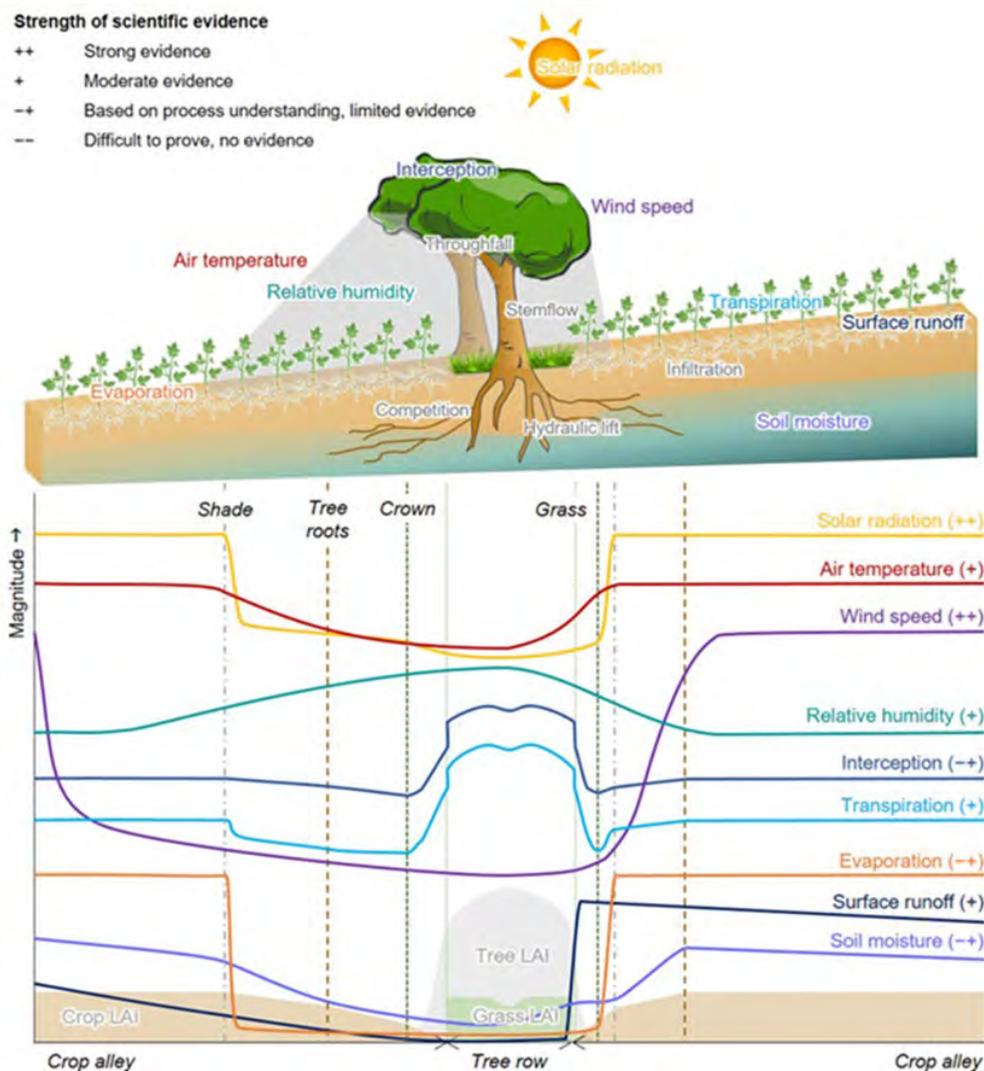
### ***A-5.3.1 Klimawandelanpassungen mit biophysikalischer und sozio-ökonomischer Wirkung***

Agroforstsysteme (AFS) bieten nicht nur eine Strategie zur betrieblichen Anpassung an die Klimakrise, indem sie die Nettoprimärproduktion (Biomasseproduktion) auf Agrarflächen erhöhen (Böhm et al., 2020b), sondern auch die Resilienz der Flächen und Betriebe steigern und gleichzeitig die Anfälligkeit für die Auswirkungen der Klimakrise reduzieren. Diese Eigenschaften sind weltweit anerkannt, unabhängig von der jeweiligen Klimazone (Lawson et al. 2023; Nair et al. 2021). Dieser Bericht soll jedoch genauer auf die Anpassungsfähigkeiten von AFS in gemäßigten Klimazonen eingehen, mit dem Ziel, sie als attraktive Methode für die betriebliche Anpassung an den Klimawandel in der österreichischen Agrarwirtschaft darzustellen. Deshalb werden in Tab. A-10: auf biophysikalischer und sozio-ökonomischer Ebene wissenschaftliche Belege für die Vorteile von AFS in Österreich zur Bewältigung der Klimakrise aufgezählt.

**Tab. A-10:** Wissenschaftlich Evidenz der Klimawandelanpassungsfähigkeiten von AFS

Biophysikalisch		Sozio-ökonomisch
Windschutz	Mikroklima	
Sie können zu einer Winderosion-Verringerung von bis zu 80% führen (Van Ramshorst et al., 2022)	Sie können die Evaporation von Wasser um 20%-40% reduzieren und somit Schutz vor extremer Trockenheit bieten (Kanzler & Böhm 2020).	Sie erhöhen die Resilienz des Systems, durch einen diversifizierten Anbau und eine effizienten Ressourcennutzung (Schoeneberger et al., 2012) wie z.B. von Stickstoff und Pflanzenschutzmittel (Lawson et al. 2023)
Sie bieten auch bei geringer Baumhöhe einen effektiven Windschutz (Böhm et al. 2014; Van Ramshorst et al., 2022, Drexler et al. 2024)	Sie können dazu beitragen, die Feuchtigkeit zu halten, die Evapotranspiration und damit den Wasserstress zu verringern und Dürren und Hitzewellen entgegenwirken (Jacobs et al., 2022)	Sie bieten Steigerung des wirtschaftlichen Nutzens unter extrem-Wetter. Bedingungen (Schoeneberger et al., 2012)
Sie können vor allem hohe Windgeschwindigkeiten wirksam senken und bieten somit: <ul style="list-style-type: none"> <li>•Schutz vor Bodenerosion</li> <li>•Erhalt der Bodenfruchtbarkeit</li> </ul> (Böhm et al., 2020, Oelke et al., 2013)		Sie wirken risikomindernd durch erhöhte Heterogenität des Feldes (Jacobs et al., 2022)

Ergänzend zur Tab. A-10: gibt Abb. A-13: von Jacobs et al. (2022) einen Überblick über die mikroklimatischen Parameter innerhalb eines AFS, ihre entsprechenden Gradienten, und die Stärke der wissenschaftlichen Evidenz, die sie begleitet. Es wird deutlich, dass Agroforstsysteme und ihre biophysikalischen Einflussgrößen stark an lokale Gegebenheiten gebunden sind, weshalb einige Aussagen schwer zu verallgemeinern sind. Viele der aufgezeigten Punkte zeigen unterschiedliche Wirkungen je nach Standort innerhalb der Anlage. Zum Beispiel ist die Nähe zum Baum entscheidend für die Reduktion der Evaporation (Kanzler & Böhm, 2020). Es ist ebenso wichtig zu bedenken, dass die Anpassungsfähigkeit des Systems stark von einer guten Umsetzung abhängt. Messwerte wie die zur Reduktion der Windgeschwindigkeit können nur erreicht werden, wenn das Design der Anlage an die Gegebenheiten vor Ort angepasst ist und alle relevanten Parameter berücksichtigt werden (Van Ramshorst et al., 2022, Umsetzungsempfehlungen siehe auch: Markut et al., 2022b).



