

WERTVOLL

Ergebnisse der ökologischen Untersuchungen im Projekt WERTvoll (2020 - 2021)



Text und Bilder: Elisa Lüth



Förderkennzeichen: 033L210A

Stand: März 2022

Inhalt

Zusammenfassung.....	3
Einleitung.....	4
Methodik	6
Lage der Untersuchungsflächen.....	6
Fruchtfolgeoptimierungen in Bezug auf Ökosystemleistungen	6
Untersuchung des Einflusses von Gehölzstrukturen auf Ökosystemleistungen.....	7
Untersuchung der Ökosystemleistungen.....	8
Natürliche Beikrautregulierung.....	8
Natürliche Regulierung von Schadinsekten.....	9
Oberirdische Zersetzung von organischem Material	9
Dekomposition	10
Vegetationsaufnahmen	10
Statistische Auswertung.....	11
Statistische Auswertung zur Untersuchung von Ökosystemleistungen in unterschiedlichen Kulturen	11
Statistische Auswertung zur Untersuchung von Ökosystemleistungen an Gehölzstrukturen.....	11
Ergebnisse	12
Effekte der Kulturart auf Ökosystemleistungen.....	12
Einfluss der Kultur- und Samenart auf die natürliche Beikrautregulierung.....	12
Einfluss der Kulturart auf die natürliche Schädlingsregulierung	13
Einfluss der Kulturart auf die Diversität der Beikräuter	14
Einfluss der Kulturart auf die Dekompositionsrate	15
Effekte von Gehölzstrukturen auf Ökosystemleistungen	16
Einfluss von Gehölzstrukturen auf die Beikrautregulierung	16
Einfluss der Gehölzstrukturen auf die Schädlingsregulierung.....	16
Einfluss der Gehölzstrukturen auf die Zersetzung von organischem Material an der Bodenoberfläche	17
Einfluss von Gehölzstrukturen auf die Vielfalt der Beikräuter	17
Einfluss der Gehölzstrukturen auf die Dekompositionsrate	17
Diskussion.....	18
Optimierung von Fruchtfolgen zur Verbesserung der Ökosystemleistungen.....	18
Nutzung von Feldgehölzen zur Verbesserung der Ökosystemleistungen.....	19
Schlussfolgerungen.....	21
Literatur.....	22

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts WERTvoll wurden in den Jahren 2020 und 2021 auf Agrarflächen des Wasserguts Canitz und der Agrargenossenschaft Nischwitz Untersuchungen der Ökosystemleistungen in Abhängigkeit von den dort angebauten Kulturen und der Nähe zu Gehölzstrukturen erhoben. Zu den untersuchten Ökosystemleistungen gehören die natürliche Regulierung von Beikräutern und Schadinsekten durch Arthropoden, die Pflanzenvielfalt auf den Agrarflächen und die Zersetzung von organischem Material im Boden und an der Bodenoberfläche.

In Bezug auf die natürliche Regulierung von Beikräutern und Schadinsekten wurden vor allem auf konventionell bewirtschafteten Maisflächen hohe Prädationsraten beobachtet. Dieses Ergebnis deutet auf ein erhöhtes Vorkommen einer oder weniger Laufkäferarten in dieser Kultur hin. Die Artenvielfalt von Beikrautarten war auf ökologisch bewirtschafteten Feldern höher als in konventionellen Kulturen und wurde darüber hinaus durch Kulturen begünstigt, die eine mehrjährige Kulturdauer aufweisen und daher mit einer längeren Bodenruhe verbunden sind.

Naturnahe Feldhecken hatten deutliche Effekte auf verschiedene Ökosystemleistungen. Sie hatten einen signifikanten positiven Einfluss auf die Diversität der Ackerwildkräuter, die Dekomposition durch Mikroorganismen im Boden und die oberirdische Zersetzung von organischem Material durch Landasseln (Oniscidea).

Mit den gewonnenen Erkenntnissen können Maßnahmen entwickelt werden, mit denen Ökosystemleistungen in Agrarsystemen gezielt gefördert werden können. Die Optimierung der Fruchtfolge zur Steigerung von Ökosystemleistungen, insbesondere zur Förderung der Biodiversität auf Ackerflächen, beinhaltet den (vermehrten) Anbau mehrjähriger Kulturen wie Futterleguminosen und die Etablierung ungestörter Bereiche wie dauerhafte Feldsäume oder Brachen. Weitere positive Effekte auf Ökosystemleistungen werden durch die Pflanzung bzw. den Erhalt naturnaher Feldhecken bewirkt. Sie leisten einen bedeutenden Beitrag zur Strukturvielfalt innerhalb von Agrarlandschaften und dienen als Quellhabitats für viele Pflanzen- und Nützlingsarten.

Einleitung

Die natürliche Bereitstellung von Ökosystemleistungen in Agrarsystemen, wie die Bildung fruchtbarer Böden, die Bereitstellung von sauberem Wasser oder die Bestäubung von Kulturpflanzen, bildet die Grundlage für die Produktion von Nahrungsmitteln und Rohstoffen und ist somit eine essenzielle Lebensgrundlage (Power 2010, Daily 2013, Jeffers et al. 2015). Die Entwicklung nachhaltiger landwirtschaftlicher Nutzungssysteme beinhaltet daher die Stärkung und Stabilisierung von Ökosystemleistungen in Agrarlandschaften. Erkenntnisse über geeignete Maßnahmen zur Unterstützung von Ökosystemleistungen, wie die Optimierung von Fruchtfolgen oder die Neuanlage bzw. der Erhalt naturnaher Strukturen, sind daher wertvolle Werkzeuge zur Entwicklung resilienter Agrarlandschaften und zukunftsfähiger Wirtschaftsweisen.

Eine Schlüsselfunktion in terrestrischen Ökosystemen hat die Dekomposition. Sie umfasst die Zersetzung von totem, organischem Material wie Pflanzenresten im Boden sowie an der Bodenoberfläche durch dort angesiedelte Destruenten, zu denen Mikroorganismen wie Bakterien oder Pilze sowie größere Zersetzer, wie Regenwürmer oder Landasseln, zählen (Begon et al. 1991, Paoletti und Hassal 1999). Auf diese Weise werden Nährstoffe freigesetzt, die für das Pflanzenwachstum verfügbar sind und den Boden fruchtbar machen.

Eine weitere wichtige Ökosystemleistung ist die natürliche Regulierung von Beikräutern und Schadinsekten. Die natürliche Regulierung von Beikräutern und Schadinsekten erfolgt auf Agrarflächen in erster Linie durch Tiere wie Arthropoden, Vögel oder Säugetiere, die sich von den Pflanzen bzw. Pflanzenteilen und Schadinsekten ernähren oder diese parasitieren (Flint und Dreistadt 1998). Durch die Stärkung der biologischen Kontrolle von Beikräutern und Schädlingen können Aufwendungen wie der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln oder die mechanische Beikrautregulierung reduziert werden, wodurch Kosten gespart und die Umwelt geschont werden (Losey und Vaughan 2006). Zudem haben sie Einfluss auf die Diversität und Dichteverteilung der im Ökosystem vorkommenden Arten. So hat die Samenprädation durch Arthropoden bspw. Einfluss auf die Artenvielfalt und -zusammensetzung von Pflanzengemeinschaften und auf deren Verteilung in der Landschaft (Crawley 2000). Auch die Diversität von Pflanzen stellt eine wichtige Ökosystemleistung dar. In landwirtschaftlich geprägten Lebensräumen sind Ackerwildkräuter ein bedeutsamer Baustein des Nahrungsnetzes. Sie bieten einer großen Vielfalt von Tiergruppen Nahrung, Reproduktions- und Überwinterungsstrukturen sowie Schutz und Rückzugsräume (Marshall et al. 2003). Die Diversität der Beikräuter auf unseren Agrarflächen bildet daher eine entscheidende Grundlage für weitere Ökosystemleistungen wie beispielsweise die Bestäubung und hat durch zahlreiche spezifische Wechselwirkungen zwischen Pflanzen- und Tierarten eine stabilisierende Funktion auf die Gesundheit von Agrarökosystemen (Marshall et al. 2003).

Um herauszufinden wie durch die Anpassung der Landnutzung Einfluss auf diese Ökosystemleistungen genommen werden kann, wurde im März 2020 im Rahmen des Projekts WERTvoll mit einem zweijährigen Feldforschungsversuch begonnen. Dabei wird untersucht welchen Effekt unterschiedliche Kulturarten sowie Gehölzstrukturen auf die Dekompositionsrate, die natürliche Beikrautregulierung durch samenfressende Arthropoden, die Regulierung von Schadinsekten durch räuberische Arthropoden und die Pflanzenvielfalt haben (Abb. 1). Die Ergebnisse können wichtige Informationen zur Steigerung und Stabilisierung der Ökosystemleistungen innerhalb von Agrarlandschaften liefern und somit zur Entwicklung und Optimierung nachhaltiger Landbewirtschaftungskonzepte beitragen.

