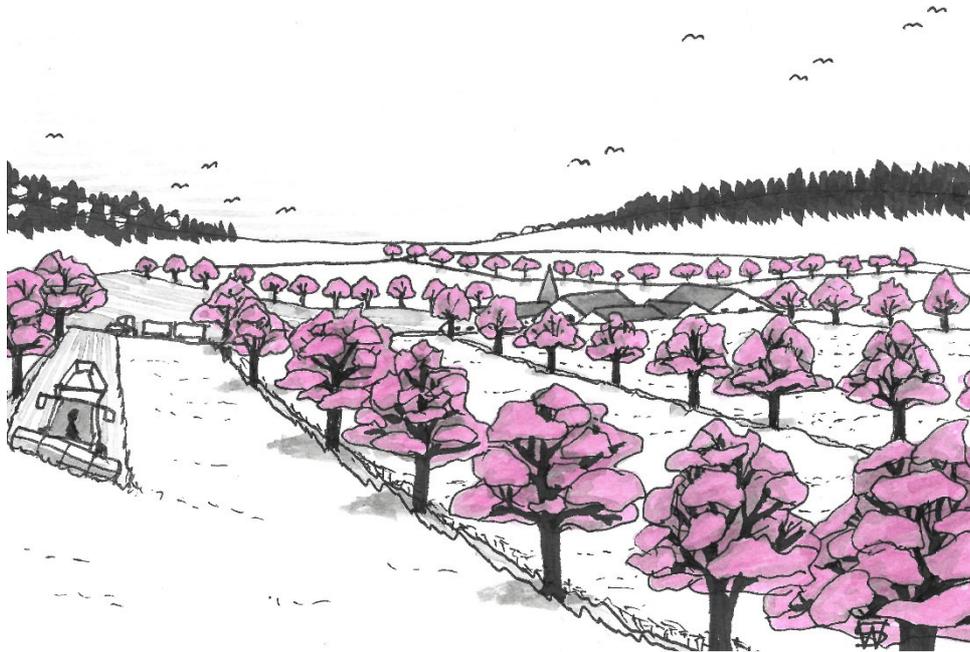


Orientierung & Leitfaden zur Förderung der Biodiversität durch Agroforstsysteme im Ackerbau



Richard Petrsek, Chiara Nervo, Theresia Markut, Peter Meindl

Agroforstsysteme: Bestandanalyse und Beitrag zur Biodiversitätsförderung -
Berichtsteil: Orientierung & Leitfaden zur Förderung der Biodiversität durch
Agroforstsysteme im Ackerbau

Projektnummer: 7.6.Ia-II3-I54/23

Mit Unterstützung von Bund, Ländern und Europäischer Union

 Bundesministerium
Land- und Forstwirtschaft,
Regionen und Wasserwirtschaft

 LE 14-20
Entwicklung für den Ländlichen Raum

Europäischer
Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des
ländlichen Raums:
Hier investiert Europa in
die ländlichen Gebiete.



Inhalt

Zusammenfassung.....	3
Orientierung & Leitfaden zur Förderung der Biodiversität durch Agroforstsysteme im Ackerbau.....	9
Landwirtschaft & Biodiversität	10
Agroforstwirtschaft & Biodiversität.....	12
Strukturvielfalt als Schlüssel zur Biodiversität und Ökosystemstabilität	14
Verbindung mit dem Umland (Landschaftskonnektivität).....	17
Agroforstsysteme und ihre Wirkung auf Organismengruppen.....	19
Ökosystemleistungen durch Agroforstsysteme	23
Ein Sozioökonomischer Blick auf die Agroforstwirtschaft	26
Agroforstsysteme zur Förderung der Biodiversität erfolgreich umsetzen.....	28
Einfluss von Standortfaktoren auf die Biodiversität in Agroforstsystemen	28
Bewirtschaftung und Gestaltung von Agroforstsystemen.....	29
Struktur der Baumreihen – Baumarten, -abstände und Altersstruktur - Design	30
Bedeutung und Gestaltung des Unterwuchses in Agroforstsystemen.....	35
Bewirtschaftung des Ackeranteils in silvoarablen Systemen zur Förderung der Biodiversität	37
Literatur.....	40

Graphik Titelseite: © Sonja Wlcek, organic 17

Zusammenfassung

Agroforstsysteme – Ein Modell für nachhaltige Landwirtschaft

Die Zukunft der Landwirtschaft erfordert eine Neuausrichtung hin zu biodiversitätsfördernden Strukturen, die sowohl wirtschaftlich tragfähig als auch ökologisch wertvoll sind. Agroforstsysteme (AFS) bieten eine effektive Möglichkeit, die Biodiversität auf landwirtschaftlichen Flächen in Ackerbau-geprägten Regionen zu erhöhen und gleichzeitig nachhaltige Produktionsmethoden zu etablieren. Mit guter Planung und Pflege bieten Agroforstsysteme ökologische und gesellschaftliche Vorteile in dem sie Ökosystemleistungen stärken und globale Nachhaltigkeitsziele unterstützen. (Bridgewater et al., 2015).

Begriffserklärung: Agroforstsysteme

- Bewirtschaftung von Gehölzen und landwirtschaftlichen Kulturen (Ackerkulturen oder Grünland) auf der **gleichen Fläche**.
- Beides wird **bewusst** angebaut, gepflegt, bewirtschaftet und beerntet, um von beiden einen Nutzen zu erwirtschaften.
- Acker/Grünland/Tiere und Bäume treten in **Wechselwirkung**.

Nicht zu den AFS gehören:

- Hecken (auch wenn sie ähnliche Funktionen erfüllen können)
- Weinberge und Obstplantagen
- Alleen entlang von Wegen oder Straßen
- Einzelbäume oder Baumgruppen in Restflächen („Zwickel“)

Ein gut gestaltetes und gut gepflegtes AFS bietet neben den ökologischen Vorteilen auch wirtschaftliche Chancen. So können Betriebe durch Diversifizierung, beispielsweise durch den Verkauf von Wertholz oder Früchten, zusätzliche Einnahmequellen erschließen und z.B. durch mikroklimatische Veränderungen die Erträge auf der Ackerfläche stabiler halten. Ziel ist es, natürliche Prozesse zu unterstützen, Agrarlandschaften widerstandsfähiger zu machen und langfristige Nutzungsperspektiven zu schaffen. Die Verbindung traditioneller Methoden mit modernen Technologien könnte die Agroforstwirtschaft in Europa zu einem zentralen Bestandteil einer zukunftsfähigen Landwirtschaft machen.

Je höher der Anspruch an die Biodiversität, desto komplexer wird die Bewirtschaftung. Deshalb muss ein Gleichgewicht zwischen Biodiversität und landwirtschaftlicher Produktivität gefunden werden. Damit AFS langfristig zur Biodiversitätssteigerung in einer Agrarlandschaft beitragen, sollten daher auf die Praxis von AFS angepasste

Fördermechanismen sowie zur fachlichen Unterstützung Beratungs- und Bildungsangebot für landwirtschaftliche Betriebe etabliert werden.

Es stellt sich die Frage: Welche Biodiversitätsziele sollen priorisiert werden? Sollen Bestäuber, Bodenbrüter oder Wanderkorridore gefördert werden? Eine standortangepasste Bewirtschaftung ist entscheidend, um diese Ziele zu erreichen.

Ein effektives AFS integriert verschiedene Elemente:

- Vielfalt an Baumarten und Unterwuchs
- Genetische Variabilität durch Kultur- und Wildpflanzen
- Unterschiedliche Altersstrukturen und Wuchshöhen (Kronenstruktur)
- Kombination aus Blühflächen, Sträuchern und eines naturnahen Unterwuchses

Dies schafft wertvolle Lebensräume und erhöht die Widerstandsfähigkeit des Systems. Zudem können gezielt gewählte Baumarten die Bodenstruktur verbessern, Erosion verhindern und den Wasserrückhalt fördern.

Landschaftsvernetzung durch Agroforstsysteme

Ein biodiversitätsorientiertes AFS setzt nicht nur auf eine Durchmischung von Baumarten und Fruchtgehölzen, sondern auch auf eine überbetriebliche Vernetzung innerhalb der (Agrar-) Landschaft. Agroforstsysteme können als dynamische Korridore fungieren, die den Austausch von Flora und Fauna fördern. Dies ermöglicht insbesondere im Kontext des Klimawandels Wanderbewegungen auch in intensiv genutzten Agrarlandschaften.

Besonders wichtig ist die Schaffung von Nord-Süd-Verbindungen, wie sie auch im optimalen AF-Pflanzdesign angelegt werden, um Offenlandarten eine Anpassung an klimatische Veränderungen zu ermöglichen und „high diversity landscape features“ zu vernetzen. Um ein AFS weiter zu optimieren, können Steinhäufen als Lebensraum für Reptilien, Ansitzhilfen für Greifvögel zur natürlichen Schädlingsregulierung angelegt werden.

Gestaltung und Bewirtschaftung von Agroforststreifen

Lineare Agroforststreifen dienen als Vernetzungsstrukturen und unterstützen die Biodiversität. Eine nachhaltige Bewirtschaftung ohne vollständige Ernte trägt dazu bei, wertvolle Lebensräume zu erhalten.

Die ideale Gestaltung umfasst:

- Mindestbreite von 3-4 Metern für Baumstreifen, (sogar eine Minimalvariante mit 2 Metern Breite kann bereits positive Effekte erzielen)
- Baumabstände unter 20 Metern, um geschlossene Strukturen zu gewährleisten
- Mischbepflanzung mit heimischen Laubgehölzen

Eine selektive Nutzung der Gehölze ohne vollständige Entnahme sowie eine durchdachte, eher späte Mahd mit Abtransport des Mähgutes oder Beweidung des Unterwuchses sind vorteilhaft für die Biodiversität. Eine minimale Düngung und der weitgehende Verzicht auf Pflanzenschutzmittel sind essenziell und unterstützen zudem nützliche Pflanzen- und Tierarten.



Abbildung 1. AFS eines Betriebes im nördlichen Weinviertel (NÖ, Bez. Mistelbach) nach dem 1. Standjahr. © FiBL, T. Markut

Agroforstsysteme als förderfähige landwirtschaftliche Praxis

Der Erfolg eines AFS als Biodiversitätsinstrument erfordert kontinuierliche wissenschaftliche Begleitstudien. Insbesondere sollten Bestäubungseffekte sowie das Vorkommen natürlicher Gegenspieler von Schädlingen dokumentiert werden. Eine Dokumentation der Veränderungen durch AFS, sind Grundlage für weitere Empfehlungen und können als Grundlage für eine zukunftsorientierte Förderpolitik sein, die Biodiversität und landwirtschaftliche Produktivität verbindet.

Trotz bestehender Wissenslücken bleibt die Agroforstwirtschaft ein vielversprechendes Instrument, um Biodiversität zu fördern und ökologische Herausforderungen zu meistern – und das bei gleichzeitiger landwirtschaftlicher Produktivität, ohne Agrarflächen außer Nutzung zu stellen.



Abbildung 2. Über 10 Jahre altes AFS mit Wertholz im Trockengebiet (NÖ, Weinviertel). © FiBL, T. Markut

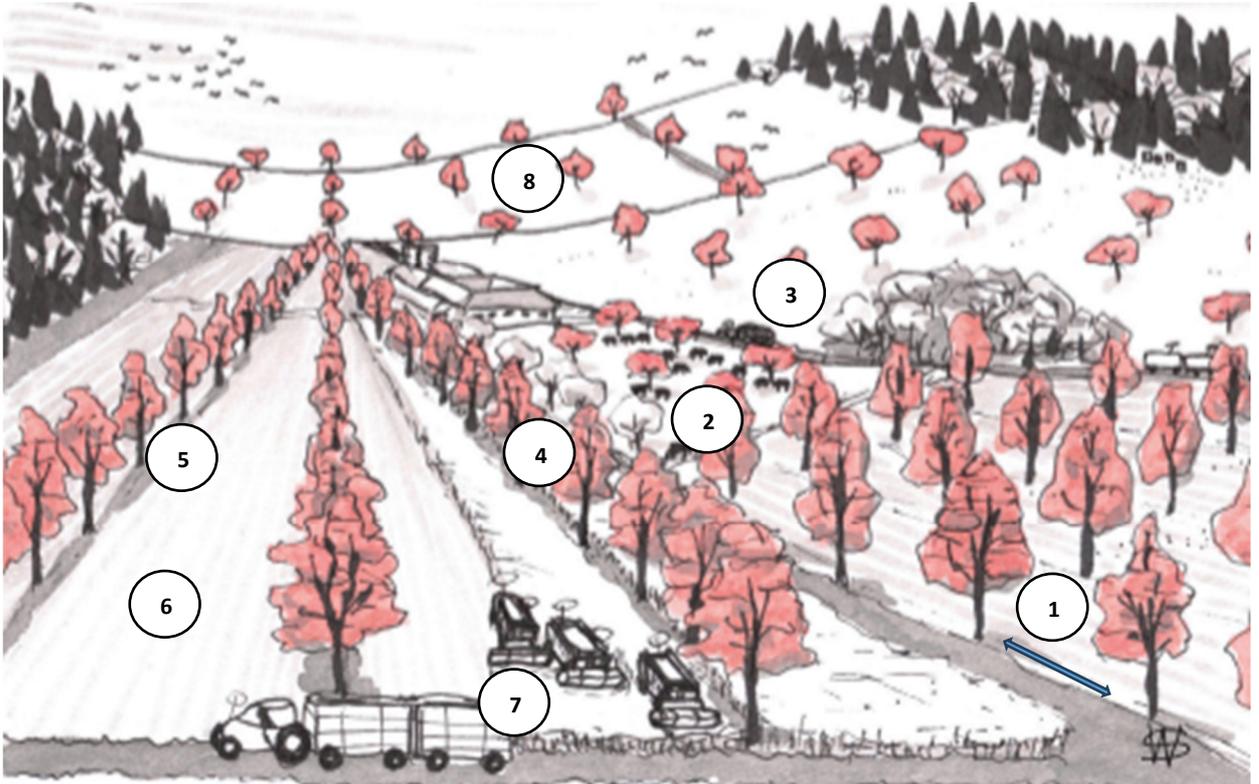


Abbildung 3. Für die Biodiversität relevante Gestaltungselemente eines Agroforstsystems (Illustration adaptiert nach Sonja Wlcek, organic 17 ©).

Elemente des Agroforstsystems:

1. Entfernung zwischen den Bäumen (in und zwischen der Reihe)
2. Zeitweilige Beweidung mit Nutztieren
3. Strukturelemente (z.B. Gehölze)
4. Verschiedene Baumarten und -höhen
5. Artenreicher Unterwuchs und Blühflächen
6. Kulturpflanzen – z.B. Anzahl und Art der Fruchtfolgeglieder
7. Nachhaltige Nutzung und Bewirtschaftung
8. Überbetriebliche landschaftliche Vernetzung

Zusammenfassung für die Praxis - Leitfaden für den Ackerbau

Die folgende Zusammenfassung richtet sich an den Ackerbau und bietet eine praxisnahe Orientierung zum Einstieg in agroforstliche Bewirtschaftung mit Fokus auf Biodiversität. Sie fasst zentrale Aspekte zusammen, die helfen können, ökologische und betriebliche Vorteile sinnvoll miteinander zu verbinden.

Standortgerecht planen

Die Wirkung eines Agroforstsystems auf die Biodiversität hängt stark vom Standort ab:

- Berücksichtigung von Bodentyp, Klima, Exposition und die Nähe zu naturnahen Lebensräumen.
- Eine gute Vernetzung mit bestehenden Strukturen (z. B. Hecken, Wälder) erhöht die Artenvielfalt.
- Auch das Mikroklima (Schatten, Windschutz, Feuchtigkeit) wird durch Gehölze beeinflusst – wichtig im Klimawandelkontext.

Details dazu siehe Kapitel *Einfluss von Standortfaktoren auf die Biodiversität in Agroforstsystemen*

Strukturell vielfältig gestalten

- Kombination von verschiedenen Baumarten, -größen und Altersstufen.
- Integration von blühenden Gehölzen, Sträucher und Kopfbäume für mehr Mikrohabitate.
- Gestaltung von Gehölzstreifen mit ausreichender Breite (2-3 m) und sinnvolle Abstände zur Ackerkultur.

