

Agroforstsysteme

Dieses Faktenblatt wurde im Rahmen des Pilotprojekts «Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden» erarbeitet und die Resultate werden im Schlussbericht zum Monitoring durch Agroscope weiter eingeordnet.

Agroforstsysteme wirken als Kohlenstoffsenken: während ihres Wachstums binden Bäume und Sträucher CO₂ und speichern es in ihrer holzigen Biomasse sowie im Boden. Dadurch wird der Atmosphäre CO₂ entzogen. Solange das Holz nicht verrottet oder verbrannt wird, entfaltet der in der holzigen Biomasse gebundene Kohlenstoff eine Klimawirkung. Es gibt u.a. Systeme mit Wertholz, Obst- oder Nussbäumen und schnellwachsenden Bäumen sowie Hecken wie bspw. Futterhecken. Agroforstsysteme bieten zudem Potenzial zur Klimaanpassung durch die Erhöhung der Resilienz der Agrarsysteme.

Monitoring: Das Monitoring erfolgt durch die Messung des Durchmessers und der Höhe der Bäume bzw. Hecke und der Berechnung des Holzvolumens. Diese Daten erlauben eine modellbasierte Abschätzung des gespeicherten Kohlenstoffs pro Hektare.

Empfehlungen: Da Bäume Zeit zum Wachsen benötigen und ihr volles Senkenpotenzial erst mit zunehmendem Alter entfalten, sollte die Etablierung rasch gefördert werden. Eine Anschubfinanzierung und gezielte Beratungen werden als zentrale Hebel empfohlen, um Anfangsschwierigkeiten bzw. bestehende Hemmnisse zu überwinden. Dann kann Agroforst einen bedeutenden, multifunktionalen Beitrag zur klimaneutralen Landwirtschaft leisten.

Vertrauen in die Wirksamkeit	Hohe Übereinstimmung & robuste Evidenz
Zeithorizont	Sofort wirksam. Wirkung für Klimaschutz, Klimaanpassung und Umwelt nimmt über die Zeit zu.
Bereitschaft	Anwendungsbereit
Annahmen Skalierung Graubünden	1.) 1% der Ackerfläche und 0.5% der Wiesenflächen mit Agroforstsystemen bestückt 2.) 2.75 t CO ₂ -Äq. pro Hektare und Jahr (Zeithorizont 20 Jahre), 3.67 t CO ₂ -Äq. pro Hektare und Jahr (Zeithorizont 50 Jahre) bei 50 Bäumen pro Hektare 3.) Korrektur Höhenlage
Potenzial Graubünden	Bis 2050 (20 Jahre): 0.65 kt CO ₂ -Äq. pro Jahr Bis 2080 (50 Jahre): 0.86 kt CO ₂ -Äq. pro Jahr



Inhalt

1.	Emissionsprozess	1
2.	Technisches Potenzial	1
2.1	Wirkungsmechanismus der Minderungsmassnahme	1
2.2	Technisches Potenzial der Minderungsmassnahme	1
2.3	Vertrauen in die Wirksamkeit	2
3.	Systembetrachtung.....	2
3.1	Synergien	2
3.2	Limitierungen, Zielhierarchien	2
3.3	Kostenbetrachtungen	3
4.	Überlegungen zum umsetzbaren Potential im Kanton Graubünden	4
4.1	Erfahrungen aus den Pilotprojekten	4
5.	Förderung und Überwachung	5
5.1	Monitoring, Reporting and Verifikation	5
5.2	Existierende und mögliche weitere Förderprogramme und Instrumente	5
6.	Fazit und Empfehlung	5
7.	Literatur und weiterführende Informationen	6
7.1	Weitere Informationen	6
7.2	Literatur	6
8.	Anhang: Begleitendes Monitoring im Bereich ‘Biodiversität in Agroforstsystmen’	8

Impressum

Copyright: Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden, Cazis 2025
 Autor:innen: S. Kay (Agroscope / SilvoCultura), M. Jäger (ZHAW /SilvoCultura), V. Anspach (SilvoCultura),
 C. Hirschvogel (ZHAW)
 Fotos: Bilderarchiv Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden oder angegeben
 Datum: November 2025

Dieses Faktenblatt wurde im Rahmen des Pilotprojekts «Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden» erarbeitet und die Resultate werden im Schlussbericht zum Monitoring durch Agroscope weiter eingeordnet.

1. Emissionsprozess

Bäume und Sträucher eines Agroforstsystems sind während ihres Wachstums eine aktive Kohlenstoffsenke. Gehölze nehmen für ihr Wachstum Kohlendioxid (CO_2) aus der Luft auf, produzieren daraus Sauerstoff (O_2) und speichern gleichzeitig Kohlenstoff (C) in ihrer ober- und unterirdischen Biomasse. Zudem können sie, je nach Standort und Bewirtschaftung, den Bodenkohlenstoff erhöhen.

Gehölze benötigen für ihr Wachstum neben CO_2 auch Nährstoffe wie Stickstoff (N). Frei verfügbare Nährstoffüberschüsse im Boden können durch Agroforstsysteme je nach Standort und Ausgestaltung gebunden werden, so dass Verluste in Form von Ammoniak, Nitrat oder Lachgas reduziert werden können. Zudem können tiefwurzelnde Gehölze Nährstoffe und Wasser in tieferen Bodenschichten erschliessen.

2. Technisches Potenzial

2.1 Wirkungsmechanismus der Minderungsmassnahme

Die Minderungsmassnahme basiert auf der Photosynthese, die Pflanzen leisten. D.h. Pflanzen sind in der Lage, aus Wasser (H_2O), Licht und Luft (CO_2), Sauerstoff (O_2) und Glukose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) herzustellen. In Bäumen und Sträuchern wird die produzierte Glukose umgesetzt und daraus die holzige Biomasse, bestehend aus Zellulose, Hemizellulose und Lignin, geschaffen. Insbesondere in Form von holziger Biomasse ist der Kohlenstoff (C) gebunden und kann daher gespeichert werden. Solange der Kohlenstoff nicht wieder als CO_2 freigesetzt wird, bleibt er der Atmosphäre entzogen und trägt somit zu einer Minderung der Klimaerwärmung bei.

2.2 Technisches Potenzial der Minderungsmassnahme

Die Wuchsleistung von Bäumen und Sträuchern und damit ihre Kohlenstoffspeicher-Kapazität ist eng mit dem Standort (Boden und Exposition) und seinen klimatischen Bedingungen (Temperatur, Niederschlag)

verknüpft. Hinzu kommt, dass Bäume nicht linear wachsen, d. h. an einem kleinen Baum wächst pro Jahr weniger Biomasse zu als an einem grossen Baum.

Agroforst wird im Vergleich zu anderen Klimaschutzmassnahmen in der europäischen Landwirtschaft als wichtiger und grosser verfügbarer Hebel gesehen (Aertsens et al., 2013). Das gemessene Potenzial wird – aufgrund des unterschiedlichen Wuchsverhaltens – nachfolgend unterschieden in Bäume und Sträucher.

Bäume: Wachstumspotenziale und somit Kohlenstoffbindung variieren je nach Standort, Baumart und Pflanzdichte. 10-jährige Messreihen an Schweizer Pappeln, Kirschen und Äpfeln zeigen deutliche Unterschiede im Höhen- und Dickenwachstum. Während die Pappeln nach 10 Jahren bis zu 15 m hoch sind, haben die Äpfel gerade mal rund 6 m erreicht (Roberti et al., 2023). Durchschnittsmess- und Modellwerte gehen von 50 Hochstammbäumen pro Hektare aus. Pro Hektare beträgt das Senkenpotenzial somit rund 1 t C bzw. 3.67 t CO_2 -Äquivalenten (CO_2 -Äq.) pro Jahr. Hochgerechnet auf die Lebenszeit des Systems von 50 Jahren ergibt das 183.5 t CO_2 -Äq. pro Hektare (Kay et al., 2019). Jedoch handelt es sich hierbei um Durchschnittswerte. Die Spannbreite liegt beispielweise bei Walnussbäumen in Süddeutschland zwischen 1.84 und 5.51 t CO_2 -Äq. pro Hektar und Jahr bei 15 bis 45 Walnussbäumen je Hektar (Schindler et al., 2023). Konkrete C-Speicherpotenziale müssen daher jeweils individuell in Abhängigkeit vom Standort und der Bewirtschaftung gemessen bzw. abgeschätzt werden.

Hecken: Das Kohlenstoffspeicherungspotenzial von Hecken ist noch schwieriger zu beziffern als für Bäume, da es erstens sehr unterschiedliche Heckentypen und -zusammensetzungen gibt und zweitens das Biomassevolumen schwerer zu bestimmen ist. Studien aus Deutschland ermittelten ein durchschnittliches jährliches Speicherpotenzial über einen Zeitraum von 20 Jahren von 25 t CO_2 -Äq. pro Hektare und Jahr, wobei hierbei die Heckenbiomasse als auch der Bodenkohlenstoff berücksichtigt wurde (Drexler et al., 2021).

2.3 Vertrauen in die Wirksamkeit

Die Wirksamkeit der Massnahme ist sehr belastbar und robust. Unter anderem stellt das IPCC in seinem Bericht „Climate Change and Land“ fest, dass Agroforstwirtschaft sowohl ein hohes Klimaschutz- als auch ein hohes Anpassungspotenzial hat, während sie gleichzeitig die Bodendegradation verhindert und die Ernährungssicherheit erhöht (IPCC 2019). D.h. Agroforst zeigt eine „Hohe Übereinstimmung & robuste Evidenz“ gemäss der Skala des IPCCs (**Abbildung 1**).

Vertrauen in die Wirksamkeit		
Bezüglich Übereinstimmung und Qualität der Evidenz in der akademischen Literatur		
5	4	3
Hohe Übereinstimmung & Robuste Evidenz	Mittlere Übereinstimmung & Robuste Evidenz	Geringe Übereinstimmung & Robuste Evidenz
4	3	2
Hohe Übereinstimmung & Mittlere Evidenz	Mittlere Übereinstimmung & Mittlere Evidenz	Geringe Übereinstimmung & Mittlere Evidenz
3	2	1
Hohe Übereinstimmung & Begrenzte Evidenz	Mittlere Übereinstimmung & Begrenzte Evidenz	Geringe Übereinstimmung & Begrenzte Evidenz

Abbildung 1: Vertrauen in die Wirksamkeit in Agroforstsysteme zum Klimaschutz (rot umrandet, nach Mastrandea et al., 2010).

3. Systembetrachtung

3.1 Synergien

Agroforstsysteme zeigen eine hohe Multifunktionalität und bieten damit grosse Synergien zu anderen Bereichen. Sie produzieren neben Holz auch Lebens- und Futtermittel, erhöhen die Klimaresilienz landwirtschaftlich genutzter Flächen, fördern die Biodiversität und können den Boden- und Gewässerschutz verbessern.

Klima-Adaption (Boden- und Gewässerschutz): Agroforstsysteme verbessern das Mikroklima am Standort. Sie spenden Schatten, mindern Temperaturextreme, reduzieren die Verdunstung und erhöhen die Wasserspeicherkapazität des Bodens (Alam et al., 2014; Sánchez und McCollin, 2015). Darüber hinaus bildet der Baumstreifen eine permanente Barriere, die Regenwasser zurückhält und dadurch Erosion vermindern kann (Wang et al., 2017). Beide Funktionen werden im Zuge des Klimawandels immer wichtiger, um Extremereignisse wie Hitzewellen oder Starkregenereignisse abzupuffern. Durch die Diversifizierung

des Systems und der Produkte einhergehend ergibt sich eine höhere Resilienz.