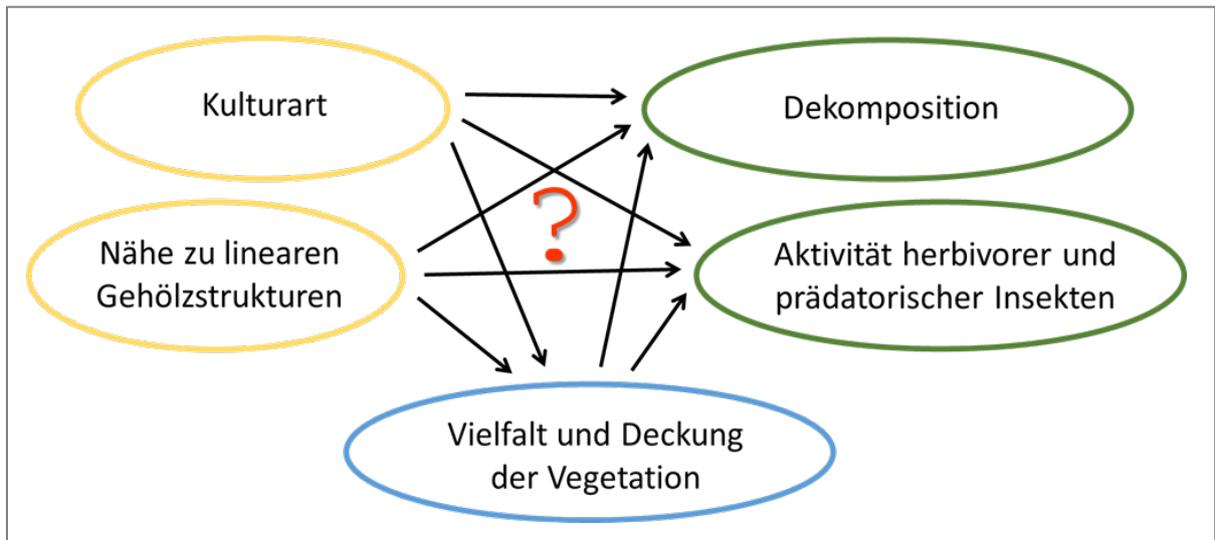


Abbildung 1: schematische Darstellung der Untersuchungsschwerpunkte innerhalb der Biodiversitäts- und Ökosystemleistungsforschung des Projekts WERTvoll.

Methodik

Lage der Untersuchungsflächen

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Gemeinde Thallwitz im Nord-Westen Sachsens (Abb. 2). Die Untersuchungen zur Optimierung von Fruchtfolgen in Bezug auf bestimmte Ökosystemleistungen fanden auf den Versuchsflächen des Wasserguts Canitz und der Agrargenossenschaft Nischwitz statt. Der Einfluss von linearen Gehölzstrukturen auf Ökosystemleistungen wurde auf Ackerflächen untersucht, die ebenfalls durch das Wassergut Canitz bewirtschaftet werden und sich zwischen den Orten Wasewitz und Lossa befinden. Die untersuchten Feldhecken verlaufen annähernd in einer Nord-Süd-Ausrichtung.



Abbildung 2: Lagekarte der Versuchsflächen zur Untersuchung der Ökosystemleistungen (Kartenmaterial: Geobasisdaten ©2021, Landesvermessungsamt Sachsen).

Fruchtfolgeoptimierungen in Bezug auf Ökosystemleistungen

Auf den Versuchsflächen des Wasserguts Canitz wurden sieben ökologisch bewirtschaftete Flächen und in Nischwitz drei konventionell bewirtschaftete Flächen beprobt. Die Versuchsflächen in Canitz waren mit den Kulturen Winterweizen, Winterdinkel, Luzerne (im zweiten Anbaujahr), Erbsen, Kartoffeln, extensiv bewirtschaftetes Dauergrünland und einer Agrarholzkultur. Die Agrarholzkultur besteht aus einreihig gesetzten Pappeln zwischen denen im Frühjahr 2020 etwa drei Meter breite, mehrjährige Blühstreifen (Saatgutmischung gebietseigener Wildarten für trockene Standorte löss- und

lehmreicher Böden aus Sachsen-Anhalt) angelegt wurden. In Nischwitz dienten die häufig und oft großflächig angebauten Kulturen Winterweizen, Mais und Winterraps als Kontrollkulturen. Für jede Kultur wurde ein Transekt angelegt, das aus vier Punkten im Abstand von 10m bestand (Abb. 3). Die Transekte wurden jeweils so platziert, dass stets ein Mindestabstand von 15m bis zum Feldrand gegeben war, um Randeffekte zu vermeiden. An jedem der vier Punkte eines Transekts wurden während der Vegetationsperiode die Regulierung von Beikräutern durch Samenfraß, die Regulierung von Schädlingen durch räuberische Insekten, die Zersetzungsrate von organischem Material im Boden und die Deckung und Vielfalt von Beikräutern gemessen.



Abbildung 3: Beispiele für die untersuchten Kulturen zur Fruchtfolgeoptimierung in Bezug auf ausgewählte Ökosystemleistungen: **a)** Transekt im Erbsenfeld, **b)** Agrarholzkultur bestehend aus einreihig gepflanzten Pappeln im Wechsel mit frisch angesäten mehrjährigen Blühstreifen, **c)** Kartoffelfeld, **d)** Dinkelfeld, **e)** Schema des Transektaufbaus.

Untersuchung des Einflusses von Gehölzstrukturen auf Ökosystemleistungen

Um zu untersuchen welchen Effekt das Vorhandensein von Feldgehölzen auf die Ökosystemleistungen in Agrarlandschaften hat, wurde auf Ackerflächen des Wasserguts Canitz, die an Feldhecken angrenzen, pro Jahr acht Transekte angelegt. Die ökologisch bewirtschafteten Flächen waren je Saison mit Wintergetreide und zweijähriger Luzerne (je zwei Schläge) bestellt. Auf jedem der Schläge befanden sich zwei Transekte in einem Abstand von 50m. Die Transekte erstreckten sich jeweils über vier Distanzen zur Feldhecke (1m, 5m, 10m und 50m), um die Reichweite der potenziellen Effekte der Gehölze in die Agrarflächen hinein beobachten zu können (Abb. 4). An jedem dieser Distanzpunkte befanden sich drei Messpunkte, die in einem Abstand von 2m parallel zu den Feldgehölzen angeordnet waren. Die Feldhecken setzen sich aus verschiedenartigen Gehölzen (Sträucher und Bäume) inklusive Totholzbeständen zusammen. Die Breite der Feldhecken liegt bei ca. 4m und weist aufgrund der

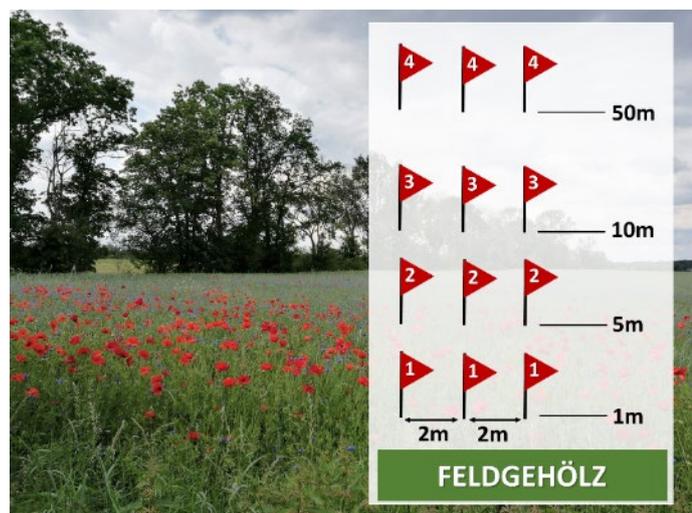


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Transektaufbaus zur Untersuchung des Einflusses von Gehölzstrukturen auf Ökosystemleistungen.

Gehölzartenvielfalt unterschiedliche Höhen auf. Die Hecken verlaufen annähernd in einer Nord-Süd-Ausrichtung. Die auf der westlichen Seite der Hecken liegenden Flächen waren daher während des Untersuchungszeitraums im Frühjahr und Sommer stärker besonnt als die östlichen Flächen, die während des Tagesverlaufs stärker durch den Schattenwurf der Gehölze beeinflusst wurden.

Untersuchung der Ökosystemleistungen

Natürliche Beikrautregulierung

Die Regulierung der Beikräuter wurde anhand der Prädation von Beikrautsamen gemessen. Dazu wurden die Samen von drei häufig vorkommenden, heimischen Ackerkräutern (Gewöhnliches Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*) und Kletten-Labkraut (*Galium aparine*)) verwendet (Abb. 5). Die Auswahl der Samenarten erfolgte unter Berücksichtigung der Herkunft (regionales Saatgut) und der Samengröße. Die verwendeten Samenarten bilden dabei eine unter Freilandbedingungen zu erwartende Variabilität der Samengröße von Ackerwildkräutern ab (Gewöhnliches Hirtentäschel – kleine Samen; Acker-Stiefmütterchen - mittelgroße Samen; Kletten-Labkraut - große Samen) und bieten potenzielle Nahrungsquellen für verschiedenartige samenfressende Arthropoden. Die Samenkarten bestanden aus 40x40 mm großen Zuschnitten handelsüblichen Schleifpapiers (Körnung 120), auf das pro Karte 20 Samen der jeweiligen Pflanzenart geklebt wurden. Während der Datenerhebung wurden die Samenkarten mit einem Drahtkäfig (Maschenweite 13 mm) vor der Prädation durch Vögel und Nagetiere geschützt. Zudem wurden die Samenkarten durch eine Plexiglasplatte überdacht, um die Samen vor Nässe zu bewahren. Pro Messpunkt wurde jeweils eine Samenkarte pro Samenart ausgelegt. Die Samenkarten verblieben pro Vegetationsperiode für ca. 10 Wochen auf den Versuchsflächen. Die Auszählung der verbliebenen Samen auf den Karten erfolgte direkt vor Ort, um auszuschließen, dass sich Samen während des Transports von den Karten lösen.

