



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat



Schlussbericht zum Thema

Resiliente ökologische Beerenobstproduktion durch verbesserte Artenvielfalt und innovative Bewirtschaftungsstrategien

FKZ: 2821OE009 und 2821OE010

Projektnehmer/Projektnehmerin: Hochschule Geisenheim University und Institut für Lebensmittel- u. Umweltforschung e.V.

Gefördert durch das Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat auf Grund eines Beschlusses des deutschen Bundestages im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau (BÖL) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische Landwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Heimat (BMLEH) finanziert und in der BÖL-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in die Praxis umgesetzt. Das Programm gliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder - das Forschungs- und das Informationsmanagement.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter:

www.bundesprogramm.de
www.oekolandbau.de/forschung

Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Bundesprogramm Ökologischer Landbau
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Tel.: 0228-6845-3280
E-Mail: boel-forschung@ble.de

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger:

Hochschule Geisenheim University (HGU), Institut für Phytomedizin
Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V. (ILU)

Titel des Forschungsvorhabens:

**Resiliente ökologische Beerenobstproduktion
durch verbesserte Artenvielfalt und innovative
Bewirtschaftungsstrategien (ResBerry)**



Förderkennzeichen: 2821OE009 (HGU)
2821OE010 (ILU)

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Landwirtschaft, Ernährung
und Heimat



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2021 – 30.04.2025

Am Projekt beteiligte Kooperationspartner:

- University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest (USAMV), Rumänien
- University of Copenhagen (UCPH), Dänemark
- National School of Agriculture in Meknès (ENAM), Marokko
- Moulay Ismail University (UMI), Marokko
- Research Institute of Horticulture - National Research Institute (InHort), Polen
- Cooperative Agricola Rodagria Produce (Rodagria), Rumänien

Kurzfassung

Titel: Resiliente ökologische Beerenobstproduktion durch verbesserte Artenvielfalt und innovative Bewirtschaftungsstrategien (ResBerry)

Autoren: HGU: Sophie Wenz, Annette Reineke

ILU: Martin Almendinger, Daniel Pleissner

Kontakt: HGU: Institut für Phytomedizin, Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim, annette.reineke@hs-gm.de, sophie.wenz@hs-gm.de

ILU: Papendorfer Weg 3, 14806 Bad Belzig, martin.almendinger@ilu-ev.de

Das Verbundprojekt ResBerry verfolgte das Ziel, ökologische Beerenanbausysteme durch die Integration biodiversitätsfördernder Maßnahmen wie Begleitpflanzungen und innovativer mikrobieller Managementstrategien widerstandsfähiger gegenüber biotischen und abiotischen Stressoren zu gestalten. Es konnte gezeigt werden, dass Begleitpflanzen die funktionelle Biodiversität im Erdbeeranbau signifikant steigern können. Direkt an die Kultur angrenzende Fangpflanzen und Blühstreifen förderten die Populationsdichte und Einwanderung von Nützlingen in die Kultur. Eine Analyse der Mageninhalte ausgewählter räuberischer Wanzen bestätigte, dass die Nützlinge ihre Rolle als Schädlingsantagonist erfüllten. Fang-Markierung-Wiederfang-Studien belegten, dass Begleitpflanzungen invasive Wanzen wie *Nezara viridula* oder *Halyomorpha halys* von der Kulturpflanze ablenken können. Wahlversuche zum Eiablageverhalten von *Drosophila suzukii* zeigten, dass Früchte von *Phytolacca acinosa* eine potentielle „dead end“ Wirtsfrucht darstellen, die als Fangpflanze in der Nähe von Beerenobstkulturen gepflanzt werden könnte.

Die durchgeführten mikrobiologischen Analysen zeigten, dass die im Projekt ResBerry erprobten Maßnahmen die Zusammensetzung der Bodenmikrobiome beeinflussen und Anteile förderlicher Mikroorganismen steigern können. Im deutschen Erdbeeranbau erwiesen sich vor allem Strohmulch und Mikroklee als wirksam, während in Rumänien Begrünungsmaßnahmen in Himbeer-Polytunneln saisonal stark variierende Effekte auf die Häufigkeit potenziell phytopathogener Pilze aufwiesen. Ergänzend wurde ein Verfahren zur gezielten Anreicherung nützlicher Bakterien entwickelt und implementiert. Die Projektergebnisse unterstreichen die Bedeutung integrativer Ansätze, die Habitatmanagement und mikrobielles Bodenmanagement verbinden. ResBerry liefert damit praxisorientierte Handlungsempfehlungen und wissenschaftliche Grundlagen, um die ökologische Beerenproduktion in Europa nachhaltig und resilient weiterzuentwickeln.

Summary

Title: Resilient organic berry cropping systems through enhanced biodiversity and innovative management strategies (ResBerry)

Authors: HGU: Sophie Wenz, Annette Reineke

ILU: Martin Almendinger, Daniel Pleissner

Contact: HGU: Institut für Phytomedizin, Von-Lade-Str. 1, 65366 Geisenheim, annette.reineke@hs-gm.de, sophie.wenz@hs-gm.de

ILU: Papendorfer Weg 3, 14806 Bad Belzig, martin.almendinger@ilu-ev.de

The joint project ResBerry aimed to make ecological berry cultivation systems more resistant to biotic and abiotic stressors by integrating biodiversity-promoting measures such as companion planting and innovative microbial management strategies. It was shown that companion plants can significantly increase functional biodiversity in strawberry cultivation. Trap plants and flower strips directly adjacent to the crop promoted the population density and immigration of beneficial insects into the crop. An analysis of the gut contents of selected predatory bugs confirmed that these beneficial insects fulfilled their role as pest antagonists. Mark-release-recapture studies showed that companion plantings can divert invasive bugs such as *Nezara viridula* or *Halyomorpha halys* away from the crop plant. Choice experiments on the egg-laying behavior of *Drosophila suzukii* showed that fruits of *Phytolacca acinosa* represent a potential “dead end” host fruit that could be planted as a trap plant near berry crops.