Biodiversität: Agroforstsysteme haben einen positiven Einfluss auf die Biodiversität (insbesondere Arten- und Habitatvielfalt; Torralba et al., 2016). Bäume und Sträucher bieten neue Lebensräume, welche z.B. Vögel und Insekten als Nahrungsquellen, aber auch als Refugium nutzen. Zudem bieten sie Rückzugs- und Überwinterungshabitate. Auch die funktionelle Biodiversität gewinnt durch mehr Struktur und Heterogenität. So haben u.a. Schweizer Studien gezeigt, dass Bäume im zeitigen Frühjahr von Bestäubern und Nützlingen als Nahrungsquelle genutzt werden und ihnen so helfen, ihre Populationen aufzubauen (Bertrand et al., 2019).

Produkte: Agroforstsysteme können Lebens- und Futtermittel, aber auch Holz produzieren. Bei Agroforstsysteme mit Obst- und Nussbäumen werden Früchte und Nüsse produziert, bei Futterhecken steht die Produktion von Futtermitteln im Vordergrund und bei Wertholz-Anlagen zielt das Agroforstsystem langfristig auf die Produktion von wertvollem Holz ab.

3.2 Limitierungen, Zielhierarchien

Permanenz: Agroforstsysteme können einen wichtigen Beitrag zur Bindung von Kohlenstoff leisten, jedoch nur in spezifischen Anwendungen. Es muss beachtet werden, dass der gebundene Kohlenstoff bei Verbrennung oder Zersetzung des Holzes wieder als CO₂ freigesetzt wird. Deshalb ist zentral, dass nur dann von einer langfristigen Kohlenstoffsenke gesprochen werden kann, wenn die Biomasse nach der Ernte möglichst langfristig gebunden bleibt (z.B. in Gebäuden, Möbeln, Pflanzenkohle). Wird die Biomasse hingegen als Dünger (fragmentiertes Zweigholz) oder als Brennstoff (Hackschnitzel) verwendet, handelt es sich nicht um eine langfristige Kohlenstoffsenke.

Standortabhängigkeit: Das tatsächlich realisierbare Potenzial ist stark von den Standortbedingungen und der spezifischen Bewirtschaftung abhängig. Agroforst kann auf allen landwirtschaftlichen Flächen (Acker- und Grünland sowie Spezialkulturen) angewendet

werden, wenn der Standort das Potenzial für Gehölze aufweist. D.h. einschränkend sind Standorte mit zu geringer Bodengründigkeit sowie sehr hohe Lagen, die eine sehr kurze Vegetationsperiode haben und damit das Wachstum verlangsamen bzw. unmöglich machen. Zudem sollten Flächen mit Drainagen im Detail geprüft werden. Auch können z.B. Schädlinge, Sturm und Hagel die Gehölze schädigen und sie in ihrem Wachstum schwächen oder sogar zum Absterben bringen.

Flächenkonkurrenz: Kritische Stimmen verweisen auf die Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion (ca. 10 % der Ackerfläche werden für Gehölze benötigt) und eine potenzielle Ertragsminderung der Kulturen. Während die Flächenkonkurrenz bei reiner Futterproduktion (Futterhecken) sicherlich diskutiert werden kann, ist dies bei Obstgehölzen nicht der Fall, da diese sogar zusätzliche Nahrungsmittel produzieren. Hinsichtlich der Ertragsminderung zeigen die Studien je nach Standort, Klima, Bewirtschaftung und Pflanzenart sehr unterschiedliche Ergebnisse. So wurden bei Ackerkulturen sowohl Ertragsrückgänge als auch Ertragssteigerungen oder eine Verschlechterung der Produktqualität beobachtet, während die Auswirkungen auf die Grünlanderträge meist neutral waren (Amorim et al., 2023; Rivest et al., 2013; Staton et al., 2022). Es gibt aber auch Studien, die besagen, dass die Erträge auf lange Sicht sinken werden, wenn es keine Bäume im näheren Umkreis gibt (Yang et al., 2024). Konkurrenzeffekte sind damit zwar möglich, diese können aber durch die richtige Gestaltung und ein gutes Management des Agroforstsystems minimiert werden, sodass die Vorteile von Agroforstsystmen die Konkurrenzeffekte überwiegen.

3.3 Kostenbetrachtungen

Die Wirtschaftlichkeit von Agroforstsystmen hängt stark von den lokalen Standortbedingungen, den angebauten Pflanzen und der Bewirtschaftungspraxis ab (den Hond-Vaccaro et al., 2024). Die langfristigen Vorteile können sowohl ökologische als auch ökonomische Dimensionen umfassen. Da die Vielfalt an Agroforstsystmen gross ist und dessen Anlage eine langfristige Investition darstellt, fällt es schwer, generelle Aussagen zur Wirtschaftlichkeit zu treffen. Dies zudem, da sich die Rahmenbedingungen bezüglich

Fördermöglichkeiten sowie Produktpreisen und Kosten für anfallende Arbeiten und Betriebsmittel laufend ändern. Je nach Baumdichte, Baumart, Unterkultur und Ertrags- bzw. Preisentwicklungen kann bereits sehr früh die Gewinnschwelle erreicht werden – oder auch erst nach 10 Jahren (Kaeser et al., 2010).

Zu den Investitionskosten zählen alle Kosten für Pflanzgut, Schutzmaterial, Pflanzpfähle und Saatgut für den Grasstreifen sowie die Arbeits- und Maschinenkosten. Insbesondere das Alter und die Art der gepflanzten Bäume beeinflussen die anfänglichen Kosten. So sind Laubbaumarten in Heisterqualität (ausgeprägter Mitteltrieb und Seitenbeastung) vergleichsweise günstig, veredelte Nussbäume hingegen teurer (den Hond-Vaccaro et al. 2024). Neben den Investitionskosten kommen – je nach Baumart und Agroforstsystem – jährlich die Kosten für die Baumpflege, sowie Kosten für die Flächenpflege und Bewässerung (vor allem in den ersten Jahren) hinzu. Hochstamm-Feldobstbäume sind als Biodiversitätsförderflächen sowohl hinsichtlich biologischer Qualität als auch Vernetzung beitragsberechtigt, was sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Daneben gibt es private und öffentliche Förderprogramme für Agroforstsystme (siehe dazu Kapitel 5.2). Die Markterträge können aufgrund der höheren Flächennutzungseffizienz höher liegen als im System ohne Bäume. Zudem bewirkt die Diversifizierung des Systems auch eine Diversifizierung der Produktpalette, d.h. sie führt zu einer höheren Resilienz, nicht nur gegenüber umweltbedingten Ertragsschwankungen, sondern auch gegenüber Marktpreisveränderungen.

Fazit: die Wirtschaftlichkeit der Massnahme ist sehr variabel, so dass keine allgemeingültige Aussage möglich ist.

4. Überlegungen zum umsetzbaren Potential im Kanton Graubünden

Agroforst kann grundsätzlich auf allen landwirtschaftlichen Flächen (Acker- und Grünland sowie Spezialkulturen) angewendet werden, wenn der Standort das Potenzial für Gehölze aufweist.

Für den Kanton Graubünden wird das Potenzial mit folgenden Annahmen berechnet:

- Für die Potenzialabschätzung wurden 1% der Ackerfläche und 0.5% der Wiesenflächen mit Agroforstanlagen bestückt. Diese Annahme resultiert in insgesamt rund 290 ha Agroforstsystmen (Schweizweit ca. 600 ha, Stand 2025).

- Das Potenzial zur Kohlenstoffspeicherung wird mit 55.1 t CO₂-Äq. pro Hektare über 20 Jahre (2.75 t CO₂-Äq. pro Hektare und Jahr) und 183.5 t CO₂-Äq.t über 50 Jahre (3.67 t CO₂-Äq. pro Hektare und Jahr) bei 50 Bäumen pro Hektare angenommen. Das verzögerte Potenzial hat mit der Wachstumskurve von Bäumen zu tun (Berechnet mit dem «YieldSAFE model»).
- Da in höheren Lagen die Vegetationszeit kürzer ist, werden folgende Korrekturen pro Höhenlage angenommen: Tal-Zone 0%, Hügel-Zone (=−10%), Berg-Zone (=−20%).

4.1 Erfahrungen aus den Pilotprojekten

Auf den Bündner Pilotbetrieben wurden insgesamt vier Agroforstprojekte umgesetzt. Die vier Projekte sind so individuell wie die Betriebe, die sie umgesetzt haben und umfassen ein System im Ackerbau, eins im Weinbau und zwei Systeme in der Tierhaltung, wovon eines zum Schutz der Tiere und eines zur Ergänzung des Futters angelegt wurde. Innerhalb der zwei Monitoring-Jahre konnten bisher ausschliesslich Erfahrungen zur Initiierung gemacht werden. Langfristige Erfahrungen mit den Auswirkungen von Agroforstsysteme auf ihre Umwelt sind noch nicht möglich. Jedoch zeigt sich bereits jetzt: eine gute Planung und Beratung zu Beginn des Prozesses ist sehr wichtig: sie erleichtert die Umsetzung und erhöht die Erfolgsschancen.

Jeder Betrieb sollte bei der Planung eines Agroforstsystems folgende sieben Fragen beantworten:

1. Welche Ziele verfolge ich mit dem Agroforstsystem? (Produktionsziele (bspw. Wertholz, Obst, Futter), Erosionsschutz, Wasserverfügbarkeit erhöhen, Schatten- und Kühlung, Biodiversität und Umweltaspekte?)
2. Welche Standort- und klimatischen Voraussetzungen habe ich? Welche Baumarten wachsen an meinem Standort?
3. Welche Arbeitskapazitäten habe ich zur Verfügung? (vor allem für die Pflege der Bäume in den ersten Jahren – Bewässerung, Flächenpflege, Baumschnitt)
4. Welche Gehölzarten bevorzuge ich persönlich?
5. Verfüge ich bereits über Wissen zu Bäumen und deren Bewirtschaftung?
6. Welchen finanziellen Umfang darf das Projekt haben und kann ich finanzielle Unterstützung für das Projekt bekommen?
7. Gibt es weitere Rahmenbedingungen, die berücksichtigt werden müssen (z.B. Besitzverhältnisse, Nachbarn, etc.; den Hond-Vaccaro et al., 2024)?



5. Förderung und Überwachung

5.1 Monitoring, Reporting and Verifikation

Der Erfolg von Agroforstsystmen zur Kohlenstoffspeicherung kann auf Basis der Anzahl gepflanzter Bäume pro Hektare ermittelt und jedes Jahr (bzw. alle 5 Jahre) evaluiert werden. Neben diesem Basis-Monitoring wird empfohlen, die Bäume/Hecken alle 5 Jahre zu vermessen und das effektive Holzvolumen zu ermitteln. Detaillierte Monitoring-Leitfäden wurden bereits publiziert (z.B. Roberti et al., 2023).