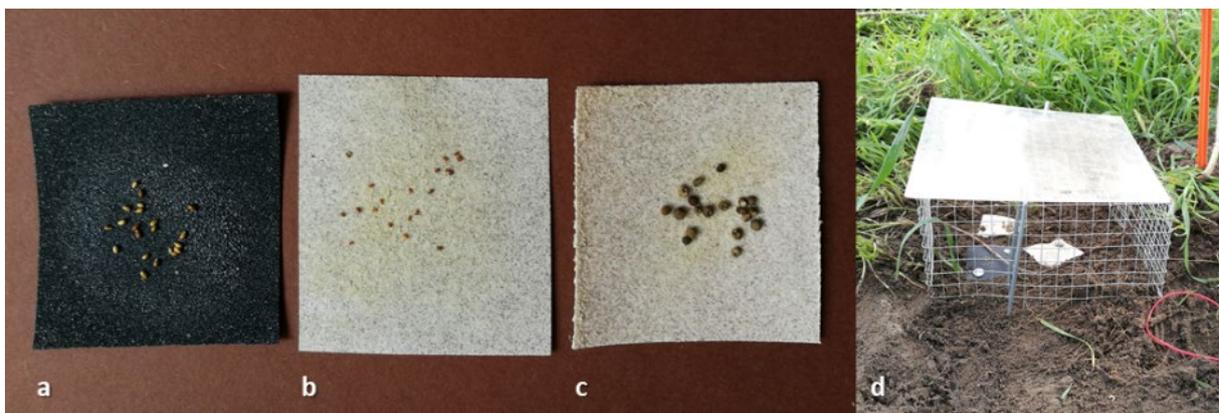


Abbildung 5: Samenkarten zur Untersuchung der Beikrautregulierung durch samenfressende Arthropoden: **a)** Samen des Acker-Stiefmütterchens (*Viola arvensis*), **b)** Samen des Gewöhnlichen Hirtentäschels (*Capsella bursa-pastoris*), **c)** Samen des Kletten-Labkrauts (*Galium aparine*), **d)** Versuchsaufbau mit Drahtkäfig und Überdachung zum Schutz der Samenkarten.

Natürliche Regulierung von Schadinsekten

Zur Bestimmung der natürlichen Schädlingsregulierung wurde eine indirekte Methode zum Nachweis der Aktivität räuberischer Insekten verwendet. Dabei wurden Raupenattrappen angefertigt, die durch Farbe, Textur und Form die Raupen von Schmetterlingen imitieren (Abb. 6), die zu den Schadinsekten zählen. Die Raupenattrappen bestanden aus einem 30mm langen Strang, der aus grünem Plastilin besteht und einen Durchmesser von 3mm hat. Die Raupenattrappen wurden mit einem lösungsmittelfreien Kleber auf einer 4x2cm großen Karte aus Pappkarton fixiert (methodische Details in Low et al. 2014). Je Messpunkt wurden sechs Raupenattrappen für einen Zeitraum von drei Tagen ausgelegt und anschließend nach Biss- oder Einstichspuren von Arthropoden untersucht. Das Auslegen der Raupenattrappen erfolgte jeweils an einem Termin im Mai und im Juni. Der Anteil der Raupenattrappen, die nach dem Auslegen Bissspuren bzw. Einstiche von Insekten aufwiesen, dient als Maß für die lokale Aktivität prädatorischer Insekten und somit für die Regulierung von Schadinsekten.



Abbildung 6: Attrappe aus Plastilin zur Imitation von Schmetterlingsraupen.

Oberirdische Zersetzung von organischem Material

Eine spezielle Bissmarke, die in beiden Jahren an den Raupenattrappen zu finden war, konnte während der Datenaufnahme 2021 durch Beobachtungen im Freiland der Ordnung der Landasseln (Oniscidea) zugeordnet werden (Abb. 7). Diese, zu den Destruenten gehörenden Arthropoden, zersetzen oberirdisches, totes organisches Material und bilden somit eine weitere Ökosystemleistung ab. Weil die Bissspuren der Landasseln vor allem innerhalb der Felder gefunden wurden, die an Feldhecken grenzen, wurde eine Auswertung dieser Daten nur für den Einfluss der Gehölze auf die Ökosystemleistungen vorgenommen.



Abbildung 7: Landassel (Oniscidea) an Raupenattrappe (Juni 2021).

Dekomposition

Die Messung der Dekomposition bzw. der Zersetzungsrate von organischer Substanz im Boden erfolgte anhand der sogenannten „tea bag method“. Dazu wurden handelsübliche Teebeutel in der Erde vergraben und nach etwa 13 Wochen wieder ausgegraben (Abb. 8). Um die Zersetzungsrate des organischen Materials im Boden zu berechnen, wurde vor dem Vergraben das Trockengewicht der Teebeutel bestimmt. Die Teebeutel wurden jeweils in 12 cm Tiefe vergraben und verblieben dort während der Vegetationsperiode. Damit bei der späteren Entnahme die verbliebenen Überreste der Teebeutel vollständig aus dem Boden entnommen werden konnten, wurden sie in Beuteln aus durchlässiger Kunststofffaser vergraben. Nach der Entnahme der Teebeutel aus dem Boden, wurde anhand des verbliebenen organischen Materials der Anteil berechnet, der durch Mikroorganismen im Boden zersetzt wurde (Dekompositionsrate).



Abbildung 8: Präparierte Teebeutel zur Bestimmung der Dekompositionsrate im Boden (*tea bag method*): **a)** vor dem Vergraben an den Messpunkten, **b)** nach der Entnahme aus dem Boden.

Vegetationsaufnahmen

Auf allen Versuchsflächen wurde 2020 und 2021 die Vielfalt der Beikräuter während der Vegetationsperiode dokumentiert. Dabei wurden auf jeweils einem Quadratmeter an jedem Messpunkt alle vorkommenden Pflanzenarten sowie deren Deckungsgrade aufgenommen. Für die Auswertung wurde die während der gesamten Vegetationsperiode dokumentierte Anzahl der Arten pro Messpunkt herangezogen. Zum Vergleich der Beikrautvielfalt zwischen den untersuchten Kulturen bzw. zwischen den verschiedenen Distanzpunkten, wurde die Gesamtanzahl der dokumentierten Pflanzenarten pro Messpunkt und Vegetationsperiode verwendet.

Im Grünland wurden bei den Vegetationsaufnahmen alle Pflanzenarten außer dem dort kultivierten Weidelgras (*Lolium spec.*) zu den Beikräutern gezählt. In der Agrarholzkultur, die aus einreihigen Pappeln im Wechsel mit angesäten, mehrjährigen Blühstreifen bestand, wurde die Vegetationsaufnahme innerhalb der Pappelreihen durchgeführt, wo sich auch die Messpunkte befanden.

Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm R Version 4.0.4 (R-Core Team 2021). Die gesammelten Daten wurden für die statistische Auswertung je Transektpunkt bzw. Distanz zum Feldgehölz und Jahr gemittelt. In beiden Versuchsteilen wurden folgende Ökosystemleistungen untersucht: die natürliche Regulierung von Schädlingen und Beikräutern (drei Pflanzenarten: Gewöhnliches Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*) und Kletten-Labkraut (*Galium aparine*), die Dekompositionrate, die Artenvielfalt der Beikräuter. Sie stellen bei der statistischen Auswertung in beiden Versuchsteilen die abhängigen Variablen dar, während sich die erklärenden Variablen unterschieden.

Statistische Auswertung zur Untersuchung von Ökosystemleistungen in unterschiedlichen Kulturen

Die erhobenen Daten setzen sich aus den gemessenen Ökosystemleistungen als abhängige Variablen und den untersuchten Kulturen (ökologisch angebaute Kulturen: Winterweizen, Winterdinkel, Luzerne (im zweiten Anbaujahr), Erbsen, Kartoffeln, extensiv bewirtschaftetes Dauergrünland, Agrarholz und konventionell angebaute Kulturen: Winterweizen, Raps und Mais) als erklärende Variable zusammen. Aufgrund der Verteilung der Daten (keine Normalverteilung nach Shapiro-Wilk-Test) wurden für den Vergleich der Ökosystemleistungen zwischen den betrachteten Kulturen Kruskal-Wallis-Tests verwendet. Die Tests wurden mit einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ und für jede, der untersuchten Ökosystemleistungen durchgeführt. Zur Identifikation statistisch gesicherter Unterschiede zwischen den Kulturen folgte anschließend ein paarweiser Mann-Whitney-U-Test als Post-hoc-Test. Auf gleiche Weise wurde vorgegangen, um die Samenprädation zwischen den drei ausgelegten Samenarten zu vergleichen.

Statistische Auswertung zur Untersuchung von Ökosystemleistungen an Gehölzstrukturen

Der Effekt der Gehölzstrukturen auf die betrachteten Ökosystemleistungen wurde mit Hilfe von Linear Mixed Effects Models (LME's) unter Verwendung der Maximum-Likelihood-Methode untersucht. Dazu wurde das Paket „nlme“ (Pinheiro et al. 2018) installiert. Der Datensatz enthält neben den Ökosystemleistungen (abhängige Variablen) die Distanz zu den Gehölzen (1m, 5m, 10m und 50m) sowie die Kultur (Wintergetreide oder Luzerne) als kategoriale, erklärende Variablen. Mit Ausnahme der Beikrautdiversität (Zählraten), lagen für die Ökosystemleistungen Anteilsdaten vor. Aus diesem Grund wurden die betreffenden abhängigen Variablen zur Erstellung der Modelle mit der Arkussinusfunktion transformiert. Weil für jede Ökosystemleistung ein separates Modell erstellt wurde, wurde das Signifikanzniveau auf $\alpha = 0,01$ herabgesetzt. Neben der jeweiligen abhängigen Variable und den genannten erklärenden Variablen, enthielt das Maximalmodell die Interaktionen zwischen den erklärenden Variablen und verschiedene Zufallsfaktoren. Die Zufallsfaktoren setzten sich aus dem Transekt, dem Schlag, der Seite der Hecke (sonnig oder schattig) und dem Jahr zusammen. Das Maximalmodell wurde durch die Stepwise Backward Model Selection nach Crawley (2012) mit anschließendem χ^2 -Test zum minimal adäquaten Modell vereinfacht. Die Voraussetzungen für ein LME wurden durch graphische Residualdiagnostik überprüft und entsprachen den Anforderungen.