Soil microbiological analyses showed that the measures tested in the ResBerry project can influence the composition of soil microbiomes and increase the proportion of beneficial microorganisms. In German strawberry cultivation, straw mulch and microclover proved to be particularly effective, while in Romania, greening measures in raspberry polytunnels had seasonally varying effects on the frequency of potentially phytopathogenic fungi. In addition, a method for the targeted enrichment of beneficial bacteria was developed and implemented. The project results underscore the importance of integrative approaches that combine habitat management and microbial soil management. ResBerry thus provides practical recommendations for action and scientific foundations for the sustainable and resilient further development of organic berry production in Europe.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung	1
1.1.	Gegenstand des Vorhabens	1
1.2.	Ziele und Aufgabenstellung des Projekts.....	1
1.3.	Planung und Ablauf des Projekts.....	3
2.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	4
3.	Material und Methoden	6
3.1	Arbeitspaket 1: Habitatmanagement in Beerenkulturen	6
3.1.1	Design und Beschreibung des Feldversuchs Standort Geisenheim	6
3.1.2	Erfassung der Arthropodengemeinschaft.....	7
3.1.3	Untersuchung der Ausbreitungsmuster von invasiven Stinkwanzen	8
3.1.4	Molekulare Mageninhaltsanalysen von räuberischen Insekten.....	11
3.2	Arbeitspaket 2: Verbesserung der mikrobiellen Diversität in Beerenobstkulturen.....	12
3.2.1	Extraktion der mikrobiellen DNA aus Bodenproben	12
3.2.2	Spektroskopische Analyse der DNA des Bodenmikrobioms.....	13
3.2.3	Agarose-Gel-Elektrophorese der DNA-Proben	13
3.2.4	Sequenzanalysen und taxonomische Zuordnungen.....	13
3.3	Arbeitspaket 3: Anwendung innovativer Schädlingsbekämpfungsstrategien	14
3.3.1	Kontrollstrategien gegen <i>Drosophila suzukii</i>	14
3.3.2	Entomovectoring zur Bekämpfung von <i>Botrytis cinerea</i>	17
4.	Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse	18
4.1	Ergebnisse AP1: Feldversuch zum Habitatmanagement in Beerenkulturen.....	18
4.1.1	Einfluss der Habitatdiversifizierung auf die Arthropodengemeinschaft.....	19
4.1.2	Ausbreitungsmuster von invasiven Stinkwanzen	21
4.1.3	Trophische Interaktionen basierend auf Mageninhaltsanalysen räuberischer Wanzen	23
4.2	Ergebnisse AP 2 Verbesserung der mikrobiellen Diversität in Beerenobstkulturen	25
4.2.1	Analyse des nativen mikrobiellen Bodenkonsortiums im Erdbeerversuchsfeld Geisenheim	25
4.2.2	Analyse des mikrobiellen Bodenkonsortiums in einem kommerziellen Beerenobst-Betrieb in Rumänien	31
4.3	Ergebnisse AP 3: Anwendung innovativer Schädlingsbekämpfungsstrategien ..	42
4.3.2	Kontrollstrategien gegen <i>Drosophila suzukii</i>	42
4.3.3	Wirksamkeit des Entomovectorings zur Bekämpfung von <i>Botrytis cinerea</i> ..	46
4.4	Arbeitspaket 5: Kommunikation, Dissemination und Transfer	47

4.5	Arbeitspaket 6: Projekt- und Datenmanagement	50
5	Diskussion der Ergebnisse.....	51
5.1	AP 1: Einfluss der Habitatdiversifizierung auf die Arthropodengemeinschaft.....	51
5.2	AP 1: Ausbreitungsmuster von invasiven Stinkwanzen	52
5.3	AP 1: Trophische Interaktionen basierend auf Mageninhaltsanalysen räuberischer Wanzen	53
5.4	AP 2 Verbesserung der mikrobiellen Diversität in Beerenobstkulturen	53
5.4.1	Bodenproben Erdbeerversuchsfeld Geisenheim.....	54
5.4.1.1	Einfluss der Bewirtschaftungssysteme	54
5.4.1.2	Einfluss der Witterungsbedingungen	55
5.4.1.3	Rückschlüsse auf die Boden- und Pflanzengesundheit	55
5.4.2	Bodenproben Beerenobstbetrieb Rumänien.....	56
5.4.2.1	Versuche mit Blühstreifen und Bodendeckern an Himbeeren	56
5.4.2.2	Versuche der mikrobiellen Anreicherung an Erdbeeren	57
5.4.4	Standortbedingte Unterschiede.....	59
5.5	AP 3: Anwendung innovativer Schädlingsbekämpfungsstrategien	59
5.5.1	Kontrollstrategien gegen <i>Drosophila suzukii</i>	59
5.5.2	Wirksamkeit des Entomovectorings zur Bekämpfung von <i>Botrytis cinerea</i> .60	
6	Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse	61
7	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen.....	62
8	Zusammenfassung.....	63
9	Literaturverzeichnis	64
10	Übersicht über realisierte Veröffentlichungen	69

Abkürzungsverzeichnis

µl	Mikroliter
AP	Arbeitspaket
DNA	Deoxyribonucleic acid
DWD	Deutscher Wetterdienst
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ENAM	National School of Agriculture in Meknès
HGU	Hochschule Geisenheim University
ILU	Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V.
InHort	Research Institute of Horticulture - National Research Institute
ITS	Internal Transcribed Spacer
mM	Millimolar
ng	Nanogramm
nm	Nanometer
N/S	Nützlings-Schädlings-Verhältnis
PCR	Polymerase Kettenreaktion
Rodagria	Cooperative Agricola Rodagria Produce
rRNA	ribosomale Ribonukleinsäure
Tris	Tris(hydroxymethyl)aminomethan
UCPH	University of Copenhagen
UMI	Moulay Ismail University
USAMV	University of Agronomic Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest

Abbildungsverzeichnis

Abbildung	Seite
Abbildung 1: Versuchsplan (oben) und fotografische Aufnahme (unten) des Erdbeerversuchsfeldes der HGU.	6
Abbildung 2: Insektensauger „Vortis“ (links) sowie eine erfolgreich aufgelaufene Fang- und Blühstreifen-Kombination auf dem Erdbeerversuchsfeld der HGU (rechts).	7
Abbildung 3: Schematischer Aufbau der Anordnung der Pflanzpartner zur Untersuchung der Habitatwahl und Bewegungsmuster individuell markierter Marmorierter Baumwanzen zwischen Himbeerkultur und Begleitpflanzungen in Pflanzwannen im Halbfreiland-Versuchskäfig.	9
Abbildung 4: <i>H. halys</i> Individuen auf einer Himbeerpflanze. Die Wanzen wurden zur individuellen Wiedererkennung mit einem Code aus Farbpunkten auf dem Pronotum und Scutellum markiert.	11
Abbildung 5: Potentielle “dead-end plants” für <i>Drosophila suzukii</i> (1 <i>Cotoneaster divaricatus</i> , 2 <i>Cornus sanguinea</i> , 3 <i>Prunus laurocerasus</i> , 4 <i>Cornus mas</i> , 5 <i>Phytolacca acinosa</i> , 6 <i>Pyracantha coccinea</i>).	15
Abbildung 6: (A) Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus. Auf der einen Seite des Hummel-Baus befinden sich Erdbeeren (E), auf der anderen Seite der artifizielle Blühstreifen. (B) Versuchsaufbau im Gewächshaus.	17
Abbildung 7: Witterungsverlauf der Versuchsjahre 2023 (oben) und 2024 (unten) am Standort Geisenheim. Dargestellt sind die wöchentlichen Niederschlagssummen und die wöchentliche Durchschnittstemperatur.	18
Abbildung 8: Vergleich der Arthropoden-Diversität zwischen den einzelnen Pflanzpartnern in den Versuchsjahren 2023 und 2024. Dargestellt sind der Taxon-Reichtum (A: 2024; C: 2023) und der Shannon-Diversitätsindex H' (B: 2023; D: 2024).	19
Abbildung 9: Nachweis des Spillover-Effekts in den Versuchsjahren 2023 (links) und 2024 (rechts). Dargestellt ist die Korrelation zwischen den mittleren Nützlingsabundanz in den Fang- und Blühstreifen FT (x-Achse) und der Nützlingsabundanz in den direkt angrenzenden Erdbeer-Plots T1 und T2 (y-Achse).	20
Abbildung 10: Zeitliche Entwicklung (Phänologie) des Nützling-Schädling-Verhältnisses in den Anbau-Plots (C, T1, T2) für das trockene Jahr 2023 (oben) und das feuchte Jahr 2024 (unten).	21
Abbildung 11: Zusammenhang zwischen der Bewegungsdistanz von <i>H. halys</i> und abiotischen Faktoren. Dargestellt ist die zurückgelegte Distanz (cm) zwischen zwei Beobachtungen in Abhängigkeit von der Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) (links) und der relativen Luftfeuchtigkeit (%) (rechts).	23
Abbildung 12: Durchschnittliche Zusammensetzung der Beute von <i>Nabis</i> spp. (links) und <i>Orius</i> spp. (rechts), aufgeteilt nach funktionellen Gruppen und Behandlungsvariante (C = Kontrolle, FT = Fang- und Blühstreifen, T1 = Erdbeeren mit Strohmulch, T2 = Erdbeeren mit Mikroklee-Untersaat).	24
Abbildung 13: UV-belichtete Fotografie eines Agarosegels zur Qualitätsprüfung extrahierter mikrobieller DNA aus Bodenproben.	26
Abbildung 14: Grafische Darstellung der taxonomischen Zuordnungen der sequenzierten ITS 1 DNA von Bodenproben des Partners HGU aus dem Jahr 2022. Links dargestellt ist die taxonomische Verteilung der Pilzfraktionen auf Ebene der Gattungen, rechts auf Ebene der Spezies.	27
Abbildung 15: Taxonomische Heatmap der Bakterien einiger Bodenproben der Partner HGU sowie USAMV/Rodagria auf Ebene der Klassen.	39
Abbildung 16: Taxonomische Heatmap der Pilze einiger Bodenproben der Partner HGU sowie USAMV/Rodagria auf Ebene der Klassen.	40

Abbildung	Seite
Abbildung 17: Evaluierung potentieller dead-end plants im Freiland (2024). Das Streudiagramm visualisiert die Gesamtbefallshäufigkeit als Indikator für die Attraktivität und Annahme durch <i>D. suzukii</i> auf der X-Achse gegen das Mittlere Reproduktionserfolgs-Verhältnis auf der Y-Achse.	44
Abbildung 18: Entscheidungsverhalten von <i>D. suzukii</i> im Labor-Wahlversuch. Dargestellt ist die Präferenz von <i>D. suzukii</i> zwischen mit Lockstoff behandelten Testfrüchten (linke Balken) und unbehandelten Heidelbeer-Referenzfrüchten (rechte Balken).	45
Abbildung 19: Häufigkeit der Blütenbesuche von Hummeln (Blühstreifen vs. Erdbeerblüten) bewertet nach einem Punktesystem, welches dem ersten Blütenbesuch die meisten Punkte zuspricht und dann logarithmisch abnimmt.	46
Abbildung 20: Häufigkeit der Blütenbesuche (Pflanzen eines Blühstreifens) bewertet nach einem Punktesystem, welches dem ersten Blütenbesuch die meisten Punkte zuspricht und dann logarithmisch abnimmt.	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle	Seite
Tabelle 1: Phänologische Entwicklung der Versuchspflanzen (BBCH-Stadien) über die Versuchswochen (KW).	10
Tabelle 2: Übersicht der verwendeten Primer zur Analyse der mikrobiellen Diversität.	13
Tabelle 3: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Pilzgattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems und des Anbaujahres in den Bodenproben der Versuchsflächen der Hochschule Geisenheim.	30
Tabelle 4: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Bakteriengattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems und des Anbaujahres in den Bodenproben der Versuchsflächen der Hochschule Geisenheim University.	31
Tabelle 5: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Pilzgattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems und des Anbaujahres in den Bodenproben der rumänischen Himbeerversuchsflächen der Partner USAMV und Rodagria.	35
Tabelle 6: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Bakteriengattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems und des Anbaujahres in den Bodenproben der rumänischen Himbeerversuchsflächen der Partner USAMV und Rodagria.	36
Tabelle 7: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Bakteriengattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems und des Anbaujahres in den Bodenproben der rumänischen Erdbeerversuchsflächen sowie in den Kompostproben der Partner USAMV und Rodagria.	38
Tabelle 8: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Pilzgattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems und des Anbaujahres in den Bodenproben der rumänischen Erdbeerversuchsflächen sowie in den Kompostproben der Partner USAMV und Rodagria.	38
Tabelle 9: Probenübersicht der mikrobiellen Heatmap-Analysen.	41
Tabelle 10: Natürliche Eiablagen und Reproduktionserfolg von <i>D. suzukii</i> auf potentiellen „dead-end plants“ in Freilanduntersuchungen 2023/2024.	43
Tabelle 11: Übersicht über erfolgte Treffen zwischen den Partnern des ResBerry-Konsortiums.	50

1. Einführung

1.1. Gegenstand des Vorhabens

Das Verbundprojekt ResBerry – Resiliente ökologische Beerenobstproduktion durch verbesserte Artenvielfalt und innovative Bewirtschaftungsstrategien hatte das Ziel, praxisorientierte Strategien für den ökologischen Anbau von Beerenobstsystemen zu entwickeln, zu erproben und zu bewerten. Hintergrund des Projekts ist der wachsende Markt für ökologisch produzierte Beeren in Europa, der sich in den letzten Jahren durch steigende Anbauflächen und eine wachsende Nachfrage nach rückstandsfreien und nachhaltig erzeugten Produkten auszeichnet. Gleichzeitig sind ökologisch wirtschaftende Betriebe zunehmend mit Herausforderungen konfrontiert, insbesondere durch den zunehmenden Schädlingsdruck, die Ausbreitung invasiver Arten wie der Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*) und klimawandelbedingte Extremwetterereignisse.