Details dazu siehe Kapitel *Struktur der Baumreihen – Baumarten, -abstände und Altersstruktur – Design*

Heimische, Klimaresiliente Pflanzen

- Heimische Arten sind zu bevorzugen, die auch Klimaresilient sind.
- Invasive Arten sind zu vermeiden.

Details dazu siehe Kapitel *Struktur der Baumreihen – Baumarten, -abstände und Altersstruktur – Design*

Unterwuchs bewusst gestalten

- Artenreiche, wiesenartige Vegetation mit regionalem Saatgut.
- Altgrasstreifen, Brachebereiche und krautige Übergangszonen.
- Mahd oder Beweidung schonend und zeitlich abgestimmt durchführen (z. B. Rücksicht auf Bodenbrüter, Samenbildung ermöglichen).

Details dazu siehe Kapitel *Bedeutung und Gestaltung des Unterwuchses in Agroforstsystemen*

Ackerkulturen anpassen

- Wahl von Kulturarten, die mit Schatten und Konkurrenz um Nährstoffe gut umgehen.
- Reduzierung von Pflanzenschutzmittel und Dünger – das schützt Bodenleben und Nützlinge.
- Ergänzung durch Zwischenfrüchte, Blühstreifen oder Biolandbau.

Details dazu siehe Kapitel *Bewirtschaftung des Ackeranteils in silvoarablen Systemen zur Förderung der Biodiversität*

Lebensräume vernetzen

- Baumreihen dienen als Trittsteine und Wanderkorridore.
- Anschluss an bestehende Biotop – wichtig für genetischen Austausch und Resilienz.

Details dazu siehe Kapitel *Verbindung mit dem Umland (Landschaftskonnektivität)*

Dauerhaft pflegen und kontrollieren

- Regelmäßige Pflege von Gehölzstreifen (z. B. abschnittsweiser Rückschnitt).
- In der Anfangsphase: Totholz oder Nisthilfen integrieren.

Details dazu siehe Kapitel *Bewirtschaftung und Gestaltung von Agroforstsystemen*

Orientierung & Leitfaden zur Förderung der Biodiversität durch Agroforstsysteme im Ackerbau

Agroforstsysteme gewinnen weltweit an Bedeutung, da sie vielfältige Funktionen auf Agrarflächen bieten. Die Vereinbarkeit von Produktion bei gleichzeitiger Förderung der Biodiversität erscheint in Ackerbau geprägten Regionen vielversprechend und zukunftsfähig.

Dieses Dokument entstand im Rahmen des Projektes «Agroforstsysteme: Bestandanalyse und Beitrag zur Biodiversitätsförderung»¹ gefördert durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft. Dieser Leitfaden² zeigt, wie die sinnvolle Verbindung von Gehölzen in solchen landwirtschaftlichen Systemen zur Erhaltung und Förderung von Biodiversität optimal integriert werden können, um ökologische und wirtschaftliche Ziele zu erreichen.

Im ersten Abschnitt (Kapitel „Landwirtschaft & Biodiversität“) wird die Bedeutung der Biodiversität im Kontext landwirtschaftlicher Nutzung thematisiert. Dabei wird analysiert, inwiefern landwirtschaftliche Praktiken die Biodiversität beeinflussen und wie unterschiedliche Organismengruppen als Indikatoren für Biodiversität fungieren können.

Darauf aufbauend erfolgt im Kapitel „Agroforstwirtschaft & Biodiversität“ eine vertiefte Auseinandersetzung mit der räumlichen Struktur landwirtschaftlicher Anbauflächen und dem Einfluss von Agroforstsystemen (AFS) auf Biodiversität und Ökosystemstabilität. Es wird insbesondere untersucht, wie AFS zur strukturellen Diversifizierung beitragen und funktionale Lebensräume innerhalb agrarischer Landschaften schaffen können.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der landschaftlichen Einbettung und der zeitlichen Dynamik der Bewirtschaftung von Agroforstsystemen. In der Folge werden verschiedene Organismengruppen detailliert betrachtet – von Pflanzen, Bodenfauna und Mikroorganismen bis hin zu Wirbeltieren – mit dem Ziel, aufzuzeigen, unter welchen Voraussetzungen diese Gruppen von Agroforstsystemen profitieren.

Anschließend werden die Ökosystemleistungen von AFS dargestellt, mit besonderem Fokus auf jene, die direkt der landwirtschaftlichen Produktion zugutekommen. Ergänzend erfolgt eine sozioökonomische Betrachtung, welche die Potenziale von Agroforstsystemen über rein ökologische Aspekte hinaus beleuchtet.

¹ <https://www.fibl.org/de/themen/projektbank/projektitem/project/2491> und <https://agroforst-oesterreich.at/projekte/>

² Generelle Informationen zu Agroforstsystemen können z.B. unter <https://agroforst-oesterreich.at/downloads/> abgerufen werden und insbesondere zu den Leistungen von AFS: https://agroforst-oesterreich.at/wp-content/uploads/2025/01/Agroforst_Broschuere_Online_mehrBaeumeMehrNutzen_END.pdf

Abschließend wird im Kapitel „Agroforstsysteme zur Förderung der Biodiversität erfolgreich umsetzen“ ein praxisorientierter Leitfaden zur Etablierung eines biodiversitätsfördernden Agroforstsystems präsentiert. Dieser umfasst Empfehlungen zur Gestaltung, Pflege und Bewirtschaftung sowie eine zusammenfassende Einschätzung der potenziellen Wirkungen auf ökologischer und betrieblicher Ebene.

Zur wissenschaftlichen Untermauerung dieses Leitfadens wurden verschiedene Studien und Quellen herangezogen. Diese sind im Text als wissenschaftliche Verweise (z. B. Kletty et al., 2023) gekennzeichnet. Sie sollen den Lesefluss nicht stören, sondern eine vertiefte Auseinandersetzung mit dem Thema ermöglichen (siehe Literaturverzeichnis).

Neben der Auswertung relevanter Fachliteratur fand eine Fachexpert:innenrunde zu Biodiversität und Agroforstsystemen statt. Die teilnehmenden Fachleute brachten ihr Wissen aus den Bereichen Agrarökologie und Biodiversität ein, insbesondere zu Pflanzen, Reptilien, Vögeln, Fledermäusen, Insekten (z. B. Wildbienen, Laufkäfer, Heuschrecken), Boden- und Mikroorganismen sowie Wildtieren. Die Ergebnisse dieser Runde sind in den Leitfaden eingeflossen und werden mit dem Kürzel “FER” für Fachexpert:innenrunde gekennzeichnet.

Landwirtschaft & Biodiversität

Die Biodiversität, also die Vielfalt des Lebens, erbringt für die Menschheit zahlreiche Ökosystemleistungen, darunter regulierende Funktionen wie die Bestäubung sowie unterstützende Prozesse wie die Bodenbildung. Biodiversität wird häufig als die Vielfalt des Lebens in all seinen Formen, Ebenen und Kombinationen definiert. Laut dem Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Biodiversitätskonvention)³ umfasst Biodiversität die Vielfalt innerhalb der Arten, zwischen den Arten und der Ökosysteme. Diese Definition betont sowohl die strukturelle als auch die funktionale Vielfalt der Natur. Der Weltbiodiversitätsrat (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES) hebt hervor, dass Biodiversität nicht nur durch ihren Nutzen für den Menschen wertvoll ist, sondern auch einen eigenen Wert in sich besitzt, unabhängig von menschlichen Interessen oder Bewertungen (IPBES, 2022). Als zentrales und dringendes Ziel wurde die Förderung der Biodiversität in der Biodiversitätsstrategie für 2030 der Europäischen Union⁴ sowie der österreichischen Biodiversitätsstrategie 2030+ (BMK, 2022) verankert.

Biodiversität ist ein wichtiger Faktor für eine erfolgreiche und resiliente landwirtschaftliche Produktion – sie bildet einen entscheidenden Pfeiler unseres

³ Ist ein 1993 in Kraft getretenes internationales Umweltabkommen und ist das wichtigste Vertragswerk für den Schutz der globalen Biodiversität.

⁴ Z.B. <https://eur-lex.europa.eu/DE/legal-content/summary/eu-biodiversity-strategy-for-2030.html>

Lebensmittelsystems. Landwirtschaft bedeutet jedoch immer einen gewissen Kompromiss zwischen „Natürlichkeit“, also natürlich vorkommender Biodiversität, und produktiver Landnutzung. Aber auch innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzung kann Biodiversität existieren – sie wird als Agrobiodiversität bezeichnet.

Agrobiodiversität umfasst die gesamte Vielfalt an Pflanzen, Tieren und Mikroorganismen, die in der Landwirtschaft direkt (z.B. durch Anbau und Zucht) oder indirekt (z.B. über das Bodenleben, Bestäubung oder Nährstoffkreisläufe) genutzt werden. Dazu zählt nicht nur die Vielfalt an Arten, Sorten und Zuchtformen, sondern auch das Wissen über ihre Nutzung. Sie ist also biologische Vielfalt unter landwirtschaftlicher Nutzung – mit ökologischer, wirtschaftlicher und kultureller Bedeutung (Petersen et al., 2015).

Agroforstwirtschaft kann als Instrument des Naturschutzes in Agrarlandschaften dienen – im Sinne eines „Naturschutzes durch Nutzung“. Sie ermöglicht sowohl die Entwicklung neuer Lebensräume als auch den Erhalt ökologisch wertvoller Strukturen. Die gezielte Integration von Gehölzstreifen in Acker- und Grünlandflächen steigert nicht nur die Strukturvielfalt, sondern auch die Flächenproduktivität. So lassen sich landwirtschaftliche Nutzung und Biodiversitätsförderung auf derselben Fläche langfristig verbinden. (Wangert et al., 2024).

Bewertung von Biodiversität

Die Erfassung und Bewertung der Biodiversität ist ein wesentlicher Schritt zur förderlichen Gestaltung landwirtschaftlicher Betriebe. Den Zustand von Biodiversität in all seinen Dimensionen und Gestaltungsformen in Raum und Zeit durch geeignete Methoden zu erfassen, stellt eine große Herausforderung dar. Aus unterschiedlichen Gründen wird dies angestrebt, auch verlangt, um nicht nur die IST-Situation aus wissenschaftlichem Interesse zu kennen, sondern auch, um z. B. die tatsächliche "Leistung" von Umweltmaßnahmen zu evaluieren oder den monetären Wert von Biodiversität abschätzen zu können.

Die Vielschichtigkeit der Biodiversität spiegelt sich in den mannigfaltigen Ansätzen und Methoden wider, diese zu bewerten. Eine altgediente, aber immer noch gängige Art der Bewertung der Biodiversität konzentriert sich auf drei Kategorien: die Anzahl der Arten, die relative Häufigkeit der Arten (Abundanz) und die unterschiedlichen ökosystemaren Funktionen. Häufig wird auch das Vorkommen spezifischer, seltener oder geschützter Arten herangezogen. Außerdem dienen auch Biodiversitätsindizes, die verschiedene Indikatoren zusammenfassen, welche auf Betriebs-, Landschafts- und Regionsebene angewendet werden können⁵.

⁵ z.B.: der Blumenfarbindex (FCI), die Schmetterlingshäufigkeit und der Strukturdichte-Index (Shannon Diversity Index) (Tasser et al., 2019).

Organismengruppen als Biodiversitätsindikatoren

Neben Pflanzenarten gelten in der Tierwelt vor allem Vögel, Schmetterlinge sowie Laufkäfer und Heuschrecken als Biodiversitätsindikatoren. Da oft eine Bestimmung bis auf Artenebene nötig ist, erfordert dies Fachwissen. Verschiedene Organismengruppen wie Arthropoden, Vögel, Fledermäuse, Pflanzen, Pilze, Flechten und Moose reagieren unterschiedlich auf landwirtschaftliche Praktiken und geben Hinweise auf Ökosystemfunktionen (Mupepele et al., 2021). Auch bestimmte Lebensräume sind bewährte Biodiversitätsindikatoren (Stolze et al., 2015).

Wichtig für die Wahl der Indikatoren sind die Größe des Beobachtungsraums, der Zeitraum der Erhebung und die Mobilität der Arten. So lassen sich Gefäßpflanzen leichter einem bestimmten Standort zuordnen als Vögel (Tasser et al., 2019). Schmetterlinge eignen sich durch ihren Lebenszyklus gut als öffentlichkeitswirksame Indikatoren für Landschaften (Feest et al., 2011).

Da ökologische Beziehungen wie Symbiosen oder Räuber-Beute-Beziehung die Biodiversität beeinflussen, empfiehlt es sich, eine Kombination mehrerer Indikatoren heranzuziehen, um ein umfassenderes Bild zu erhalten. Besonders wichtig ist, dass die Indikatoren empfindlich auf Änderungen der Landnutzung reagieren und die Auswirkungen davon erkennbar machen (Tasser et al., 2019).

Agroforstwirtschaft & Biodiversität

Chancen für landwirtschaftliche Betriebe

Agroforstsysteme (AFS) bieten eine vielversprechende Möglichkeit, die Biodiversität in der Landwirtschaft zu fördern. Durch die Erhöhung der strukturellen Vielfalt sowohl über als auch unter der Bodenoberfläche entstehen widerstandsfähigere und nachhaltigere Produktionssysteme (Palma et al., 2007). Diese positiven Effekte sind vor allem auf die Vielschichtigkeit der Vegetation, verbesserte Bodenbedingungen, höheren organischen Kohlenstoffgehalt, ein günstigeres Mikroklima und intakte Ökosystemdienstleistungen zurückzuführen (Torralba et al., 2016). So können AFS beispielsweise gezielt in erosionsgefährdeten Gebieten eingesetzt werden, um den Sedimenteintrag in Gewässer zu reduzieren und damit deren Biodiversität zu schützen.



Abbildung 4. Agroforstsystem auf einem leicht geigten Hang im 1. Standjahr in der Steiermark (Humus+ Betrieb). © FiBL, T. Markut

Agroforstwirtschaft ist keine neue Idee: Bereits 2500 v. Chr. wurden in Europa Bäume gezielt in landwirtschaftliche Systeme integriert (Eichhorn et al., 2006). Traditionelle Beispiele sind die Streuobstwiesen in Europa, Parklandschaften in Westafrika, Reisanbausysteme mit Akazienbäumen in Indien oder Oasen in ariden Gebieten. Diese Landwirtschaftssysteme gelten als wertvolle Modelle nachhaltiger Landnutzung. Dennoch sind solche traditionellen Systeme v.a. die Streuobstwiesen in Europa aufgrund wirtschaftlicher Herausforderungen (Rolo et al., 2020) und der voranschreitenden Trennung von Forstwirtschaft, Ackerbau und Tierhaltung zurückgegangen.

Moderne AFS sind an die gegenwärtige Bewirtschaftungspraxis angepasst und sind produktiver als traditionelle AFS. Die ökologischen Vorteile können durch weitere Praktiken, wie ein extensives Unterwuchsmanagement oder einer Kombination mit weiteren Landschaftselementen und dem Umfeld, zusätzlich gesteigert werden.

Um die potenziellen Vorteile von AFS besser zu verstehen und zu nutzen, sind jedoch weitere Forschungen notwendig, auch um die bisherige Mannigfaltigkeit der Ergebnisse zu erklären und praxistaugliche Managementstrategien zu entwickeln (Russell et al., 2009). Langfristige Studien und die Entwicklung geeigneter Modelle sind Schlüssel, um die Akzeptanz und Verbreitung von AFS zu fördern (Coe et al., 2014). Nur durch eine fundierte wissenschaftliche Grundlage können Agroforstsysteme optimal an unterschiedliche Standortbedingungen und Praktiken angepasst und so zu einer nachhaltigen Landwirtschaft beitragen. Außerdem trägt eine gezielte Analyse der regionalen Gegebenheiten in Kombination mit einer fachkundigen Beratung von Landwirt:innen maßgeblich zur effektiven Umsetzung bei.

Strukturvielfalt als Schlüssel zur Biodiversität und Ökosystemstabilität

Agroforstsysteme spielen eine entscheidende Rolle bei der Förderung der Biodiversität in landwirtschaftlich geprägten Regionen. Durch die Kombination von Bäumen, Sträuchern und Krautschichten mit landwirtschaftlichen Nutzflächen entstehen vielfältige Lebensräume, die eine Vielzahl von Pflanzen- und Tierarten beherbergen (Benton et al., 2003). Besonders während intensiver Bewirtschaftungsphasen bieten diese Strukturen wertvolle Rückzugsräume und tragen zur Stabilisierung der Populationsdichte bei.