**Abb. A-13:** Schematische Darstellung des Mikroklimas entlang eines Acker-Baum-Acker Transekts (Jacobs et al., 2022) „Schematische Darstellung eines Transekts senkrecht zu einer Baumreihe in einem Alley-cropping Systems, die potenziellen Gradienten im Mikroklima und in den Wasserhaushaltskomponenten entlang des Übergangs von der Baumreihe zum Ackerstreifen zeigt. Dieses konzeptionelle Modell basiert auf verfügbaren Erkenntnissen aus Agroforstsystemen in gemäßigten Breiten, kombiniert mit Prozessverständnis und Expertenwissen, je nach Stärke der verfügbaren Erkenntnisse. Die Stärke der Evidenz wird durch die Plus-/Minus-Zeichen hinter jedem Variablennamen angegeben. Das Ausmaß der Mikroklimatischenveränderungen, wie es in dieser Grafik dargestellt ist, ist zwischen den Variablen nicht vergleichbar“ Eigene Übersetzung, gekürzt.

## Erosion und AFS

Für Österreich wurde ein mittlerer jährlicher Bodenabtrag durch Wassererosion von 5.8 t/ha ermittelt (Strauss et al., 2020). Mit der gleichen Methode (RUSLE, revised universal soil loss equation) wurde von Crous-Duran et al. (2020) ein Rückgang der Bodenerosion in AFS um bis zu 25% simuliert (Yield-SAVE). Die Autor:innen berechnen für ein AFS in UK (wäre mit den österreichischen AF-Typen vergleichbar) eine Reduktion der Bodenerosion von 41 t Boden /ha (Acker) auf 30 t Boden /ha (AFS mit 39 Bäumen/ha). Natürlich sind diese Zahlen von vielen Faktoren abhängig, es zeigt aber die Größenordnung auf, dass AFS allein mit der Erosionsverminderung einen etwa 25% Vorteil bringen.

Hinzukommt die Winderosion: zusätzliche 3.7 t/ha/Jahr fruchtbarer Boden wird in Ostösterreich abgetragen (RWEQ Model, Scheper et al., 2021) der durch die windbremsende Wirkung von AFS zumindest teilweise auf der Fläche gehalten werden könnte.

## Humus und Kohlenstoff im Boden in AFS

In AFS ist die Bodenkohlenstoff-Sequestrierung (Humusbildung) aufgrund von größeren Kohlenstoff Inputs der Laubblätter, Wurzeln und Wurzelexudate der Bäume erhöht (Pardon et al. 2017, Nair et al. 2021 und andere). Andere Faktoren können die reduzierte Wind- und Wassererosion, reduzierte Bodenstörung (soil disturbance) und besserer physischer Schutz des organischen Materials durch Aggregatbildung sein (Mayer et al. 2022).

In nachhaltig bewirtschafteten Agroforstsystemen kehrt ein großer Teil des organischen Kohlenstoffs in Form von Ernterückständen und Laubstreu der Bäume in den Boden zurück. Diese Inputs können dazu beitragen, die organische Bodensubstanz (soil organic matter; SOM) zu stabilisieren und die Zersetzungsrate von Biomasse zu verringern, wodurch der Vorrat des organischen Kohlenstoffs im Boden (soil organic carbon; SOC) verbessert wird (DeStefano & Jacobson 2018). Zusammenfassend heißt das, dass Bäume einen positiven Effekt auf den Humusgehalt haben, dank höherer Inputs, Ablagerung in tiefere Bodenschichten und reduzierter Zersetzbarkeit des organischen Materials (siehe auch Quinkenstein & Kanzler 2018).

Die Humusbildung in AFS hängt stark von der Großklimaregion ab (Mayer et al., 2022; Feliciano et al., 2018) und innerhalb der gemäßigten Breiten spielen für die Effizienz der C-Speicherung im Boden die Bodenbeschaffenheit und das -management eine größere Rolle als das Klima (Wiesmeier et al., 2013), sowie der AF-Typ, der Ausgangswert des SOC-Gehalt im Boden und der Bodentyp (Hübner et al., 2021b). DeStefano & Jacobson, 2018 konnten in ihrer Meta-Analyse zu Kohlenstoffgehalten in Böden von über 250 Datensätzen aus 20 verschiedenen Ländern weltweit zeigen, dass die Humusgehalte bei der Umwandlung unterschiedlichster Landnutzungsformen in AFS um +13% zunehmen. Während die Zunahme sogar 25% beträgt, wenn nur die Landnutzungsänderung von Landwirtschaftlichen Flächen zu AF Flächen analysiert wird. Bei der Umwandlung von Agroforstsystemen (AFS) in Weideflächen ist kein Effekt auf den Kohlenstoffgehalt des Bodens zu beobachten. Dagegen führt die Umwandlung von Wald in AFS zu einem messbaren Humusverlust.

Shi et al., 2018 kommen bei ihrer Meta-Analyse von 427 Datenpaaren zu Kohlenstoffvorräten im Boden, Sequestrierungsprozessen und zukünftigen Potenzialen von AFS weltweit ebenfalls zu ähnlichen Ergebnissen: Sie fanden einen Unterschied von +19% in den Kohlenstoffvorräten von AFS in Vergleich zu Ackerland und Weide über die gesamte Bodentiefe von 1m, über alle Kontinente, alle AFS und alle Altersklassen. Auch für gemäßigte Gebiete und Europa konnten sie signifikant höhere Kohlenstoffvorräte in AFS feststellen. Eine positive Kohlenstoffspeicherung wurde in silvoarablen Systemen festgestellt, während in silvopastoralen Systemen die Kohlenstoff-Änderung im Boden auch negativ sein kann.

Zu ähnlichen, aber doch noch differenzierteren Ergebnissen kommen Drexler et al., 2021 bei ihren Untersuchungen von Kohlenstoffsequestrierung in Hecken in gemäßigten Gebieten. Sie konnten einen durchschnittlichen Anstieg der Humusgehalte unter Hecken im Vergleich zu Ackerland von 32% ( $\pm 23\%$ ) feststellen und keinen signifikanten Unterschied unter Hecken im Vergleich zu Grünland. Sie stellten zusätzlich fest, dass die Biomasse der Hecken in etwa jenen von Wäldern entspricht.

Feliciano et al., 2018 legen bei ihren Untersuchungen eine Zeitachse an und kommen zu dem Schluss, dass die oberirdische Kohlenstoffspeicherung pro Jahr in den ersten Jahren sehr hoch ist und sich dann auf einen  $\pm$  konstanten eher niedrigeren Wert einpendelt, während die Kohlenstoffspeicherung pro Jahr im Boden eine höhere Dynamik aufweist.

Pardon et al., 2017 legten den Fokus auf Untersuchungen zum Kohlenstoffgehalt im Boden in Abhängigkeit vom Alter der Bäume und der Entfernung zu den Bäumen. Sie konnten in ihrer Arbeit feststellen, dass signifikant höhere organische Kohlenstoff- und Bodennährstoffgehalte (N, P, K, Mg; Na) in der Nähe von Bäumen als auf dem Feld gefunden wurden, höchstwahrscheinlich aufgrund des Eingangs von Baumstreu und nährstoffangereichertem Wasser aus dem Kronendurchlass (für K und

Na). Der Einfluss der Baumreihe auf die Bodenverhältnisse ist mindestens bis zu 30m ins Feld zu beobachten. Der Effekt lässt sich erst bei mittleren bis alten AFS feststellen (ab 5 Jahre bis 49 Jahre).