ResBerry setzte hier an, um die Widerstandsfähigkeit (Resilienz) ökologischer Beerenanbausysteme zu verbessern. Im Mittelpunkt standen dabei Maßnahmen zur Förderung der ober- und unterirdischen biologischen Vielfalt sowie innovative Verfahren der Schädlingsbekämpfung. Das Vorhaben kombinierte Ansätze aus der Pflanzenproduktion, der ökologischen Schädlingsregulierung, der Mikrobiologie und dem Wissenstransfer.

Konkret wurden unter anderem folgende praxistaugliche und integrative Ansätze zur Gestaltung resilienter, umweltverträglicher und wirtschaftlich tragfähiger Produktionssysteme untersucht:

- Implementierung von Habitatmanagementmaßnahmen wie Blühstreifen, Fangpflanzen und Bodendeckern, die natürlichen Gegenspielern von Schadinsekten Lebensraum bieten und deren populationsregulierende Wirkung fördern.
- Optimierung der Kulturführung durch innovative Spaliererziehungssysteme, um das Mikroklima in den Anlagen zu verbessern und Krankheiten zu reduzieren.
- Förderung der mikrobiellen Bodenbiodiversität, z. B. durch gezielte organische Düngung oder Inokulation mit mikrobiellen Konsortien zur Unterdrückung bodenbürtiger Krankheitserreger.
- Prüfung und Demonstration innovativer biologischer Bekämpfungsverfahren, wie dem Einsatz entomopathogener Nematoden gegen die Kirschessigfliege oder der Entomovectoring-Technologie zur Bekämpfung des Grauschimmels.
- Bewertung der ökonomischen und qualitativen Effekte der Maßnahmen hinsichtlich Ertrag, Fruchtqualität und Akzeptanz bei den Verbraucher*innen.

1.2. Ziele und Aufgabenstellung des Projekts

ResBerry verfolgte das übergeordnete Ziel, durch Förderung der Biodiversität und den Einsatz innovativer Managementstrategien den ökologischen Beerenanbau in Europa robuster gegenüber biotischen und abiotischen Stressfaktoren zu machen. Damit sollte ein Beitrag zur nachhaltigen Sicherung der Produktionsgrundlagen, zur Qualitätssicherung und zur wirtschaftlichen Tragfähigkeit ökologisch wirtschaftender Betriebe geleistet werden.

Das Vorhaben umfasste darüber hinaus mehrere miteinander verknüpfte Teilziele:

Die präventive Stärkung der Widerstandsfähigkeit der Kulturen:

Hierzu gehörte die Umsetzung von Managementmaßnahmen, die zu einer Steigerung der funktionellen Biodiversität innerhalb der Anbausysteme beitragen. Dies sollte durch die gezielte Integration von Blühstreifen, Fangpflanzen und Bodendeckern erreicht werden, um Nützlingen wie natürlichen Gegenspielern von Schädlingen geeignete Lebensräume und Ressourcen zu bieten und so biologische Regulationsmechanismen zu fördern. Ergänzend wurde angestrebt, neue Kulturführungssysteme zu implementieren und zu bewerten, insbesondere innovative Spaliererziehungsvarianten, die durch eine verbesserte Belüftung und Lichtdurchdringung des Pflanzenbestands das Risiko von Schädlings- und Krankheitsbefall verringern sollten (Schwerpunkt von Projektpartner UCPH).

Die Förderung der mikrobiellen Vielfalt im Boden:

Hierbei sollten bodenmikrobiologische Analysen Aufschluss darüber geben, wie sich unterschiedliche Maßnahmen auf die Zusammensetzung und Aktivität mikrobieller Gemeinschaften auswirken. Darauf aufbauend sollten Strategien entwickelt werden, um nützliche Mikroorganismen gezielt anzureichern, zum Beispiel durch die Ausbringung organischer Düngemittel oder die Inokulation mit mikrobiellen Konsortien. Diese Maßnahmen waren darauf ausgerichtet, bodenbürtigen Krankheitserregern vorzubeugen und gleichzeitig die Vitalität und Widerstandskraft der Pflanzen zu stärken.

Die Erprobung und Demonstration innovativer biologischer Bekämpfungsverfahren:

Insbesondere wurde der Einsatz entomopathogener Nematoden zur Bekämpfung der invasiven Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*) untersucht. Parallel dazu wurde die Entomovectoring-Technologie getestet, bei der Hummeln als Vektoren dienen, um mikrobiologische Pflanzenschutzmittel gezielt auf die Blüten zu übertragen und dadurch den Befall mit Grauschimmel (*Botrytis cinerea*) zu reduzieren.

Die Bewertung der Auswirkungen auf Ertrag, Fruchtqualität und Verbraucherakzeptanz:

Die Auswirkungen dieser kombinierten Maßnahmen sollten umfassend bewertet werden – sowohl im Hinblick auf die erzielten Erträge und die ernährungsphysiologische Qualität der erzeugten Früchte als auch im Hinblick auf die Akzeptanz durch Verbraucher*innen. Hierfür wurden physikalisch-chemische Analysen sowie sensorische Tests und Befragungen durchgeführt.

Wissenstransfer und Dissemination:

Ein zentrales Anliegen des Projekts war es außerdem, die gewonnenen Erkenntnisse und Verfahren durch ein breites Maßnahmenpaket zur Kommunikation und Wissensvermittlung praxisgerecht aufzubereiten und in den landwirtschaftlichen Betrieben zu verankern. Dies geschah durch Informationsmaterialien, Veranstaltungen, Demonstrationsversuche, den Aufbau von Internetangeboten und den intensiven Dialog mit Stakeholdern aus Beratung, Vermarktung und Wissenschaft.

Das Projekt ResBerry steht in engem Bezug zu den förderpolitischen Zielen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft (BÖLN). Es adressiert den Anspruch, ökologische Anbausysteme ressourcenschonend, biodiversitätsfördernd und zugleich ökonomisch tragfähig weiterzuentwickeln. Durch die Einbindung agrarökologischer Ansätze wie das Habitatmanagement mit Blühstreifen und

Fangpflanzen, die Förderung des Bodenmikrobioms sowie die Reduzierung des Einsatzes externer Betriebsmittel trägt ResBerry dazu bei, die Abhängigkeit von chemischen Pflanzenschutz- und Düngemitteln nachhaltig zu verringern. Gleichzeitig stärkt es die Wettbewerbsfähigkeit des ökologischen Beerenanbaus, indem es praxisnahe, an unterschiedliche Standorte anpassbare Konzepte entwickelt, die auch den wachsenden Anforderungen an Umwelt- und Klimaverträglichkeit gerecht werden. Mit diesen Zielsetzungen leistet das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der thematischen Schwerpunkte der CORE Organic Cofund Ausschreibung im Unterthema „Unterstützung für robuste und widerstandsfähige pflanzliche Produktionssysteme“ sowie zu den strategischen Leitlinien des BÖLN insgesamt.