5.2 Existierende und mögliche weitere Förderprogramme und Instrumente

Hochstammbäume können derzeit als Biodiversitätsförderfläche (BFF) in der Direktzahlung angemeldet werden. Jeder Hochstamm-Feldobstbaum (HOFO) erhält dabei einen Beitrag (<https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen/biodiversitaetsbeitraege.html>). Zudem gibt es ein Förderprogramm für Agroforst und Vitiforst für die Schweiz und Liechtenstein von SilvoCultura mit Unterstützung der Stiftung myclimate (<https://www.silvocultura.ch/programm>). Weitere Fördermöglichkeiten – vor allem für einzelne Aspekte – können bei Kantonen, dem Fond Landschaft Schweiz (<https://fls-fsp.ch/fokus-agroforst>) oder auch bei Stiftungen bzw. Vereine wie Visio Permacultura, der Schweizerische Vogelwarte Sempach oder Pro Natura beantragt werden. Die Details müssen jeweils direkt mit den Organisationen besprochen werden.

Mögliche weitere Förderungen des Kantons sollten weitere Baumarten (nicht nur Obst- und Nussbäume) als auch (Futter)Hecken unterstützen. Beides wird bisher auf Bundesebene nicht unterstützt, obwohl die Praxis reges Interesse daran zeigt und auch zwei Pilotbetriebe in die Anlage von Heckensystemen investiert haben.

6. Fazit und Empfehlung

Das Ziel einer klimaneutralen Landwirtschaft kann von der Integration von Bäumen und Sträuchern in Form moderner Agroforstsystme profitieren. Zudem bieten Agroforstsystme das Potenzial der Klimaanpassung. Im Detail können bei der Etablierung von Obstgehölzen zusätzliche Lebensmittel, bei der Anlage von Futterhecken zusätzliche Futtermittel und bei der Etablierung von Wertholz (Obst-, Nuss- und Wertholzbäume) langfristige Kohlenstoffsenken erzeugt werden. Die Wirtschaftlichkeit der Massnahme ist sehr variabel, so dass diesbezüglich keine allgemeingültige Aussage möglich ist.

Das Potenzial der Massnahme sollte zeitnah angegangen werden, da Bäume und Sträucher Zeit zum Wachsen brauchen. Gehölze, die heute gepflanzt werden, können ihr hohes Klimaschutzpotenzial erst in einigen Jahrzehnten voll entfalten. Wer es heute verpasst, diese Gehölze zu pflanzen, kann in 20-30 Jahren nicht auf dieses natürliche Potenzial zurückgreifen.

Neben guten, leicht verfügbaren Informationen und Beratung – sei es durch Fachberatung, Arbeitskreise oder Informationstage – ist eine wirksame Massnahme zur Förderung der Agroforstwirtschaft vor allem die Bereitstellung einer Anschubfinanzierung. Es hat sich gezeigt, dass ein solches Förderprogramm das Interesse in der landwirtschaftlichen Praxis erhöht und anfängliche Hemmnisse, sei es inhaltlicher oder finanzieller Art, überwinden hilft. Eine medienwirksame Etablierung des Förderprogramms kann zusätzlich unterstützend wirken.



7. Literatur und weiterführende Informationen

7.1 Weitere Informationen

Wer Interesse an Agroforst hat und sich tiefergehend informieren möchte, findet Informationen und Unterstützung zur Planung und Umsetzung bei SilvoCultura: <https://www.silvocultura.ch/angebot>. SilvoCultura ist spezialisiert auf die Konzipierung, Planung und Durchführung von Agroforst, Vitiforst und Keyline-Projekten und begleitet Landwirtschaftsbetriebe, die Agroforstsysteme umsetzen wollen von der Planung bis zur erfolgreichen Etablierung.

Viele Praxisinformationen finden sich im Buch «Agroforstpraxis in der Schweiz. Verwurzelt im Wandel. Das Grundlagenwerk zu den erfolgversprechenden Agroforstsystemen für die Schweiz» (ISBN/EAN 9783258083667) mit Umsetzungsbeispielen aus der Schweizer Praxis.

7.2 Literatur

- Aertsens, J., De Nocker, L., & Gobin, A. (2013). Valuing the carbon sequestration potential for European agriculture. *Land Use Policy*, 31, 584–594. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.09.003>
- Alam, M., Olivier, A., Paquette, A., Dupras, J., Revéret, J.-P., & Messier, C. (2014). A general framework for the quantification and valuation of ecosystem services of tree-based intercropping systems. *Agroforestry Systems*, 88(4), 679–691. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9681-x>
- Amorim, H. C. S., Ashworth, A. J., O'Brien, P. L., Thomas, A. L., Runkle, B. R. K., & Philipp, D. (2023). Temperate silvopastures provide greater ecosystem services than conventional pasture systems. *Scientific Reports*, 13(1), 18658. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45960-0>
- Bertrand, C., Eckerter, P. W., Ammann, L., Entling, M. H., Gobet, E., Herzog, F., Mestre, L., Tinner, W., & Albrecht, M. (2019). Seasonal shifts and complementary use of pollen sources by two bees, a lacewing and a lady-beetle species in European agricultural landscapes. In L. Garibaldi (Ed.), *Journal of Applied Ecology*, 56(11), 2431–2442. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13483>
- den Hond-Vaccaro, C., Herzog, F., Schoop, J., Nilles, L., & Jäger, M. (2024). *Agroforstpraxis in der Schweiz: Verwurzelt im Wandel* (1. Aufl.). Haupt Verlag.
- Drexler, S., Gensior, A., & Don, A. (2021). Carbon sequestration in hedgerow biomass and soil in the temperate climate zone. *Regional Environmental Change*, 21(3), 74. <https://doi.org/10.1007/s10113-021-01798-8>
- IPCC (2019). *Climate Change and Land: An IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* (P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, & J. Malley, Eds.). IPCC. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/11/SRCCl-Full-Report-Compiled-191128.pdf>
- Kaeser, A., Sereke, F., Dux, D., & Herzog, F. (2010). *Moderne Agroforstwirtschaft in der Schweiz: Innovative Baumgürteln: Produktivität und Wirtschaftlichkeit* (ART Bericht 725). Agroscope. <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/21764>
- Kay, S., Jäger, M., & Herzog, F. (2019). Ressourcenschutz durch Agroforstsysteme – standortangepasste Lösungen. *Agrarforschung Schweiz*, 10(9), 308–315.
- Mastrandrea, M. D., Field, C. B., Stocker, T. F., Edenhofer, O., Ebi, K. L., Frame, D. J., ... Zwiers, F. W. (2010). *Guidance note for lead authors of the IPCC Fifth Assessment Report on consistent treatment of uncertainties*. <http://www.ipcc-wg2.gov/meetings/CGCs/Index.html#UR>
- Rivest, D., Paquette, A., Moreno, G., & Messier, C. (2013). A meta-analysis reveals mostly neutral influence of scattered trees on pasture yield along with some contrasted effects depending on functional groups and



rainfall conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 165, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.12.010>

Robert, G., von Pfeil, C., Kunzelmann, J., Funke, L., Rutz, T., & Kay, S. (2023). *Monitoring-Leitfaden für Agroforstsysteme: Methoden zur Messung der Umwelteffekte* (Agroscope Transfer 468). <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/52503>

Sánchez, I. A., & McCollin, D. (2015). A comparison of microclimate and environmental modification produced by hedgerows and dehesa in the Mediterranean region: A study in the Guadarrama region, Spain. *Landscape and Urban Planning*, 143, 230–237. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.07.002>

Schindler, Z., Morhart, C., Sheppard, J. P., Frey, J., & Seifert, T. (2023). In a nutshell: Exploring single tree parameters and above-ground carbon sequestration potential of common walnut (*Juglans regia* L.) in agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 97(6), 1007–1024. <https://doi.org/10.1007/s10457-023-00844-0>

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. *Ecological Economics*, 191, 107214. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107214>

Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., & Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>

Wang, Y., Zhang, B., & Banwart, S. A. (2017). Reduced subsurface lateral flow in agroforestry system is balanced by increased water retention capacity: Rainfall simulation and model validation. In *Advances in Agronomy* (Vol. 142, pp. 73–97). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2016.10.005>

Yang, G., Zohner, C., Smith, G., Blaser-Hart, W., Dupraz, C., Fakheran, S., González-Chaves, A., et al. (2024). Protecting forests and trees is essential for global agricultural productivity. <https://doi.org/10.32942/X2J90P>

8. Anhang: Begleitendes Monitoring im Bereich ‘Biodiversität in Agroforstsystmen’

Im Rahmen des begleitenden Monitorings wurde der angehängte Schlussbericht, sowie eine Bachelorarbeit erarbeitet. Die Bachelorarbeit kann hier heruntergeladen werden:

Minder, J. (2025). Wildbienenmonitoring im Projekt «Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden» (Bachelorarbeit, ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften). ZHAW Digital Collection.
<https://doi.org/10.21256/zhaw-34264>

Abschlussbericht

Biodiversitätsmonitoring in Agroforstsystemen im Kanton Graubünden

Projekt Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden

2023 – 2025

Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften

Institut	Umwelt und natürliche Ressourcen
Forschungsgruppe	Regenerative Landwirtschaftssysteme
Projekt	Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden
Zeitraum	2023 - 2025
Kontakt	Mareike Jäger, mareike.jaeger@zhaw.ch
Autorin	Christa Hirschvogel, christa.hirschvogel@zhaw.ch
Abgabe	30. November 2025

Inhalt

Grundlage und Ziel des Monitorings	3
Einleitung	3
Einfluss von Agroforstsystmen auf Wildbienen, Laufkäfer und Bodenarthropoden	5
Analyse des bestehenden Bewertungsschlüssels	7
Anpassung des Bewertungsschlüssels für Wildbienen und Laufkäfer.....	7
Biodiversitätsmonitoring	8
Pilotbetriebe	8
Projektaktivitäten	8
Vorgehen bei der Beurteilung	9
Anwendung des Bewertungsschlüssels für Wildbienen	10
Bodenuntersuchungen auf dem Biohof Las Sorts.....	11
Bodenarthropoden	12
Mikroorganismen: Bakterien und Pilze	13
Bodenkohlenstoff	14
Fazit	15
Quellenverzeichnis	16

Grundlage und Ziel des Monitorings

Im Rahmen des Projekts Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden wurden Landwirtschaftsparzellen unterschiedlicher Nutzungstypen (Ackerbau, Weidewirtschaft und Rebbau) auf eine agroforstliche Nutzung umgestellt. Für diese Agroforstsysteme wurde ein Bewertungsschlüssel und Biodiversitätsmonitoring konzipiert und durchgeführt, welches möglichst einfach umsetzbar und auf weiteren Flächen anwendbar sein sollte. **Die Bewertung und das Monitoring sollen Aufschluss darüber geben, wie Agroforstflächen gestaltet und angelegt werden müssen, damit sie aus naturschutzfachlicher Sicht eine optimale Wirkung erzielen können.**

Einleitung

Agroforstsysteme sind Landnutzungssysteme, in denen Gehölze (Bäume oder Sträucher) mit Ackerkulturen oder Tierhaltung auf derselben Fläche kombiniert werden, sodass ökologische und ökonomische Synergien entstehen. Durch die Integration von Gehölzstrukturen können Landschaften diversifiziert und mikroklimatische Extreme abgeschwächt werden, was sich positiv auf eine Vielzahl von Organismengruppen auswirkt (Mupepele et al., 2021; Torralba et al., 2016).