Mayer et al. (2022) konnten in ihrer Meta-Analyse für gemäßigte Gebiete feststellen, dass trotz des insgesamt hohen Potenzials der gemäßigten Agroforstwirtschaft für die SOC-Sequestrierung einige Studien SOC-Verluste nach der Implementierung von AFS feststellten, die wahrscheinlich auf Bodenstörungen und Erosion während der Pflanzung zurückzuführen sind. Die Autor:innen führen weiters aus, dass die geschätzten SOC-Sequestrierungsraten im Bereich oder sogar über den Raten anderer prominenter Maßnahmen zum Aufbau von SOC auf landwirtschaftlichen Flächen liegen wie Zwischenfrüchten, verbesserten Fruchtfolgen oder ökologischem Landbau. Die Autor:innen weisen gleichzeitig auch auf die Multifunktionalität von AFS in gemäßigten Klimaregionen hin.

Im österreichischen Kontext gibt es keine Zahlen zur Kohlenstoffspeicherung in Böden in AFS.

Libohova et al., 2018 untersuchten den Zusammenhang zwischen Humusgehalt und Wasserhaltekapazität, der sehr komplex ist und Wechselwirkungen zwischen der Menge an SOM, der Partikelgröße, der Tonmineralogie, der Schüttdichte und anderen Faktoren beinhaltet. Sie fanden heraus, dass pro 1% Humusanreicherung (Gewichtsprozent) eine 1.5% bis 1.7% Zunahme der Wasserhaltekapazität (volumetrische Basis) bedeutet (für den Bereich 0-8% SOM). Das entspricht 10.800Liter Wasser pro % SOM-Erhöhung auf einer 0.4ha großen Fläche (15cm Bodenschicht).

In der Theorie können Agroforstsystemen weitere Anpassungsvorteile in Hinblick auf den Klimawandel zugeschrieben werden. Zum Beispiel

- einen Beitrag zur Bereitstellung von **Ökosystemdienstleistungen** (Torralba et al., 2016; Kay et al. 2019b). Diese sind jedoch häufig noch nicht ausreichend wissenschaftlich quantitativ belegt, weshalb sie im Zusammenhang mit AFS nicht konkret dargestellt werden können.
- Auch noch nicht vollständig geklärt sind **Synergien zwischen Klimawandelminderung und –adaptation**, wie z.B. im Bereich der Kohlenstoffspeicherung und Humusbildung (Quandt et al.2023). In AFS ist die Bodenkohlenstoff-Sequestrierung (Humusbildung) aufgrund von größeren Kohlenstoff Inputs der Laubblätter, Wurzeln und Wurzelexudate der Bäume erhöht (Pardon et al. 2017, Nair et al. 2021 und andere). Andere Faktoren können die reduzierte Wind- und Wassererosion, reduzierte Bodenstörung (soil disturbance) und besserer physischer Schutz des organischen Materials durch Aggregatbildung sein (Mayer et al. 2022).
- **Wasserhaushalt:** Durch den „hydraulic lift“ (hydraulic redistribution) durch die tiefer wurzelnden Bäume, kann Wasser aus tieferen Bodenschichten in höhere Bodenschichten umverlagert werden und steht den Pflanzen dort zur Verfügung (Bayala & Prieto, 2020). In Hanglagen verkürzen quer zum Hang gepflanzte Baumreihen die Hanglänge und das abfließende Regenwasser wird ebenso gebremst und im besten Fall auf der Fläche gehalten. Insbesondere bei AFS, die im sogenannten Key-Line-Design angelegt werden (entlang von Höhenlinien), entsteht ein Wasserlenkungseffekt und durch zusätzliche Gräben entlang der Baumreihen auch ein Wasserhalte-Effekt auf der Fläche.
- Erhöhte **Agro-Biodiversität erhöht die Resilienz** eines Betriebes und einer Region (Mosquera-Losarda et al. 2017, Kap. A-5.2).

Andere wichtige Klimawandelanpassungsmaßnahmen auf landwirtschaftlichen Flächen, die nicht durch AFS allein abgedeckt werden können:

- humusmehrende Bewirtschaftung u.a. durch Futterleguminosen, Begrünungen, organische Düngung (Festmist / Kompost),
- Vielfältige Fruchtfolgen mit möglichst ganzjähriger Bodenbedeckung (als Erosionsschutz und Humusaufbau, Verbesserung der Bodenstruktur, u.a. durch Tiefwurzler (z.B. Luzerne)
- Vermeidung von Bodenverdichtungen: nicht zu schwere Maschinen und richtige Bearbeitungszeitpunkte und Fruchtfolgegestaltung
- Biolandbau sowie ökologische Ausgleichsflächen
- Wassersparende Bodenbearbeitung: z.B. Mulchsaat, Direktsaat
- Bewässerungssparende Maßnahmen: Tröpfchenbewässerung, Precision Farming
- Trockenheits- und Hitze-robustere Sorten und Rassen entwickeln und anwenden

Es ist schwierig Strategien präzise zu formulieren und ihre Erfolge genau zu messen. Dennoch werden die zusammenhängenden Zusatznutzen und die Multifunktionalität als Vorteile für die zukünftige Entwicklung von AFS im Kontext der Klimakrise gesehen (Mayer et al., 2022; Hernandez-Morcillo et al., 2018).

Die Tab. A-10: sollte in Zukunft durch empirische Forschungsergebnisse ergänzt werden. Die fehlende Evidenz kann auf vier große Forschungslücken zurückzuführen sein (Quandt et al., 2023):

- Fehlende Langzeitstudien
- Fehlende Untersuchungen zu spezifischen extremen Wetterereignissen
- Fehlende Integration von biophysikalischen und sozioökonomischen Faktoren
- Begrenzte Forschung über Agroforstsysteme in gemäßigten Klimazonen

Es besteht Potenzial für zukünftige Forschung, um diese Lücken zu schließen und das Verständnis und die Anwendung von Agroforstsystemen weiter zu verbessern (Kap. A-6). Dadurch könnte die Agroforstwirtschaft verstärkt in politische Planungsprozesse zur betrieblichen Anpassung an den Klimawandel integriert werden. Die Beiträge, die Agroforstsysteme zur Anpassung an den Klimawandel leisten, wurden bereits auf globaler sowie nationaler Ebene anerkannt. Im IPCC-Sonderbericht von 2019 wurden AFS als eine von zwei Handlungsoptionen beschrieben, um der Desertifikation und Landdegradierung entgegenzuwirken, die Ernährungssicherheit zu gewährleisten und somit Klimawandelanpassung zu betreiben. Auch im österreichischen Projekt UniNETZ werden AFS als eine Option zur Erreichung der UN-Agenda 2030 für eine lebenswerte Zukunft angeführt, und ihr Beitrag zum Sustainable Development Goal (SDG) 15 "Leben an Land" wird hervorgehoben (Gratzer, 2022).

Wichtig ist zu beachten, dass auch diese Systeme an den Klimawandel angepasst werden müssen, um ihre Kapazität zur Risikovermeidung und Pufferung zu steigern. Zu diesem Zweck haben Schoeneberger et al., 2012 folgende Ansatzpunkte identifiziert:

- Die Pufferung der langen Etablierungszeiten und die damit verbundenen Kosten durch geeignete Subventionen.
- Die Züchtung von Pflanzenmaterial mit Fokus auf Resilienz und Ressourceneffizienz innerhalb des Agroforstsystems.
- Die verbesserte Artenauswahl unter Berücksichtigung der heterogenen Bedingungen innerhalb des Systems und der Veränderungen im Zuge des Klimawandels.