Lebensräume für Tiere und Pflanzen

Baumreihen in Agroforstsystemen unterbrechen großflächige Monokulturen und schaffen strukturreiche Landschaften mit einer hohen Artenvielfalt. Untersuchungen zeigen, dass diese Systeme oft eine ähnlich hohe Vogelvielfalt wie Wälder aufweisen und deutlich artenreicher sind als konventionelle Agrarflächen (Edo et al., 2024; Morelli, 2013). Zudem fungieren sie als Refugien für Insekten, Kleinsäuger und andere Organismen, die durch landwirtschaftliche Eingriffe beeinträchtigt werden könnten. Baumreihen dienen als wichtige Überwinterungsorte für Insekten wie Käfer (z.B. Laufkäfer), die empfindlich auf landwirtschaftliche Störungen reagieren, sowie für viele Bestäuber. Neben Pollen und Nektar bieten Bäume auch Baumharz, das von Bestäubern für den Nestbau und zur Krankheitsabwehr genutzt wird (Boinot et al., 2019a; Staton et al., 2019). Diese kontinuierliche Bereitstellung von Ressourcen stärkt nicht nur die Artenvielfalt, sondern auch die Bestäubungsleistungen.

Agroforstsysteme entwickeln sich über Jahrzehnte hinweg und schaffen durchgehend neue Lebensräume. Während einjährige Nutzpflanzen regelmäßig geerntet werden, bieten Agroforstsysteme dauerhaft Habitate und fördern somit die Artenvielfalt (Edo et al., 2024). Die Bodenqualität verbessert sich durch Laubfall und weitreichende Wurzelsysteme, die die Fruchtbarkeit des Bodens erhöhen und günstige Bedingungen für Mikroorganismen und Regenwürmer schaffen (Vaupel et al., 2023).

Baumreihen als ökologische Schutzbarrieren

Baumreihen spielen eine wichtige Rolle bei der Steuerung von Tierbewegungen in Agrarlandschaften. Während sie Lebensraum für z.B. Vögel bieten, die zur natürlichen Schädlingskontrolle beitragen, können sie gleichzeitig die Ausbreitung von wandernden Schädlingen, wie Blattläuse, verlangsamen oder sogar verhindern (Bentrop et al., 2019). Durch die Unterbrechung des ansonsten gleichmäßigen Anbaugesbietes werden Schädlingspopulationen an einem Ort gehalten, anstatt sich ungehindert auszubreiten. Dies kann das Gleichgewicht zwischen Schädlingen und ihren natürlichen Feinden fördern und somit das ökologische System stabilisieren (Staton et al., 2019).

Bodengesundheit und Kohlenstoffspeicherung

Ein gesunder Boden ist essenziell für nachhaltige landwirtschaftliche Produktivität. Agroforstsysteme tragen dazu bei, indem sie Kohlenstoff speichern und die Bodenqualität verbessern. Die Erhöhung des organischen Kohlenstoffgehalts verringert Nährstoffauswaschung, Pestizidverluste und Erosion (Quinkenstein et al., 2009; Torralba et al., 2016; Tsonkova et al., 2012). Auch Mikroorganismen wie Bakterien und Pilze profitieren von höheren Kohlenstoffgehalten, wodurch die ökologische Stabilität steigt (Puskaric et al., 2021). Zusätzlich fördern Baumreihen die Mikrobengemeinschaften in tieferen Bodenschichten, wodurch deren ökologische Pufferfunktion gestärkt wird (Beule et al., 2022).

Mikroklima in Agroforstsystemen

Bäume haben einen positiven Einfluss auf das Mikroklima, indem sie die Windgeschwindigkeit reduzieren, Temperaturen regulieren und den Wasserhaushalt verbessern (Jacobs et al., 2022; Bentrup et al., 2019; Quinkenstein et al., 2009). Insbesondere in Ackerbau-Agroforstsystemen senken Baumreihen die Windgeschwindigkeit erheblich und verringern die Anzahl der Tage mit Winderosionsrisiko im Vergleich zu offenem Ackerland, was zu einer deutlichen Erhöhung der Winderosionsresistenz führt (Veldkamp et al., 2023).

Diese Faktoren wirken sich nicht nur positiv auf die landwirtschaftlichen Erträge aus, sondern auch auf die Bodenlebewesen und die allgemeine ökologische Stabilität. Studien zeigen, dass Agroforstsysteme die Resilienz von Mikroorganismen gegenüber Wasserstress erhöhen und die Vielfalt der Bodenlebewesen fördern (Mungai et al., 2005; Furze et al., 2017).

Kombination mit Landschaftselementen

Die Kombination von Agroforstsystemen mit semi-natürlichen Habitaten wie Blühstreifen, Hecken und Wäldern steigert sowohl die Biodiversität als auch die Stabilität von Funktionen (z.B.: Ökosystemleistungen wie Lebensraum, Filterleistung von Luft und Boden) der Landschaft. Ergänzende Maßnahmen wie Nistkästen oder Totholzhaufen erhöhen zusätzlich die Attraktivität dieser Flächen für zahlreiche Organismen. Auch Ansitzstangen für Greifvögel können integriert werden, um eine natürliche Schädlingskontrolle zu unterstützen. Durch die komplexen Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Arten wird die Stabilität des gesamten Ökosystems gestärkt.

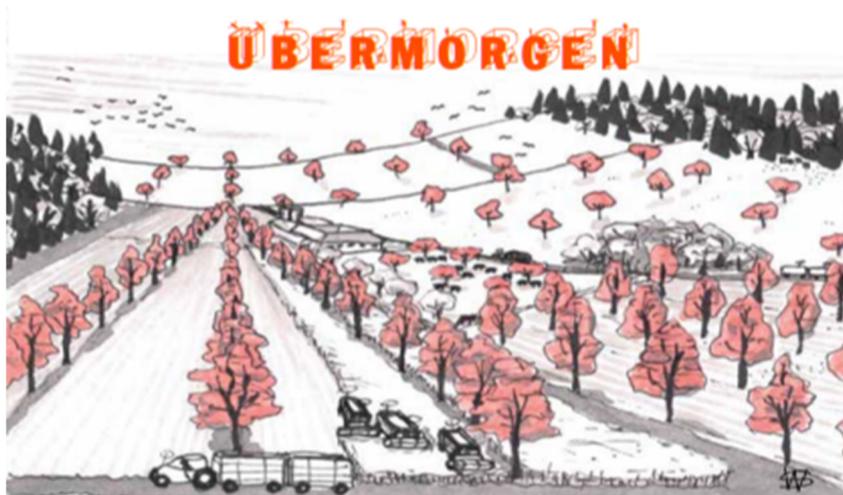
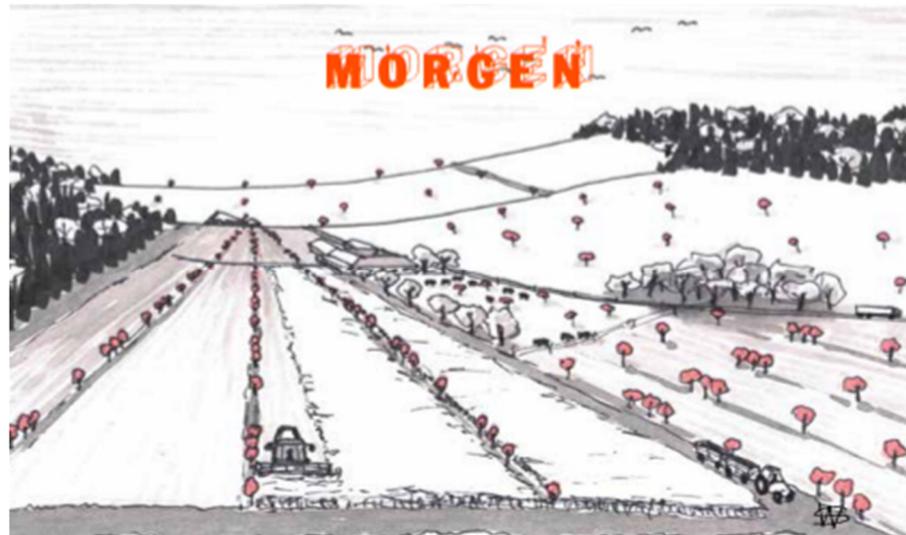


Abbildung 5. Entwicklung des Agroforstsystems; Heute, Morgen, Übermorgen. © Sonja Wlcek, organic 17.

Verbindung mit dem Umland (Landschaftskonnektivität)

Agroforstsysteme sind keine isolierten Lebensräume, sondern ein integraler Bestandteil größerer Ökosysteme. Die Integration von AFS in bestehende Landschaftselemente wie Wälder, Gewässer oder Hecken maximiert ihre ökologische Wirkung (FER). Agroforstliche Strukturen wären zudem als „high diversity landscape feature“, die gleichzeitig produktiv sind, ein wertvoller Beitrag zur Erreichung der Renaturierungs-Ziele⁶. Baumreihen und Sträucher oder andere lineare Landschaftsstrukturelemente können sowohl auf der Fläche des Agroforstsystems oder in deren Umfeld als Leitstrukturen⁷ dienen, welche angrenzende Ökosysteme miteinander verbinden. Die Geschwindigkeit, mit der sich Biodiversität in Agroforstsystemen entwickelt, hängt maßgeblich von der Verbundenheit (Konnektivität) mit den Lebensräumen (z.B.: Wald) der umgebenden Landschaft ab. Während fliegende Insekten wie Bestäuber schnell von neuen Strukturen profitieren können, benötigen Bodenorganismen oft deutlich länger, um sich zu etablieren (FER). Eine Anbindung an bestehende Strukturen wie Wälder, Gewässer oder lineare Gehölzstrukturen erhöht die ökologische Wirkung und beschleunigt die Besiedlung durch verschiedene Arten (FER) Studien belegen, dass die Gesamtmenge an Lebensräumen in einer Landschaft einen stärkeren Einfluss auf die Biodiversität hat als die Größe von diesen (Watling et al., 2020).

Anbindung an bestehende Strukturen: Wald, Gewässer, andere lineare Gehölzstrukturen (z.B. Hecken)

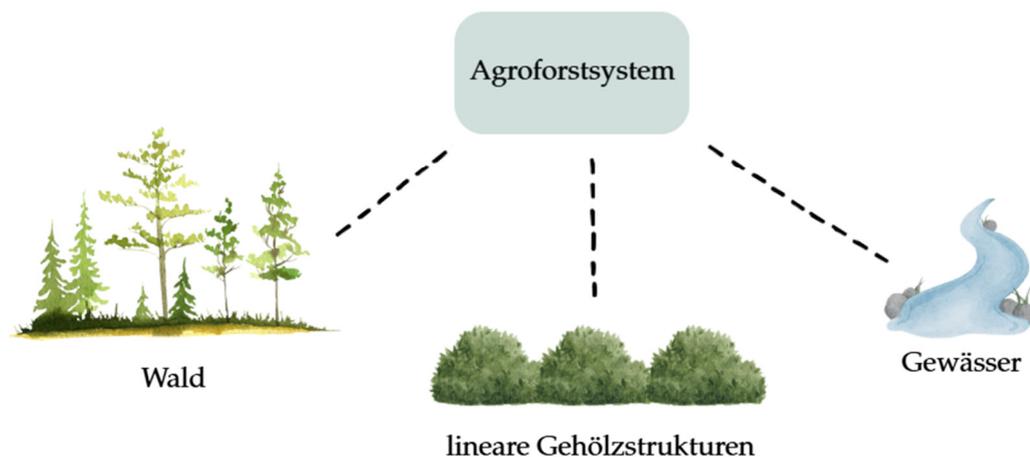


Abbildung 6. Anbindung von AFS an bestehende Strukturen (nach einer Vorlage von FER, digital bearbeitet).

⁶ EU-Verordnung 2024/1991:

https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401991

⁷ Landschaftselemente an denen sich Wildtiere bei der Fortbewegung innerhalb ihres Lebensraums orientieren

Die Wirkung von AFS wird zudem von Faktoren wie Landnutzungsgeschichte, Bodenbeschaffenheit und klimatischen Bedingungen beeinflusst. Soziale und wirtschaftliche Aspekte, aber auch externe Einflüsse wie landwirtschaftliche Förderprogramme oder Absatzmöglichkeiten, spielen eine wesentliche Rolle bei der erfolgreichen Implementierung dieser Systeme (Karner et al., 2019). Eine umfassende Perspektive ist daher essenziell, um Agroforstsysteme nicht nur lokal, sondern auch auf Landschaftsebene erfolgreich einzubinden. Ein solches Vorgehen wird auch einen wichtigen Beitrag zum Ziel des anlaufenden Renaturierungsgesetzes (Gesetz zur Wiederherstellung der Natur) leisten, bis 2030 mindestens 20 % der Land- und Meeresflächen und bis 2050 alle betroffenen Ökosysteme der EU wiederherzustellen.

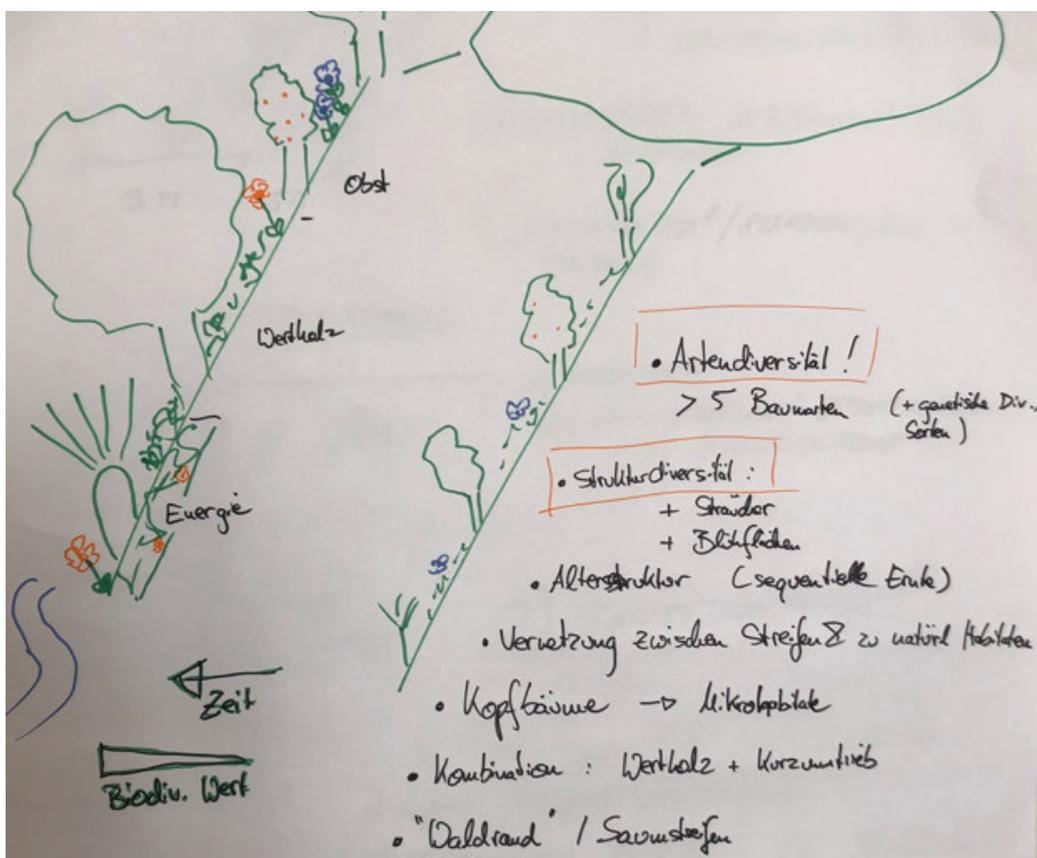


Abbildung 7. Zusammenhang von der zeitlichen Entwicklung eines silvoarablen Agroforstsystems mit der Zunahme des Biodiversitätswertes. Abbildung als Beispiel der Arbeiten in der Expert:innenrunde

Agroforstsysteme und ihre Wirkung auf Organismengruppen

Neben Pflanzen profitieren insbesondere Bodenorganismen, Vögel, Säugetiere, Insekten und Arthropoden von den strukturellen und mikroklimatischen Bedingungen von Agroforstsystemen (AFS). Ein besseres Verständnis der Biodiversität in Agroforstsystemen erfordert eine langfristige Betrachtung. Studien, die den zeitlichen Verlauf von AFS untersuchen, können wertvolle Informationen liefern – beginnend vor dem Anlegen solcher Systeme. Diese Ansätze können zeigen, wie Biodiversität auf den Aufbau von AFS reagiert und wann die wesentlichen Veränderungen während der Umbildung auftreten (Kletty et al., 2023).