1.3. Planung und Ablauf des Projekts

Das Projekt ResBerry wurde als transnationales Verbundvorhaben konzipiert, das Forschungseinrichtungen und Praxispartner aus insgesamt fünf europäischen Ländern – Deutschland, Dänemark, Rumänien, Polen und Marokko – einbezog. Der deutsche Projektbeitrag wurde von der Hochschule Geisenheim University (**HGU**) und dem Institut für Lebensmittel- und Umweltforschung e.V. (**ILU**) verantwortet. Die Koordination des nationalen Teilprojekts sowie des Gesamtprojekts lag bei der HGU.

Der Arbeitsplan gliederte sich in mehrere Arbeitspakete, die aufeinander abgestimmt waren und sich thematisch ergänzten. Vier Arbeitspakete waren experimenteller Art, zwei weitere hatten den Transfer und die Dissemination der erzielten Ergebnisse sowie das Projekt- und Datenmanagement zum Inhalt. Die Projektlaufzeit erstreckte sich über insgesamt 40 Monate und umfasste Planung, Implementierung, Versuchsdurchführungen, Analysen, Evaluationen sowie die Kommunikation der Ergebnisse an unterschiedliche Zielgruppen.

Zu Beginn des Projekts erfolgte eine ausführliche Konzeptions- und Vorbereitungsphase, in der die Versuchsanlagen auf den beteiligten Versuchsstandorten eingerichtet wurden. In dieser Phase wurden Pflanzenmischungen für Blühstreifen, Fangpflanzen und Bodendecker ausgewählt und die Versuchspartellen angelegt. Parallel dazu wurden insbesondere beim dänischen Partner innovative Erziehungssysteme für Beerenobstkulturen geplant, die eine verbesserte Belüftung und Lichtdurchdringung ermöglichen sollten.

Im **Arbeitspaket 1** war vorgesehen, Habitatmanagementmaßnahmen zu entwickeln und in den Beerenkulturen der beteiligten Partnerstandorte anzulegen. Dazu sollten artenreiche Blühstreifen, Fangpflanzenmischungen und Bodendecker ausgesät werden, um die funktionelle Biodiversität zu fördern und natürliche Gegenspieler von Schaderregern zu unterstützen. Dieses Arbeitspaket wurde von der UCPH koordiniert und insbesondere von den Partnern **HGU**, **USAMV**, **Rodagria** und **InHort** standortspezifisch nach einem abgestimmten Schema umgesetzt.

Arbeitspaket 2 hatte das Ziel, die mikrobielle Vielfalt in den Böden der Versuchsflächen zu erfassen und Strategien zu ihrer Förderung zu entwickeln. In einem ersten Schritt war geplant, Bodenproben an allen Standorten nach einem einheitlichen Protokoll zu entnehmen, die DNA der Bodenmikroorganismen zu extrahieren und mittels Sequenzierung zu charakterisieren. Darauf aufbauend sollten Verfahren zur Anreicherung mikrobieller Antagonisten entwickelt werden, unter anderem durch Kompostinokulation und gezielte Ausbringung organischer Substrate. Dieses Arbeitspaket wurde vom **ILU** federführend geplant und koordiniert. Die Partner **HGU**, **USAMV**, **Rodagria**, **ENAM** und **InHort** nahmen auf ihren jeweiligen Standorten

Bodenproben zu abgestimmten Zeitpunkten und analysierten sie entweder vor Ort oder schickten sie zur Analyse zum Partner **ILU**.

Im Rahmen von **Arbeitspaket 3** sollte die Wirksamkeit innovativer biologischer Bekämpfungsmethoden geprüft und demonstriert werden. Dazu zählte der Einsatz entomopathogener Nematoden gegen die Kirschessigfliege (Schwerpunkt Partner ENAM, Teilaspekte Partner **HGU**) sowie die Anwendung der Entomovectoring-Technologie, bei der Bestäuber gezielt Mikroorganismen auf die Pflanzen übertragen (**HGU**, **USAMV**). Partner **ENAM** koordinierte die inhaltliche Umsetzung.

Arbeitspaket 4 umfasste die Erhebung und Auswertung von Ertragsdaten, die Analyse von Qualitätsparametern der Beeren sowie die Durchführung von sensorischen Prüfungen und Verbraucherakzeptanztests. Hierzu war geplant, die bei den verschiedenen Partnern erzeugten Früchte während der beiden Hauptvegetationsperioden zu beproben und auszuwerten. Federführend war hier **USAMV**, während die Partner (**HGU**, **USAMV**, **InHort**) die Ernte der Früchte an ihren Standorten sicherstellen sollten.

Zur Sicherstellung einer zielgerichteten Kommunikation und Verwertung der Projektergebnisse wurde ein eigenes Arbeitspaket für Wissenstransfer, Dissemination und Stakeholder-Dialog eingerichtet (**Arbeitspaket 5**). Hierzu gehörten der Aufbau einer Projektwebsite, die Erstellung von Informationsmaterialien, die Organisation von Workshops und Feldtagen sowie die Publikation von Fachartikeln in nationalen und internationalen Zeitschriften. Koordinator des Arbeitspakets war die **HGU**.

Das Projektmanagement (**Arbeitspaket 6**) umfasste sowohl die fachliche Steuerung als auch das administrative und finanzielle Controlling. Ein Lenkungsausschuss mit Vertreter*innen aller Partnerinstitutionen koordinierte den fachlichen Austausch und die Fortschrittskontrolle. Zusätzlich wurde ein Datenmanagementplan entwickelt, um die Projektdaten den FAIR-Prinzipien entsprechend auffindbar, zugänglich, interoperabel und wiederverwendbar zu dokumentieren. Die Leitung dieses Arbeitspakets lag bei der **HGU**.

Der Ablauf des Projekts war in mehrere aufeinanderfolgende Phasen gegliedert: Nach der konzeptionellen Vorbereitung folgte die Anlage der Versuchsflächen, gefolgt von zwei Vegetationsperioden, in denen die Maßnahmen erprobt und Daten erhoben wurden. Anschließend wurden die Ergebnisse ausgewertet, in Fachkreisen und der Praxis kommuniziert und Handlungsempfehlungen abgeleitet. Trotz der hohen Komplexität der Teilaufgaben und des internationalen Charakters des Konsortiums konnten die Arbeiten weitgehend planmäßig durchgeführt und die angestrebten Meilensteine termingerecht erreicht werden.