Auch hierzu sollten in der Zukunft von Seiten der Wissenschaft, Wirtschaft und Politik Bemühungen gezeigt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Agroforstsysteme praktikable, wirksame, kostengünstige und naturbasierte betriebliche Anpassungsmöglichkeiten darstellen, die durch ihre vielseitigen Vorteile besonders effektiv und geeignet für die Risikoverminderung erscheinen (IPCC, 2019; Quandt et al., 2023) und gleichzeitig geeignet erscheinen, um die durch die Klimakrise erwarteten Ertragsverluste (zB. Haslmayr et al., 2018) zu stabilisieren (zB.: Vaccaro et al., 2022; Kaeser et al., 2011; Seidl in Oelke et al. 2013 S. 167f.; Friedel et al., 2019 für Luzerne, Sonnenblume, Winterweizen, Winterroggen neben Hecken in Niederösterreich:).

### ***A-5.3.1 Darstellung der Ergebnisse in den Illustrationen***

Aufgrund der Komplexität und „Grobmaschigkeit“ der wissenschaftlichen Daten zur Wirksamkeit von AFS als Maßnahme zur Klimawandelanpassung, konnte **keine Differenzierung zwischen den fünf im Projekt definierten AF-Typen** vorgenommen werden. Darüber hinaus konnte auch nur annäherungsweise eine erste vorsichtige Einschätzung zum Ausmaß der Wirksamkeit erfolgen, die mit großen Unsicherheiten belegt ist.

AFS sind eine Strategie, um die landwirtschaftliche Produktion an die Klimakrise anzupassen. AFS sind multifunktional und wirken zwar auf vielen Ebenen (biophysikalisch: Kleinklima, Humus, Wasserhaushalt, Wind, Biodiversität, etc; und sozioökonomisch: Diversifizierung, Stabilisierung, Ästhetik), die Zusammenhänge und das Ausmaß der Summe aller Wirkebenen ist nicht exakt feststellbar. Auch ist die Frage nicht geklärt, was die maximal mögliche Anpassung an den Klimawandel in der Praxis bedeuten würde, zumal die Abschätzung regionaler Klimawandeleffekte mit Unsicherheiten behaftet ist. Daher wurde **eine vorsichtige Schätzung für die Ergebnisdarstellung** gewählt: die **biophysikalischen Vorteile** von AFS gegenüber einem Acker ohne Baumstreifen hinsichtlich Klimawandelanpassung wurden mit mind. **50% geschätzt** und die **sozioökonomischen Vorteile mit mind. 10%** Vorteil gegenüber einem Acker ohne AFS geschätzt (Tab. A-11: ). Aufgrund der Multifunktionalität von AFS erscheint diese Einschätzung plausibel und eher konservativ, wenn lediglich die Wirkung von Wind- und Wassererosion des fruchtbaren Bodens sowie der gesteigerten Humusgehalte in AFS betrachtet wird.

Die Auswirkungen der voraussichtlichen positiven mikroklimatischen Einflussfaktoren sind nicht gleichmäßig über die gesamte AF-Fläche verteilt. ZB. können turbulente Windströmungen Wind an bestimmten Stellen der Anlage verstärken, der Humusaufbau ist ebenso heterogen auf einer Fläche, die Taubildung und geringere Verdunstung ist ebenso abhängig von der Entfernung zur Baumreihe (zB. Jacobs et al., 2022, Kanzler et al., 2019, Pardon et al., 2017).

AFS könnten auch nachteilig sein, wenn durch nicht fachgerechte Pflege und Umsetzung des AFS, die Wurzel- und Sonnenlicht-Konkurrenz zwischen Bäumen und Ackerkulturen zu hoch ist oder durch mangelnde Pflege kein nennenswerter Ertrag der Bäume erwirtschaftet werden kann. Jacobs et al. (2022) halten fest: Beschattung, lokale Temperaturregulierung und verringerte Evapotranspiration der Pflanzen spielen ebenfalls eine Rolle für die Widerstandsfähigkeit landwirtschaftlicher Systeme bei Dürren und Hitzewellen. Die positive Wirkung der Beschattung im Hinblick auf die Verringerung von Hitzestress könnte im Zuge des Klimawandels an Bedeutung gewinnen, wenn längere Dürren und Hitzewellen erwartet werden (Blanchet et al., 2021; Reyes et al., 2021; Swieter et al., 2021). Niedrigere Temperaturen in den schattigen Zonen eines Feldes während solcher Hitzewellen könnten auch dazu beitragen, die Feuchtigkeit zu halten, die Evapotranspiration und damit den Wasserstress zu verringern (Brandle et al., 2004). Allerdings könnten sie sich in feuchteren und kälteren Jahren nachteilig auf die Pflanzenproduktivität auswirken. Generell könnte die große Heterogenität innerhalb von Alley-cropping Systemen zu großen Schwankungen beim Wachstum und der Entwicklung der Pflanzen führen und die Ernte erschweren.

**Tab. A-11:** Zusammenfassung der quantifizierbaren Klimawandelanpassungsleistungen durch AFS.

Maßnahme	Veränderung mithilfe von AFS in % im Vergleich zu Acker ohne AFS	Quelle
Erosion durch Wasser	-25%	RUSLE, revised universal soil loss equation in Crous-Duran et al., 2020; Oelke et al., 2013
Humusgehalt	19%	Shi et al., 2018: weltweit; Vergleich Acker und Weide mit AFS, gesamte Bodentiefe, alle Kontinente (Vergl. DeStefano & Jacobson, 2018 : 25% Zunahme bei Umwandlung Acker zu AFS)
Wasserhaltekapazität	1.5% bis 1.7% pro 1% Humus	Libohova et al., 2018
Ökosystemdienstleistungen		Kay et al. 2019b
Mikroklima		
Windbremse (--> Winderosion)	bis zu -80% bis zu -60% (Hecken)	Van Ramshorst et al., 2022 Hecken: Rösler, 1988 in Ableidinger et al., 2018
Verdunstung	-30%	bei Hecken nach Schulte (1993)
relative Feuchte	ja	Jacobs et al., 2022; Hecken: Rösler, 1988 in Ableidinger et al., 2018
Lufttemperatur	ja	Jacobs et al., 2022
Sonneneinstrahlung	ja	Jacobs et al., 2022
Bodenfeuchte	+10%	Hecken: Rösler, 1988 in Ableidinger et al., 2018; Bayala & Prieto, 2020
Landschaftsbild	ja	Kaeser et al. 2011; Reeg et al, 2009
Diversifizierung des Betriebs	ja	Kaeser et al. 2011; Reeg et al, 2009 und andere

### A-5.4 Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Regionen

Im Projekt haben wir alte silvoarable AFS auf Ackerstandorte in Österreich mit 600-800mm Niederschlag, in Tallagen und guten Bodenverhältnissen anhand von fünf AF-Typen exemplarisch verortet. Die Herangehensweise mit exemplarischen AF-Typen war für alle Analysen von Vorteil und vor allem wichtig, um bei der Expter:innen-Runde zur Biodiversitätswirkung eine möglichst gute Beschreibung zu liefern und somit möglichst genaue Angaben für die Bewertung zur Verfügung zu stellen.

Die Ergebnisse zur Biodiversität beziehen sich daher auf diese AF-Typen mit den definierten Standorten, sind aber im Trend und im Vergleich zueinander wohl auch auf andere Standorte übertragbar.