Saisonale Unterschiede spielen dabei ebenfalls eine wichtige Rolle. Studien, die zu verschiedenen Zeitpunkten im Jahr durchgeführt wurden, zeigen signifikante Unterschiede in der Biodiversität. Beispielsweise beobachteten Bainard et al. (2012) eine höhere Vielfalt an arbuskulären Mykorrhizapilzen⁸ im Frühsommer im Vergleich zu späteren Jahreszeiten. Die Durchführung von Untersuchungen nur zu einem bestimmten Zeitpunkt im Jahr könnte daher zu verzerrten Ergebnissen führen oder Effekte übersehen, die zu anderen Zeiten sichtbar wären (Imbert et al., 2020; Pardon et al., 2019). Umfassende Untersuchungen über das Jahr hinweg sind daher zu empfehlen, um fundierte Erkenntnisse zu gewinnen (D’Hervilly et al., 2022). Im Folgenden wird erläutert, wie AFS verschiedenen Organismengruppen zugutekommen.

Pflanzengesellschaften

Baumstreifen dienen einigen Pflanzenarten als Rückzugsort vor landwirtschaftlichen Störungen (Boinot et al., 2019b). Untersuchungen befassen sich weniger mit der Pflanzenvielfalt im Hinblick auf die Biodiversität, sondern vielmehr mit der produktionstechnischen Frage, ob artenreiche Baumstreifen den Unkrautdruck auf angrenzenden Ackerflächen erhöhen. Eine Untersuchung in 20 agroforstlichen Systemen in der Schweiz ergab 210 Pflanzenarten, von denen 90 auch in den Ackerflächen vorkamen (Roberti et al., 2024). Die Ergebnisse zeigten jedoch keinen signifikanten Unterschied im Unkrautdruck zwischen randnahen (0,5 m) und zentralen Zonen (8 m) der Felder. Auch die Artenvielfalt der Baumstreifen hatte keinen Einfluss auf den Unkrautdruck. Entscheidend war vielmehr das Bewirtschaftungssystem: In ökologischen Flächen war der Unkrautdruck höher als in konventionellen – unabhängig von der Agroforstwirtschaft. Da die untersuchten Systeme noch jung sind, wären weitere Studien zur Bestätigung der Ergebnisse sinnvoll.

⁸ Symbiotische Pilze deren Hyphen (feine Fäden) in Wurzelzellen von Pflanzen eindringen und sich in Form von kleinen Verzweigungen (Arbuskeln) in den Zellen verzweigen.

Boden- und Mikroorganismen

Bodenorganismen, wie Regenwürmer, Bakterien und Pilze, spielen eine zentrale Rolle für die Bodenfruchtbarkeit und die Bereitstellung ökosystemarer Leistungen. Untersuchungen zeigen, dass Agroforstsysteme positive Effekte auf die Anzahl und Diversität dieser Organismen haben (Kletty et al., 2023). Zudem verbessert die Umwandlung offener Ackerflächen in Agroforstsysteme den biologischen Lebensraum des Bodens, was sich in einer größeren Regenwurm-Biomasse sowie erhöhten Populationen von Bodenbakterien und Pilzen zeigt (Veldkamp et al., 2023).

Insbesondere Regenwürmer profitieren von der Nähe zu Baumreihen: Ihre Dichte kann hier bis zu zwölfmal höher sein als in reinen Ackerflächen (Vaupel et al., 2023). Eine Besonderheit liegt in der Differenzierung zwischen Regenwurmartensorten: Während im Mineralboden lebende sogenannte endogäische Arten vor allem in den Ackerstreifen vorkommen, dominieren *tiefgrabende* (anözische) Arten in den Baumstreifen. Letztere profitieren vom Laubeintrag und der reduzierten Bodenbearbeitung, die ihnen eine dauerhafte organische Bodendecke bietet (D’Hervilly et al., 2020; Vaupel et al., 2023). Neben Regenwürmern fördern Agroforstsysteme auch Nematoden sowie Arthropoden, die sich von zerkleinerter organischer Substanz ernähren und sorgen für ein ausgewogenes Nahrungsnetz im Boden (Pardon et al., 2019; Puskaric et al., 2021).

Auch Mikroorganismen wie Bakterien und Pilze profitieren von den besonderen Bedingungen in Agroforstsystemen. Die höhere Strukturvielfalt und der zusätzliche Eintrag von organischem Material aus den Baumstreifen fördern die Aktivität und Diversität mikrobieller Gemeinschaften. Diese tragen nicht nur zur Zersetzung organischer Substanzen und zur Nährstofffreisetzung bei, sondern beeinflussen auch die langfristige Kohlenstoffspeicherung im Boden positiv (D’Hervilly et al., 2021). Besonders symbiotische Pilze wie Mykorrhiza können durch die Interaktion mit den Baumwurzeln eine verbesserte Nährstoffaufnahme der Pflanzen ermöglichen. Solche mikrobiellen Prozesse sind entscheidend für die Bodenqualität und die langfristige Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Flächen.

Arthropoden und andere wirbellose Tiere

Die erhöhte Strukturvielfalt in Agroforstsystemen begünstigt eine größere Artenvielfalt von Arthropoden und anderen wirbellosen Tieren (Invertebraten). Diese fungieren als natürliche Schädlingsbekämpfer und tragen wesentlich zum Nährstoffkreislauf bei. Besonders auffällig ist die gesteigerte Vielfalt und Dichte von bodenlebenden Arthropoden in der Nähe der Baumreihen (Pardon et al., 2019).

Speziell in der Vegetation des Unterwuchses von Baumreihen schaffen Agroforstsysteme wertvolle Lebensräume für Insekten und andere wirbellose Tiere. Diese Bereiche bieten semi-natürliche Habitate, die nicht von Bodenbearbeitung

betroffen sind und dadurch eine hohe Bedeutung für die Überwinterung vieler Invertebraten haben. Studien zeigen, dass 55 % der untersuchten wirbellosen Arten im Unterwuchs häufiger vorkommen als in den Anbauflächen zwischen den Baumreihen (Boinot et al., 2019a).

Besonders Käfergemeinschaften, wie Laufkäferarten, profitieren von diesen Lebensräumen. Diese Käfer sind empfindlich gegenüber landwirtschaftlicher Intensivierung und dienen als Bioindikatoren für die ökologische Gesundheit eines Systems (Rainio und Niemelä, 2003). Die Überwinterung in der Unterwuchsvegetation fördert ihre Population und verbessert die biologische Schädlingsbekämpfung, da sie nach dem Frühling in die Anbauflächen einwandern und dort eine breite Palette von Schädlingen kontrollieren können (Rouabah et al., 2014).

Untersuchungen betonen, dass der Erfolg der Überwinterung von Insekten in der Unterwuchsvegetation direkt die Verfügbarkeit von Ressourcen für höhere Stufen (Trophieebenen) der Nahrungskette wie Vögel und Säugetiere beeinflusst (Boinot et al., 2019a).

Neben Insekten profitieren auch Spinnentiere wie Webspinnen (Araneae), Milben (Acarina) und Pseudoskorpione von Agroforstsystemen. Sie überwintern größtenteils im Vegetationsstreifen der Baumreihen, wo sie vor Störungen durch Pflug oder Pestizide geschützt sind (Boinot et al., 2019a). Spinnen und andere räuberische Arthropoden spielen eine Schlüsselrolle bei der natürlichen Schädlingsbekämpfung, da sie landwirtschaftliche Schädlinge effektiv reduzieren.

Vögel und Säugetiere

Die Baumreihen in Agroforstsystemen bieten Vögeln und Säugetieren wertvolle Rückzugsorte und Nahrungsquellen. Studien zeigen, dass in solchen Systemen die Artenvielfalt und Häufigkeit von Vögeln signifikant höher ist als in Monokulturen (Gibbs et al., 2016). Kleine Säugetiere nutzen die Baumstreifen als Lebensraum, wodurch ihre Bestände sogar höher sein können als in reinen Waldgebieten (Klaa et al., 2005). Eine europäische Studie zeigt, dass Agroforstsysteme eine deutlich höhere Vogelartenvielfalt aufweisen als offene landwirtschaftliche Flächen und eine mit Wäldern und Obstplantagen vergleichbare Artenvielfalt erreichen (Edo, Entling & Rösch, 2024). Besonders in intensiv bewirtschafteten Agrarlandschaften können Agroforstsysteme als wichtige Rückzugsräume für Vogelarten dienen – so auch für Generalisten, die eigentlich Waldbewohner sind. Sogar Kurzumtriebsplantagen (FER) mit ausschließlich Pappeln in silvoarablen Agroforstsystemen schaffen wertvolle Lebensräume für Brutvögel. Eine Langzeitstudie in Norddeutschland (Zitzmann & Langhof, 2023) zeigte, dass besonders strukturreiche Varianten mit zusätzlichen heimischen Bäumen und Sträuchern vorteilhaft sind.

Sie fördern vor allem Vögel, die in Bäumen oder Sträuchern nisten. Allerdings kann die Ernte kurzfristig die Artenvielfalt beeinträchtigen. Hecken sind eine sinnvolle Ergänzung und sollten eingeplant werden, um die Lebensraumqualität weiter zu verbessern. Allerdings kehren durch Agroforstsysteme nicht unbedingt die stark zurückgegangenen Feldvögel der vergangenen Jahrzehnte zurück. Hier müssen gezielte Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

Der Struktureichtum von Agroforstsystemen lockt viele Säugetierarten an, die die Baumreihen als Lebensraum nutzen. Allerdings kann dies auch Herausforderungen mit sich bringen, da die erhöhte Anwesenheit von Wildtieren negative Einflüsse auf landwirtschaftliche Flächen haben kann (FER). Ein gängiges Beispiel dafür ist die Etablierung von Sitzstangen für Greifvögel, um die Mäusepopulation in AFS zu regulieren. Ein ausgewogenes Management ist daher essenziell, um die Vorteile für die Biodiversität mit den Anforderungen der Landwirtschaft in Einklang zu bringen.

Fledermäuse sind stark geschützte Arten, die empfindlich auf Veränderungen in landwirtschaftlichen Praktiken und die Präsenz von Bäumen reagieren (Barré et al., 2018). Sie spielen eine wichtige Rolle in der biologischen Schädlingsbekämpfung, wurden jedoch bisher kaum in Bezug auf Agroforstsysteme in gemäßigten Klimazonen untersucht (Kletty et al, 2023). Die Integration von Baumreihen in Agrarlandschaften könnte wertvolle Lebensräume für Fledermäuse schaffen und ein Vorkommen ermöglichen und somit einen ökologischen Nutzen für landwirtschaftliche Betriebe bieten.

Reptilien und Amphibien

Reptilien und Amphibien könnten ebenfalls von Agroforstsystemen profitieren, da Baumreihen potenziell geeignete Lebensräume für sie darstellen. Ein Beispiel hierfür ist die Zauneidechse, die in Ostösterreich unter bestimmten Bedingungen von Baumreihen profitieren könnte. Allerdings wurde dieses Potenzial bislang kaum erforscht (Kletty et al, 2023). Amphibien und Reptilien, insbesondere Spezialisten⁹, bevorzugen häufig Kleinstrukturen wie Steinhäufen oder Ökosysteme wie Trockenrasen, die in typischen Agroforstsystemen nur selten vorkommen. Daher ist die Bedeutung dieser Systeme für gefährdete Arten dieser Tiergruppen noch unklar (FER). Zukünftige Untersuchungen sollten sich auf spezifische Arten und ihre potenziellen Vorteile durch Agroforst konzentrieren, um fundierte Empfehlungen für die Praxis abzuleiten.

⁹ Organismen, die sich auf bestimmte Lebensräume angepasst haben

Seltene oder gefährdete Arten

Agroforstsysteme erhöhen generell die Biodiversität, bringen aber bisher kaum nachweisbare Vorteile für seltene oder gefährdete Arten. Diese Arten haben oft spezielle Anforderungen an ihren Lebensraum. Die Vielfalt der Strukturen in Agroforstsystemen fördert vor allem weit verbreitete Arten (Generalisten), während Spezialisten seltener profitieren (FER).

Allerdings bleibt der Schutz seltener Arten wichtig – auch wenn solch ein Vorgehen die Gesamtartenzahl eines Ökosystems nicht automatisch erhöht. In manchen Fällen kann die gezielte Förderung von Spezialisten sogar wertvoller für ein Ökosystem sein als ein reiner Anstieg der Artenvielfalt (FER). Wissenschaftliche Studien zeigen jedoch, dass Agroforstsysteme seltene Arten nicht gezielt fördern und manchmal sogar Risiken für sie bergen können (Boinot et al., 2019b; Gibbs et al., 2016). Dennoch gibt es Möglichkeiten, durch eine gezielte Anpassung von Agroforstsystemen bedrohte Arten zu unterstützen. Dazu gehören beispielsweise die Integration von Kleinstrukturen oder speziell gestaltete Lebensräume (Santos et al., 2022).

Für landwirtschaftliche Betriebe bedeutet das: Agroforstsysteme sollten sorgfältig geplant und mit weiteren Naturschutzmaßnahmen kombiniert werden. Ungenutzte Flächen wie Böschungen oder Brachen können gezielt in die Planung einbezogen werden, um spezialisierten Arten wie bestimmten Pflanzen oder Insekten zusätzlichen Lebensraum zu bieten.

Ökosystemleistungen durch Agroforstsysteme

Ein zentraler Vorteil von Agroforstsystemen (AFS) ist die Bereitstellung wichtiger Ökosystemleistungen – natürliche Prozesse, die landwirtschaftliche Betriebe unterstützen. Dazu gehören, unter anderem, die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, Wasserregulierung, Schädlingsbekämpfung und Bestäubung. Biodiversität unterstützt somit die Produktivität und reduziert Umweltbelastungen (Chopin et al., 2019).

Durch die Kombination von Bäumen, Sträuchern und Nutzpflanzen entsteht ein stabiles ökologisches Gleichgewicht, das nachhaltige Anbaumethoden begünstigt (Luedeling et al., 2016). Besonders wertvoll sind dabei beispielsweise folgende Ökosystemleistungen:

- **Natürliche Schädlingsbekämpfung:** Nützlinge regulieren Schädlinge auf natürliche Weise.
- **Bodenfruchtbarkeit:** Organisches Material verbessert den Humusgehalt.
- **Wasserregulierung:** Wurzelsysteme speichern Wasser und verhindern Erosion.
- **Mikroklimastabilität:** Bäume spenden Schatten und reduzieren Temperaturschwankungen.

Allerdings sind die Auswirkungen von Biodiversität in AFS oft komplex, was eine genaue Bewertung erschwert (Kletty et al., 2023). Zudem fehlen zuverlässige Modelle zur präzisen Berechnung der Ökosystemleistungen (Sagastuy & Krause, 2019).

Im Folgenden werden auf zwei konkrete Vorteile von AFS hinsichtlich Ökosystemleistungen näher eingegangen: natürliche Schädlingsbekämpfung und Bestäubungsleistungen.

Natürliche Schädlingsbekämpfung in silvoarablen Systemen

Forschungen zeigen, dass in silvoarablen Systemen (saAFS) mehr natürliche Feinde von Schädlingen vorkommen als in reinen Ackerbausystemen. Baumreihen bieten wertvolle Überwinterungshabitate und Nahrungsquellen, was zur Förderung von Nützlingen beiträgt (Boinot et al., 2019a; Pardon et al., 2019). Die sogenannte "Feindhypothese" besagt, dass eine hohe Diversität von Fressfeinden eine effektivere Schädlingskontrolle ermöglicht, indem sie das Risiko von Massenvermehrungen minimiert und Schädlingsausbrüche verhindert (Staton et al., 2021). Durch das erhöhte Vorkommen natürlicher Feinde werden besonders sehr bewegliche Schädlinge wie Wurzelfliegen (*Delia* spp.) in saAFS besser reguliert. (Griffiths et al., 1998; Staton et al., 2021). Zudem verbessert die Vielfalt an Fressfeinden die Resilienz von Agrarökosystemen gegenüber Veränderungen in Schädlingspopulationen und Umweltbedingungen. Ein langfristiger Vorteil von saAFS ist die mögliche Reduzierung des Pestizideinsatzes, da natürliche Feinde gezielt gefördert werden. Dies kann nicht nur Kosten senken, sondern auch positive ökologische Effekte haben.