Bei den in diesem Projekt betrachteten Organismengruppen handelt es sich um Wildbienen, Laufkäfer und Bodenarthropoden. Diese wurden als Bioindikatoren ausgewählt, da sie empfindlich auf Habitatstruktur, Bodenbedingungen und Bewirtschaftungsintensität reagieren. Diese Gruppen repräsentieren verschiedene trophische Ebenen und Lebensräume – von oberirdischen Bestäubern über epigäische Prädatoren bis zu endogäischen Zersetzern.

Als Wildbienen gelten alle Arten der Bienen (*Apoidea*) mit Ausnahme der Honigbiene (*Apis*), welche als Nutztier gehalten wird. In der Schweiz gibt es über 600 verschiedene Arten (bienen.ch, 2023). Diese Arten können in sieben Unterfamilien eingeteilt werden: Seidenbienen (*Colletidae*), Sandbienen (*Adrenidae*), Furchen- und Schmalbienen (*Halictidae*), Sägehorn- oder Hosenbienen (*Melittidae*), Mörtel- und Blattschneiderbiene (*Megachilidae*), Pelzbienen (*Anthophoridae*), Echte Biene (*Apidae*) (beeworld.ch, 2023). Bienen werden zwischen 2mm bis 30mm gross und weisen eine grosse Farben- und Formenvielfalt auf. Die meisten Wildbienen leben solitär und während einigen Wochen zwischen März und Oktober, je nach Art.

Um das Überleben einer Wildbiene zu sichern, muss es im Umkreis von 100 – 300 m (je nach Art, teilweise sogar bis zu 600 m und bei Hummeln bis zu 1000 m) genügend Nahrungs- und Futterpflanzen geben, Nistmöglichkeiten haben und Baumaterial für das Nest vorhanden sein (Schindler et al., 2013). Bienen sind entweder auf bestimmte Pflanzenarten oder -familien spezialisiert (oligolektisch) um Pollen und Nektar zu beschaffen, oder sie können sich von vielen verschiedenen Pflanzen ernähren (polylektisch). Nistmöglichkeiten betreffend, nisten ungefähr die Hälfte der Wildbienenarten in selbst gegrabenen Nestern im Erdboden (Abb. 1) (bienen.ch, 2023). Circa ein Viertel sind Kuckucksbienen und ein Viertel baut Nester in Hohlräumen. Nur wenige Arten nisten in selbst genagten Nestern in Markstengeln oder Holz oder haben freistehende Nester. Es gibt auch Bienen mit unbekanntem Nistverhalten. Um ihre Nester zu bauen, brauchen Wildbienen verschiedene Materialien wie Lehm, Sand, Erde, kleine Steinchen, Holzschnipsel, Laub- und Blattstücke und Harz (Millet et al., 2016). Aufgrund der hohen Lebensraumansprüche eignen sich Wildbienen hervorragend als Bioindikatoren, weshalb diese Organismengruppe den Schlüssel zur Bewertung des Naturschutzpotentials von Agroforstflächen ergänzen soll.

Als Laufkäfer gelten alle Arten der Familie der *Carabidae* innerhalb der Ordnung der Käfer (*Coleoptera*). In der Schweiz gibt es über 532 verschiedene Arten (Infofauna, 2024). Davon gelten ca. 40% als gefährdet oder verschollen. Der Anteil der Arten mit hoher Schutzverantwortung korreliert mit der Anzahl endemischer, also gänzlich in der Schweiz vorkommender, Arten und ist in den Alpen als vielfältiger Landschaftsraum besonders hoch

(Huber & Marggi, 2005). Von 8 Taxa, die als akut gefährdet gelten, wurden folgende im Kanton Graubünden gesichtet:

- *Miscodera arctica* (Paykull, 1798): Boreoalpine Reliktart mit nur wenigen, isolierten Standorten in den Bündner Alpen
- *Amara schimperi* (Wencker, 1866): Alpenart, Habitatgefährdung (steinige Sandufer)

Grundsätzlich wird zwischen Tieren unterschieden, die sich im Spätsommer und Herbst paaren und im Larvenstadium überwintern, oder die sich im Frühjahr paaren, sich im Sommer entwickeln und als ausgewachsene Käfer (Imagines) überwintern (Luka, 1996). Eine Grosszahl der Laufkäfer leben auf oder im Boden. Vorwiegend unterirdisch leben einige Trichus-Arten, *Bembidion inustum*, *Pterostichus macer* etc. Arten die Pflanzen besteigen sind z.B. aus den Gattungen *Amara*, *Anisodactylus*, *Ophorus*, *Harpalus*, *Lebia*. Arten die auf Bäume steigen sind z.B. aus den Gattungen *Dromius*, *Trechus*, *Calosoma*. Die meisten Arten der Gattungen *Dromius*, *Philorhizus* und *Calodromius* habe sich sogar fast ganz auf Bäume spezialisiert und wohnen zum Beispiel unter Rindenschuppen. Die meisten Laufkäfer leben sowohl im Larval- als auch im Adultstadium räuberisch und reduzieren dadurch Blattlaus-, Schnecken-, Drahtwürmer- und Kartoffelkäferpopulationen (wobei die Reduktion oft erst in der nächsten Vegetationsperiode bemerkbar ist, da Schädlinge oft schon Schaden versursacht haben, bevor sie gefressen werden). Die meisten Laufkäfer sind wenig wählerisch, jedoch gibt es auch Arten, die sich auf die Jagd nach Schnecken oder Springschwänzen spezialisiert haben. Grosslaufkäfer stellen vorwiegend grösserer und langsamerer Beute wie Raupen, Schnecken und Regenwürmern nach. Die Menge der täglich aufgenommenen Nahrung kann dem eigenen Körpergewicht entsprechen, besonders wenn die Fettreserven vor oder nach der Winterruhe aufgefüllt werden (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2023).

Laufkäfer sind fast ausschliesslich Nützlinge. Lediglich zwei der 760 mitteleuropäischen Arten sind bisher als Schädlinge auffällig geworden. Der Getreidelaufkäfer (*Zabrus tenebrioides*) befällt vorwiegend in Mittel- und Ostdeutschland junge Getreidepflanzen im Herbst und besonders im Frühjahr. Hierbei kann er lokal grosse Schäden verursachen. Der sehr häufige behaarte, rotbeinige Laufkäfer, *Harpalus rufipes*, ist schon als Schädling in Erdbeerkulturen aufgefallen, wo er die Nüsschen der Erdbeeren frisst. Dies führt gehäuft zu Grauschimmelbefall (Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2023).

Für die Beurteilung einer Laufkäferpopulation werden Artvielfalt (Artenzahl, Auffinden von Spezialisten und Rote Liste-Arten) und Häufigkeit (Individuenzahl und Dominanzstruktur) charakterisiert (Luka, 1996). Zu ausgewählten Laufkäfergattungen, die im Agrarland gutes Indikationsverhalten aufweisen können, gehören: *Carabus* (Grosslaufkäfer), *Dyschirius* und *Clivina* (grabende Arten, brauchen lockeren Boden), *Harpalus*, *Ophonus*, *Amara*, *Diachromus* (ausschliesslich phytophage Ernährung, also Samen und Pollen von Wildpflanzen, Ackerbegleitflora; fehlen indiziert Herbizid-Einsatz). Als hauptsächliche Gefährdung für die Laufkäfer in der Schweiz werden Zerstörung von Kleinstrukturen, Vereinheitlichung der Landschaft, die Melioration der Schnittwiesen und Weiden, und der Einsatz von Pestiziden genannt (Infofauna, 2024):

Zum Stamm der Arthropoden zählen 80% aller bekannten lebenden Tierarten. Sie sind in jedem landwirtschaftlichen Boden zu finden und übernehmen wichtige Funktionen. Beispielsweise verändern Ameisen und andere sogenannte Ökosystemingenieure die physikalische Struktur des Bodens und beeinflussen so den Nährstoff- und Energiefluss (Coleman & Wall, 2015). Kleinere Arthropoden, auch Streuverwandler genannt, zerkleinern zersetzende Streu und verbessern deren Verfügbarkeit für Mikroorganismen. Durch die Modulation der Aktivität saprotropher Mikroorganismen spielen bodenbewohnende Arthropoden eine zentrale Rolle für die Bodengesundheit und beeinflussen die Kohlenstoffumwandlung, den Nährstoffkreislauf, die Erhaltung der Bodenstruktur und die biologische Regulierung (Barrios et al., 2012; Pamminger et al., 2022).

Einfluss von Agroforstsystmen auf Wildbienen, Laufkäfer und Bodenarthropoden

Wildbienen

Die allermeisten Wildbienenarten in Zentraleuropa sind zwischen 4.5 – 13.5 mm lang, wobei grössere Arten unproportional längere Flugdistanzen zurücklegen können (Hofmann et al., 2020). Hofmann (2020) hält weiter fest, dass lebensnotwendige Strukturen für kleine solitäre Bienen deshalb nicht weiter als 150 m entfernt sein sollten. Hummeln hingegen haben einen grösseren Aktionsradius von bis zu 1000 m (Le Féon et al., 2010). Rund dreiviertel der Wildbienen nisten im Boden (Bodennistende Arten, Kuckucksbienen), wobei bei vielen Arten keine Bodenartpräferenz bekannt ist (Neumüller et al., 2022). Faktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit und Sauerstoffverfügbarkeit beeinflussen das Überleben der Nachkommen im Boden. Lybrand et al. (2020) fand mehrheitlich Nester in Böden, welche einen eher geringen C_{org} Anteil aufwiesen und leicht sauer waren. Steigende Temperaturen können negative Auswirkungen auf den Gesamtbestand und den Artenreichtum von Wildbienen haben; diese Effekte können jedoch lokal durch fördernde Struktur und naturnahe Flächen gemindert werden (Papanikolaou et al., 2017). Es gibt viele verschiedene Arten von naturnahen Flächen die unterschiedlich auf Wildbienen wirken (Bartual et al., 2019). Grundsätzlich ist der Artenreichtum auf blumenreichem Grünland (extensive Grasland, extensive Feldränder) höher als bei Waldrändern. Hecken haben hingegen keinen eindeutigen positiven oder negativen Einfluss (Bartual et al., 2019). Bartual et al. (2019) fand, dass Wildbienen besonders abundant waren in Habitaten, die folgende Pflanzenzusammensetzungen aufwiesen: 1.) Bäume und Sträucher mit weissen Blüten und einer frühen, relativ kurzen Blütezeit, wie Sambucus (21,8%), Prunus (16,1%), Crataegus (11,3%) und Rosa (10,8%); 2.) krautige Arten, die Mitte Sommer blühen, wie Achillea (11,9%), Ranunculus (11,8%), Trifolium (9,3%) und Leucanthemum (7,5%); 3.) krautige und holzige Pflanzen mit hohem Anteil an pollenblühenden Pflanzen; 4.) sowie Rubus (32,4 %), Hypericum (19,8%) und Papaver (11,1%); Sambucus (21,8%), Prunus (16,1%), Crataegus (11,3%) und Rosa (10,8%). Typisch verholzte Arten sind dabei Prunus und Rubus; Trifolium kommt typischerweise im Grasland vor und Papaver rhoes wächst häufig auf Ackerrändern. Extensiv bewirtschaftetes Grünland und weniger stark konventionell bewirtschaftetes Grünland fördert das Wildbienenvorkommen und Artenreichtum während der ganzen Saison wobei Blühstreifen vor allem am Ende der Saison wichtig werden (Maurer et al., 2022). Das hat damit zu tun, dass Blühstreifen oft keine bis wenige Frühblüher enthalten, welche jedoch v.a. für Koloniebildende Bienen wie Hummeln zu Beginn der Saison sehr wichtig sind. Was die Umgebung betrifft, werden Wildbienen durch Kleinräumigkeit (Mosaiklandschaft) und Vernetzung (kleine Parzellen und viele Ränder) gefördert. Bei intensiver Düngung (mineralisch und organisch) nimmt die Biodiversität der Pflanzen und damit der Blütenressourcen im Feld und in Feldrändern tendenziell ab, was als negativ für Wildbienen bewertet wird (Le Féon et al., 2010). Trotzdem gilt in der Schweiz, dass biologisch bewirtschaftetes Grasland auch eine signifikant höhere Pflanzenvielfalt aufweist (zu vergleichbarem konventionell bewirtschafteten Grasland) (Klaus et al., 2023). Die positive Bewertung von Grasland für Wildbienen trifft jedoch nur zu, falls keine zu hohe Tierdichte/intensive Tierhaltung herrscht. Grund ist, dass wiederum von einer geringeren Anzahl Blütenressourcen ausgegangen wird, als es bei einer geringeren Bewirtschaftungsintensität der Fall wäre. Zum Beispiel wird intensiv bewirtschaftetes Grasland, wie etwa bei der Produktion von Silage, mehrmalig pro Jahr geschnitten, bevor die vorhandenen Pflanzen blühen können. Da in einem Mischsystem die Pflanzenvielfalt als höher eingestuft wird, sind solche Systeme ebenfalls als positiv zu bewerten (Le Féon et al., 2010).