Die Ergebnisse der CO<sub>2</sub>-Bindung gelten unabhängig vom Standort und sind auch auf andere Regionen und Gebiete in Österreich übertragbar, sofern am Standort ein Baumwachstum möglich ist.

Die Ergebnisse zur betrieblichen Klimawandelanpassung sind mit hohen Unsicherheiten belegt. Die zugrundeliegende Theorie der wissenschaftlichen Studien, gilt ebenso für andere Standorte. Die Wirkung von AFS als betriebliche Klimawandelanpassungsstrategie hängt vor allem ab von: der Ausgangslage (bereits hoher Druck), dem Design des AFS, der fachgerechten Pflege über Jahre hinweg und der regionalen Auswirkung des Klimawandels.

Die Ergebnisse sind im Trend wohl auch auf silvopastorale AFS (AFS im Grünland) umzulegen. Da sich die AFS hinsichtlich ihrer Multifunktionalität aber von silvoarablen AFS unterscheiden (zB. Tierwohl durch Schatten), ist eine weitere eingehende Betrachtung notwendig.

## A-6 Ausblick

Agroforstsysteme (AFS) können einen Beitrag zur Minderung des Umweltdrucks auf bewirtschaftete Flächen leisten. Diese Leistungen sind vielfältig und miteinander verwoben, sie sollten nicht isoliert voneinander betrachtet werden und sind je nach Ausgestaltung des AFS unterschiedlich in ihrer Wirkung. Aufgrund dieser Komplexität und Multifunktionalität, der Vielfältigkeit der Ausgestaltung und der Langfristigkeit (bzw. zeitlichen Dynamik) von AFS ist die Erforschung schwierig und steckt in Europa und besonders in Österreich in der Anfangsphase. Gerade aber durch die Beständigkeit über mehrere Jahrzehnte hinweg, sind die (positiven) Wirkungen von AFS hinsichtlich Biodiversität, CO<sub>2</sub>-Bindung und Klimawandelanpassung langanhaltend und dauerhaft auf einem Betrieb verankert.

Das StartClim Projekt hat aufgezeigt, dass manche Themenbereiche gut untersucht und bewertbar sind (zB: CO<sub>2</sub>-Bindungspotential) und bei den komplexeren Themenbereichen noch viel Forschungsbedarf in Österreich besteht, vor allem um ein „großes Ganzes“ zu skizzieren und dass weiters Aufklärungsbedarf besteht, um das Konzept in die Gesellschaft und in die landwirtschaftliche Praxis zu tragen.

Daher können folgende **Handlungsempfehlungen** formuliert werden:

- AFS für Praktiker:innen, Konsument:innen (Gesellschaft) und Forscher:innen **erlebbar machen**. Beobachtung und Erleben der AFS (im Alltag) ermöglichen.
- AFS **in die Praxis bringen**, dort wo sie Sinn machen. Dementsprechend geeignete **Fördermittel bereitstellen** (Investitionsförderung und Flächenförderung) und die fachgerechte Pflege der AFS entsprechend den Zielen sicherstellen.
- **Forschung** insbesondere zu AFS und Klimawandelanpassung (nicht KW-Mitigation) **vorantreiben**.
  - Universitäten, Fachhochschulen, Fachschulen, Versuchsstationen, experimentierfreudige Betriebe vernetzen,
  - AFS im Versuchsdesign anlegen und gemeinsam die Forschung koordinieren.
  - Konkretes Indikatorenset für Klimawandelanpassung erarbeiten (inkl. Synergien mit Biodiversität) - Methodenentwicklung: Bewertung und Vergleichbarkeit von versch. landwirtschaftlichen Praktiken (inkl. AFS) hinsichtlich Eignung als Maßnahme zur betrieblichen Klimawandelanpassung.
- AFS eignen sich für ein **fächerübergreifendes Arbeiten** und sollte auch fächerübergreifend koordiniert werden: Landwirtschaft (Ackerbau, Grünland, Dauerkulturen), Forstwirtschaft, Ökologie, Naturschutz, Landschaft, Boden, Wasser, Luft, Recht, Wirtschaft, gesellschaftlicher Wandel, ...- Die Schaffung einer „Koordinationsstelle Agroforst“ wäre eine Möglichkeit.
- **Biodiversitätsmonitoring** auf Agroforstflächen beginnen inkl. Beobachtung am landwirtschaftlichen Betrieb durch z.B. Betriebsleiter:innen oder Citizen-Science Projekte (zB: Binder & Middelanis, 2021).
- Vielfalt der AFS weiterbearbeiten, insbes. auch AFS im **Grünland berücksichtigen**.
- Das Management der AFS (insbes. der Baumstreifen) näher untersuchen und **praktische Leitfäden der Do's and Don'ts entwickeln**. (siehe dazu auch das Projekt: "Agroforstsysteme: Bestandanalyse und Beitrag zur Biodiversitätsförderung". Projektergebnisse sind ab März 2025 [hier](#) zu finden; grundlegende Managementtipps wie zB. Wurzelerziehung, Astung, Baumpflege, sind [hier](#) und in weiterführenden Broschüren erhältlich).
- **Länderübergreifendes Lernen**: Welche AFS gibt es in den von der Klimakrise sehr betroffenen Ländern, wie funktionieren sie und sind sie auf Österreich und die zukünftigen klimatischen in Österreich übertragbar? Organisation von AF-Praktiker:innen-Seminaren im Ausland.

- **AFS als Systeme begreifen.** Von der betrieblichen Ebene ausgehend, weiter bis zum nachhaltigen Landschaftsmanagement<sup>7</sup> denken.
- Weitere Analysen zu versch. Aspekten von AFS in Österreich durchführen und auf den Illustrationen ergänzen: zB. Betriebs- und Volkswirtschaftliche Berechnungen.

---

<sup>7</sup> Nachhaltiges Landschaftsmanagement ist eine Schlüsselstrategie zur Erreichung der SDGs in land- und forstwirtschaftlichen Produktionslandschaften weltweit (Bürgi et al. 2017; Thaxton et al. 2015). Konkret bedeutet nachhaltiges Landschaftsmanagement, dass die Erhaltung und Wiederherstellung der biologischen Vielfalt, die Produktion von Nahrungsmitteln, der Schutz kritischer Ökosystemleistungen und die Sicherung des Lebensunterhalts im ländlichen Raum als gemeinsame Ziele betrachtet werden, anstatt sie isoliert oder in direkter Konfrontation zu behandeln (Tanentzap et al. 2015).

## A-7 Verwendete Abkürzungen

AFS	Agroforstsystem(e)
AF	Agroforst
AF-Typen	Agroforst-Typen (im Projekt definiert)
BHD	Brusthöhendurchmesser (Kenngröße im Waldbau; Stammdurchmesser)
ExR	Expert:innen-Runde
KUP	Kurzumtriebsplantage; Energieholz aus Kurzumtriebsflächen.
srm	Schüttraummeter