Beispiele von Maßnahmen zur Verbesserung der Schädlingsbekämpfung

- **Förderung vielfältiger Lebensräume:** Durch den Erhalt von Hecken, Blühstreifen und naturbelassenen Flächen können Nützlinge gezielt unterstützt werden.
- **Gezielte Bodenbewirtschaftung:** Ausgewogenes Mulchen und konservierende Bodenbearbeitung können helfen, das Habitat für nützliche Insekten zu verbessern und Schädlingspopulationen zu regulieren.
- **Einführung von Mischkulturen:** Die Kombination unterschiedlicher Pflanzenarten in saAFS kann die Ansiedlung nützlicher Organismen fördern und Monokultur-bedingte Schädlingsprobleme reduzieren.
- **Regelmäßiges Monitoring:** Durch gezielte Beobachtung und Dokumentation der Schädlings- und Nützlingspopulationen können Landwirte frühzeitig geeignete Maßnahmen ergreifen.

Es gibt Herausforderungen, die beachtet werden müssen. So kann das günstige Mikroklima in saAFS die Vermehrung von Schnecken begünstigen, was gezielte Gegenmaßnahmen erfordert (Kletty et al., 2023). Zudem nehmen Baumreihen Anbaufläche in Anspruch und können Schatten auf Nutzpflanzen werfen, was in einigen Fällen zu Ertragsverlusten führen kann. Diese Nachteile lassen sich jedoch durch eine verbesserte Bodenfruchtbarkeit und eine optimierte Wasserregulierung teilweise ausgleichen (Pywell et al., 2015). Die Effektivität natürlicher Feinde variiert zudem je nach Jahreszeit: Während einige Prädatoren im Sommer besonders aktiv sind, kann ihre Wirkung in den kälteren Monaten abnehmen (Martin-Chave et al., 2019a & b). Darüber hinaus erfordert die optimale Gestaltung von saAFS detaillierte Kenntnisse über die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen, Insekten und Bodenorganismen, um potenzielle negative Effekte zu minimieren. Eine sorgfältige Planung und kontinuierliche Pflege ist daher wichtig, um die Vorteile dieser Anbausysteme bestmöglich zu nutzen.

Bestäubung in Agroforstsystemen

Die Bestäubung ist für hohe Erträge vieler Nutzpflanzen unerlässlich und Agroforstsysteme (AFS) können das Bestäubervorkommen sowie deren Leistungen erheblich verbessern. Studien zeigen, dass in Agroforstsystemen doppelt so viele Bestäuber vorkommen wie auf Ackerflächen mit einzelnen Kulturen, was eine direkte Auswirkung auf die Bestäubungseffizienz hat (Varah et al., 2013, 2020). Besonders Wildbienen profitieren von blühenden Obstbäumen in AFS, da diese ihnen wertvolle Nahrungsquellen und Nistmöglichkeiten bieten (Kay et al., 2020). Durch die erhöhte Anzahl an Bestäubern steigt die Blütenbesuchsrate, was wiederum die Samenproduktion und somit den Ertrag verbessert (Staton et al., 2022).

Beispiele von Maßnahmen zur Verbesserung der Bestäubungsleistung

- **Integration blühender Pflanzen:** Die gezielte Pflanzung von Blühstreifen und das Belassen blühender Pflanzenarten im Unterwuchs der Bäume fördert die Bestäuberaktivität.
- **Erhalt von ungemähten Flächen:** Studien zeigen, dass ungemähte Vegetationsstreifen in Baumreihen Bestäuber stark anziehen.
- **Förderung von Nistplätzen:** Der Erhalt von Totholz, Steinhaufen und offenen Bodenstellen unterstützt solitäre Wildbienen.
- **Einsatz traditioneller Obstbaumsorten:** Alte, blühfreudige Sorten bieten eine wichtige Nahrungsquelle und verlängern die Blühperiode.
- **Verzicht auf schädliche Pflanzenschutzmittel:** Der reduzierte Einsatz von Insektiziden trägt zum Schutz der Bestäuberpopulationen bei.

Die Wirksamkeit der Bestäubungsförderung hängt stark von der gewählten Bewirtschaftungsweise ab. Die Pflege des Unterwuchses der Bäume und die gezielte Steuerung der Blühphasen sind entscheidend, um ein beständiges Nahrungsangebot zu gewährleisten. Zudem kann eine hohe Dichte an Arten und deren Populationen von Bestäubern in manchen Fällen zu Konkurrenz innerhalb der Population führen, was die Bestäubungseffizienz beeinflussen kann. Da die besten Strategien zur Förderung von Bestäubern je nach Standort variieren, sind langfristige Anpassungen erforderlich, um die positiven Effekte nachhaltig zu nutzen.

Ein Sozioökonomischer Blick auf die Agroforstwirtschaft

Agroforstwirtschaft spielt eine zentrale Rolle in nachhaltigen Landnutzungssystemen, indem sie ökonomische, ökologische und kulturelle Vorteile vereint. Dennoch sind traditionelle Agroforstsysteme in Europa rückläufig, da ihre wirtschaftliche Rentabilität oft nicht ausreicht (Rolo et al., 2020). Gleichzeitig steigt das wissenschaftliche Interesse an nachhaltigem Landschaftsmanagement, wie AFS, stetig (Arts et al., 2017), wobei viele Studien regional begrenzt bleiben und sich vorrangig auf agrarwissenschaftliche Bereiche konzentrieren (van Noordwijk, 2019). Um Agroforstsysteme nachhaltig zu etablieren, ist ein umfassender, über die Landwirtschaft hinausblickender Ansatz erforderlich, der ökologische, wirtschaftliche und politische Überlegungen miteinander verbindet (Denier et al., 2015). Rois-Díaz et al. (2018) betonen, dass Agroforstwirtschaft oft als neues Konzept wahrgenommen wird, obwohl sie historisch gewachsen und weit verbreitet ist. Dieses Missverständnis erschwert die Umsetzung, da Aufklärung und politische Unterstützung notwendig sind, um ihre Vorteile klar zu kommunizieren.

Herausforderungen und Innovationspotenziale der Agroforstwirtschaft

Die Berücksichtigung von Biodiversität, wirtschaftlichen Aspekten, agronomischen und klimatischen Faktoren sowie der gesellschaftlichen Wahrnehmung ist in der wissenschaftlichen Literatur noch selten verknüpft (Kletty et al., 2023). Die Integration dieser Disziplinen ist jedoch entscheidend, um nachhaltige Agrarsysteme zu fördern. Staton et al. (2021) entwickelten ein Finanzmodell für verschiedene Bewirtschaftungsformen von Obstbaumreihen und zeigten, dass blühende Untersaaten die Gesamteinnahmen der Betriebe steigern können. Eine spätere Untersuchung bestätigte, dass die Berücksichtigung von Ökosystemdienstleistungen wie Kohlenstoffspeicherung oder Bestäubung langfristig zur wirtschaftlichen Produktivität von Agroforstsystemen beiträgt (Staton et al., 2022). Die Rentabilität bleibt für viele Landwirte ein Schlüsselfaktor (Graves et al., 2017), während die komplexe Umsetzung

am Betrieb und administrative Hürden als Herausforderungen identifiziert wurden (de Jalon et al., 2018).

Studien zu Biodiversität und Ökosystemdienstleistungen sollten sich daher stärker auf für Landwirt:innen relevante Kennzahlen wie Erträge oder Gewinne konzentrieren (Staton et al., 2021). Auch nicht-marktfähige Ökosystemdienstleistungen (z.B.: bereitstellen sauberer Luft oder einem ansprechenden Landschaftsbild) beeinflussen die Wahrnehmung und Akzeptanz dieser Systeme (Staton et al., 2022). Die Verbindung von wissenschaftlicher Forschung, politischen Rahmenbedingungen und praktischer Umsetzung kann dazu beitragen, die Potenziale der Agroforstwirtschaft bestmöglich zu nutzen (Plieninger et al., 2020).

Agroforstwirtschaft als integraler Bestandteil nachhaltigen Landschaftsmanagements

Agroforstwirtschaft ist nicht nur eine landwirtschaftliche Praxis, sondern ein umfassendes Landnutzungssystem (den Herder et al., 2015). Neben der Produktion von Lebensmitteln und Holz bieten Agroforstsysteme kulturelle Ökosystemdienstleistungen wie die Förderung lokaler Wirtschaftszweige, Erholungsmöglichkeiten und ästhetische Werte (Smith et al., 2013). Darüber hinaus fördert die hohe Arten- und Habitatvielfalt die Biodiversität. Besonders interessant ist der Einfluss von Agroforstsystemen auf die Vogelpopulationen, deren vielfältige akustische Umwelt das menschliche Wohlbefinden steigern kann (Ferraro et al., 2020). Dennoch fehlen umfassende Untersuchungen, die kulturelle Ökosystemdienstleistungen und Biodiversitätsaspekte gemeinsam betrachten.

Ein inter- und transdisziplinärer Ansatz ist unerlässlich, um die komplexen Herausforderungen nachhaltiger Landnutzung zu bewältigen (Bürgi et al., 2017). Agroforstwirtschaft ist eine bedeutende Strategie zur „Perennialisierung“ der Landwirtschaft (Rosenstock et al., 2019), also zum Erhalt einer dauerhaften Vegetationsdecke zum Schutz von Ökosystemen. Nachhaltiges Landschaftsmanagement integriert den Schutz und die Wiederherstellung von Biodiversität, die Nahrungsmittelproduktion und die Bereitstellung kritischer Ökosystemdienstleistungen als gemeinsame Ziele (Tanentzap et al., 2015).

Wissenslücken und Forschungsbedarf zur Biodiversität in Agroforstsystemen

Obwohl Agroforstsysteme zahlreiche Vorteile bieten, ist ihr Einfluss auf die Biodiversität nicht durchwegs positiv. Meta-Analysen¹⁰ aus Europa zeigen, dass sie im

¹⁰ Statistische Analyse, bei dem die Resultate mehrerer Studien zur gleichen Fragestellung zusammengeführt und daraus ein aussagekräftigeres Ergebnis berechnet wird

Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft die Artenvielfalt fördern, jedoch hinter Wäldern, extensiven Weideflächen oder aufgegebenen Agroforstsystemen zurückbleiben können (Mupepele et al., 2021). Neuere Analysen zeigen zur Biodiversitätsförderung uneinheitliche Ergebnisse. In europäischen Agroforstsystemen sind die positiven Auswirkungen auf die Biodiversität – vor allem bei Vögeln und Arthropoden – oft nur gering ausgeprägt (Mupepele et al., 2021). Zudem sind einige Tiergruppen, wie Vögel und Fledermäuse, in der Forschung bisher unterrepräsentiert, obwohl sie eine zentrale Rolle im Nahrungsnetz spielen. Eine gezieltere Berücksichtigung dieser Artengruppen könnte helfen, die Biodiversitätswirkungen von Agroforstsystemen umfassender zu verstehen (Imbert et al., 2020; Stamps et al., 2009).

Ein weiterer Mangel zeigt sich in der geografischen Verteilung der europäischen Studien. Der Fokus lag bislang auf der Mittelmeerregion, während die gemäßigte Klimazone Europas kaum untersucht wurden (Marsden et al., 2020). Erste Hinweise deuten jedoch darauf hin, dass Agroforstsysteme auch in diesen Gebieten positive Effekte haben können – vorausgesetzt, sie werden gezielt gestaltet und gepflegt. Um die standortspezifischen Auswirkungen besser zu erfassen, sind daher weitere Forschungen erforderlich.

Agroforstsysteme zur Förderung der Biodiversität erfolgreich umsetzen

Die Wirkung eines Agroforstsystems auf die Biodiversität hängt stark vom Standort und der Bewirtschaftungsweise ab. Unter Umständen können solche Systeme sogar negative Effekte haben, wenn sie an ungeeigneten Standorten angelegt oder falsch bewirtschaftet werden. Daher lassen sich keine pauschalen Aussagen über ihre ökologische Qualität treffen (FER). Grundsätzlich fördern Agroforstsysteme die Biodiversität im Vergleich zur derzeit vorherrschenden landwirtschaftlichen Praxis und reiner Forstwirtschaft. Allerdings zeigen Studien, dass die tatsächlichen Effekte je nach Standortbedingungen und Bewirtschaftungsweise stark variieren können (Torralba et al., 2016). Entscheidend sind sowohl eine sorgfältige Planung als auch umsichtige langjährige Pflegemaßnahmen, die sowohl die ökologischen Gegebenheiten als auch die landwirtschaftlichen Anforderungen berücksichtigt, um das volle Potenzial dieser Systeme auszuschöpfen.

Einfluss von Standortfaktoren auf die Biodiversität in Agroforstsystemen

Die Biodiversität in Agroforstsystemen wird nicht nur durch die Art der Bewirtschaftung bestimmt, sondern auch durch den Standort selbst. Faktoren wie Bodentyp, Klima, Exposition, Hangneigung und die Nähe zu natürlichen Lebensräumen

spielen eine entscheidende Rolle (Kletty et al., 2023). Ein gutes Verständnis dieser Standortfaktoren hilft, landwirtschaftliche Praktiken gezielt anzupassen, um die Biodiversität zu fördern und mögliche Konflikte zu vermeiden.

Der Bodentyp beeinflusst maßgeblich die Bodenorganismen und damit die Artenvielfalt. Allerdings fehlen bisher umfassende Studien, um klare Schlussfolgerungen über die Auswirkungen auf die gesamte Artenvielfalt zu ziehen (Kletty et al., 2023). Agroforstsysteme können das Mikroklima eines Feldes verändern, indem sie Schatten spenden, Wind bremsen und die Feuchtigkeit im Boden halten. Diese Effekte können sich je nach klimatischen Bedingungen unterschiedlich auf die Biodiversität auswirken und sind insbesondere im Kontext des Klimawandels von Bedeutung. Auch die Ausrichtung und Neigung eines Feldes beeinflussen Lichtverhältnisse, Wasserhaushalt und Bodenbeschaffenheit, was wiederum die Artenvielfalt prägt.

Ebenso kann die Nähe zu natürlichen oder halb-natürlichen Gebieten wie Wäldern oder Hecken die Biodiversität erheblich begünstigen. Untersuchungen zeigen, dass isolierte Obstgärten oft eine geringere Vogelartenvielfalt aufweisen als solche, die in Verbindung mit Wäldern oder Hecken stehen (Söderström et al., 2001; Mupepele et al., 2021). Eine gezielte Vernetzung landwirtschaftlicher Flächen mit naturnahen Lebensräumen kann also eine höhere Artenvielfalt ermöglichen.

Bewirtschaftung und Gestaltung von Agroforstsystemen

Ein gutes Agroforstsystem braucht eine durchdachte Planung – ökologisch und wirtschaftlich (Jose, 2009). Entscheidend ist, dass das System an den Standort angepasst ist, Tieren Lebensraum bietet und mit dem Klima umgehen kann. Diese kurze Zusammenfassung fasst die wichtigsten Punkte aus dem vorhergehenden Text kompakt zusammen und wurde anhand der Ergebnisse der Fachexpert:innenrunde (FER) aufgebaut.

Mehr Arten durch Vielfalt

Agroforstsysteme fördern viele Tierarten – vor allem, wenn sie strukturreich sind. Baumreihen, Randstrukturen und blühende Pflanzen helfen Vögeln, Fledermäusen und Insekten. Wichtig ist dabei auch die Verbindung zu Hecken, Wäldern und Gewässern. Wer bestimmte Arten fördern will, muss das System bewusst gestalten – etwa mit Mischungen aus Laub- und seltener Nadelbäumen oder fruchttragenden Gehölzen. Artenarme Systeme wie reine Kurzumtriebsplantagen bieten weniger Strukturvielfalt. Landwirte sollten bei der Planung eines überregionalen Konzepts eingebunden werden.