Ergebnisse

Effekte der Kulturart auf Ökosystemleistungen

Einfluss der Kultur- und Samenart auf die natürliche Beikrautregulierung

Die Anteile der gefressenen Samen unterschied sich signifikant zwischen den drei verwendeten Samenarten ($\chi^2 = 64,49$; $df = 2$; $p < 0,001$). Von den verwendeten Samenarten wurden die mittelgroßen Samen des Acker-Stiefmütterchens (*Viola arvensis*) mit 56,2 % ($\pm 4,0$ %) am stärksten prädiert (Abb. 9). Von den kleinen Samen des Gewöhnlichen Hirtentäschels (*Capsella bursa-pastoris*) wurden durchschnittlich 21,4 % ($\pm 2,4$ %) prädiert. Die geringste Prädationsrate von 10,6 % ($\pm 1,5$ %) wies der große Samen des Kletten-Labkrauts (*Galium aparine*) auf.

Zwischen den untersuchten Kulturarten unterschied sich die Intensität der natürlichen Beikrautregulierung nur bei den Samen des Kletten-Labkrauts ($\chi^2 = 35,79$; $df = 9$; $p < 0,001$; Abb. 10). In dem konventionell bewirtschafteten Maisfeld fiel die natürliche Regulierung des Kletten-Labkrauts mit 36,9 % ($\pm 3,9$ %) signifikant höher aus als im konventionell angebauten Winterweizen (2,6 % ($\pm 1,9$ %); $p = 0,031$) und Raps (2,6 % ($\pm 1,4$ %); $p = 0,035$) sowie den ökologisch bewirtschafteten Grünland- (1,3 % ($\pm 0,8$ %); $p = 0,031$), Agrarholz- (6,0 % ($\pm 1,8$ %); $p = 0,042$) und Erbsenfeldern (9,7 % ($\pm 2,4$ %); $p = 0,041$).

Die Prädation der Samen des Acker-Stiefmütterchens (*Viola arvensis*), des Gewöhnlichen Hirtentäschels (*Capsella bursa-pastoris*) sowie die Betrachtung der gesamten Beikrautregulierung (unabhängig von der Pflanzenart), ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den betrachteten Kulturen.

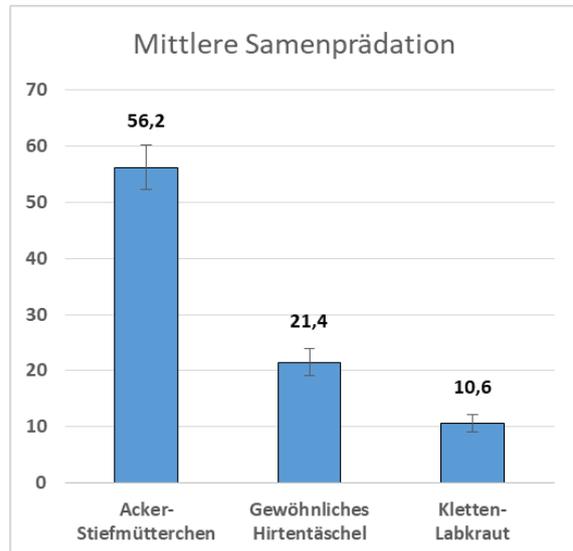


Abbildung 9: mittlere Anteile der gefressenen Samen unterschieden nach den verwendeten Pflanzenarten: Gewöhnliche Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*), Acker-Stiefmütterchen (*Viola arvensis*) und Kletten-Labkraut (*Galium aparine*).

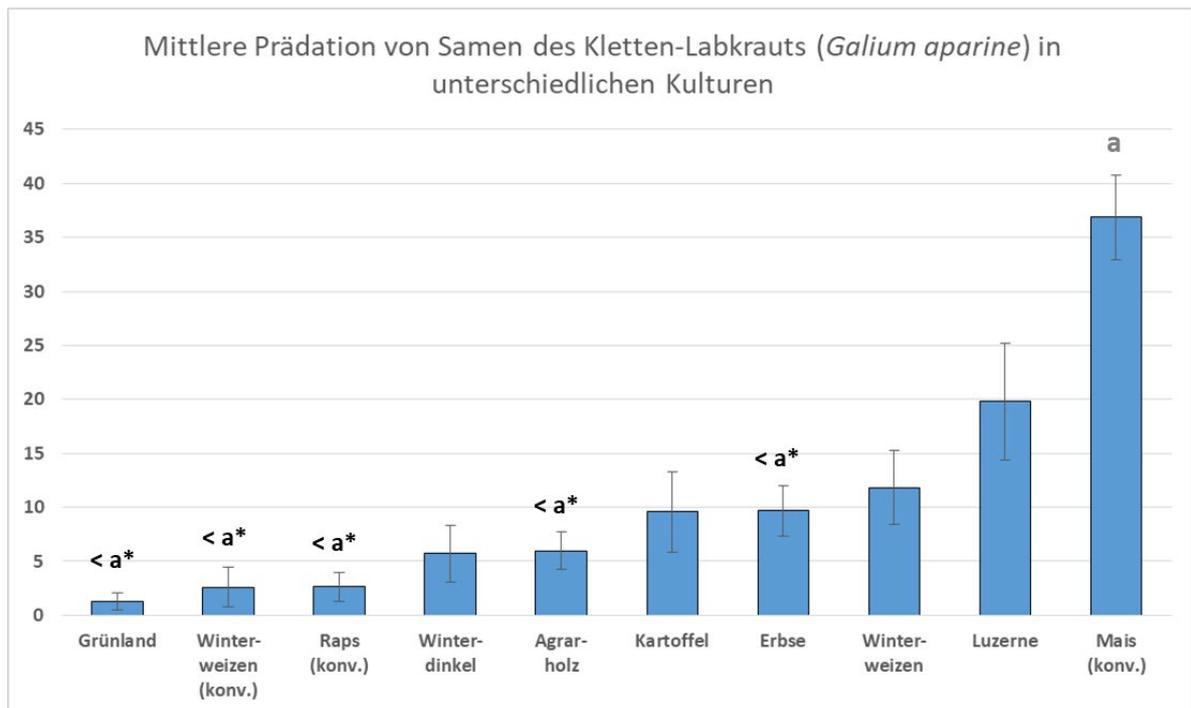


Abbildung 10: Vergleich der mittleren Samenprädation des Kletten-Labkrauts (*Galium aparine*) zwischen den untersuchten Kulturen (Kruskal-Wallis-Test mit anschließendem paarweisen Mann-Whitney-U-Test; n = 80; * p < 0,05).

Einfluss der Kulturart auf die natürliche Schädlingsregulierung

An den ausgelegten Raupenattrappen konnten Bissspuren von verschiedenen Arthropoden beobachtet werden (Abb. 11). Dazu zählten sowohl prädatorische, als auch detritivore Arthropoden. Obwohl sich die Raupen zum Schutz vor Nagetieren unter Drahtkäfigen befanden, konnten in wenigen Fällen auch Nagerspuren an den Raupenattrappen festgestellt werden. Diese wurden nicht in die Auswertung einbezogen.

Der mittlere Anteil prädiertter Raupen (Abb. 11 a) variierte unter den untersuchten Kulturen zwischen 10,4 % ($\pm 3,5$ %) und 50 % ($\pm 7,2$ %) (Abb. 12). Am höchsten waren die Anteile prädiertter Raupenattrappen auf den Flächen, die mit konventionell angebautem Mais und Raps bestellt waren. Am geringsten waren die Anteile auf den Flächen, die mit Kartoffeln und Agrarholz bestellten waren. Der Kruskal-Wallis-Test zeigte signifikante Unterschiede ($\chi^2 = 36,86$; df = 9; p < 0,001) zwischen den Kulturen, die sich nach Durchführung des Post-Hoc-Tests als statistische Tendenzen darstellten. Der konventionell angebaute Mais wies mit 45,8 % ($\pm 4,2$ %) eine tendenziell höhere Aktivität räuberischer Arthropoden auf als die Agrarholz- (14,6 % ($\pm 2,9$ %); p $\approx 0,05$) und Kartoffelfelder (10,4 % ($\pm 3,5$ %); p $\approx 0,05$) sowie der konventionell angebaute Winterweizen (16,7 % ($\pm 2,1$ %); p $\approx 0,05$). Die Prädationsraten fielen mit durchschnittlich 50% ($\pm 7,2$ %) im Raps zwar am höchsten aus, jedoch schwankten die Werte dort sehr stark, wodurch statistisch keine gesicherten Unterschiede festgestellt werden konnten.

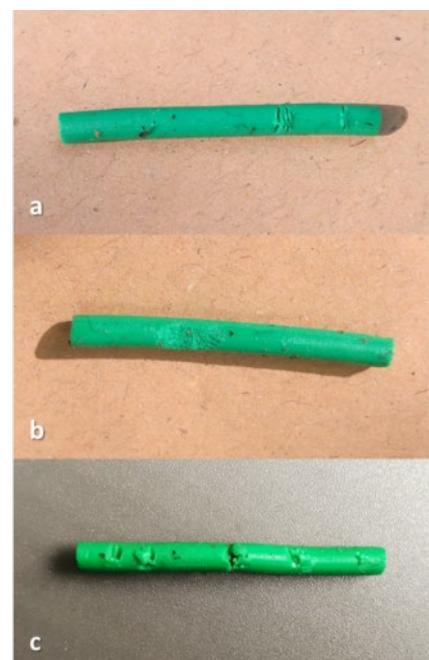


Abbildung 11: Mit unterschiedlichen Bissspuren versehene Raupenattrappen: a) Bissspuren räuberischer Arthropoden, b) Bissspuren von Landasseln (Oniscidea), c) Bissspuren eines Nagetiers.