## A-8 Literaturverzeichnis

- Ableidinger, C., Erhart, E., Kromp, B., Hartl, W. (2018) Mehrnutzungshecken - Vielfältige Nutzung von Bodenschutzanlagen zur nachhaltigen Produktion, zur Erosionsverminderung und zur Erhöhung der regionalen Wertschöpfung. Zwischenbericht. [http://www.unserboden.at/files/mehrnutzungshecken\\_bericht\\_20180130.pdf](http://www.unserboden.at/files/mehrnutzungshecken_bericht_20180130.pdf)
- Bayala, J. & Prieto, I. (2020), Water acquisition, sharing and redistribution by roots: applications to agroforestry systems. *Plant Soil* 453:17–28. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04173-z>
- Bentrup, G., Hopwood, J., Adamson, N.L., Vaughan, M. (2019). Temperate Agroforestry Systems and Insect Pollinators: A Review. *FORESTS*. <https://doi.org/10.3390/f10110981>
- Beule, L., Karlovsky, P. (2021). Tree rows in temperate agroforestry croplands alter the composition of soil bacterial communities. *PLOS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246919>
- Binder, J. & Middelanis, T. (2021). Methodenkatalog zum bürgerwissenschaftlichen Monitoring moderner Agroforst-Ökosysteme. 1. Auflage. [www.agroforst-monitoring.de](http://www.agroforst-monitoring.de)
- Blanchet, G., Barkaoui, K., Bradley, M., Dupraz, C., Gosme, M. (2021). Interactions between drought and shade on the productivity of winter pea grown in a 25-year-old walnut-based alley cropping system. *J. Agron. Crop Sci.* <https://doi.org/10.1111/jac.12488>
- Böhm, C., Kanzler, M., & Domin, T. (2020). Auswirkungen von Agrarholzstrukturen auf die Windgeschwindigkeit in Agrarräumen. Retrieved from [https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/03/03\\_\\_Windgeschwindigkeit.pdf](https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/03/03__Windgeschwindigkeit.pdf)
- Böhm, C., Kanzler, M., Pecenka, R. (2020b). Untersuchungen zur Ertragsleistung (Land Equivalent Ratio) von Agroforstsystemen. Loseblattsammlung Innovationsgruppe AUFWERTEN, Loseblatt # 35. [https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/03/35\\_\\_Ertragsleistung.pdf](https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/03/35__Ertragsleistung.pdf)
- Böhm, C., Kanzler, M., & Freese, D. (2014). Wind speed reductions as influenced by woody hedgerows grown for biomass in short rotation alley cropping systems in Germany. *Agroforestry Systems*, 88(4), 579–591. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9700-y>
- Boinot, S., Poulmarc'h, J., Meziere, D., Lauri, P.-E., Sarthou, J.-P. (2019b). Distribution of overwintering invertebrates in temperate agroforestry systems: Implications for biodiversity conservation and biological control of crop pests. *Agric. Ecosyst. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106630>
- Brandle, J.R., Hodges, L., Zhou, X.H. (2004). Windbreaks in North American agricultural systems. In: Nair, P.K.R., Rao, M.R., Buck, L.E. (Eds.), *New vistas in agroforestry: A compendium for 1st World Congress of Agroforestry, 2004, Advances in Agroforestry*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 65–78. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1_5)
- Bürgi, M, Ali, P, Chowdhury, A, Heinemann, A, Hett, C, Kienast, F, Mondal, MK, Upreti, BR, Verburg, PH. (2017). Integrated landscape approach: closing the gap between theory and application. *Sustainability* 9(8):1371
- Cardinael, R., Hoeffner, K., Chenu, C., Chevallier, T., Beral, C., Dewisme, A., Cluzeau, D. (2019). Spatial variation of earthworm communities and soil organic carbon in temperate agroforestry. *Biol. Fertil. SOILS*. <https://doi.org/10.1007/s00374-018-1332-3>
- Crous-Duran, J., Graves, A.R., García de Jalón, S., Kay, S., Tomé, M., 1, Burgess, P.J., 3, Giannitsopoulos, M., Palma, C.H.N. (2020). Quantifying Regulating Ecosystem Services with Increased Tree Densities on European Farmland. *Sustainability*, 12, 6676; doi:10.3390/su12166676

- Delbecq, A. L., Van de Ven, A. H., & Gustafson, D. H. (1975). Group techniques for program planning: A guide to nominal group and Delphi processes. Longman Higher Education.
- DeStefano, A., Jacobson, M.G. (2018). Soil carbon sequestration in agroforestry systems: a metaanalysis. *Agrofor Syst* 92, 285–99
- Drexler, M., Hödl, C., Jansel, W., Lamprecht A., Schantl, J. (2024). Agroforestry experimental area LFS Grottenhof/Hardt. Poster presentation at 7th European Agroforestry Conference 27 – 31 MAY 2024 Brno, CZ.
- Escardó, A. in Wiedemann, J. (2022) *Science Illustration. A History of Visual Knowledge from the 15th Century to Today*. Taschen America Llc. 436S.
- Feliciano D., Ledo A., Hillier J., Nayak D.R. (2018) Which agroforestry options give the greatest soil and above ground carbon benefits in different world regions? *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 254: 117-129.
- Friedel, K.J., Gollner, G., Surböck, A., Freyer, B. (2019). Erhöhung der Klima-Resilienz in einem ökologischen Ackerbausystem: auf die Kombination von Strategien kommt es an! 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. <https://orgprints.org>
- Gerersdorfer, T., Eitzinger, J., Rischbeck, P. (2009). Simulation of crop yield near hedgerows under aspects of a changing climate: an Austrian attempt. In: Utset, A., (Eds.) *Climate Variability, Modelling Tools and Agricultural Decision-Making (Climate Change and its Causes, Effects and Prediction)*. Nova Science Pub Inc. 361 S. ISBN-10 : 1606927035
- Gratzer, G. (2022). Entwicklung und Förderung von Agroforstwirtschaft als Beitrag zur Verbesserung der Nachhaltigkeit in der Landnutzung (Target 15.1, 15.3, 15.4, 15.5 und 15.9 - Option 15\_05). [https://www.uninetz.at/optionenbericht\\_downloads/SDG\\_15\\_Option\\_15\\_05.pdf](https://www.uninetz.at/optionenbericht_downloads/SDG_15_Option_15_05.pdf)
- Hagist, D. & Schürmann, H. (2021) *Agroforst und Brutvögel – Chancen und Konflikte*. Faktenblatt. Schweizerische Vogelwarte, Sempach.
- Haslmayr, H.P., Baumgarten, A., Schwarz, M., Huber, S., Prokop, G., Sedy, K., Krammer, C., Murer, E., Pock, H., Rodlauer, C., Schaumberger, A., Nadeem, I., Formayer, H. (2018). BEAT – Bodenbedarf für die Ernährungssicherung in Österreich. Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 100975. [https://dafne.at/content/report\\_release/aa85879d-af0f-4273-a1e2-b7f1d7178d41\\_0.pdf](https://dafne.at/content/report_release/aa85879d-af0f-4273-a1e2-b7f1d7178d41_0.pdf)
- Hernández-Morcillo, M., Burgess, P., Mirck, J., Pantera, A., & Plieninger, T. (2018). Scanning agroforestry-based solutions for climate change mitigation and adaptation in Europe. *Environmental Science & Policy*, 80, 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.013>
- Hübner, R., Meixner, C.A., Mohart, C., Kürsten, E., Eysel-Zahl, G., Lamersdorf, N., Tsonkova, P., Peschel, T., Wiesmeier, M, Böhm, C. (2021). Kohlenstoffzertifizierung in der Agroforstwirtschaft?! Einschätzung und Empfehlungen. In: Göbel L. (Hsg.) *Landwirtschaft anders denken Tagungsband 8*. Forum Agroforstsysteme. 29.09. bis 30.09.2021 in Bernburg (Saale). Cottbus, 106S. [https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/09/Tagungsband\\_Forum\\_Agroforstsysteme\\_2021.pdf](https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/09/Tagungsband_Forum_Agroforstsysteme_2021.pdf)
- Hübner, R., Kühnel, A., Lu, J., Dettmann, H., Wang, W., Wiesmeier, M. (2021b). Soil carbon sequestration by agroforestry systems in China: A meta-analysis *Agriculture, Ecosystems and Environment* 315: 107437. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107437>
- IPCC (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 -Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU) – Chapter 4.3 LAND CONVERTED TO FOREST LAND*
- IPCC (2019). *Klimawandel und Landsysteme*. IPCC-Sonderbericht über Klimawandel, Desertifikation, Landdegradierung, nachhaltiges Landmanagement, Ernährungssicherheit und Treibhausgasfüsse in terrestrischen Ökosystemen. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/08/SRCCLSPM\\_de\\_barrierefrei.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/08/SRCCLSPM_de_barrierefrei.pdf)