Lebensräume vernetzen

Agroforstsysteme wirken wie grüne Brücken – Tiere und Pflanzen können sich besser ausbreiten (Fischer et al., 2006; Hidalgo et al., 2021). Insekten profitieren schnell, Bodenlebewesen brauchen länger (Watling et al., 2020). Mikrohabitate wie Totholz oder Blühstreifen sind besonders wertvoll.

Nachhaltig bewirtschaften

Agroforstsysteme funktionieren am besten, wenn sie nachhaltig gepflegt werden (Jose, 2009). Weniger Pestizide und gezielte Artenwahl – z.B. Erlen zur Stickstoffbindung – machen Böden fruchtbar. Holzernte ist möglich, sollte aber die Natur nicht stören. Nach der Pappelernte wurden z.B. weniger Vögel gezählt (Zitzmann & Langhof, 2023) – daher besser mit längeren Umtriebszeiten arbeiten oder nicht alle Bäume gleichzeitig ernten.

Vielfalt macht stabil

Unterschiedliche Baumgrößen, Unterwuchs und offene Flächen schaffen Lebensraum für viele Arten. Auch Übergangsbereiche zwischen Bäumen und offenen Flächen sind wichtig für Vögel und Insekten.

Kleine Maßnahmen – große Wirkung

Beweidung, Mahd oder natürliche Kräuter verbessern das Mikroklima und helfen Insekten und Kleintieren. Wer flexibel auf den Klimawandel reagiert, macht sein System langfristig widerstandsfähiger.

Regelmäßig kontrollieren

Wer langfristig Erfolg haben will, sollte sein Agroforstsystem regelmäßig überprüfen. Monitoring hilft, rechtzeitig nachzusteuern – etwa bei Bodenfruchtbarkeit oder Artenvielfalt.

Pflege zahlt sich aus

In der Startphase helfen Nisthilfen, Bienenhotels oder Totholz. Auch Rückschnitt und Mahd halten das System in Form. Wer auf Brut- und Blühzeiten Rücksicht nimmt und bestehende Landschaftselemente einbindet, fördert die Artenvielfalt zusätzlich (Zitzmann & Langhof, 2023).

Struktur der Baumreihen – Baumarten, -abstände und Altersstruktur - Design

Untersuchungen zeigen, dass unterschiedliche Baumreihenstrukturen einen Einfluss auf das Mikroklima, die Bodenbiologie sowie die Aktivierung von Insektenpopulationen haben (Martin-Chave et al., 2019). Zudem beeinflussen Baumreihen die Bodenfauna, insbesondere Mikroorganismen und Regenwürmer (Sun et al., 2018, Price & Gordon,

1998, zitiert in Kletty et al., 2023). Eine vielfältige Baumgestaltung fördert daher die Bodenqualität und damit langfristig auch die landwirtschaftliche Produktivität.

Die Integration von Agroforstsystemen kann sowohl ökologische als auch wirtschaftliche Vorteile bieten. Eine durchdachte Auswahl von Baumarten und -abständen ist dabei entscheidend für den Erfolg solcher Systeme.

Die richtige Baumartenwahl

Die Auswirkungen von Agroforstsystemen auf die Biodiversität hängen stark von den verwendeten Baumarten ab (Kletty et al., 2023). Bevorzugt sollten einheimische Sorten gepflanzt werden (FER), wobei jedoch auch Anpassungen an den Klimawandel zugleich berücksichtigt werden sollten (FER).

Besondere Vorsicht ist bei invasiven, nicht-heimischen Arten geboten (FER). Einige gelten als potenziell invasiv und können empfindliche Lebensräume wie Magerrasen oder Trockenstandorte gefährden. Besonders kritisch sind Gehölze, die sich über Wurzelausläufer oder Samen stark ausbreiten oder sich genetisch mit heimischen Arten vermischen können – etwa Robinien mit der Schwarzpappel (Wangert et al., 2024).

Für eine nachhaltige Gestaltung sind insbesondere insektenfreundliche, blühende Baumarten von Vorteil. Bereits junge Bäume wie Rosengewächse, Pappeln oder Weiden bieten wertvolle Ökosystemleistungen.

Eine Mischung aus Baumarten mit unterschiedlichen Blütezeiten und Altersstrukturen erhöht die Biodiversität und Stabilität des Systems. Daher ist eine selektive Entnahme einzelner Bäume sinnvoll, um eine vielseitige Altersstruktur aufrechtzuerhalten (FER). Besonders ältere Obstbäume bieten wertvolle Brutplätze für Höhlenbrüter wie Spechte und Eulen. Eine mögliche Strategie ist, einzelne Bäume als Höhlenbaum zu erhalten, während die übrigen Bäume wirtschaftlich genutzt werden (FER).

Je mehr Baumarten vorhanden sind, desto besser für das Ökosystem. Eine verschiedenartige Struktur der Baumkrone trägt dazu bei, verschiedene Mikroklimata und Nahrungsquellen bereitzustellen (FER). Hochstämme, aber auch kleinwüchsige Sträucher, sollten kombiniert werden, um eine natürliche Vielfalt zu schaffen (FER). Monokulturen, beispielsweise mit Hybridpappeln, fördern die Biodiversität weniger. Stattdessen sollten unterschiedliche Arten in einer Reihe kombiniert werden, um auch eine vielschichtige Verteilung im Wurzelraum zu ermöglichen (FER).

Zudem sollten Baumarten und deren Nutzung an Wildtiere angepasst werden. Offenlandarten wie Kiebitz oder Schwarzkehlchen meiden Gehölzstrukturen und benötigen einen Abstand von mindestens 100 Metern zur Baumreihe (FER).

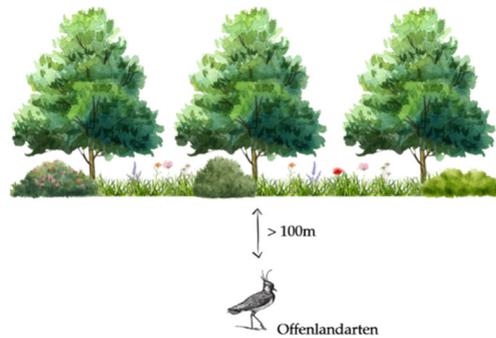


Abbildung 8. Abstand zwischen AFS und Lebensräumen von Offenlandarten (nach einer Vorlage von FER, digital bearbeitet).

Gleichzeitig kann die Pflanzung von Stickstoff-fixierenden Bäumen wie Erlen den Boden verbessern. Diese können später wieder entfernt werden, um Platz für den Ackerbau zu schaffen (FER). Für eine nachhaltige Energieholzgewinnung können Kopfbäume¹¹ integriert werden (FER). Diese Kopfbäume erhalten wertvolle Mikrohabitate und tragen zur strukturellen Vielfalt bei.

Wahl und Kombination von Baumarten

- **Einheimische Baumarten:** Sie sollten bevorzugt werden, da sie an die lokalen Umweltbedingungen angepasst sind. Gleichzeitig ist es wichtig, Baumarten zu wählen, die auch den Herausforderungen des Klimawandels gewachsen sind.
- **Achtung vor invasiven Arten:** Nicht-heimische Arten sollten vermieden werden, um die lokale Biodiversität zu schützen.
- **Vielfältige Nutzpflanzen:** Arten wie Rosengewächse, Pappeln und Weiden sind bereits in jungen Jahren nützlich. Langfristig können auch Wertholzarten wie Eichen oder Robinien wirtschaftlich interessant sein.
- **Förderung von Insekten:** Besonders insektenfreundliche Baumarten, wie solche mit unterschiedlichen Blühzeitpunkten, sind ideal, um Bestäuber zu unterstützen.
- **Mischkultur:** Unterschiedliche Arten in einer Reihe fördern die Wurzelseggregation und erhöhen die Artenvielfalt.
- **Kombination von Nützlingen:** Gehölze mit breiten Baumkronen bieten Schatten und ein verbessertes Mikroklima, während andere Arten Früchte

¹¹ Nutzungsform von Bäumen (z.B.: Weiden, Pappeln, Eichen, Hainbuchen) bei der Äste und Zweige wiederholt zurückgeschnitten werden - der Hauptstamm bleibt erhalten.

Streifenbreite und Baumabstände in der Reihe

Bereits die erste Baumreihe bringt eine wesentliche Veränderung im System mit sich, während Dichte und Reihenabstand weniger prioritär sind (FER). Die Breite der Baum- und Strauchstreifen in Agroforstsystemen ist ein zentraler Gestaltungsfaktor, der sowohl ökologische als auch ökonomische Aspekte berücksichtigen muss. Dabei gibt es keine allgemeingültige Kopiervorlage: Die konkrete Breitenwahl hängt von Standortbedingungen, Bodenverhältnissen und der Exposition ab (FER). Dennoch lassen sich einige allgemeine Empfehlungen ableiten.

Eine größere Breite kann zusätzliche positive Effekte auf Biodiversität, Mikroklima sowie Strukturvielfalt haben und dadurch auch auf die Ackerkultur des AFS (FER).

Baumabstände und Strukturierung

Die Abstände zwischen den Bäumen sollten so gewählt werden, dass eine artenreiche Krautschicht entstehen kann. Ein lockerer Baumabstand fördert das Wachstum einer vielfältigen Wiesenvegetation (FER). Gleichzeitig sollten die Abstände innerhalb der Reihen nicht zu groß sein, um Wildtieren geeignete Lebensräume zu bieten und größere Lücken in den Reihen zu vermeiden (FER).

Allerdings sind die Abstände der Bäume insgesamt weniger entscheidend für den Erfolg des Systems (FER). Für gefährdete Tierarten, die offene Flächen auf sonnigen Trockenstandorten oder extensiven Weidestandorten suchen, ist es oft besser, die Bäume nicht zu dicht zu pflanzen – ein größerer Abstand von etwa 10 Metern kann hier vorteilhaft sein. Diese Arten leiden eher unter Überdüngung und andauernder Beschattung als unter zu weiten Abständen (FER).

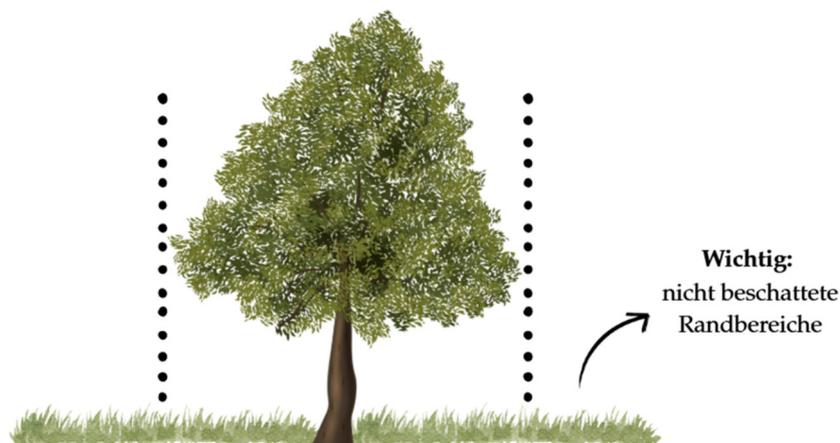


Abbildung 9. Nicht beschattete Randbereiche sind wichtige Lebensräume für bestimmte Arten (nach einer Vorlage von FER, digital bearbeitet).

Der Abstand zwischen den Agroforststreifen ist weniger entscheidend als ihre Integration in die Umgebung. Eine Kombination mit Sträuchern kann die Heterogenität der Gestaltung erhöhen und zusätzliche ökologische Nischen schaffen (FER).

Breite des Unterwuchses der Baumfläche

Ein bislang wenig erforschtes Thema ist die Bedeutung der Breite des Unterwuchses und der angrenzenden Ackerstreifen (Kletty et al., 2023). Hier besteht weiterer Forschungsbedarf, um die besten Strategien zur Förderung der Biodiversität in Agroforstsystemen zu entwickeln.

Für die meisten Arten sind 10 Meter breite Streifen ideal oder sogar notwendig. Spezialisierte Pflanzenarten siedeln sich in zu schmalen Streifen eher nicht an, da dort Randeffekte dominieren, wie sie an Übergängen zwischen unterschiedlichen Lebensräumen auftreten. Breitere, krautige Streifen hingegen schaffen Ruhebereiche, minimieren diese Randeffekte und dienen als Puffer während der Bewirtschaftung (FER).

Ein sinnvoller Kompromiss zwischen Flächenverlust und ökologischen Anforderungen besteht darin, die Breite so zu wählen, dass einerseits ein maximaler Biodiversitätsgewinn erzielt wird, andererseits aber die ackerbaulich bewirtschafteten Flächen (FER) nicht übermäßig reduziert werden bzw. die mikroklimatischen Vorteile die Ackerkultur erreichen. Sehr schmale Streifen von nur 2–3 Metern sind möglicherweise nicht ausreichend (FER).

In der Praxis gibt es unterschiedliche Angaben zur optimalen Breite der Baumfläche in AFS. Empfehlungen für Streifenbreiten von 4–5 Metern orientieren sich an klassischen Rainen und könnten bereits eine gewisse Struktur bieten (FER), wobei eine Breite von 5–6 Metern als praktikabler Mindestwert angesehen wird (FER).

Insgesamt gilt: Breitere Streifen ermöglichen eine höhere Artenvielfalt, doch die Wahl der Breite sollte immer in Abhängigkeit von den Standortbedingungen getroffen werden. Vorgefertigte Blaupausen für Abstände sind wenig zielführend, da sie nicht die individuellen Gegebenheiten eines Betriebs berücksichtigen (FER). Die Herausforderung besteht darin, die Anforderungen relevanter Artengruppen – beispielsweise von Vögeln – mit den betrieblichen Gegebenheiten in Einklang zu bringen (FER).

Altersstruktur und Wuchsformen der Bäume

Ergänzend zu den zuvor genannten Standortfaktoren spielt die Alters- und Wuchsstruktur der Bäume eine zentrale Rolle: Sie schafft Mikrohabitate, fördert Insekten und Vögel und stabilisiert das Mikroklima. Staffelungen – von Hochstämmen bis Sträucher – verbessern Windschutz, reduzieren Verdunstung und schützen den Boden (FER).

Auch die Kronenstruktur spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle für die ökologische Funktionalität von AFS. Ihre Vielfalt schafft zahlreiche Mikrohabitate und verbessert die Lebensbedingungen für Insekten- und Vogelarten. Gleichzeitig kann eine gezielte Staffelung der Bäume dazu beitragen, Windschutz zu optimieren und die Bodenerosion zu verringern (FER). Ein Wechsel zwischen hochwüchsigen Gehölzen und niedrigeren Sträuchern trägt zusätzlich zur Erhaltung der Bodenfeuchtigkeit bei und reduziert Verdunstungsverluste (FER).

Neben ökologischen Vorteilen spielt auch die wirtschaftliche Nutzung eine Rolle. Die selektive Entnahme einzelner Bäume kann für Landwirte wirtschaftlich sinnvoll sein, während eine vollständige Entfernung den ökologischen Nutzen erheblich beeinträchtigen würde (FER). Wissenschaftliche Studien zeigen, dass weltweit 43 % der landwirtschaftlichen Flächen eine Baumdeckung von mindestens 10 % aufweisen – ein Hinweis auf das Potenzial von Agroforstsystemen zur nachhaltigen Gestaltung landwirtschaftlicher Landschaften (Zomer et al., 2016, zitiert in Plieninger et al., 2020).

Alters- und Strukturvielfalt

- **Höhlenbildung und Lebensraum:** Ältere Bäume, insbesondere Obstbäume, sind wertvoll für Höhlenbrüter wie Spechte oder Eulen. Durch gezielte Schnitttechniken können "Diversitätsbäume" geschaffen werden.
- **Verschiedene Baumhöhen:** Hochstämme, kleinwüchsige Arten sowie Sträucher sorgen für ein heterogenes Mikroklima und fördern verschiedene Tierarten.
- **Langfristige Planung:** Agroforstsysteme sollten so gestaltet werden, dass Bäume altern und dabei ihre ökologischen Funktionen erfüllen können.