Agroforstsystme wirken auf Wildbienen also in mehrfacher Hinsicht förderlich:

- Nahrungsangebot: Gehölze blühen zu unterschiedlichen Zeiten und bieten Pollen- und Nektarquellen über einen längeren Zeitraum.
- Nistmöglichkeiten: Strukturen wie Totholz, Rindenspalten und offene Bodenstellen dienen als Nistplätze für zahlreiche Arten.

- Mikroklima: Schatten und Windschutz reduzieren Trockenstress; höhere Bodenfeuchte verbessert Brutbedingungen.
- Vernetzung: Agroforststreifen bilden ökologische Trittssteine zwischen isolierten Populationen.

Laufkäfer

Der Einfluss von Agroforstsystemen auf Laufkäfer wird ausführlich von (Kaeser, 2009) beschrieben. Zusammengefasst profitieren sie insbesondere von:

- strukturreicher Vegetation (Krautsäume, Hecken, Grasstreifen),
- verbessertem Mikroklima unter Gehölzen,
- erhöhtem Beuteangebot durch höhere Insektenvielfalt und Streuauflage.

Kaeser (2009) konnte zeigen, dass Agroforstflächen mit locker gepflanzten, älteren Baumstreifen und extensiver Bewirtschaftung besonders hohe Laufkäferdiversität aufweisen. Viele Arten der Übergangszonen (*Harpalus seripes*, *Carabus monilis*) nutzen Baumstreifen als Rückzugsräume und Wanderkorridore.

Grundsätzlich gilt die Extensivierung der landwirtschaftlichen Produktion kombiniert mit neu angelegten extensiven Wieslandstreifen, Buntbrachen, Hecken und Feldgehölzen (ökologische Ausgleichsflächen) als effiziente Förderungsmassnahme für die Laufkäfer (Luka, 1996).

Bodenarthropoden

Bodenarthropoden, darunter Springschwänze (Collembolen), Milben (Acari) und Larven verschiedener Insektenordnungen, übernehmen zentrale Funktionen in der Zersetzung organischer Substanz und im Nährstoffkreislauf. Ihre Aktivität ist stark von Bodenfeuchte, Humusgehalt und Bewirtschaftungsintensität abhängig.

Agroforstsysteme erhöhen durch Laubstreu, Wurzelausscheidungen und reduzierte Bodenbearbeitung die Habitatkomplexität. Studien zeigen eine höhere funktionelle Diversität und Biomasse gegenüber konventionellen Ackerflächen (Marsden et al., 2020).

Wie die nachfolgenden Beispiele zeigen, weisen erschiedene Gruppen weisen unterschiedliche Bioindikatorenwerte auf:

Gruppe	Ökologische Funktion	Bioindikatorenwert
Collembola (Springschwänze)	Abbau von organischer Substanz, Förderung der Humusbildung; Fressen Pilze, Bakterien, Detritus	Sehr empfindlich gegenüber Pestiziden, Schwermetallen und Bodenversauerung; Indikatoren für Bodenfeuchte und organische Substanz (Menta & Remelli, 2020).
Acari (Milben)	Zersetzer und Räuber; Oribatiden fördern Humusaufbau, Gamasina sind Prädatoren kleiner Bodentiere	Reagieren sensibel auf chemische Belastung, Feuchte und pH-Wert; zeigen Schadstoffeinträge und Bodenstabilität an (Menta & Remelli, 2020).
Coleoptera (Käfer)	Dekomposition, Prädation, Schädlingsregulation	Hohe Diversität in Agroforstsystemen durch Habitatvielfalt; Indikatoren für Strukturkomplexität und Managementintensität (Kaeser, 2009).

Analyse des bestehenden Bewertungsschlüssels

Der bereits bestehende Bewertungsschlüssel (Kaeser, 2009) konzentriert sich auf Vögel und Laufkäfer als Bioindikatoren, beschränkt sich jedoch auf das schweizerische Mittelland, für welches Hochstamm-Obstgärten charakteristisch sind.

Der Schlüssel basiert auf drei Kategorien mit verschiedenen Faktoren:

- Standort und Ist-Zustand (Boden, Klima, bisherige Nutzung, Landschaftsstruktur, Artenpool),
- Anlage des Agroforstsysteams (Baumarten, Baumalter, Anordnung, Dichte),
- Nutzung des Agroforstsysteams (Bewirtschaftungsintensität, Baumstreifenpflege, Düngung, Pestizideinsatz, Naturschutzmassnahmen).

Kaeser gewichtete diese Faktoren anhand von Literaturrecherchen (Nipkow, 1995; Reeg et al., 2009; Refseth, 1980) und Expertenbefragungen (Ueli Rehsteiner (Schweizer Vogelschutz SVS/BirdLife Schweiz) und Henryk Luka (Departement Entomologie, Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL)). Die Bewertung erfolgte über ein Punktesystem, das nutzwertanalytische Ansätze integrierte (kein Einfluss = 0, schwach = 1, mittel = 2, stark = 3, sehr stark = 4). Bei verschiedenen Faktoren wurden Artenlisten und Lebensraum-Checklisten zu Hilfe genommen. Die Artenlisten umfassen 13 + 4 Vogelarten (Förderung durch Agroforst und Sträucher/Hecken im Speziellen), welche für Hochstamm-Obstbäume charakteristisch sind und im Mittelland vorkommen, sowie 54 Laufkäferarten (v.a. Übergangzonenarten mit Fokus auf stenotopen Arten) zusammen. Es handelt sich dabei um verletzliche bis nicht gefährdete Arten. Nach der Punktevergabe gilt, je höher die erreichte Punktzahl, (Ist-Zustand) desto besser die Voraussetzungen für ein Agroforstsystem und (Anlage und Nutzung) desto besser die Eignung des geplanten Agroforstsysteams für die zu fördernde Agroforst-Vogelart oder -Käfer.

Die Studie demonstrierte, dass Agroforstsysteme im Schweizer Mittelland das Potenzial besitzen, Artenvielfalt signifikant zu erhöhen, insbesondere bei extensiver Nutzung. Laufkäfer erwiesen sich als sehr gute Indikatoren für Struktur- und Feuchtigkeitsgradienten, während Vögel primär auf Landschaftsstruktur reagierten.

Der Ansatz des Bewertungsschlüssels ist transparent und praxistauglich, berücksichtigt jedoch alpine Standortbedingungen nur unzureichend. Faktoren wie Relief, Höhenlage und saisonale Niederschlagsmuster wurden nicht spezifisch integriert. Ebenso fehlte eine explizite Berücksichtigung von Bestäubern oder Bodenfauna, was in den aktuellen Arbeiten der ZHAW ergänzt wurde.

Anpassung des Bewertungsschlüssels für Wildbienen und Laufkäfer

Basierend auf Kaeser (2009) wurde der Bewertungsschlüssel für das Projekt Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden überarbeitet und auf zwei Artengruppen ausgeweitet: Wildbienen und Laufkäfer.

Beide Schlüssel folgen einer ähnlichen dreiteiligen Systematik wie in Kaeser (2009), welche in Faktoren und Parameter aufgeteilt sind:

- Kategorie 1: Agroforst-Gehölze und Anordnung
- Kategorie 2: Agroforstparzelle und Nutzung
- Kategorie 3: Umgebung

Für jeden Parameter wird eine Punktzahl vergeben; die Summation ergibt ein relatives Potenzial (niedrig – mittel – hoch). Grosse Anpassungen bei den Wildbienen war die Integration einer Checkliste «Bienenweiden», welche Blühdauer, Saisonalität und Gehölzdiversität bewertet. Ebenfalls wurde die Blühkontinuität gewichtet. Bei den Laufkäfern wurde die Artenliste für den Kanton Graubünden ergänzt.

Die Bewertungsschlüssel und deren Anwendung ist in den Dokumenten 'Wildbienen Bewertungsschlüssel' und 'Laufkäfer Bewertungsschlüssel' genauer erklärt.

Biodiversitätsmonitoring

Der direkte Indikator für Artenvielfalt sind die vorkommenden Arten. Um diese zu erfassen, gibt es mehrere Möglichkeiten, welche in den Dokumenten 'Wildbienen Biodiversitätsmonitoring' und 'Methodenkoffer Bodenarthropoden und Laufkäfer Monitoring' genauer erklärt werden. Die erklärten Methoden sind:

- Wildbienen Nistkästen
- Wildbienen Transektsbegehung
- Laufkäfer Transektsbegehung
- Bodenarthropoden Extraktion mittels MacFadyen Extraktor

Bodenuntersuchungen

Zusätzlich zum Biodiversitätsmonitoring wurden die Untersuchungen auf einem Betrieb mit der Erfassung des Bodenkohlenstoffs und der Mikrobiologie ergänzt

Pilotbetriebe

Insgesamt wurden vier Pilotbetriebe mit unterschiedlichen Nutzungstypen gewählt. Es handelt sich dabei um Obstbau auf Dauergrünland, Futterhecken für Ziegen, Naturschutzhecke und Blühstreifen in einer Rebanlage sowie Obstbäume und eine Hecke in und neben einem Acker.

Pilotbetrieb	Projekt
Hof Las Sorts Marcel Heinrich 7477 Filisur	Silvoarables System mit zwei Baumstreifen: eine Baumreihe mit Apfel und Quitte auf Ackerland und Sträucher am Ackerrand. Bergzone III, 970 m.ü.M.
Hof Gravas Séverine Curiger und Michael Dick 7453 Tinizong	Silvopastorales System: Futterhecken für Ziegen Bergzone III, 1230 m.ü.M.
Weingut Eichholz Irene Grünenfelder 7307 Jenins	Naturschutzhecke mit Blühstreifen und Wiesel Nistplätzen Talzone, 540 m.ü.M.
Plantahof Rolf Hug 7302 Landquart	Silvopastorales System: Apfel- und Nussbaumreihen (Hochstamm) auf Dauergrünland Talzone, 530 m.ü.M.