2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der ökologische Beerenanbau in Europa hat sich in den letzten Jahrzehnten dynamisch entwickelt. So verzeichneten sowohl die Anbauflächen als auch die Nachfrage nach ökologisch produzierten Erdbeeren, Himbeeren und anderen Beerenarten erhebliche Zuwächse. Beeren gelten aufgrund ihres hohen Gehalts an Antioxidantien, Vitaminen und sekundären Pflanzenstoffen als ernährungsphysiologisch wertvolle Lebensmittel, was maßgeblich zur steigenden Beliebtheit beigetragen hat. Gleichzeitig haben klimatische Veränderungen, wie zunehmende Extremwetterereignisse, sowie die Ausbreitung invasiver Schaderreger, unter

anderem der Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*), die Produktionsbedingungen erheblich erschwert (Asplen et al., 2015; Cini et al., 2012).

Während im konventionellen Anbau chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung von Krankheiten und Schädlingen in großem Umfang eingesetzt werden, stehen im ökologischen Landbau nur eine begrenzte Anzahl an zugelassenen Mitteln zur Verfügung. Daher sind ökologische Betriebe in besonderem Maße darauf angewiesen, präventive und biodiversitätsgestützte Verfahren einzusetzen, um stabile Produktionssysteme zu etablieren.

In anderen Dauerkulturen – insbesondere im ökologischen Apfelanbau – sind bereits umfangreiche Erfahrungen mit Maßnahmen zur Förderung der funktionellen Biodiversität gesammelt worden. Dazu zählen Blühstreifen, Begleitpflanzen oder Heckenstrukturen, die als Lebensraum für natürliche Gegenspieler von Schädlingen dienen. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass solche Habitatmanagementmaßnahmen die Populationsdynamik von Schädlingen regulieren und die Abhängigkeit von Pflanzenschutzmitteln reduzieren können (Barda et al., 2025; Cahenzli et al., 2019; Jacobsen et al., 2022). Im ökologischen Beerenanbau hingegen wurden solche Konzepte bislang nur in Ansätzen verfolgt, und belastbare Erkenntnisse zur praktischen Umsetzung, zu Effekten auf Ertrag und Qualität sowie zu Akzeptanz und Wirtschaftlichkeit lagen bislang kaum vor.

Ein weiterer Aspekt, an den ResBerry anknüpfte, betrifft die Rolle des Bodenmikrobioms. Während in einigen Kulturen bereits untersucht wurde, inwieweit mikrobielle Gemeinschaften die Krankheitsanfälligkeit und Vitalität der Pflanzen beeinflussen (Du et al., 2025), bestand im Beerenanbau noch erheblicher Forschungsbedarf. Vor allem die gezielte Anreicherung nützlicher Bodenmikroorganismen und deren Integration in ein Gesamtkonzept für widerstandsfähige ökologische Anbausysteme war bisher nicht systematisch erprobt worden.

Auch im Bereich innovativer biologischer Bekämpfungsmethoden wurde auf Vorarbeiten aufgebaut, die bisher nur punktuell erprobt worden waren. Dazu gehört die Entomovectoring-Technologie, bei der Bestäuberinsekten (z. B. Hummeln) Mikroorganismen gezielt auf Pflanzen übertragen (Smaghe, 2020). Während dieser Ansatz in vorangegangenen Projekten wie dem EU-Projekt BICOPOLL für den Anbau bestimmter Kulturen erprobt wurde, fehlten bisher systematische Untersuchungen zur praktischen Einsetzbarkeit im ökologischen Beerenanbau. Vergleichbares gilt für die Nutzung entomopathogener Nematoden gegen die Kirschessigfliege, deren Potenzial als alternatives Bekämpfungsverfahren zwar in Labor- und Gewächshausversuchen aufgezeigt, aber bislang kaum unter Freilandbedingungen validiert worden war.

Das Vorhaben ResBerry knüpfte somit an den Stand der Forschung und Technik an, indem es bestehende Erkenntnisse aus verschiedenen Bereichen – dem Habitatmanagement, der Mikrobiologie, dem biologischen Pflanzenschutz und der ökologischen Beerenproduktion – in einem integrativen, standortübergreifenden Ansatz zusammenführte. Neuartig war insbesondere die Kombination dieser Methoden in ökologischen Beerenanbausystemen sowie die enge Verzahnung wissenschaftlicher Analysen mit der praktischen Umsetzung in Versuchsanlagen und Demonstrationsbetrieben in mehreren europäischen Ländern.

3. Material und Methoden

Die Darstellung der Arbeiten in Kapitel 3 und die erzielten Ergebnisse (Kapitel 4) und deren Diskussion (Kapitel 5) beziehen sich auf die Tätigkeiten der beiden deutschen Projektpartner **HGU** und **ILU**.

3.1 Arbeitspaket 1: Habitatmanagement in Beerenkulturen

3.1.1 Design und Beschreibung des Feldversuchs Standort Geisenheim

Für die Bearbeitung des AP1 wurde im September 2022 ein 19 x 51 m großes Erdbeer-Versuchsfeld der Sorte Allegro (Pflanzgut aus ökologischer Produktion) auf dem Gelände der HGU angelegt (Abbildung 1), das jeweils drei Wiederholungen folgender Varianten enthält: 1) T1: 4 x 11 m Erdbeer-Plots mit Stroh in direkter Nähe zu Fang- und Blühstreifen, 2) T2: 4 x 11 m Erdbeer-Plots mit Mikroklee als Bodendecker in direkter Nähe zu Fang- und Blühstreifen und 3) C: 4 x 11 m Erdbeer-Plots ohne Bodenbedeckung als Kontrollflächen. Die Fang- und Blühstreifen (FT) wurden zwischen den Plots der Varianten 1) und 2) angelegt. Die Bewirtschaftung des Versuchsfeldes erfolgte durchgehend nach Richtlinien des ökologischen Landbaus, insbesondere wurde gänzlich auf den Einsatz von Pflanzenschutzmittel verzichtet, um die natürlichen Interaktionen zwischen den Organismen ungestört beobachten zu können.