Bedeutung und Gestaltung des Unterwuchses in Agroforstsystemen

Der Unterwuchs spielt von Anfang an eine entscheidende Rolle für die Biodiversität in Agroforstsystemen. Der angrenzende Acker stellt bereits eine große Störung dar, sodass Streifen mit Unterwuchs als wichtige Rückzugsgebiete und Reservoirs für verschiedene Tierarten dienen (FER). Studien zeigen, dass die Bewirtschaftung des Unterwuchses die Biodiversität erheblich beeinflusst (Kletty et al., 2023). Der Unterwuchs nimmt zwischen 3 und 13 % der landwirtschaftlichen Flächen ein und trägt wesentlich zum Schutz von Pflanzen (Boinot et al., 2019a) und Wirbellosen bei. Besonders wertvoll sind diese Flächen als Rückzugsorte für Pflanzenarten, die wenig tolerant gegenüber landwirtschaftlichen Störungen sind (Boinot et al., 2019b). Untersuchungen ergaben zudem eine höhere Artenvielfalt und Anzahl von Asseln, Tausendfüßlern (Pardon et al.,

2019) und Regenwürmern (Cardinael et al., 2019) im Unterwuchs gegenüber angrenzenden Ackerflächen.

Gestaltung und Pflege des Unterwuchses

Optimal ist eine wiesenartige Vegetation mit hohem Artenreichtum, die durch die Einsaat regionaler Saatgutmischungen gefördert werden kann (FER). Tatsächlich befindet sich der größte Teil der Biodiversität nicht in den Bäumen, sondern im Unterwuchs (FER). Eine artenreiche Wiese mit regionalen Samenmischungen (15 bis 25 Pflanzenarten), begünstigt zudem den Einflug von Insekten (FER). Durch den Einsatz solcher regionalen Mischungen entsteht ein Netzwerk aus artenreichen Wiesen für Insekten und Vögel (FER). Besonders wertvoll sind Krautsäume als Übergangsbereiche zwischen Wiese und Gehölz (FER). Zusätzlich können Sträucher und Beerengehölze in die Fläche integriert werden, da sie nicht nur die Biodiversität erhöhen, sondern auch Tieren zusätzlichen Nutzen bieten.

In vielen Fällen sind kaum Pflegemaßnahmen erforderlich, allenfalls eine gezielte Mahd mit Abtransport des Mähgutes oder Beweidung. Eine schonende Mähtechnik ist essenziell, um Lebensräume nicht zu zerstören (FER). Eine unterschiedliche Mahdstrategie kann vorteilhaft sein, indem beispielsweise jeder zweite Streifen ein Jahr lang stehen bleibt (FER). Mulchen ist hingegen nicht empfehlenswert. Bewährte Pflegemaßnahmen zur Erhaltung der Biodiversität sind etwa eine ein- bis zweimalige Mahd mit Abtransport des Schnittguts oder eine Beweidung.

Wichtig ist dabei, überjährige Altgrasstreifen einzustreuen, da diese als Nützlingsrefugien und Deckung für Niederwild dienen (FER). Pflanzenstängel spielen auch eine wichtige Rolle als Überwinterungshabitat für Parasitoide, wie etwa Schlupfwespen (FER). Kurzrasige Strukturen können durch häufigere Mahd gefördert werden, wobei insbesondere einheimische Pflanzenarten im Unterwuchs bevorzugt werden sollten (FER). Ein weiteres zentrales Thema ist der Schutz von Bodenbrütern: Eine zu frühe Mahd kann deren Fortpflanzung erheblich gefährden. Daher sollte auf eine zeitlich abgestimmte Bewirtschaftung geachtet werden (FER).

Besondere Beachtung sollte auch der Sonneneinstrahlung geschenkt werden: Manche Parasitoide (z.B. Schlupfwespen) und andere nützliche Insekten meiden schattige Bereiche. Deshalb sollten Wiesenstreifen so angelegt sein, dass sie zumindest teilweise in die Sonne hineinreichen.

Unterwuchsmanagement

- **Artenreiche Wiesen:** Der Unterwuchs sollte vorzugsweise aus wiesenartigen Beständen mit hohem Artenreichtum bestehen.
- **Rückzugsgebiete und Nutzung:** Eine ein- bis zweimalige Mahd mit Abtransport oder Beweidung ist ideal sowie Belassen überjähriger Altgrasstreifen.
- **Vielfalt fördern:** Kombinationen mit Sträuchern oder Beerenpflanzen sowie Krautsäumen steigern den ökologischen Nutzen für die Biodiversität.
- **Schonende Pflege:** Eine Mahd sollte nicht zu früh erfolgen. Zudem sollten nicht alle Flächen gleichzeitig gemäht werden.

Bewirtschaftung des Ackeranteils in silvoarablen Systemen zur Förderung der Biodiversität

Agroforstsysteme (AFS) bieten zahlreiche ökologische und wirtschaftliche Vorteile, doch die Bewirtschaftung des Ackeranteils stellt Landwirte vor Herausforderungen. Neben der optimalen Gestaltung der Baumreihen müssen auch Anbauwahl, Bodenbearbeitung und Pflanzenschutz an die speziellen Bedingungen angepasst werden. Die Baumreihen in silvoarablen Systemen beeinflussen den Ackeranteil sowohl positiv als auch negativ, etwa durch Schattenwurf oder Nährstoffkonkurrenz. Eine nachhaltige Bewirtschaftung des Ackeranteils von AFS trägt entscheidend zur Förderung der Biodiversität und der Ökosystemleistungen bei. Eine sorgfältige Planung und Bewirtschaftung sind daher entscheidend (Kletty et al., 2023).

Auswahl der Ackerkultur

Die Entwicklung der Biodiversität in silvoarablen AFS kann durch die angebauten Ackerkulturarten beeinflusst werden (Kletty et al., 2023). Die Auswahl der geeigneten Kulturart ist somit entscheidend, um die Biodiversität und Produktivität zu fördern. Pardon et al. (2019) zeigen zum Beispiel Unterschiede in Arthropodenpopulationen zwischen Wintergetreide und Mais in saAFS, wobei letzterer weniger tierische Organismen beherbergt. Die Kulturart kann auch die Unterschiede in der mikrobiellen Gemeinschaftszusammensetzung zwischen Standorten (Lacombe et al., 2009) oder Jahren (Mungai et al., 2005) erklären. Staton et al. (2022) fanden heraus, dass Hafer besonders gut für saAFS geeignet sein könnte, da die Erträge nicht durch mögliche Konkurrenz mit Unkraut oder Schneckenfraß beeinflusst werden, anders als bei Weizen oder Gerste. Viele der aktuell verwendeten Kulturpflanzen sind für reine Ackerbausysteme gezüchtet. Es fehlt an Arten und Sorten, die speziell an die Bedingungen in AFS angepasst sind (Kletty et al., 2023).

Nachhaltige Bewirtschaftung

Die nachhaltige Bewirtschaftung des Ackeranteils erfordert einen reduzierten Einsatz von Betriebsmitteln. Der geringe Einsatz von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln (PSM) ist essenziell, um das Ökosystem zu stabilisieren. Organische Dünger und integrierte Pflanzenschutzstrategien können helfen, die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu sichern (FER). Die Reduzierung von PSM schützt zudem Nützlinge und verhindert eine Kontamination der benachbarten Baumstreifen (FER). Der reduzierte Einsatz von PSM erhöht die Anzahl an Bestäubern und anderen Nützlingen, was zu besseren Erträgen und einem stabilen Ökosystem beiträgt (FER).

Im konventionellen Landbau können Agroforstsysteme zur Reduktion von Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln beitragen, etwa durch die Förderung von Nützlingen, verbesserten Erosionsschutz und stabilere Nährstoffkreisläufe. Im biologischen Anbau entfaltet sich dieses Potenzial besonders deutlich, da Agroforstsysteme dort gezielt zur Stärkung natürlicher Gleichgewichte und zur weiteren Minimierung externer Inputs beitragen. (FER). Bisher fehlen umfassende Studien zu den direkten Auswirkungen von Pestiziden und synthetischen Düngern auf Baumstreifen (Kletty et al., 2023). Studien zeigen jedoch, dass biologische Agroforstsysteme eine höhere Aktivität von Laufkäfern aufweisen, was zu einer natürlichen Schädlingskontrolle beiträgt (Boinot et al., 2020). Weitere Forschung ist nötig, um Synergien zwischen biologischem Landbau und Agroforstsystemen besser zu verstehen (Rosati et al., 2021). In biologischen Anbausystemen ist der positive Einfluss von Agroforstsystemen auf die Pflanzendiversität besonders ausgeprägt, wobei die Unkrautbedeckung in den Anbaureihen um 12 % geringer war als in rein ackerbaulichen Kontrollen (Boinot et al., 2019b). Gleichzeitig tragen solche Systeme zur Schädlings- und Unkrautbekämpfung bei.

Eine weitere Maßnahme zur Förderung der Biodiversität ist die Etablierung von Blühstreifen, die Lebensraum für Bestäuber und natürliche Feinde von Schädlingen bieten (Hatt et al., 2017; zitiert in Boinot et al., 2019a). Auch Zwischenfrüchte können helfen, Unkraut zu unterdrücken und die Biodiversität zu erhöhen (Barré et al., 2018). Sie übernehmen ähnliche Funktionen wie Blühstreifen und tragen zur Bodengesundheit bei.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Reduzierung der Bodenbearbeitung. Diese kann die Artenvielfalt in Agroforstsystemen fördern, allerdings auch unerwünschte Effekte wie eine erhöhte Schneckenpopulation begünstigen (Staton et al., 2019).

Eine besondere Herausforderung stellt das Unkrautmanagement dar. Baumreihen können den Unkrautdruck erhöhen, weshalb viele Landwirt:innen artenarme Saatgutmischungen verwenden, die jedoch wenig zur Biodiversität beitragen (Roberti et al., 2024). Studien zeigen, dass der Unkrautdruck weniger vom Systemtyp als von der konkreten Bewirtschaftung abhängt (Staton et al., 2021; Roberti et al., 2024).

Die Ackerbewirtschaftung in Agroforstsystemen erfordert daher angepasste Strategien, um Synergien zwischen Bäumen und Ackerfrüchten optimal zu nutzen. Reduzierter Betriebsmittelaufwand, geeignete Kulturarten und gezielte Maßnahmen zur Biodiversitätsförderung sind essenziell, um langfristig stabile und ertragreiche Systeme zu schaffen.

Bewirtschaftung und Gestaltung des Ackeranteils in saAFS

- **Fruchtfolge anpassen und geeignete Kulturpflanzen:** Wahl von Kulturarten, die von der Kombination mit Baumreihen profitieren und den Boden schonen. Vielfalt in der Fruchtfolge fördert die Biodiversität und stabilisiert das System.
- **Pflanzenschutz optimieren:** Einsatz biologischer oder mechanischer Alternativen, um den Einsatz chemischer Pflanzenschutzmittel zu minimieren. Integrierte Pflanzenschutzstrategien nutzen, um Nützlinge zu schützen.
- **Etablierung von Blühstreifen:** Integration von Blühstreifen in die Fruchtfolge und das Anbausystem. Diese unterstützen Bestäuber und verbessern die natürliche Schädlingsbekämpfung.
- **Reduzierte Bodenbearbeitung und Zwischenfrüchte:** Reduzierte Bodenbearbeitung kann die Artenvielfalt fördern, sollte aber mit Blick auf mögliche Nebenwirkungen (z. B. Schneckenpopulationen) erfolgen. Nutzung von Zwischenfrüchten, um Unkraut zu unterdrücken und die Biodiversität zu erhöhen.
- **Schulungen und Beratung:** Einholen von Informationen über spezifische Anforderungen von Agroforstsystemen im Ackerbau, um nachhaltige Bewirtschaftungsstrategien erfolgreich umzusetzen.

Literatur

- Arts B, Buizer M, Horlings L, Ingram V, van Oosten C, Opdam P (2017). Landscape approaches: a state-of-the-art review. *Annu Rev Env Resour* 42(1):439–463
- Bainard, L.D., Koch, A.M., Gordon, A.M., Newmaster, S.G., Thevathasan, N.V., Klironomos, J.N., (2011). Influence of trees on the spatial structure of arbuscular mycorrhizal communities in a temperate tree-based intercropping system. *Agric. Ecosyst. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.07.014>
- Barré, K., Le Viol, I., Julliard, R., Chiron, F., Kerbirou, C. (2018). Tillage and herbicide reduction mitigate the gap between conventional and organic farming effects on foraging activity of insectivorous bats. *Ecol. Evol.* 8, 1496–1506. <https://doi.org/10.1002/ece3.3688>
- Benton, T.G., Vickery, J.A., Wilson, J.D. (2003). Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends Ecol. Evol.* 18 (4), 182–188. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00011-9](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00011-9) .
- 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., Guerra, V., Lehtsaar, E., Vaupel, A., 2022. Digging deeper: microbial communities in subsoil are strongly promoted by trees in temperate agroforestry systems. *Plant Soil* 480, 423–437. <https://doi.org/10.1007/s11104-022-05591-2>
- BMK, Bundesministerin für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (2022). Biodiversitäts-Strategie Österreich 2030+. https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:49476b8f-31b2-4b7a-857b-3cc1b877207f/Biodiversitaetsstrategie_2030.pdf (zuletzt geöffnet 12. März 2025)
- Boinot, S., Meziere, D., Poulmarc’h, J., Saintilan, A., Lauri, P.-E., Sarthou, J.-P., (2020). Promoting generalist predators of crop pests in alley cropping agroforestry fields: Farming system matters. *Ecol. Eng.* <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106041>
- Boinot, S., Poulmarc’h, J., Meziere, D., Lauri, P.-E., Sarthou, J.-P. (2019a). 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>
- Boinot, S., Fried, G., Storkey, J., Metcalfe, H., Barkaoui, K., Lauri, P.-E., Meziere, D. (2019b). Alley cropping agroforestry systems: Reservoirs for weeds or refugia for plant diversity? *Agric. Ecosyst. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.106584>
- Bridgewater P, Régnier M, García RC (2015). Implementing SDG 15: can large-scale public programs help deliver biodiversity conservation, restoration and management, while assisting human development? *Nat Resour Forum* 39(3–4):214–223
- Bürgi, M., Ali, P., Chowdhury, A., Heinemann, A., Hett, C., Kienast, F., Mondal, M.K., Upreti, B.R., Verburg, P.H. (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>
- Chopin, P., Bergkvist, G., and Hossard, L. (2019). Modelling biodiversity change in agricultural landscape scenarios - A review and prospects for future research. *Biol. Conserv.* 235, 1–17.