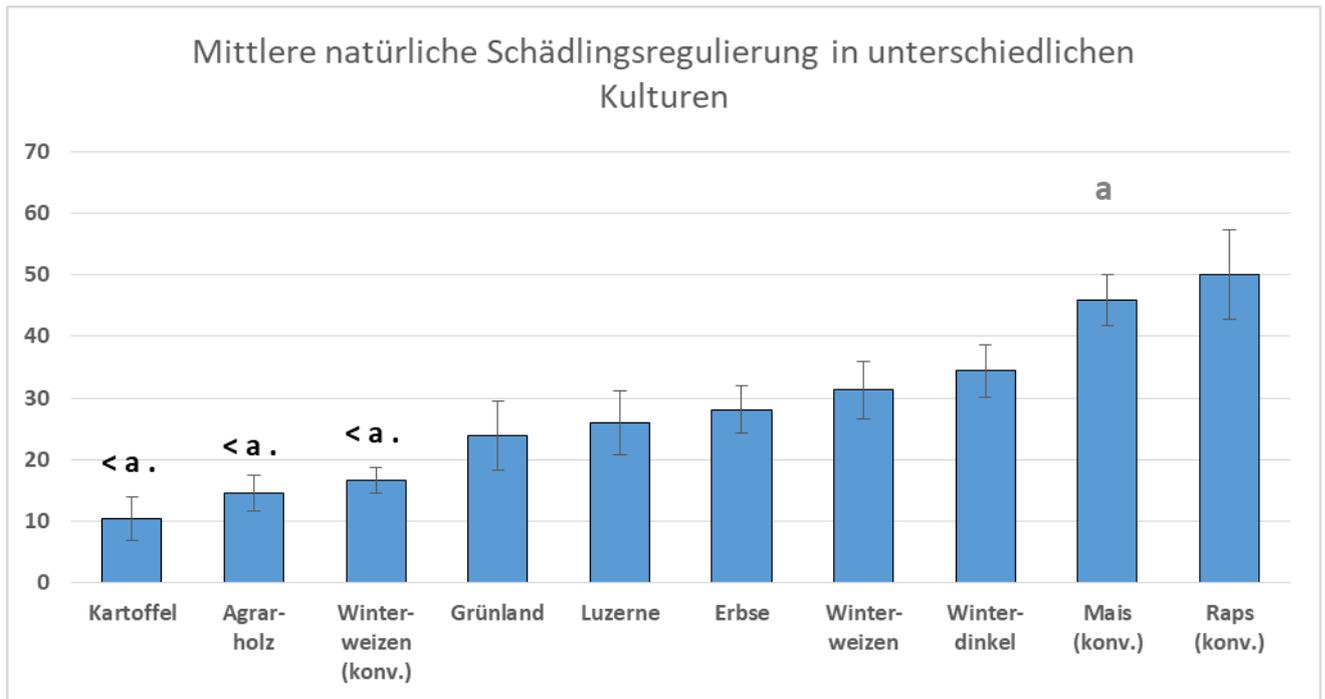


Abbildung 12: Vergleich der natürlichen Schädlingsregulierung zwischen den untersuchten Kulturen (Kruskal-Wallis-Test mit anschließendem paarweisen Mann-Whitney-U-Test; $n = 80$; $p \approx 0,05$).

Einfluss der Kulturart auf die Diversität der Beikräuter

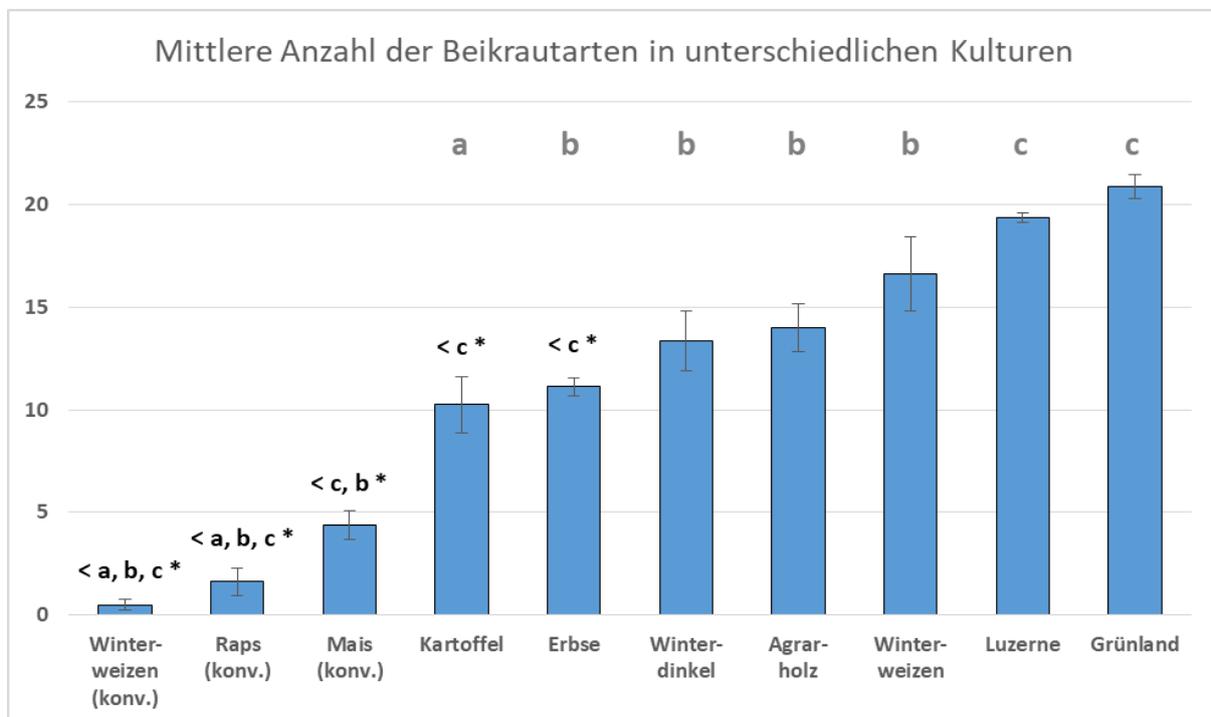


Abbildung 13: Vergleich der mittleren Anzahl der dokumentierten Beikrautarten zwischen den untersuchten Kulturen (Kruskal-Wallis-Test mit anschließendem paarweisen Mann-Whitney-U-Test; $n = 80$; $* p < 0,05$).

Die untersuchten Kulturen unterschieden sich hinsichtlich der Anzahl der dokumentierten Beikrautarten ($\chi^2 = 64,725$; $df = 9$; $p > 0,001$; Abb. 13). Die Grünland- und Luzerneflächen wiesen mit durchschnittlich $20,9 (\pm 0,6)$ und $19,3 (\pm 0,3)$ Arten die höchste Vielfalt auf. Sie verfügten über eine signifikant höhere Beikrautdiversität als die konventionell angebauten Kulturen und die ökologisch bewirtschafteten Kartoffel- und Erbsenfelder. Die ökologisch angebauten Kulturen Winterweizen, Winterdinkel, Erbsen sowie der Agrarholzschatz wiesen ebenfalls eine höhere Beikrautvielfalt als die konventionellen Kulturen auf (jeweils $p < 0,05$). Untereinander ergaben sich bei diesen Kulturen keine Unterschiede in der Beikrautvielfalt. In dem Kartoffelfeld wurden innerhalb der ökologisch bewirtschafteten Kulturen die geringsten Artenzahlen festgestellt, trotzdem war hier eine signifikant höhere Anzahl von Beikrautarten zu finden als in den konventionellen Kulturen Raps und Winterweizen (jeweils $p < 0,05$).

Einfluss der Kulturart auf die Dekompositionsrate

Die Zersetzungsrate organischen Materials im Boden betrug während des Untersuchungszeitraums je nach Kulturart zwischen 39,0 % und 51,8 % (Abb. 14). Die niedrigste Zersetzungsrate wurde auf dem konventionell bewirtschafteten Weizenschatz gemessen (39,0 %), gefolgt von ökologisch angebautem Weizen (40,2 %). Die höchsten Zersetzungsraten zeigten sich für den Anbau von Mais (51,8 %) und Kartoffeln (48,2 %). Allgemein liegen die in den unterschiedlichen Kulturen gemessenen Dekompositionsraten jedoch eng beieinander und wiesen diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede auf.

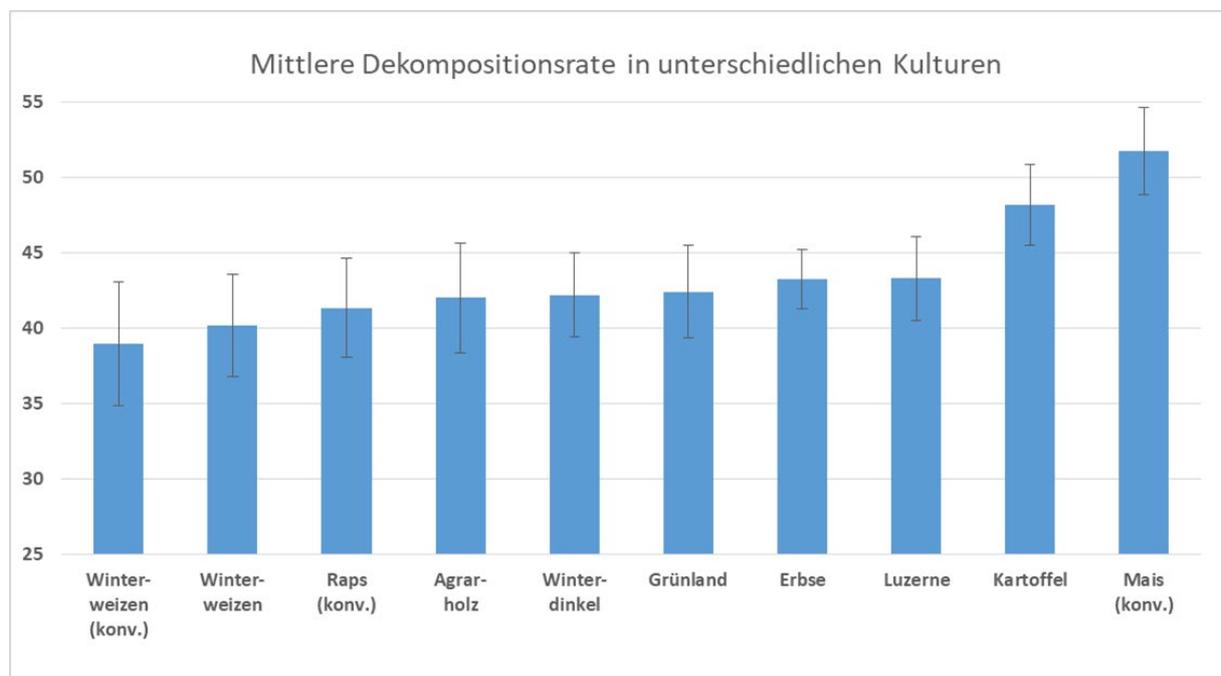


Abbildung 14: Zersetzung des organischen Materials im Boden (Dekompositionsrate) in verschiedenen Kulturen.