Projektaktivitäten

Folgende Projektaktivitäten wurden durchgeführt:

- Anwendung des Wildbienen-Bewertungsschlüssels: auf allen Betrieben
- Wildbienenmonitoring mit Nisthilfe: Biohof Las Sorts, Hof Gravas und Weingut Eichholz
- Wildbienenmonitoring mit Kescher: Biohof Las Sorts und Hof Gravas
- Arthropodenmonitoring: Biohof Las Sorts
- Beprobung von Mikroorganismen (Chloroform Fumigation Extraktion) und Pilzen (Ergosterolanalytik): Biohof Las Sorts
- Bodenkohlenstoffmessung: Biohof Las Sorts

Vorgehen bei der Beurteilung

Die Beurteilung der Flächen erfolgte in 4 Schritten:

1. Habitatpotenzial ermitteln
2. Agroforstsystem und Umgebung bewerten
3. Artvorkommen ermitteln = Monitoring
4. Fördermassnahmen definieren

Habitatpotenzial ermitteln

Zuerst werden vorhandene Informationen, z.B. Biodiversitätsförderflächen, gesammelt, entweder im Gespräch mit den Landwirt:innen selbst, mittels kantonalem Geoportal oder Wetterstationen (Abb. 1).

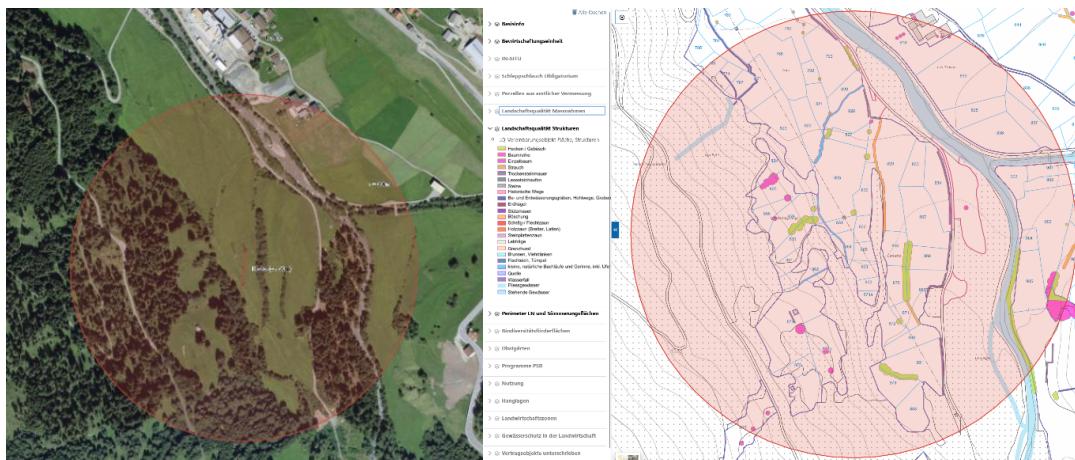


Abbildung 1: Geoportal Graubünden, 2024

Agroforstsystem und Umgebung bewerten

Nachdem alle Informationen gesammelt wurden, kann der Bewertungsschlüssel ausgefüllt werden.

Artvorkommen/Monitoring; Fokus Wildbienen

Der direkte Indikator für die Biodiversität an einem Standort sind die vorhandenen Arten. Dafür braucht es ein Monitoring. Nistkästen (Abb. 2.) sind zeitlich weniger aufwändig als Transektbegehungen (Abb. 3.), dafür werden nur die Hohlraumnistenden Bienen abgedeckt, welche ca. 25% aller Wildbienenarten ausmachen.



Abbildung 2: Nistkästen für hohlraumnistende Wildbienen

Ein Transekt ist ein Satz von Mess- oder Beobachtungspunkten entlang einer geraden Linie. Mit einem Transekt kann ein räumlicher Bezug zu einem untersuchten Gegenstand hergestellt werden. Ein Transekt in dem Bienen erfasst werden, sollte folgende Bedingungen erfüllen (Krahner et al., 2021; Neumüller et al., 2022; Schindler et al., 2013):

Dauer	5 - 10 Minuten oder bis definierte Distanz abgelaufen ist
Distanz	Unterschiedlich; kann von natürlichen Strukturen begrenzt sein
Temperatur	über 15 Grad Celsius
Wetter	Kein bis wenig Wind, bis max. 30% Wolkenbedeckung
Monat	Mai/Juni und Juli/August
Zeitpunkt	zwischen 10:00 – 17:00 Uhr

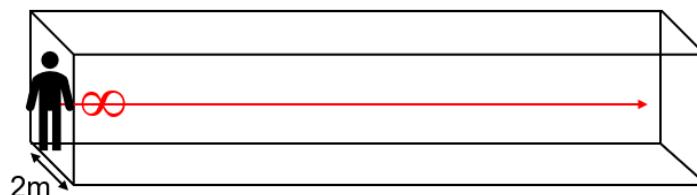


Abbildung 3: Schematische Darstellung einer Transektbegehung

Fördermassnahmen definieren

Die Auswahl der Gehölze und Anordnung (Kategorie 1) sowie die Umgebung (Kategorie 3) können nur bei der Planung/Umsetzung, nur bedingt oder gar nicht beeinflusst werden. Massnahmen werden also nur in der zweiten Kategorie des Bewertungsschlüssels für die Parameter landwirtschaftliche Nutzung, Intensität der Nutzung und Lebensraumelemente formuliert. In Kombination mit dem Wildbienen Biodiversitätsmonitoring können gezielt Massnahmen formuliert werden, z.B. bezüglich des Bereitstellens von Nahrungsquellen. Grundsätzlich brauchen Wildbienen Nistmöglichkeiten sowie Baumaterial für ihre Nester und die passende Nahrung im Umkreis von ca. 300m. Nach Möglichkeiten und Interesse können mithilfe von bee-finder.ch auch standortbasierte Fördermassnahmen formuliert werden. Diese Applikation liefert Informationen zur Förderung von Wildbienen an einem beliebigen Standort in der Schweiz: <https://www.bee-finder.ch/de/>. Basierend auf der Beschreibung des Standorts wird eine Liste mit dem Vorkommen von Zielarten, welche in der Nähe gesichtet wurden, generiert. In der Liste sind Informationen zum Lebensraum, Niststruktur und Nahrungspflanzen enthalten. Anhand der Liste können spezifische Fördermassnahmen formuliert werden. Des Weiteren können auch aufgrund der im Wildbienen Biodiversitätsmonitoring gefundenen Arten Massnahmen umgesetzt werden. Diese Massnahmen basieren meistens auf der Schaffung der spezifischen Nahrungsgrundlagen.

Anwendung des Bewertungsschlüssels für Wildbienen

Der Bewertungsschlüssel inkl. Monitoring (Abb. 4) wurde mehrmals angewendet, unter anderem auch in der Abschlussarbeit von Joelle Minder (Minder, 2025). Die detaillierten Ergebnisse sind in ihrer Arbeit zu lesen. Ihr Fazit war, dass ich Transektenbegehungen und Nistkasten-Kontrollen als praktikable Methoden für ein einfaches Biodiversitätsmonitoring eignen. Für eine umfassendere Bewertung der Biodiversität wird empfohlen, zusätzlich quantitative Indizes einzusetzen. Die untersuchten Agroforstflächen zeigen insgesamt ein hohes Potenzial für den Wildbienenschutz und bieten wertvolle Lebensräume. Als förderliche Massnahmen werden der Erhalt von Steinhaufen, eine späte Mahd der Krautschicht sowie das Belassen von Totholz genannt. Künftig sollte zudem verstärkt auf gezielte Blütenmischungen geachtet werden, um das Nahrungsangebot für Wildbienen zu erweitern.

Vergleich der Pilotbetriebe Biohof Las Sorts und Hof Gravas:

	Biohof Las Sorts		Hof Gravas		
	Erreichte Punktzahl	%	Erreichte Punktzahl	%	Total möglich
1. Gehölze und Anordnung	6	80	6	80	7.5
2. Parzelle und Nutzung	30	81	32	86	37
3. Umgebung	9	60	9.5	62	15

Standortspezifische Fördermassnahmen	
Biohof Las Sorts	Mit dem Kescher konnten für Apfelbäume wichtige Bestäuber wie die Ackerhummel gefangen werden. Zudem wurde eine vom Aussterben bedrohte Art in der Umgebung gesichtet (bee-finder.ch; <i>Megachile genalis</i>). Aus diesem Grund ist es wichtig, dass hohle Pflanzenstängel stehengelassen und Asteraceen—Blumenmischungen ausgesät werden.
Hof Gravas	Die Aussaat von Blumenmischungen mit folgenden Pollenquellen ist sinnvoll: Arten der Familie Fabaceae, Rosaceae und Campanulaceae speziell der Gattung Campanula.



Abbildung 4 Monitoring mit Nistkästen (links) und Transektbegehung (rechts)

Bodenuntersuchungen auf dem Biohof Las Sorts

Beprobung im Transektverfahren

Sowohl die Bakterien und Pilze, wie auch die Bodenarthropoden und der Bodenkohlenstoff wurden im Transektverfahren beprobt gemäss Bodenkundeleitfaden des Deutschen Fachverbands für Agroforstwirtschaft (DeFAF) (Minarsch et al., 2022). Dabei werden entlang eines Transekts – im Baumstreifen, 1m im Feld, bei $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{2}$ der Feldbreite – Proben genommen (Abb. 5).



Abbildung 5: Transekt links: Baum im Zentrum. Rechts: Feldbreitenmitte im Zentrum

Bodenarthropoden

Die Bodenproben wurden im Transektverfahren mit HumaxTube®-Einsatzhülsen (Humax® Soil Sampling Technologies, GreenGround AG, Schweiz, 2020) entnommen, um ungestörte zylindrische Bodenkerne mit einer Höhe von 14 cm und einem Durchmesser von 5,8 cm zu erhalten, was einem Volumen von etwa 370 cm³ entspricht. Die Bodenproben wurden gewogen und nach dem Zufallsprinzip kopfüber in den MACFADYEN-Extraktor (MACFADYEN High-Gradient-Extraktor, ecoTech Umwelt-Messsysteme GmbH, Deutschland) gelegt (Abb. 6), einer modifizierten Version des Tullgren-Trichters (Berlese, 1905; Hassall et al., 1988). Es wurde eine Temperaturrampe initiiert, die bei 25 °C begann und über einen Zeitraum von 10 Tagen allmählich auf 60 °C anstieg. Während der Temperaturrampe trocknete der Oberboden allmählich aus, wodurch die Organismen nach unten in einen kühleren Bereich wanderten, bis sie durch ein Gitter in die angebrachten Behälter fielen. Dann wurden die Individuen auf Klassenebene bestimmt und der Shannon Index berechnet.