- Coe, R., Sinclair, F., and Barrios, E. (2014). Scaling up agroforestry requires research “in” rather than “for” development. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 6, 73–77.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.013>
- de Jalon, S.G., Burgess, P.J., Graves, A., Moreno, G., McAdam, J., Pottier, E., Novak, S., Bondesan, V., Mosquera-Losada, R., Crous-Duran, J., Palma, J.H.N., Paulo, J.A., Oliveira, T.S., Cirou, E., Hannachi, Y., Pantera, A., Wartelle, R., Kay, S., Malignier, N., Van Lerberghe, P., Tsonkova, P., Mirck, J., Rois, M., Kongsted, A.G., Thenail, C., Luske, B., Berg, S., Gosme, M., Vityi, A., (2018). How is agroforestry perceived in Europe? An assessment of positive and negative aspects by stakeholders. *Agrofor. Syst.*
<https://doi.org/10.1007/s10457-017-0116-3>
- den Herder, M., Burgess, P.J., Mosquera-Losada, M.R., Herzog, F., Hartel, T., Upson, M., Viholainen, I., Rosati, A., (2015). Preliminary stratification and quantification of agroforestry in Europe. Milestone Report 1.1 for EU FP7 AGFORWARD Research Project (613520). <http://agforward.eu/index.php/en/preliminary-stratification-and-quantification-of-agroforestry-in-europe.html>
- Denier L, Scherr S, Shames S, Chatterton P, Hovani L, Stam N (2015). *The little sustainable landscapes book: achieving sustainable development through integrated landscape management*. Global Canopy Programme, Oxford
- D’Hervilly C, Marsden C, Hedde M, Bertrand I (2020). Sown understory vegetation strips impact soil chemical fertility, associated microorganisms and macro-invertebrates in two temperate alley cropping systems. *Agrofor Syst* 94:1851–1864.
<https://doi.org/10.1007/s10457-020-00501-w>
- D’Hervilly, C., Marsden, C., Capowicz, Y., Béal, C., Delapré-Cosset, L., Bertrand, I. (2021). Trees and herbaceous vegetation strips both contribute to changes in soil fertility and soil organism communities in an agroforestry system. *Plant Soil* 463:537–553.
<https://doi.org/10.1007/s11104-021-04932-x>
- D’Hervilly, C., Bertrand, I., Capowicz, Y., Béal, C., Delapré-Cosset, L., Marsden, C. (2022). Seasonal variations in macrofauna distribution according to the distance from a herbaceous strip in a Mediterranean alley cropping plot. *Appl. Soil Ecol.* 170, 104309. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104309>
- Edo, M., Entling, M. H., & Rösch, V. (2024). Agroforestry supports high bird diversity in European farmland. *Agronomy for Sustainable Development*, 44(1), 1.
- Eichhorn, M.P., Paris, P., Herzog, F., Incoll, L.D., Liagre, F., Mantzanas, K., Mayus, M., Moreno, G., Papanastasis, V.P., Pilbeam, D.J., Pisanelli, A., Dupraz, C. (2006). Silvoarable systems in Europe—past, present and future prospects. *Agrofor Syst* 67(1):29–50
- Feest, A., van Swaay, C., Aldred, T.D., Jedamzik, K. (2011). The biodiversity quality of butterfly sites: a metadata assessment. *Ecol. Ind.* 11 (2), 669–675.
- Ferraro, D.M., Miller, Z.D., Ferguson, L.A., Taff, B.D., Barber, J.R., Newman, P., Francis, C.D., (2020). The phantom chorus: birdsong boosts human well-being in protected areas. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 287, 20201811. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.1811>
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B., & Manning, A. D. (2006). Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(2), 80-86.

- Furze, J.R., Martin, A.R., Nasielski, J., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Isaac, M.E., (2017). Resistance and resilience of root fungal communities to water limitation in a temperate agroecosystem. *Ecol. Evol.* <https://doi.org/10.1002/ece3.2900>
- Gibbs, S., Koblenz, H., Coleman, B., Gordon, A., Thevathasan, N., Williams, P. (2016). Avian diversity in a temperate tree-based intercropping system from inception to now. *Agrofor. Syst.* <https://doi.org/10.1007/s10457-016-9901-7>
- Graves, A., Burgess, P., Liagre, F., Dupraz, C., (2017). Farmer perception of benefits, constraints and opportunities for silvoarable systems: Preliminary insights from Bedfordshire, England. *Outlook Agric.* 46, 74–83. <https://doi.org/10.1177/0030727017691173>
- Griffiths, J., Phillips, D., Compton, S., Wright, C., Incoll, L. (1998). Responses of slug numbers and slug damage to crops in a silvoarable agroforestry landscape. *J. Appl. Ecol.* <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1998.00291.x>
- Hidalgo, P. J., Hernández, H., Sánchez-Almendro, A. J., López-Tirado, J., Vessella, F., & Porras, R. (2021). Fragmentation and connectivity of island forests in agricultural Mediterranean environments: A comparative study between the Guadalquivir Valley (Spain) and the Apulia Region (Italy). *Forests*, 12(9), 1201.
- Imbert, C., Papaix, J., Husson, L., Warlop, F., Lavigne, C. (2020). Pests, but not predators, increase in mixed fruit tree-vegetable plots compared to control vegetable plots in a Mediterranean climate. *Agrofor. Syst.* <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00430-3>
- IPBES (2022). Summary for Policymakers of the Methodological Assessment Report on the Diverse Values and Valuation of Nature of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Pascual, U., Balvanera, P., Christie, M., Baptiste, B., González-Jiménez, D., Anderson, C.B., Athayde, S., Barton, D.N., Chaplin-Kramer, R., Jacobs, S., Kelemen, E., Kumar, R., Lazos, E., Martin, A., Mwampamba, T.H., Nakangu, B., O'Farrell, P., Raymond, C.M., Subramanian, S.M., Termansen, M., Van Noordwijk, M., and Vatn, A. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 10.5281/zenodo.6522392.
- 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>
- Jose, S., (2009). Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agrofor. Syst.* 76, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>
- Karner, K., Cord, A. F., Hagemann, N., Hernandez-Mora, N., Holzkämper, A., Jeangros, B., et al. (2019). Developing stakeholder-driven scenarios on land sharing and land sparing—Insights from five European case studies. *J. Environ. Manag.* 241, 488–500. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.050>
- Kay, S., Kühn, E., Albrecht, M., Sutter, L., Szerencsits, E., Herzog, F. (2020). Agroforestry can enhance foraging and nesting resources for pollinators with focus on solitary bees at the landscape scale. *Agroforest Syst* 94:379–387. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00400-9>
- Klaa, K., Mill, P.J., Incoll, L.D. (2005). Distribution of small mammals in a silvoarable agroforestry system in Northern England. *Agrofor. Syst.* 63, 101–110. <https://doi.org/10.1007/s10457-004-1110-0>
- Kletty, F., Rozan, A., & Habold, C. (2023). Biodiversity in temperate silvoarable systems: A systematic review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 351, 108480

- Leinster, T., Cobbold, C.A., 2012. Measuring diversity: the importance of species similarity. *Ecology* 93, 477–489. <https://doi.org/10.1890/10-2402.1>
- Luedeling, E., Smethurst, P., Baudron, F., Bayala, J., Huth, N. I., and van Noordwijk, M. (2016). Field-scale modeling of tree-crop interactions: Challenges and development needs. *Agric. Syst.* 142, 51–69.
- Marsden, C., Martin-Chave, A., Cortet, J., Hedde, M., Capowiez, Y. (2020). How agroforestry systems influence soil fauna and their functions-a review. *PLANT SOIL*. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04322-4>
- Martin-Chave, A., Beral, C., Capowiez, Y. (2019a). Agroforestry has an impact on nocturnal predation by ground beetles and Opiliones in a temperate organic alley cropping system. *Biol. CONTROL*. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.10.009>
- Martin-Chave, A., Beral, C., Mazzia, C., Capowiez, Y. (2019b). Agroforestry impacts the seasonal and diurnal activity of dominant predatory arthropods in organic vegetable crops. *Agrofor. Syst.* <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0309-4>
- Morelli, F. (2013). Relative importance of marginal vegetation (shrubs, hedgerows, isolated trees) surrogate of HNV farmland for bird species distribution in Central Italy. *Ecol Eng* 57:261–266. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.04.043>
- 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>
- Mupepele, A. C., Keller, M., & Dormann, C. F. (2021). European agroforestry has no unequivocal effect on biodiversity: a time-cumulative meta-analysis. *BMC ecology and evolution*, 21, 1-12.
- Palma, J., Graves, A., Bunce, R., Burgess, P. J., de Filippi, R., Keesman, K. J., et al. (2007). Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119, 320–334. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.021>
- Pardon, P., Reheul, D., Mertens, J., Reubens, B., De Frenne, P., De Smedt, P., Proesmans, W., Van Vooren, L., Verheyen, K. (2019). Gradients in abundance and diversity of ground dwelling arthropods as a function of distance to tree rows in temperate arable agroforestry systems. *Agric. Ecosyst. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.10.017>
- Petersen, U., Weigel, H.-J. (2015). Klimaresilienz durch Agrobiodiversität? Literaturstudie zum Zusammenhang zwischen Elementen der Agrobiodiversität und der Empfindlichkeit von landwirtschaftlichen Produktionssystemen gegenüber dem Klimawandel. Thünen Report 25, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Braunschweig. https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00000615/Thuenen-Report_25.pdf
- Plieninger, T., Muñoz-Rojas, J., Buck, L. E., & Scherr, S. J. (2020). Agroforestry for sustainable landscape management. *Sustainability Science*, 15, 1255-1266
- 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>
- Pywell, R.F., Heard, M.S., Woodcock, B.A., Hinsley, S., Ridding, L., Nowakowski, M., Bullock, J.M., (2015). Wildlife-friendly farming increases crop yield: evidence for ecological intensification. *Proceedings. Biological sciences* 282, <https://doi.org/10.1098/rspb.2015.1740> .

- Quinkenstein, A., Woellecke, J., Boehm, C., Gruenewald, H., Freese, D., Schneider, B.U., Huettl, R.F., (2009). Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environ. Sci. POLICY*. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.08.008>
- Rainio, J., & Niemelä, J. (2003). Ground beetles (Coleoptera: Carabidae) as bioindicators. *Biodiversity & Conservation*, 12, 487-506.
- Reif, J., Hanzelka, J. (2020). Continent-wide gradients in open-habitat insectivorous bird declines track spatial patterns in agricultural intensity across Europe. *Global Ecol Biogeogr* 29(11):1988–2013. <https://doi.org/10.1111/geb.13170>
- Roberti G., Kunzelmann J., Kay S. (2024). Vegetation diversity and weed-pressure in alley-cropping agroforestry in Switzerland. In: EURAF 2024. 28. May, Brno (CZ). 107-108
- Rois-Díaz, M., Lovric, N., Lovric, M., Ferreiro-Domínguez, N., Mosquera-Losada, M. R., Den Herder, M., ... & Burgess, P. (2018). Farmers' reasoning behind the uptake of agroforestry practices: evidence from multiple case-studies across Europe. *Agroforestry Systems*, 92, 811-828.
- Rolo, V., Hartel, T., Aviron, S., Berg, S., Crous-Duran, J., Franca, A., Mirck, J., Palma, J., Pantera, A., Paolo, J., Pulido, F., Seddaiu, G., Thenail, C., Varga, A., Viaud, V., Burgess, P., Moreno, G. (2020). Challenges and innovations for improving the resilience of European agroforestry systems of high nature and cultural value: a stakeholder perspective. *Sust Sci*. <https://doi.org/10.1007/s11625-020-00826-6>
- Rosenstock, T.S., Dawson, I.K., Aynekulu, E., Chomba, S., Degrande, A., Fornace, K., Jamnadass, R., Kimaro, A., Kindt, R., Lamanna, C., Malesu, M., Mausch, K., McMullin, S., Murage, P., Namoi, N., Njenga, M., Nyoka, I., Paez Valencia, A.M., Sola, P., Shepherd, K., Steward, P. (2019). A planetary health perspective on agroforestry in Sub-Saharan Africa. *One Earth* 1(3):330–344
- Rouabah, A., Lasserre-Joulin, F., Amiaud, B., Plantureux, S. (2014). Emergent effects of ground beetles size diversity on the strength of prey suppression. *Ecological Entomology*, 39(1), 47-57.
- Russell, R., Chung, M., Balk, E.M., Atkinson, S., Giovannucci, E.L., Ip, S., Mayne, S.T., Raman, G., Ross, A.C., Trikalinos, T., Keith P West, J., Lau, J. (2009). *Systematic Review Methods, Issues and Challenges in Conducting Systematic Reviews to Support Development of Nutrient Reference Values: Workshop Summary: Nutrition Research Series, Vol. 2*. Agency for Healthcare Research and Quality (US).
- Sagastuy, M., & Krause, T. (2019). Agroforestry as a biodiversity conservation tool in the atlantic forest? Motivations and limitations for small-scale farmers to implement agroforestry systems in North-Eastern Brazil. *Sustainability* 11, 1–24. <https://doi.org/10.3390/su11246932>
- Santos, M., Cajaiba, R. L., Bastos, R., Gonzalez, D., Petrescu Bakış, A. L., Ferreira, D., Leote, P., Barreto da Silva, W., Cabral, J.A., Gonçalves, B. & Mosquera-Losada, M. R. (2022). Why do agroforestry systems enhance biodiversity? Evidence from habitat amount hypothesis predictions. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 630151.
- Söderström, B., Svensson, B., Vessby, K., Glimskär, A. (2001). Plants, insects and birds in semi-natural pastures in relation to local habitat and landscape factors. *Biodivers Cons* 10:1839–1863. <https://doi.org/10.1023/A:1013153427422>

- Smith, J., Pearce, B.D., Wolfe, M.S., (2013). Reconciling productivity with protection of the environment: Is temperate agroforestry the answer? *Renew. Agric. FOOD Syst.* <https://doi.org/10.1017/S1742170511000585>
- Stamps, W.T., McGraw, R.L., Godsey, L., Woods, T.L. (2009). The ecology and economics of insect pest management in nut tree alley cropping systems in the Midwestern United States. *Agric. Ecosyst. Environ.* <https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.06.012>
- Staton, T., Walters, R.J., Smith, J., Girling, R.D. (2019). Evaluating the effects of integrating trees into temperate arable systems on pest control and pollination. *Agric. Syst.* 176, 102676. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102676>
- Staton, T., Walters, R.J., Smith, J., Breeze, T.D., Girling, R.D. (2021). Evaluating a trait-based approach to compare natural enemy and pest communities in agroforestry vs. arable systems. *Ecol. Appl.* <https://doi.org/10.1002/eap.2294>
- Staton, T., Breeze, T.D., Walters, R.J., Smith, J., Girling, R.D. (2022). Productivity, biodiversity trade-offs, and farm income in an agroforestry versus an arable system. *Ecol. Econ.* 191, 107214. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107214>
- Stolze, M., Frick, R., Schmid, O., Stöckli, S., Bogner, D., Chevillat, V., Dubbert, M., Fleury, P., Neuner, S., Nitsch, H., Plaikner, M., Schramek, J., Tasser, E., Vincent, A., Wezel, A. (2015). *Result-Oriented Measures for Biodiversity in Mountain Farming – A Policy Handbook*. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL), Frick.
- Tanentzap, A.J., Lamb, A., Walker, S., Farmer, A. (2015). Resolving conflicts between agriculture and the natural environment. *PLoS Biol* 13(9):e1002242
- Tasser, E., Rüdiger, J., Plaikner, M., Wezel, A., Stöckli, S., Vincent, A., Nitsch, H., Dubbert, M., Moos, V., Walde, J., Bogner, D. (2019). A simple biodiversity assessment scheme supporting nature-friendly farm management. *Ecol. Indic.* 107 <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105649>.
- Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P.J., Moreno, G., Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 230, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>
- Tsonkova, P., Boehm, C., Quinkenstein, A., Freese, D., 2012. Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: a review. *Agrofor. Syst.* <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9494-8>
- Unsel, R., Reppin, N., Eckstein, K., Zehlius-Eckert, W., Hoffmann, H., Huber, T. (2011). *Leitfaden Agroforstsysteme. Möglichkeiten zur naturschutzgerechten Etablierung von Agroforstsystemen*. Hrsg. TU München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. München. 45 S.; https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/landwirtschaft/Dokumente/BfN_Agroforst_Skript.pdf
- van Noordwijk, M. (Ed). (2019). *Sustainable development through trees on farms: agroforestry in its fifth decade*. World Agroforestry Centre (ICRAF)
- 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>
- 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>

- Vaupel, A., Bednar, Z., Herwig, N., Hommel, B., Moran-Rodas, V. E., & Beule, L. (2023). Tree-distance and tree-species effects on soil biota in a temperate agroforestry system. *Plant and Soil*, 487(1), 355-372.
- Veldkamp, E., Schmidt, M., Markwitz, C., Beule, L., Beuschel, R., Biertümpfel, A., ... & Corre, M. D. (2023). Multifunctionality of temperate alley-cropping agroforestry outperforms open cropland and grassland. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 20.
- Wangert, S., Binder, J., Middelanis, T. (2024). Agroforstsysteme und Naturschutz. Impulse zur Förderung der biologischen Vielfalt durch Gehölze auf Äckern, Wiesen und Weiden. NABU-Hintergrundpapier, Bundesfachausschuss Landwirtschaft. https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/landwirtschaft/240419-nabu-hintergrundpapier_agroforst-und-naturschutz.pdf.
- Watling, J. I., Arroyo-Rodríguez, V., Pfeifer, M., Baeten, L., Banks-Leite, C., Cisneros, L. M., et al. (2020). Support for the habitat amount hypothesis from a global synthesis of species density studies. *Ecol. Lett.* 23, 674–681. doi: 10.1111/ele.13471
- Zitzmann, F., & Langhof, M. (2023). Development of the breeding bird community of a silvoarable agroforestry system with short rotation coppice strips over a 16-year period. *Agroforestry Systems*, 1-12.