Effekte von Gehölzstrukturen auf Ökosystemleistungen

Einfluss von Gehölzstrukturen auf die Beikrautregulierung

Die linearen Modelle (LME's) ergaben weder für die natürliche Beikrautregulierung insgesamt, noch bei separater Betrachtung der drei verschiedenen Samenarten, einen Zusammenhang zwischen der natürlichen Beikrautregulierung durch samenfressende Arthropoden und der Distanz zu Feldgehölzen. Auch die angebaute Kultur hatte keinen Einfluss darauf, wie viele der ausgelegten Samen gefressen wurden.

Einfluss der Gehölzstrukturen auf die Schädlingsregulierung

In den Daten des ersten Versuchsjahres zeichnete sich die Tendenz zu einer höheren Aktivität räuberischer Arthropoden in der Nähe der Gehölzstrukturen ab. Nachdem durch Beobachtung festgestellt wurde, dass ein bestimmter Bisspurentyp den Landasseln (Oniscidea) zuzuordnen ist und die Daten dahingehend korrigiert wurden, kann nun kein Einfluss der Distanz zu Feldgehölzen auf die natürliche Schädlingsregulierung festgestellt werden. Einen Einfluss auf die Aktivität räuberischer Arthropoden zeigte sich in Bezug auf die angebaute Kultur (Abb. 15). Demnach fiel die natürliche Schädlingsregulierung in den Wintergetreidekulturen signifikant höher aus als in den Luzernefeldern, jedoch unabhängig davon, wie weit die Messpunkte von den Feldgehölzen entfernt waren.

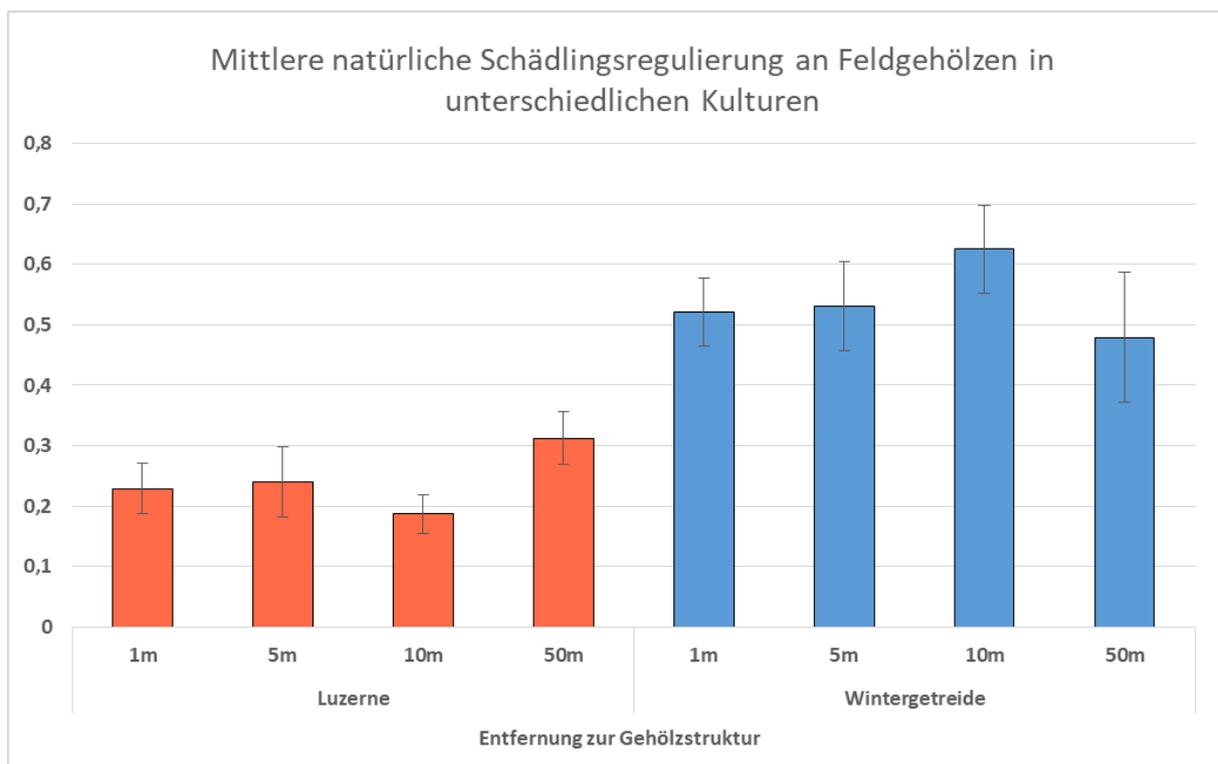


Abbildung 15: Mittlere Anteile prädiertter Raupenattrappen als Maß für die natürliche Regulation von Schadinsekten in Abhängigkeit von der Distanz zu Gehölzstrukturen und der angebauten Feldfrucht.

Einfluss der Gehölzstrukturen auf die Zersetzung von organischem Material an der Bodenoberfläche

Die Distanz zu den Feldgehölzen hatte einen signifikanten Einfluss auf die Aktivität von Landasseln (Oniscidea) ($\text{Chi}^2 = 29,49$; $\text{df} = 3$; $p < 0,001$; Abb. 16). Der Anteil der Raupenattrappen, die entsprechende Bissmarken aufwiesen, variierte im Mittel zwischen 52,6 % ($\pm 10,6$ %) und 12,0 % ($\pm 6,1$ %). Die höchste Aktivität der Destruenten wurde in unmittelbarer Nähe der Feldhecken beobachtet und nahm sukzessiv mit dem Abstand zu den Gehölzen ab. Zwischen den angebauten Kulturen ließ sich dabei kein Unterschied feststellen.

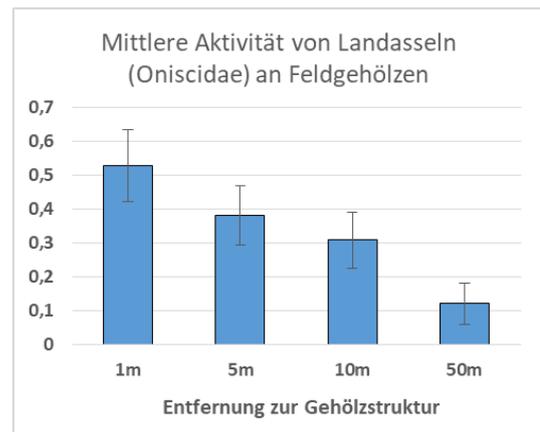


Abbildung 16: Mittlerer Anteil von Raupenattrappen mit Bisspuren von Landasseln (Oniscidea).

Einfluss von Gehölzstrukturen auf die Vielfalt der Beikräuter

Die Anzahl der Beikrautarten bzw. die Vielfalt der Beikräuter wurde signifikant durch die Distanz zu den Feldgehölzen beeinflusst ($\text{Chi}^2 = 23,26$; $\text{df} = 2$; $p < 0,001$; Abb. 17). In unmittelbarer Nähe der Feldhecken (1 m Distanz) wurden durchschnittlich 18,8 ($\pm 1,5$) Beikrautarten dokumentiert, während in einer Entfernung von 50 m nur noch 13,8 ($\pm 1,0$) Beikrautarten gefunden wurden. Die Artenvielfalt der Beikrautflora nahm dementsprechend, unabhängig von der angebauten Kultur, mit der Distanz zu den Gehölzstrukturen ab.

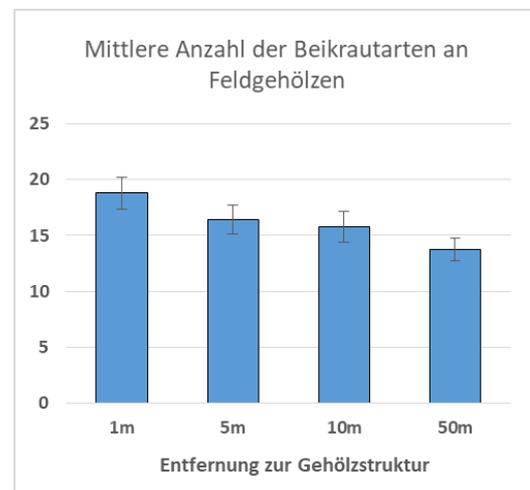


Abbildung 17: Mittlere Anzahl der Beikrautarten in Abhängigkeit von der Distanz zu Gehölzstrukturen.

Einfluss der Gehölzstrukturen auf die Dekompositionsrate

Die Entfernung zu den untersuchten Gehölzstrukturen hatte einen signifikanten Effekt auf die Zersetzung von organischem Material im Boden ($\text{Chi}^2 = 29,04$; $\text{df} = 3$; $p < 0,001$; Abb. 18). In der Nähe der Gehölze (1 m Distanz) fiel die Dekompositionsrate im Mittel 46,4 % ($\pm 2,1$ %) am höchsten aus und sank mit ansteigender Entfernung zu den Feldhecken sukzessiv auf durchschnittlich 40,8 % ($\pm 1,7$ %) ab. Zwischen den angebauten Kulturen (Wintergetreide und Luzerne) konnte hinsichtlich der Dekompositionsrate kein Unterschied festgestellt werden.