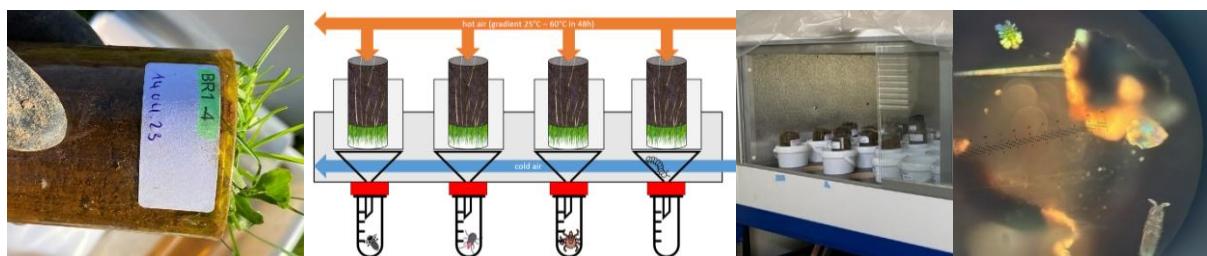


Abbildung 6: Bodenprobe, MacFadyen-Extraktor und extrahierte Arthropoden

$$H' = - \sum_i p_i \cdot \ln p_i \quad \text{mit } p_i = \frac{n_i}{N}$$

H' = Shannon Index

pi = Individuen einer Spezies / Gesamtheit der Individuen

Beschreibt die Vielfalt in betrachteten Daten unter Berücksichtigung der Artenzahl* und Abundanz (Anzahl der Individuen je Art*)

*Bestimmung auf der Ebene der Klasse in unserem Projekt.

Bodenarthropoden nehmen eine wichtige Rolle im Kohlenstoffkreislauf ein. Als Zersetzer bauen sie organische Stoffe ab und vergrössern dadurch die Oberfläche für mikrobielle Aktivitäten, die für die Humusbildung und den Nährstoffkreislauf entscheidend sind (Kishore SM et al., 2024). Mikrobivore Mikrofauna (die sich von Mikroben ernährt) und detritivore Meso- und Makrofauna (die zerfallende organische Stoffe verzehrt) modulieren die Aktivität saprotropher Mikroorganismen (hauptsächlich Pilze und Bakterien), die organischen Kohlenstoff abbauen und recyceln. Sie bestimmen, wie schnell und vollständig Kohlenstoff abgebaut wird und ob er als CO₂ freigesetzt oder als Humus stabilisiert wird. Ökosystemingenieure graben Tunnel, bilden Aggregate, verteilen Bodenpartikel neu und beeinflussen dadurch die Bodenstruktur, -zusammensetzung und -funktion. Biokontrolleure hingegen stabilisieren Nahrungsnetze. Sie regulieren die trophischen Ebenen im Boden, indem sie andere Organismen fressen oder parasitieren.

Die am häufigsten vertretenen Klassen der Arthropoden im Boden sind Springschwänze und Milben. Sie sind zentrale Regulatoren des Kohlenstoffkreislaufs im Boden: Sie beschleunigen

die Zersetzung organischer Substanz, steuern mikrobielle Gemeinschaften und fördern sowohl die Mineralisierung (CO_2 -Freisetzung) als auch die Stabilisierung von organischem Kohlenstoff im Humus. Wir gehen davon aus, dass die Wurzelausscheidungen, organisches Material und das konstantere Mikroklima unter den Bäumen die Arthropodengemeinschaft im Boden begünstigen wird; diese Effekte sind jedoch noch nicht zu beobachten zum jetzigen Zeitpunkt (Abb. 7).

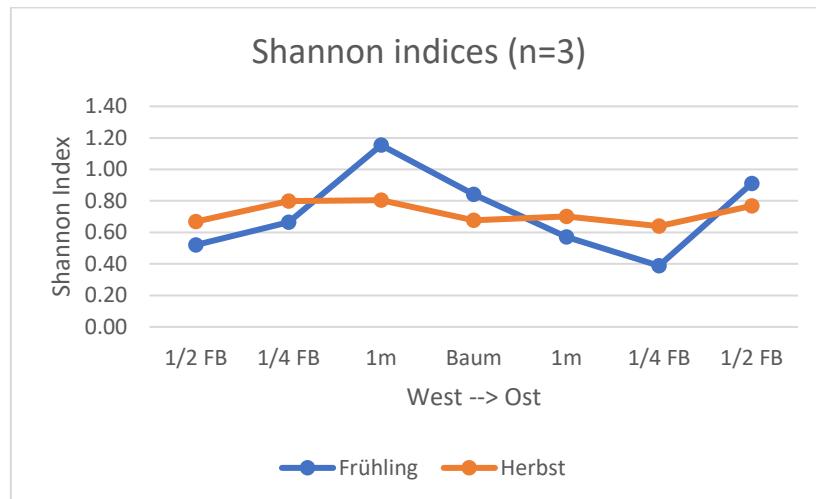


Abbildung 7: Shannon indices der Arthropoden im Abstand zur Baumreihe

Mikroorganismen: Bakterien und Pilze

Die Gesamtheit der Mikroorganismen (mikrobielle Biomasse) kann mittels Chloroform Fumigation Extraktion bestimmt werden. Dabei werden Mikroorganismen abgetötet und deren Zellen lysiert. Der dadurch freigesetzte Kohlenstoff kann extrahiert werden. Die Differenz des gelösten organischen Kohlenstoffs (fumigiert und nicht fumigiert) entspricht dem in der mikrobiellen Biomasse vorhandenen organischen Kohlenstoff. Die Pilzmasse kann durch Ergosterolanalytik bestimmt werden. Es wird das zellmembranständige Sterol angeschaut, welches ausschliesslich in Pilzen vorkommt (kommt in der Zellmembran fast aller Sporen und Hyphen filamentöser Pilze vor). Durch die Subtraktion der Pilzmasse von der gesamten Masse an Mikroorganismen kann die Bakterienmasse berechnet und anschliessend mit der Pilzmasse in ein Verhältnis gesetzt werden. Die Proben wurden im Transektsverfahren genommen (Beschrieben auf Seite 11).

Während Bakterien vor allem leicht verfügbare Stoffe wie Zucker und Aminosäuren nutzen, zersetzen Pilze komplexere Verbindungen wie Zellulose oder Lignin (Beule et al., 2022). In Ackerflächen, die häufig gestört werden, dominieren eher Bakterien. Im Dauergrünland und in Böden mit vielen Gehölzen sind Pilze stärker vertreten. Mehr Pilze werden mit einer guten Bodenstruktur, höheren Stabilität gegenüber Trockenheit und Nährstoffmobilisierung in Verbindung gebracht. Das erwartete Pilz-Bakterien-Verhältnis im Dauergrünland ist ungefähr zwischen 0,5–1,5, während es im Ackerland normalerweise unter 0,3 liegt.

Das leicht höhere Pilz-Bakterien-Verhältnis (Abb. 8 und 9) auf der Westseite der Baumreihe könnte daran liegen, dass sich das gefallene Laub auf dieser Seite konzentriert hat. Das würde zur Beobachtung passen, dass der Wind an diesem Standort hauptsächlich von Ost nach West weht. Es ist anzunehmen, dass das Verhältnis mit dem Alter des Systems steigt, da die Kohlenstoff-Inputs der Bäume in den Boden zunehmen wird.

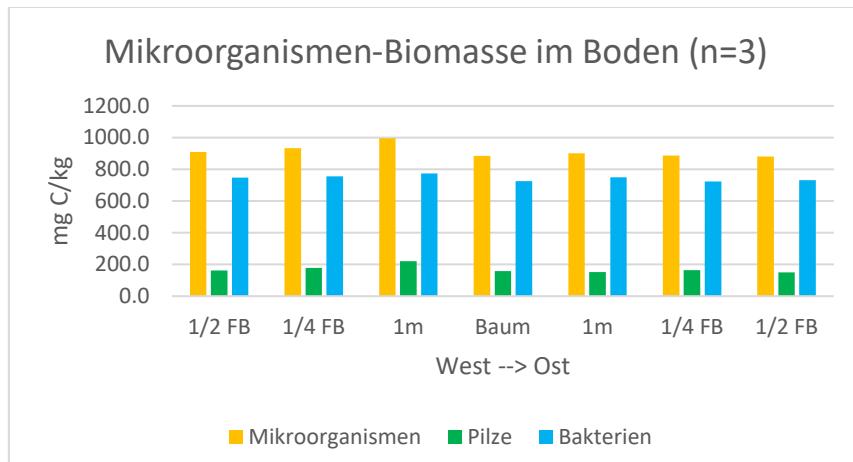


Abbildung 8: Mikrobielle Biomasse im Abstand zur Baumreihe

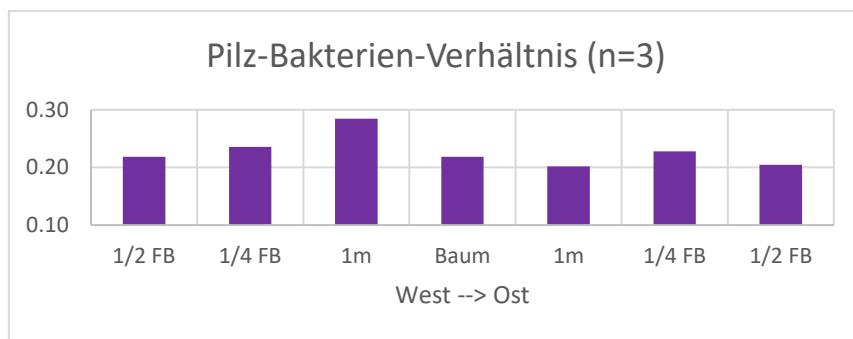


Abbildung 9: Pilz-Bakterienverhältnis im Abstand zur Baumreihe

Bodenkohlenstoff

Im Transektverfahren wurde der Gesamtkohlenstoff, anorganischer und organischer Bodenkohlenstoff gemessen. Wenn der Gesamtkohlenstoff in den Humusgehalt umgerechnet wird ($C_{tot} * 1.72$), dann liegt der Humusgehalt zwischen 5 und 6%, was sehr hohe Werte für Ackerstandorte und für den Bodentyp am Standort sind (Abb. 10). Durchschnittlich weisen Ackerflächen nur die Hälfte an Humusgehalten im Vergleich zu Dauergrünland (4-8%) auf (Leifeld & Fuhrer, 2010). Kommen konservierende Massnahmen wie Direktsaat oder Agroforstwirtschaft dazu, kann auch mit 2.5-5% gerechnet werden (Cardinael et al., 2017). Wir gehen jedoch davon aus, dass sich dieser Effekt noch nicht in den ersten Jahren einstellt. Die Werte sollten bestenfalls nachgeprüft werden.