- Jacobs, S. R., Webber, H., Niether, W., Grahmann, K., Lüttschwager, D., Schwartz, C., . . . Bellingrath-Kimura, S. D. (2022). Modification of the microclimate and water balance through the integration of trees into temperate cropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology*, 323, 109065. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109065>
- Kay S., Rega C., Moreno G., denHerder M., Palma J.H.N., Borek R., Crous-Duran J., Freese D., Giannitsopoulos M., Graves A., Jäger M., Lamersdorf N., Memedemin D., Mosquera-Losada R., Pantera A., Paracchini M.L., Paris P., Roces-Díaz V., Rolo V., Rosati A., Sandor M., Simth J., Szerencsits E., Varga A., Vlaud V., Wawer R., Burgess P.J., Herzog F. (2019a). Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. *Land Use Policy* 83: 581-59
- Kay, S., Graves, A., Palma, J.H.N., Moreno, G., Roces-Díaz, J.V., Aviron, S., Chouvardas, D., Crous-Duran, J., Ferreiro-Domínguez, N., García de Jalon, S., Măciacășan, V., Mosquera-Losada, M.R., Pantera, A., Santiago-Freijanes, J.J., Szerencsits, E., Torralba, M., Burgess, P.J., Herzog, F. (2019b). Agroforestry is paying off – Economic evaluation of ecosystem services in European landscapes with and without agroforestry systems. *Ecosystem Services* 36: 100896. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100896>
- Kanzler, M., & Böhm, C. (2020). Agroforstliche Landnutzung als Anpassungsstrategie an den Klimawandel am Beispiel von Untersuchungen zum Verdunstungsschutz in Süd-Bandenburger.
- Kletty, F., Rozan, A., & Habol, C. (2023). Biodiversity in temperate silvoarable systems: A systematic review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 351, 108480
- Lacombe, S., Bradley, R.L., Hamel, C., Beaulieu, C. (2009). Do tree-based intercropping systems increase the diversity and stability of soil microbial communities? *Agric. Ecosyst. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.08.010>
- Lawson, G., Huska, J., Rolo V., Gosme, M. (2023). Agroforestry & Adaptation to Climate Change. EURAF Policy Briefing #27, [doi.org/10.5281/zenodo.8210996](https://doi.org/10.5281/zenodo.8210996)
- Libohova, Z., Seybold, C., Wysocki, D., Wills, S., Schoeneberger, P., Williams, C., Lindbo, D., Stott, D., Owens, P.R. (2018). Reevaluating the effects of soil organic matter and other properties on available water-holding capacity using the National Cooperative Soil Survey Characterization Database. *Journal of Soil and Water Conservation* 73,4: 441. doi:10.2489/jswc.73.4.411
- LK Steiermark, 2012. Qualitätsbrennstoffe vom Biomassehof Nützliche Informationen rund um das Heizen mit Holz. 20S. [https://www.biomasseverband-ooe.at/uploads/media/Downloads/Publikationen/sonstige\\_Brosch%C3%BCren/Qualitaetsbrennstoffe\\_vom\\_Biomassehof.pdf](https://www.biomasseverband-ooe.at/uploads/media/Downloads/Publikationen/sonstige_Brosch%C3%BCren/Qualitaetsbrennstoffe_vom_Biomassehof.pdf) [Download: 2024-06-11]
- Markut, T., Siegl, S. (2022a). Agroforst in Österreich im Kontext der Klimakrise und des CO<sub>2</sub>-Bindungspotentials. Bericht im Zuge des EIP Agri Projekts „Agroforst in Österreich“. Wien. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.14836.12164>
- Markut, T., Meindl, P., Kummer, S. (2022b). Agroforst – Von der Idee bis zur Umsetzung, eine erste Orientierung. Broschüre. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.28377.49763>
- Markut, T., Petrasek, R., Meindl, P., Gyimesi, K. (2024). Illustrations of agroforestry systems as a method of science communication. Poster presentation at 7th European Agroforestry Conference 27 – 31 MAY 2024 Brno, CZ.
- Mayer, S., Wiesmeier, M., Sakamoto, E., Hüber, R., Cardinael, R., Kühnel, A., Kögl-Knabner, I. (2022). Soil organic carbon sequestration in temperate agroforestry systems – A meta- analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 323: 107689.
- Meindl, P., Drapela, T., Eckersdorfer, K., Hochreiter, J., Klingbacher, E., Spöck, K. (2022). Biodiversitätsmaßnahmen in der Agrarlandschaft. Infos, Fakten Hintergründe. Handbuch für Bildung und Beratung. Hrsg.: Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich in Kooperation mit Forschungsinstitut f.biologischen Landbau FiBL, Wien <https://www.fibl.org/de/shop/1368-biodiversitaet-agrarlandschaft>

- Mosquera-Losada, M.R., Borek, R., Balaguer, F. et al. (2017). Agroforestry as a mitigation and adaptation tool. EIP-Agri Focus Group Agroforestry. European Commission. [https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/fg22\\_mp9\\_cc\\_adaptation\\_mitigation\\_2017\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/default/files/fg22_mp9_cc_adaptation_mitigation_2017_en.pdf)
- Mungai, N., Motavalli, P., Kremer, R., Nelson, K. (2005). Spatial variation of soil enzyme activities and microbial functional diversity in temperate alley cropping systems. *Biol. Fertil. SOILS*. <https://doi.org/10.1007/s00374-005-0005-1>
- Nair, P.K.R, Kumar, B.M., Nair, V.D. (2021) An Introduction to Agroforestry – Four Decades of Scientific Developments. 2. Auflage. Springer 670S. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0>
- Oelke M., Konold W., Mastel K., Spiecker H. (Hrsg.) 2013 Multifunktionale Bewertung von Agroforstsystemen. Ein Forschungsbericht für die Praxis. Culterra No. 61 Schriftenreihe der Professur für Landespflege der Alber-Ludwig-Universität Freiburg.
- Pardon, P., Reuberns, B., Reheul, D., Mertens, J., De Frenne, P., Coussement, T., Janssens, P., Verheyen, K. (2017) Trees increase soil organic carbon and nutrient availability in temperate agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 247: 98-111
- Puskaric, J., Jovic, J., Ivezic, V., Popovic, B., Paponja, I., Brmez, M. (2021). The Communities of the Nematodes, Bacteria, and Fungi and the Soil's Organic Matter in an Agroforestry Ecosystem in Croatia. *Poljoprivreda* 27, 66–74. <https://doi.org/10.18047/poljo.27.1.9>
- 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>
- Quinkenstein, A. & Kanzler, M. (2018). Wirkung von Agrargehölzen auf den Bodenstoffhaushalt. In: Veste M. & Böhm C. Hrsg (2018) Agargholz – Schnellwachsende Bäume in der Landwirtschaft. *Biologie – Ökologie – Management*. Springer Spektrum Berlin. 533 S.
- Reeg, T., Bemann, A., Konold, W., Murach, D., Spiecker, H. (2009). Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen. WILEY-VCH Verlag, Weinheim.
- 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, 356. <https://doi.org/10.3390/agriculture11040356>.
- Röser, B. (1988). Saum- und Kleinbiotop. Ökologische Funktion, wirtschaftliche Bedeutung und Schutzwürdigkeit in Agrarlandschaften. Ecomed, Landsberg.
- Sathre, R., O'Conoor, J. (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. *Environmental Science & Policy* 13:104-114. doi:10.1016/j.envsci.2009.12.005
- Schader, C., Drapela, T., Pfiffner, L, Markut, T., Lindenthal, T. (2014). Farm and product-level biodiversity assessment of conventional and organic dairy production in Austria. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*. <http://dx.doi.org/10.1080/21513732.2013.878752>
- Scheper, S., Weninger, T., Kitzler, B., Lackóová, L., Cornelis, W., Strauss, P., Michel, K. (2021). Comparison of the Spatial Wind Erosion Patterns of Erosion Risk Mapping and Quantitative Modeling in Eastern Austria. *Land* 2021, 10, 974. <https://doi.org/10.3390/land10090974>
- Schindler, Z., Morhart, C., Sheppard, J.P.; Frey, J., Seifert, T. (2023a). In a nutshell: exploring single tree parameters and above-ground carbon sequestration potential of common walnut (*Juglans regia* L.) in agroforestry systems. *Agroforest Syst* (2023) 97:1007–1024, <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00844-0>