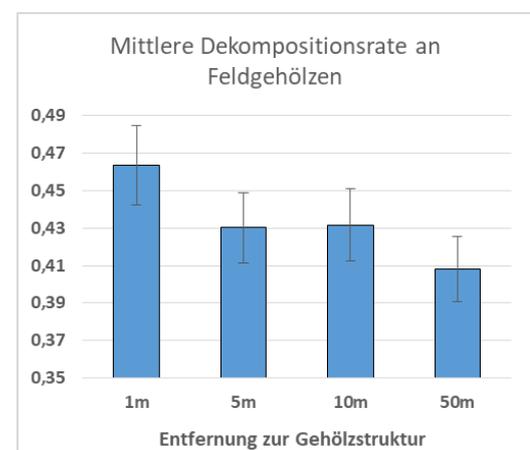


Abbildung 18: Zersetzung des organischen Materials im Boden (Dekompositionsrate) in Abhängigkeit von der Distanz zu Gehölzstrukturen.

Diskussion

Optimierung von Fruchtfolgen zur Verbesserung der Ökosystemleistungen

Der Samen des Acker-Stiefmütterchens (*Viola arvensis*) wurde insgesamt am stärksten prädiert. Das Acker-Stiefmütterchen wurde während des Untersuchungszeitraums an nahezu allen Untersuchungspunkten auf ökologisch bewirtschafteten Flächen gefunden. Dieser Samen stellt im Untersuchungsgebiet daher eine natürlich vorkommende und vielerorts verfügbare Nahrungsquelle für samenfressender Arthropoden dar. Auch das Gewöhnliche Hirtentäschel (*Capsella bursa-pastoris*) wurde häufig auf den Untersuchungsflächen gefunden. Unterschiede in der Intensität des Samenfraßes konnten zwischen den untersuchten Kulturen jedoch ausschließlich für die großen Samen des Kletten-Labkrauts (*Galium aparine*) gefunden werden, das während der Vegetationsaufnahmen nur an wenigen Orten dokumentiert wurde. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass Nützlinge, die sich u. a. von den Saaten des Acker-Stiefmütterchens und Gewöhnlichen Hirtentäschels ernähren, in gleichmäßiger Abundanz auf den Untersuchungsflächen vorkommen bzw. in ihrer ökologischen Funktion als Beikrautregulatoren nicht durch die angebaute Kultur beeinflusst werden. Die großen Samen des Kletten-Labkrauts wurden insgesamt am wenigsten und je nach Kultur in unterschiedlicher Intensität prädiert. Arten, die diese Samen zu ihrem Nahrungsspektrum zählen, kommen im Untersuchungsgebiet demnach in vergleichsweise geringer Häufigkeit und in heterogener Verteilung vor. Besonders hoch fiel die Prädation dieses Samens auf dem konventionell bewirtschafteten Maisfeld aus. Dort wurde eine höhere natürliche Regulation des Kletten-Labkrauts gegenüber den Kulturen Winterweizen (konventionell), Raps (konventionell), Agrarholz, Erbsen und im Grünland nachgewiesen. Dies weist darauf hin, dass eine bestimmte Art bzw. Artengruppe von Arthropoden, die sich von diesen Samen ernähren kann, im Mais ein erhöhtes Vorkommen aufwies. Ein aktuelles Insekten-Monitoring in Sachsen ergab ein besonders großes Vorkommen des Metallfarbenen Schnellläufers (*Harpalus affinis*) auf konventionell bewirtschafteten Maisfeldern (Rapp et al. 2022). Diese Art ernährt sich überwiegend von Beikrautsamen. Möglich wäre jedoch auch, dass sich innerhalb des Maisfeldes eine höhere Dichte von Arthropoden entwickelt hat, die im Mais als Schadinsekten auftreten und eine erhöhte Fraßrate an den Labkrautsamen hervorgerufen haben. Andere Studien zeigten, dass die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln eine Reduzierung der natürlichen Beikrautregulierung bewirkt (Diekötter et al. 2010, Trichard et al. 2013). Die gewonnenen Ergebnisse können diesen Zusammenhang nicht bestätigen.

Ähnlich zur natürlichen Beikrautregulierung, ließ sich hinsichtlich der natürlichen Schädlingsregulierung ausschließlich für die Maiskultur eine erhöhte Prädationsrate nachweisen. Eine bedeutsame Artengruppe für die natürliche Regulation von Beikräutern und Schädlingen stellen Laufkäfer (Carabidae) dar. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wurde ein großer Anteil der beobachteten Bissspuren durch diese Artengruppe hervorgerufen. In Untersuchungen, die sich auf Laufkäfer fokussierten, wurde eine positive Korrelation zwischen der Samenprädation und der Aktivität prädatorischer Laufkäferarten nachgewiesen (Trichard et al. 2013). Eine mögliche Ursache ist, dass samenfressende Arthropoden zu den Beutearten dieser Insekten gehören und daher im Mais ein hohes Nahrungsangebot vorfanden. Andererseits sind im untersuchten Gebiet auch vielzählige omnivore Laufkäferarten heimisch, die sich sowohl von Samen als auch von Schadinsekten ernähren. Beide Ergebnisse könnten somit auf das erhöhte Vorkommen der gleichen Art bzw. Artengruppe zurückgeführt werden.

Die Zersetzung von organischem Material im Boden wies keine Unterschiede zwischen den untersuchten Kulturen auf. Allgemein fiel die Dekompositionsrate im zweiten Untersuchungsjahr (2021) höher aus. Dies ist auf stärkere Niederschläge gegenüber dem Vorjahr zurückzuführen.

Die Vielfalt der Beikräuter war unter den Ackerflächen auf der Luzernefläche am größten. Nur das extensiv bewirtschaftete Grünland weist eine höhere Artenzahl auf. Der Grund dafür liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit in der vorübergehenden Bodenruhe bzw. in der ausbleibenden mechanischen Beikrautregulierung und Bodenbearbeitung, weshalb auf den Luzernefeldern eine signifikant höhere Artenvielfalt als auf den ebenfalls ökologisch bewirtschafteten Erbsen- und Kartoffelfeldern gefunden wurde. Ergänzend muss erwähnt werden, dass der Deckungsgrad der Luzerne im Jahr 2020 mit etwa 20% eher gering war, wodurch eine Etablierung von Beikräutern erleichtert wurde. Die Artenvielfalt auf den konventionell bewirtschafteten Flächen war insgesamt deutlich geringer als auf den restlichen, ökologisch bewirtschafteten Untersuchungsflächen. In den beiden Untersuchungsjahren wurden dort nur wenige Arten in geringer Individuenzahl beobachtet. Diese zählten zu den häufig vorkommenden und Dominanz bildenden Beikrautarten wie Acker-Kratzdistel (*Cirsium arvense*), Acker-Hederich (*Raphanus raphanistrum*) oder Windenknöterich (*Fallopia convolvulus*). Dieses Ergebnis ist auf den intensiven Gebrauch von Herbiziden und Düngemitteln zurückzuführen. Die geringere Vielfalt von Beikräutern auf konventionell bewirtschafteten Flächen gegenüber ökologisch bewirtschafteten Flächen ist vielfach belegt (Roschewitz et al. 2005, Albrecht et al. 2020a). Unter den untersuchten Ökosystemleistungen kann vor allem die Vielfalt der Beikräuter durch eine Anpassung der Fruchtfolge gefördert werden. Die Diversität heimischer Ackerwildkräuter ist von großer Bedeutung für die Bereitstellung von Nahrung, Lebensraum und Schutz für zahlreiche tierische Bewohner der Agrarlandschaften und daher essentiell für viele Ökosystemleistungen (Marshall et al. 2003). Aufgrund der Konkurrenz um Nährstoffe und Licht besteht ein Zwiespalt zwischen der Förderung bzw. dem Zulassen von Ackerwildkräutern und dem Erzielen möglichst hoher Erträge. Vor allem Beikräuter, die Massenbestände ausbilden, sind dabei problematisch. Die Integration von zwei- oder mehrjährigen Kulturen in die Fruchtfolge kann dazu beitragen, die Biodiversität der Beikrautflora bei stabilen Erträgen zu fördern, da eine hohe Beikrautvielfalt der Bildung von Dominanzen durch einzelne problematische Arten entgegenwirkt (Wilhelm 2016).

Nutzung von Feldgehölzen zur Verbesserung der Ökosystemleistungen

Die Gehölzstrukturen hatten während des Untersuchungszeitraums keinen signifikanten Effekt auf die natürliche Samenprädation auf den angrenzenden Ackerflächen. Bisherige Studien mit ähnlichen Forschungsfragen kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Eine Untersuchung in den USA konnte eine positive Wirkung von Feldgehölzen auf die natürliche Beikrautregulierung zeigen (Menalled et al. 2000). Eine schwedische Studie wies dagegen nach, dass samenfressende Laufkäfer (Carabidae) in ausgeräumten und von Monokulturen dominierten Landschaften eine höhere Aktivität aufweisen (Jonason et al. 2013). Um den Effekt der Gehölze auf die natürliche Beikrautregulierung durch samenfressende Tiere zu bewerten, ist die Betrachtung der jeweiligen Artengruppe entscheidend. Abgesehen von Insekten können auch viele Vogelarten oder Nagetiere zur natürlichen Beikrautregulierung beitragen (Tschumi et al. 2018). Diese nutzen Feldgehölze gegenüber Ackerflächen bevorzugt als Lebensraum (Zhang und Usher 1991, Gottwald und Stein-Bachinger 2016). Durch die Verwendung von Schutzkäfigen konnten sie allerdings keinen Einfluss auf die Daten nehmen. Neben der Untersuchung der Samenprädation selbst, ist daher die Identifikation der Artengruppen, die je nach Region und Landschaftskontext von Bedeutung für die natürliche Samenregulierung sind,

ein entscheidender Aspekt zur Beurteilung des Effekts von Feldgehölzen auf die natürliche Beikrautregulierung.