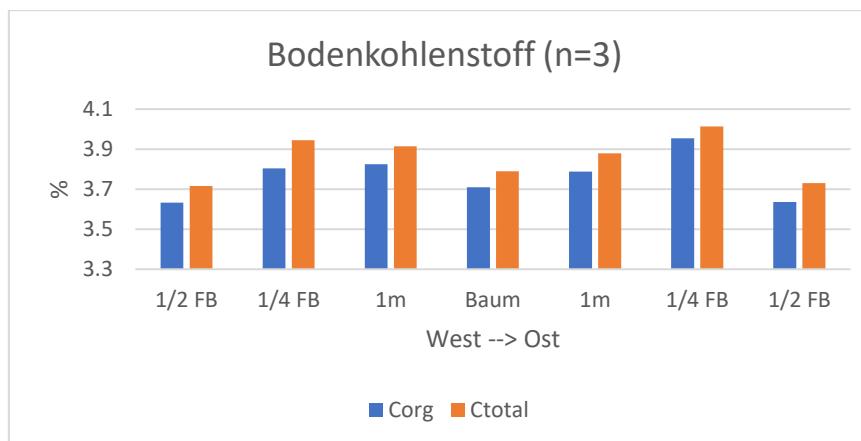


Abbildung 10: Bodenkohlenstoff im Abstand zur Baumreihe

Fazit

Mit der Anpassung des Bewertungsschlüssels für Wildbienen und Laufkäfer an die Bedingungen des Kantons Graubünden steht nun ein praxisorientiertes Instrument zur Verfügung, das eine standardisierte und standortgerechte Bewertung der Biodiversität in Agroforstsystmen ermöglicht. Die Anwendung des Schlüssels in Kombination mit dem Praxismonitoring schafft eine solide Datengrundlage für die gezielte Förderung der Biodiversität und bildet die Basis für wirksame Beratungsangebote, Fördermassnahmen und ökologische Optimierungen in der landwirtschaftlichen Praxis.

Erste Ergebnisse aus dem Projekt Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden deuten darauf hin, dass Agroforstsystme unter den Bedingungen der Berglandwirtschaft das Potenzial haben, zur Förderung von Biodiversität, Bodengesundheit und Klimaschutz beizutragen. Die bisherigen Monitoringdaten lassen vermuten, dass strukturreiche, extensiv bewirtschaftete Agroforstflächen insbesondere für Wildbienen, Laufkäfer und Bodenarthropoden wertvolle Lebensräume darstellen können. Effekte auf die Bodenprozesse – wie ein erhöhter Humusaufbau durch die zusätzliche Wurzelmasse oder eine Verschiebung im Pilz-Bakterien-Verhältnis – konnten aufgrund des jungen Systemalters bislang noch nicht nachgewiesen werden. Die Literatur weist jedoch konsistent darauf hin, dass sich solche positiven Effekte mit zunehmender Etablierung und Reife von Agroforstsystmen einstellen.

Die Integration von Agroforst in bestehende Produktionssysteme bleibt mit strukturellen und ökonomischen Herausforderungen verbunden. Die vorliegenden Ergebnisse bieten eine wissenschaftlich fundierte Grundlage, um Förderinstrumente und Beratungsangebote weiterzuentwickeln und so die Verbreitung dieser Form der Landnutzung zu fördern. Insgesamt bestätigt das Projekt, dass Agroforstsystme eine zukunftsweisende Option für eine klimaresiliente, biodiversitätsfördernde und produktive Landwirtschaft in Bergregionen darstellen.

Quellenverzeichnis

- Barrios, E., Sileshi, G. W., Shepherd, K., & Sinclair, F. (2012). Agroforestry and Soil Health: Linking Trees, Soil Biota, and Ecosystem Services. In *Soil Ecology and Ecosystem Services* (pp. 315–330). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199575923.003.0028>
- Bartual, A. M., Sutter, L., Bocci, G., Moonen, A.-C., Cresswell, J., Entling, M., Giffard, B., Jacot, K., Jeanneret, P., Holland, J., Pfister, S., Pintér, O., Veromann, E., Winkler, K., & Albrecht, M. (2019). The potential of different semi-natural habitats to sustain pollinators and natural enemies in European agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 279, 43–52. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.009>
- Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft. (2023). *Laufkäfer in der Agrarlandschaft*. <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/211545/index.php>
- beeworld.ch. (2023). *Wildbienenarten*. <https://beeworld.ch/wildbienenarten/>
- Beule, L., Vaupel, A., & Moran-Rodas, V. E. (2022). Abundance, Diversity, and Function of Soil Microorganisms in Temperate Alley-Cropping Agroforestry Systems: A Review. *Microorganisms*, 10(3), 616. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10030616>
- bienen.ch. (2023). *Wildbiene*. <https://bienen.ch/bienen/wildbiene/>
- Cardinael, R., Chevallier, T., Cambou, A., Béral, C., Barthès, B. G., Dupraz, C., Durand, C., Kouakoua, E., & Chenu, C. (2017). Increased soil organic carbon stocks under agroforestry: A survey of six different sites in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 236, 243–255. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.011>
- Coleman, D. C., & Wall, D. H. (2015). Soil Fauna: Occurrence, Biodiversity, and Roles in Ecosystem Function. In *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry* (pp. 111–149). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415955-6.00005-0>
- Hofmann, M. M., Fleischmann, A., & Renner, S. S. (2020). Foraging distances in six species of solitary bees with body lengths of 6 to 15 mm, inferred from individual tagging, suggest 150 m-rule-of-thumb for flower strip distances. *Journal of Hymenoptera Research*, 77, 105–117. <https://doi.org/10.3897/jhr.77.51182>
- Huber, C., & Marggi, W. (2005). Raumbedeutsamkeit und Schutzverantwortung am Beispiel der Laufkäfer der Schweiz (Coleoptera, Carabidae) mit Ergänzung zur Roten Liste. *Mitteilung Der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*. <https://doi.org/10.5169/seals-402904>
- Infofauna. (2024). *infofauna.ch*. <https://www.infofauna.ch/de/fauna-der-schweiz/insekten/kaefer#gsc.tab=0>
- Kaeser, A. (2009). *Agroforstwirtschaft zur Förderung der Artenvielfalt: Erarbeitung eines Schlüssels zur Bewertung des Naturschutspotentials und Anwendung an drei Fallbeispielen im Schweizer Mitelland*. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-006050249>
- Kishore SM, Priyadarshini TB, & Sowmya, K. (2024). Soil Arthropods: An Unsung Heroes of Soil Fertility. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(6), 118–126. <https://doi.org/10.9734/jabb/2024/v27i6872>
- Klaus, V. H., Jehle, A., Richter, F., Buchmann, N., Knop, E., & Lüscher, G. (2023). Additive effects of two agri-environmental schemes on plant diversity but not on productivity indicators in permanent grasslands in Switzerland. *Journal of Environmental Management*, 348, 119416. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119416>
- Krahner, A., Schmidt, J., Maixner, M., Porten, M., & Schmitt, T. (2021). Evaluation of four different methods for assessing bee diversity as ecological indicators of agro-ecosystems. *Ecological Indicators*, 125, 107573. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107573>
- Le Féon, V., Schermann-Legionnet, A., Delettre, Y., Aviron, S., Billeter, R., Bugter, R., Hendrickx, F., & Burel, F. (2010). Intensification of agriculture, landscape composition and wild bee communities: A large scale study in four European countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137(1–2), 143–150. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.01.015>
- Leifeld, J., & Fuhrer, J. (2010). Organic Farming and Soil Carbon Sequestration: What Do We Really Know About the Benefits? *AMBIO*, 39(8), 585–599. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0082-8>

- Luka, H. (1996). Laufkäfer: Nützlinge und Bioindikatoren in der Landwirtschaft. *Agrarforschung Schweiz* 3 (1), 33–36.
- Lybrand, R. A., Fedenko, J., Tfaily, M., & Rao, S. (2020). Soil properties and biochemical composition of ground-dwelling bee nests in agricultural settings. *Soil Science Society of America Journal*, 84(4), 1139–1152. <https://doi.org/10.1002/saj2.20085>
- Marsden, C., Martin-Chave, A., Cortet, J., Hedde, M., & Capowiez, Y. (2020). How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review. *Plant and Soil*, 453(1–2), 29–44. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04322-4>
- Maurer, C., Sutter, L., Martínez-Núñez, C., Pellissier, L., & Albrecht, M. (2022). Different types of semi-natural habitat are required to sustain diverse wild bee communities across agricultural landscapes. *Journal of Applied Ecology*, 59(10), 2604–2615. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14260>
- Menta, C., & Remelli, S. (2020). Soil Health and Arthropods: From Complex System to Worthwhile Investigation. *Insects*, 11(1), 54. <https://doi.org/10.3390/insects11010054>
- Millet, D., Rupflin, S., & Stämpfli, A. B. (2016). *Wildbienen entdecken: Lehrmittel mit BNE-Fokus für die Mittelstufe*. wildBee.ch. <https://ebooks.wildbee.ch/erlebniswerkstatt/mobile/index.html#p=1>
- Minarsch, E. L., Middelanis, T., Böhm, C., Weckenbrock, P., Wichern, F., & Göbel, L. (2022). Leitfaden: Bodenkundliche Untersuchungen in streifenförmigen Agroforstsystmen. *Deutscher Fachverband Für Agroforstwirtschaft (DeFAF) e.V. Cottbus, Germany*.
- Minder, J. (2025). *Wildbienenmonitoring im Projekt "Klimaneutrale Landwirtschaft Graubünden"* [Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften]. <https://doi.org/10.21256/zhaw-34264>
- 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), 193. <https://doi.org/10.1186/s12862-021-01911-9>
- Neumüller, U., Burger, H., Mayr, A. V., Hopfenmüller, S., Krausch, S., Herwig, N., Burger, R., Diestelhorst, O., Emmerich, K., Haider, M., Kiefer, M., Konicek, J., Kornmilch, J.-C., Moser, M., Saure, C., Schanowski, A., Scheuchl, E., Sing, J., Wagner, M., ... Ayasse, M. (2022). Artificial Nesting Hills Promote Wild Bees in Agricultural Landscapes. *Insects*, 13(8), 726. <https://doi.org/10.3390/insects13080726>
- Nipkow, M. (1995). Ein synoptischer Verfahrensansatz zur naturschutzfachlichen Gebietsbewertung auf der Basis multivariater Analysemethoden: Avifaunistische Untersuchungen in den Wäldern der Trockenaue am südlichen Oberrhein. *Schriftenreihe Des Institutes Für Landespflege Der Universität Freiburg*, 20, 1–156.
- Pamminger, T., Bottoms, M., Cunningham, H., Ellis, S., Kabouw, P., Kimmel, S., Loutseti, S., Marx, M. T., Nopper, J. H., Schimera, A., Schulz, L., Sharples, A., Staab, F., & Ernst, G. (2022). Investigating the role of soil mesofauna abundance and biodiversity for organic matter breakdown in arable fields. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 18(5), 1423–1433. <https://doi.org/10.1002/ieam.4563>
- Papanikolaou, A. D., Kühn, I., Frenzel, M., & Schweiger, O. (2017). Semi-natural habitats mitigate the effects of temperature rise on wild bees. *Journal of Applied Ecology*, 54(2), 527–536. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12763>
- Reeg, T., Bemann, A., Konold, W., Murach, D., & Spiecker, H. (2009). *Anbau und Nutzung von Bäumen auf landwirtschaftlichen Flächen*. Wiley-VCH, Weinheim.
- Refseth, D. (1980). Ecological analyses of carabid communities: Potential use in biological classification for nature conservation. *Biological Conservation*, 17, 131–141.
- Schindler, M., Diestelhorst, O., Haertel, S., Saure, C., Scharnowski, A., & Schwenninger, H. R. (2013). Monitoring agricultural ecosystems by using wild bees as environmental indicators. *BioRisk*, 8, 53–71. <https://doi.org/10.3897/biorisk.8.3600>
- Torralba, M., Fagerholm, N., Burgess, P. J., Moreno, G., & Plieninger, T. (2016). Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.002>