- Schindler, Z., Seifert, T., Sheppard, J.P., Morhart, C. (2023) Allometric models for above-ground biomass, carbon and nutrient content of wild cherry (*Prunus avium* L.) trees in agroforestry systems. *Annals of Forest Science* (2023) 80:28. <https://doi.org/10.1186/s13595-023-01196-6>
- Schmaltz, E.M., Dersch, G., Krammer, C., Weinberger, C., Strauss, P. (2020). Bodenerosion in Österreich - Eine nationale Berechnung mit regionalen Daten und lokaler Aussagekraft für ÖPUL. 7.Umweltökologisches Symposium 2020, 39 – 46. ISBN: 978-3-902849-76-2
- Schoeneberger, M., Bentrup, G., Gooijer, H. de, Soolanayakanahally, R., Sauer, T., Brandle, J., Zhou, X., Current, D. (2012). Branching out: Agroforestry as a climate change mitigation and adaptation tool for agriculture. *Journal of Soil and Water Conservation*, 67(5), 128A-136A.
- Sheppard, J.P., Larysch, E., Cuaranhua, C.J., Schindler Z., du Toit, B., Malherbe, G.F., Kunneke, A., Morhart C., Bohn Reckziegel R., Seifert T., Kahle H.P. (2024) Assessment of biomass and carbon storage of a *Populus simonii* windbreak located in the Western Cape Province, South Africa. *Agroforest Syst* (2024) 98:697–714, <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00940-1>
- Shi, L., Feng, W., Xu J., Kuzyakov, Y. (2018): Agroforestry systems: meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials. *Land Degrad Dev* 29, 3886–3897  
<https://doi.org/10.2489/jswc.67.5.128A>
- Strauss, P., Schmaltz, E., Krammer, C., Zeiser, A., Weinberger, C., Kuderna, M., Dersch, G. (2020). Bodenerosion in Österreich – Eine nationale Berechnung mit regionalen Daten und lokaler Aussagekraft für ÖPUL. Endbericht. 150S.
- Swieter, A., Langhof, M., Lamerre, J. (2021). Competition, stress and benefits: Trees and crops in the transition zone of a temperate short rotation alley cropping agroforestry system. *J. Agron. Crop Sci.* <https://doi.org/10.1111/jac.12553>.
- Tanentzap, A.J., Lamb, A., Walker, S., Farmer, A. (2015). Resolving conflicts between agriculture and the natural environment. *PLoS Biol* 13(9):e1002242 <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002242>
- Thaxton, M., Forster, T., Hazlewood, P., Mercado, L., Neely, C., Scherr, S., Wertz, L., Wood, S., Zandri, E. (2015). Landscape partnerships for sustainable development: achieving the SDGs through integrated landscape management. The Landscapes for People, Food and Nature Initiative, Washington, DC
- Tsonkova, P., Böhm, C. (2019). CO<sub>2</sub>-Bindung durch Agroforst-Gehölze als Beitrag zum Klimaschutz Loseblatt # 6 "Innovationsgruppe AUFWERTEN – Agroforstliche Umweltleistungen für Wertschöpfung und Energie" [https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/02/06\\_CO2-Bindung.pdf](https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/02/06_CO2-Bindung.pdf) [download: 2024-05-06]
- UBA (2000). Die Kohlenstoffbilanz des Österreichischen Waldes und Betrachtungen zum Kyoto-Protokoll. Wien, 93S.
- UBA (2021). Klimaschutzbericht 2021. Wien, 231S
- Unsel, R., Reppin, N., Eckstein, K., Zehlius-Eckert, W., Hoffmann, H., Huber, T. (Hrsg) (2011). Leitfaden Agroforstsysteme – Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen. [https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/02/BfN\\_Agroforst\\_Leitfaden.pdf](https://agroforst-info.de/wp-content/uploads/2021/02/BfN_Agroforst_Leitfaden.pdf) [download: 2022-01-24]
- Van Ramshorst, J. G. V., Siebicke, L., Baumeister, M., Moyano, F. E., Knohl, A., & Markwitz, C. (2022). Reducing Wind Erosion through Agroforestry: A Case Study Using Large Eddy Simulations. *Sustainability*, 14(20), 13372. <https://doi.org/10.3390/su142013372>
- Vaccaro C., Six J., Schöb C. (2022) Moderate shading did not affect barley yield in temperate silvoarable agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 96:799-810. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00740-z>

- Varah, A., Jones, H., Smith, J., Potts, S.G. (2020). Temperate agroforestry systems provide greater pollination service than monoculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107031>
- Varah, A., Jones, H., Smith, J., Potts, S.G. (2013). Enhanced biodiversity and pollination in UK agroforestry systems. *J. Sci. FOOD Agric.* <https://doi.org/10.1002/jsfa.6148>
- Venâncio, M. (2022) Scientific illustration: a brief review and the emergence of 3D illustration. *Environmental Smoke*, 5(2):10-14. Doi: 10.32435/envsmoke.20225210-14
- Wiedermann E., Hübner R., Kilian S., Wiesmeier M. (2022). Festlegung von Kohlenstoff in Streuobstwiesen des Alpenvorlands. LfL Schriftenreihe 01/2022. ISSN 1611-4159. [https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/festlegung-kohlenstoff-streuobstwiesen-alpenvorland\\_lfl-schriftenreihe-012022.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/festlegung-kohlenstoff-streuobstwiesen-alpenvorland_lfl-schriftenreihe-012022.pdf)
- Wiesmeier, M., Mayer, S., Paul, C., Helming, K., Don A., Franko, U., Steffens, M., Kögel-Knabner, I. (2020). CO<sub>2</sub>-Zertifikate für die Festlegung atmosphärischen Kohlenstoffs in Böden: Methoden, Maßnahmen und Grenzen. *BonaRes Series 2020/1* | DOI: 10.20387/BonaRes-F8T8-XZ4H
- Wiesmeier, M., Hübner, R., Barthold, F.K., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I., (2013). Amount, distribution and driving factors of soil organic carbon and nitrogen in cropland and grassland soils of southeast Germany (Bavaria). *Agric., Ecosyst. Environ.* 176, 39–52.