Auch zur natürlichen Schädlingsregulierung können unterschiedliche Artengruppen einen Beitrag leisten. In dieser Untersuchung wurden vor allem Insekten mit beißenden Mundwerkzeugen erfasst. Zu diesen Insekten zählen bspw. viele Laufkäferarten. Ein Effekt der Gehölze auf die Aktivität dieser Tiere, konnte während der beiden Untersuchungsjahre nicht nachgewiesen werden. Studien, die sich speziell mit dem Effekt von Feldgehölzen auf die natürliche Schädlingskontrolle in angrenzenden Agrarflächen beschäftigen, zeigen zwar allgemein einen positiven Trend, variieren in ihren Ergebnissen jedoch stark (Albrecht et al. 2020b). Die Ergebnisse zeigen, dass die Aktivität der räuberischen Insekten in den Wintergetreidefeldern höher ausfiel als in den untersuchten Luzernefeldern. Eine mögliche Ursache stellt die unterschiedliche Intensität der Bodenbearbeitung dar, da sich durch die Störung des Bodens die Zusammensetzung der Artengemeinschaft von Laufkäfern ändert (Boscutti et al. 2015). Andere mögliche Einflussfaktoren sind die regelmäßige Mahd der Luzerne und unterschiedliche Vegetationsstruktur der Kulturen.

Eine andere Gruppe innerhalb der Arthropoden bilden die Landasseln (Oniscidea). Sie sind als Destruenten an der Anreicherung des Bodens mit Mineralstoffen und Humus beteiligt und fördern so die Bodenfruchtbarkeit. Landasseln eignen sich als Bioindikatoren für nachhaltige Anbausysteme. Sie sind sensitiv für die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, bevorzugen strukturreiche Landschaften und werden mit einer intakten Bodenstruktur und Bodengesundheit assoziiert (Paoletti und Hassal 1999). Die verstärkte Aktivität der Landasseln in der Nähe der Gehölze lässt darauf schließen, dass im Bereich der Feldhecken eine deutlich höhere Anzahl dieser Tiere Lebensraum findet als in der Mitte der Felder. Die Gehölzstrukturen bieten Nahrung in Form von Laub, ungestörte Bodenstrukturen und somit wertvollen Lebensraum für diese Nützlinge. Andere Studien bestätigen, dass Feldgehölze das Vorkommen von Landasseln fördern (Paoletti und Hassal 1999) und einen positiven Effekt auf die Diversität der Landasselgemeinschaft haben (Souty-Grosset et al. 2005). Der positive Effekt der Feldhecken auf Ökosystemleistungen spiegelt sich auch in der Dekomposition im Boden wieder. Die Zersetzung des organischen Materials durch die im Boden lebenden Mikroorganismen wurde durch die Nähe zu den Gehölzen gesteigert.

Von der Störungsarmut im Bereich der Feldhecken profitieren auch Ackerwildkräuter. In der Nähe der Hecken wurde eine signifikant höhere Anzahl von Beikrautarten beobachtet, als in der Mitte der untersuchten Felder. Eine hohe Artenvielfalt der Ackerwildkräuter bietet Nahrung und Lebensraum für eine entsprechend diverse Insektengemeinschaft und stabilisiert so die Ökosystemleistungen, die durch sie erbracht werden. Innerhalb der Gehölzreihen und der angrenzenden Säume, können Beikräuter zur Samenreife gelangen. Sie beherbergen daher eine vielfältige Samenbank, von der aus Ackerwildkräuter in die angrenzende Ackerfläche einwandern können. Somit funktionieren sie innerhalb der Agrarlandschaft als Refugien der Biodiversität, wenn angrenzende Flächen umgebrochen werden (Boinot und Alignier 2022).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Pflanzung bzw. der Erhalt naturnaher Feldhecken die Bodenfruchtbarkeit, das Vorkommen von Nützlingen und die Biodiversität innerhalb von Agrarlandschaften steigert und so einen wichtigen Bestandteil nachhaltiger Anbausysteme darstellt.

Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen bestimmte Schlüsselfaktoren auf, die wichtige Werkzeuge zur Sicherung und Steigerung von Ökosystemleistungen in unserer Agrarlandschaft darstellen. Dazu gehört die Schaffung von Flächen, die mit einer Bodenruhe einhergehen wie der Anbau mehrjähriger Kulturen (z. B. Grünland oder mehrjährige Futterleguminosen). Ähnlich Effekte sind durch die Etablierung von Brachen, mehrjährigen Blühflächen oder dauerhaften Säumen zu erwarten. Insbesondere die Untersuchung des Effekts der naturnahen Feldhecken ergab deutliche positive Effekte auf Ökosystemleistungen innerhalb der Agrarlandschaft wie die Bildung fruchtbaren Bodens und die Bereitstellung von Refugien für die Artenvielfalt. Die Pflanzung naturnaher Gehölzstrukturen sowie der Erhalt bestehender Feldhecken ist daher eine effektive Maßnahme zur nachhaltigen Gestaltung von Anbausystemen, insbesondere, um den Gebrauch von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren und wertvollen Lebensraum für Arten zu schaffen, die essentielle Funktionen in Agrarökosystemen übernehmen.

Literatur

Albrecht H., Mademann S., Weigl H. (2020a): Entwicklung der Ackerwildkrautvegetation 23 Jahre nach der Umstellung auf ökologischen Landbau – Ergebnisse einer Fallstudie aus Süddeutschland. Chair of Restoration Ecology, Technical University of Munich.

Albrecht M., Kleijn D., Williams N. M. Tschumi M. et al. (2020b): The effectiveness of flower strips and hedgerows on pest control, pollination services and crop yield: a quantitative synthesis. *Ecology Letters*, 23: 1488–1498.

Begon M., Harper J.L., Townsend C.R. (1991): Fluß von Materie durch Lebensgemeinschaften. In: *Ökologie*. Birkhäuser, Basel.

Boscutti F., Sigura M., Gambon N., Lagazio C., Krüsi B. O. und Bonfanti, P. (2015). Conservation tillage affects species composition but not species diversity: a comparative study in northern Italy. *Environmental management*, 55(2), 443-452.

Crawley M.J. (2000): Seed predators and plant population dynamics. In: Fenner, M., *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*. 2nd ed. CABI Publishing, New York, pp. 167–182.

Crawley, M. (2012): *The R Book*. John Wiley & Sons, Chichester

Daily G. C. (2013): *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems* (1997) (pp. 454-464). Yale University Press.

Diekötter T., Wamser S., Wolters V., Birkhofer K. (2010): Landscape and management effects on structure and function of soil arthropod communities in winter wheat. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137 108–112.

Flint, M. L. und Dreistadt S. H. (1998): *Natural enemies handbook: the illustrated guide to biological pest control*. Vol. 3386. Univ of California Press.

Gottwald, F., K. Stein-Bachinger. 2016. *Landwirtschaft für Artenvielfalt - Ein Naturschutzmodul für ökologisch bewirtschaftete Betriebe*. 2. Auflage. Berlin: WWF Deutschland.

Jeffers E. S., Nogué S., Willis K. J. (2015): The role of palaeoecological records in assessing ecosystem services. *Quaternary Science Reviews* 112 17e32.

Jonason D., Smith H. G., Bengtsson J. and Birkhofer, K. (2013). Landscape simplification promotes weed seed predation by carabid beetles (Coleoptera: Carabidae). *Landscape Ecology*, 28(3), 487-494.

Losey J. E. und Vaughan M. (2006): The Economic Value of Ecological Services Provided by Insects. *BioScience* 56 (4) 3, 311-323.

Low P. A., Sam K., McArthur C., Posa M. R. C., Hochuli D. F. (2014): Determining predator identity from attack marks left in model caterpillars: guidelines for best practice. The Netherlands Entomological Society *Entomologia Experimentalis et Applicata* 152: 120–126.

Marshall E. J. P., Brown V. K., Boatman N. D., Lutman P. J., Squire G. R., Ward L. K. (2003): The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. European Weed Research Society *Weed Research* 43, 77–89.

Menalled F. D., Marino P. C., Renner K. A., Landis D. A. (2000): Post-dispersal weed seed predation in Michigan crop fields as a function of agricultural landscape structure. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 77, 193–202.

- Paoletti, M. G., & Hassall, M. (1999). Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 74(1-3), 157-165.
- Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D.; R Core Team (2018). *Nlme: Linear and nonlinear mixed effects models*. R package version 3.1-137. R Software.
- Power A. G. (2010): Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365, 2959–2971.
- R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Roschewitz I., Gabriel D., Tschardt T., Thies C. (2005): The effects of landscape complexity on arable weed species diversity in organic and conventional farming. *Journal of Applied Ecology* 42, 873–882.
- Rapp C., Muster C., Brunk I., und Gebert J. (2022): Habitatpotentiale im Ackerbereich.
- Souty-Grosset C., Badenhausser I., Reynolds J. D. und Morel, A. (2005). Investigations on the potential of woodlice as bioindicators of grassland habitat quality. *European Journal of Soil Biology*, 41(3-4), 109-116.
- Trichard A., Biju-Duval A., Petit S. (2007): The relative effects of local management and landscape context on weed seed predation and carabid functional groups. *Basic and Applied Ecology* 14 235–245.
- Tschumi M., Ekroos J., Hjort C., Smith H. G. und Birkhofer K. (2018). Rodents, not birds, dominate predation-related ecosystem services and disservices in vertebrate communities of agricultural landscapes. *Oecologia*, 188(3), 863-873.
- Wilhelm B. (2016). 3 Funktionen und Regulierung von Ackerwildkräutern. *Ökologischer Landbau: Grundlagen, Wissensstand und Herausforderungen*, 4639, 486.
- Zhang, Z. und M. B. Usher. 1991. Dispersal of wood mice and bank voles in an agricultural landscape. *Acta Theriologica* 36: 239–245.