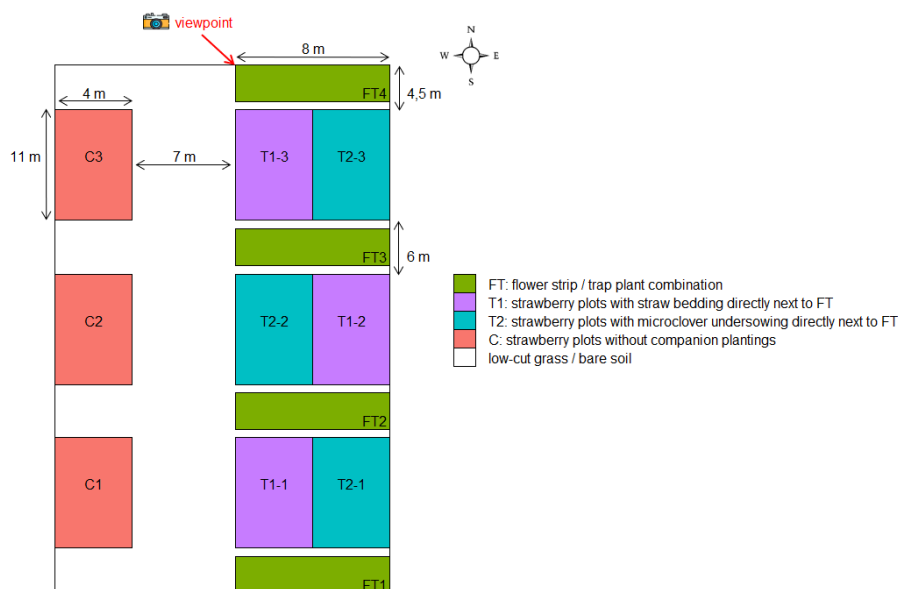


Abbildung 1: Versuchsplan (oben) und fotografische Aufnahme (unten) des Erdbeerversuchsfeldes der HGU.

Für die Blühstreifen-Komponente wurde eine im Handel erhältliche, nützlingsfördernde Pflanzmischung (Nützlingsparadies B623) der Firma Bingenheimer Saatgut ausgewählt. Bestandteile der Blühmischung waren Borretsch, Dill, Koriander, Gewürzfenichel, Kornrade, Ringelblume, Kornblume, Mohn, Kresse, Buchweizen, Saatwicke, Inkarnatklée, Weidelgras, Rotklée, Weißklée, Bischofskraut, Drachenkopf und Tagetes. Ergänzend wurde als Fangpflanzen-Komponente Sonnenblume, Mohrenhirse, Buchweizen, Kapuzinerkresse, Buschbohne und Luzerne ausgewählt, wovon sich lediglich Luzerne fest etablieren konnte. Außerdem wurde natürlich auftretender Amarant und Steinklee in den Fang- und Blühstreifen belassen. Im Verlauf der beiden Versuchsjahre verwuchsen diese Bereiche zu einer dichten, heterogenen Vegetationseinheit und wurden daher für die Probenahme und Analyse als eine einzige Einheit betrachtet.

3.1.2 Erfassung der Arthropodengemeinschaft



Abbildung 2: Insektensauger „Vortis“ (links) sowie eine erfolgreich aufgelaufene Fang- und Blühstreifen-Kombination auf dem Erdbeerversuchsfeld der HGU (rechts).

In den Versuchsjahren 2023 und 2024 wurden an jeweils sechs Terminen zwischen Mai und August 2024 Saugproben mit einem „Vortis“ Insektensauger entnommen (Abbildung 2). Die Saugdauer pro Probe betrug einheitlich 60 Sekunden. Folgende Zonen wurden dabei erfasst: A) In den Erdbeerplots (C, T1, T2) wurde die Beprobung standardisiert in der jeweils mittleren der drei Pflanzreihen durchgeführt, um Randeffekte zu minimieren. B) Die Beprobung der Fang- und Blühstreifen (FT) erfolgte entlang der Längsseite. Konkret wurde für FT1 und FT3 die nördliche und für FT2 und FT4 die südliche Längsseite beprobt.

Anschließend wurden die gesammelten Proben bei -20 °C eingefroren, um die Individuen zu konservieren. Die anschließende Auswertung der gesammelten Insektengemeinschaften erfolgte im Labor unter einem Mikroskop. Die identifizierten Arthropoden wurden so weit wie möglich taxonomisch eingeordnet (meist auf Familienniveau) und, basierend auf ihrer primären ökologischen Rolle im Erdbeer-Anbausystem, in funktionelle Gruppen eingeteilt. Um

die unterschiedlichen Habitate zu berücksichtigen, wurde eine kontextabhängige Zuweisung vorgenommen:

- Predator: Umfasst alle räuberischen Taxa, die als natürliche Gegenspieler von Schädlingen agieren
- Parasitoids: Umfasst alle parasitoiden Taxa, die als natürliche Gegenspieler von Schädlingen agieren
- Herbivore Crop Pest: Umfasst alle Pflanzenfresser, die als bekannte oder potentielle Schädlinge an Erdbeeren gelten und in den Anbauflächen (C, T1, T2) gefunden wurden
- Herbivore Non-Crop: Umfasst alle Pflanzenfresser, die in den Blüh- und Fangstreifen (FT) gefunden wurden und sich vermutlich von den dortigen Pflanzen ernähren.
- Mixed bzw. Neutral: Taxa mit gemischter oder neutraler Funktion

Die Analyse der Arthropodengemeinschaft erfolgte mit der Statistiksoftware R. Zur Bewertung der Biodiversität wurden der Taxon-Reichtum (Anzahl unterschiedlicher taxonomischer Gruppen pro Probe) und der Shannon-Diversitätsindex (H') berechnet. Unterschiede zwischen den Behandlungsgruppen wurden, nach Prüfung auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test), mittels nicht-parametrischer Kruskal-Wallis-Tests analysiert. Bei signifikanten Ergebnissen wurden Dunn's Post-Hoc-Tests mit Bonferroni-Korrektur für die Paarvergleiche durchgeführt.

Zur Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Populationen (z.B. dem Spillover-Effekt oder der Wirt-Parasitoid-Beziehung) wurden Pearson-Korrelationsanalysen verwendet. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0.05$ festgelegt.

Zur Kontextualisierung der saisonalen Dynamik wurden Wetterdaten der nahegelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Geisenheim herangezogen. Die analysierten Parameter umfassten Luft- und Bodentemperaturen, Niederschlagssummen sowie die potenzielle Verdunstung nach Haude.

3.1.3 Untersuchung der Ausbreitungsmuster von invasiven Stinkwanzen

A) Freilandbasierter Mark-Release-Recapture Versuch zur Untersuchung der Bewegungsmuster von Grünen Reiswanzen (*Nezara viridula*) zwischen Erdbeerkultur und Begleitpflanzungen

Hierfür wurden zwischen dem 24.07. und 02.08.2024 natürlich auftretende Grüne Reiswanzen (*Nezara viridula*) auf dem Erdbeerversuchsfeld per Hand abgesammelt. Anschließend wurden die adulten Wanzen aufgeteilt in 150 Individuen, die grün markiert wurden und 2x 75 Individuen, die blau markiert wurden. Zur Herstellung der grünen bzw. blauen Pigment-Lösung wurden 5 g fluoreszierendes Pigment („Unsichtbares Pigment“, UV-Elements GmbH, Berlin) in 500 ml deionisiertem Wasser dispergiert. Zur Verbesserung der Benetzung/Suspension wurden 0,2 % Tween-20 hinzugefügt. Die Lösung wurde mittels einer handelsüblichen Handsprühflasche auf die Wanzen gesprüht. Anschließend wurde die Markierung visuell unter Anwendung einer UV-Taschenlampe geprüft. 150 grün markierte Individuen wurden im Zentrum des Erdbeerplots T2-2, 75 blau markierte Individuen in der nördlich angrenzenden Fang- und Blühstreifen-Kombination FT3 und 75 blau markierte Individuen in der südlich angrenzenden Fang- und Blühstreifen-Kombination FT2 freigelassen (s. Versuchsplan in Abbildung 1). Der Versuch wurde am 12.08.2024 durchgeführt und am 15.08.2024 wiederholt. Nach 24 h wurden die Wanzen an den drei Freilassungspunkten per Hand eingesammelt. Zum

Zeitpunkt der Durchführung trugen die Erdbeerpflanzen unreife Früchte. Innerhalb der Begleitpflanzungen dominierten der aussamende Steinklee und Amaranth.

B) Untersuchung der Ausbreitungsmuster der Marmorierten Baumwanze *Halyomorpha halys* im Halbfreiland

Um die Eignung von Begleitpflanzen als Fang- oder Alternativpflanzen für Schädlinge zu bewerten, erfolgte ein Halbfreilandversuch zur Untersuchung der Habitatwahl und Bewegungsmuster individuell markierter Marmorierter Baumwanzen (*Halyomorpha halys*) zwischen Himbeerkultur und Begleitpflanzungen. Die Halbfreilandversuche wurden im Zeitraum von Juli bis September 2024 am Standort der HGU durchgeführt. Es wurden zwei identische Gaze-Käfige mit den Maßen 5 (L) x 3 (B) x 2,2 (H) m verwendet. Ein Käfig wurde ganztägig direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt („Sun“-Käfig), während der zweite natürlich durch einen Baum permanent beschattet wurde („Shadow“-Käfig). In jedem Käfig wurde ein identisches Pflanzensortiment etabliert (s. Abbildung 3). 10 Topfhimbeeren wurden als Hauptkultur in zwei Reihen mittig im Käfig aufgestellt. Die Himbeeren wurden in Töpfen mit einem Durchmesser von 28 cm kultiviert und befanden sich zum Zeitpunkt des Versuchs im BBCH-Stadium 81-89 (überlappende Reifestadien) bei einer ungefähren Höhe von 110 cm. Entlang der westlichen Längsseite wurden fünf Pflanzwannen (70 (L) x 40 (B) x 30 (H) cm) positioniert, die mit folgenden Begleitpflanzungen bepflanzt waren:

- F: Zwei Wannen mit der Blümmischung (Flowermix) „Nützlingsparadies B623“ (Bingenheimer Saatgut)
- S: Eine Wanne mit Sonnenblumen
- B: Zwei Wannan mit Buschbohnen

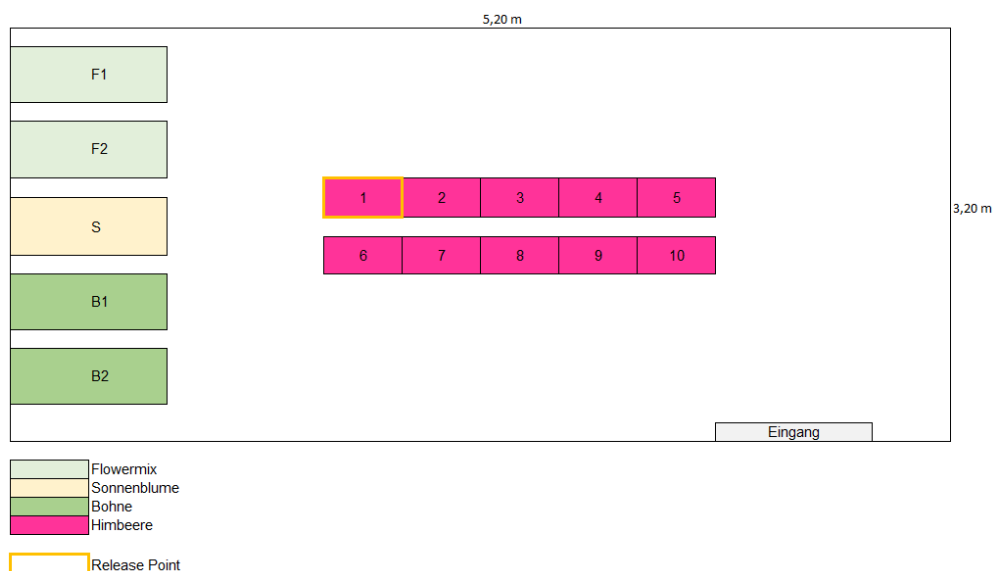


Abbildung 3: Schematischer Aufbau der Anordnung der Pflanzpartner zur Untersuchung der Habitatwahl und Bewegungsmuster individuell markierter Marmorierter Baumwanzen zwischen Himbeerkultur (1-10, pink) und Begleitpflanzungen in Pflanzwannen (F1-2: Flowermix hellgrün, S: Sonnenblume gelb, B1-2: Bohne grün) im Halbfreiland-Versuchskäfig. Die Wanzen wurden an der gelb markierten Stelle freigelassen.

Zur Erfassung der abiotischen Bedingungen wurde in jedem Käfig ein Datenlogger platziert, der Lufttemperatur (°C) und die relative Luftfeuchtigkeit (%) in stündlichen Intervallen aufzeichnete. Der Versuch wurde in fünf getrennten Durchläufen in den Kalenderwochen 28, 30, 32, 34 und 37 des Jahres 2024 wiederholt, jeweils über einen Zeitraum von fünf aufeinanderfolgenden Tagen. Zusätzlich wurden die Entwicklungsstadien (BBCH-Codes) aller Pflanzen festgehalten und in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Phänologische Entwicklung der Versuchspflanzen (BBCH-Stadien) über die Versuchswochen (KW).

KW	Kultur	Entwicklungsstadium	BBCH
28	Himbeere	Fruchtreifephase	85-87
28	Bohne	Blüte	60-69
28	Sonnenblume	Knospenstadium	51-59
28	FlowerMix	Blüte	50-60
30	Himbeere	Überlappende Reifestadien	81-89
30	Bohne	Generative Phase	71-79
30	Sonnenblume	Blüte	60
30	FlowerMix	Blüte	61-69
32	Himbeere	Überlappende Reifestadien	81-89
32	Bohne	Seneszenz*	95-99
32	Sonnenblume	Blüte	65
32	FlowerMix	Samenentwicklungsstadium	70-77
34	Himbeere	Überlappende Reifestadien	81-89
34	Bohne	Vegetative Phase	30-39
34	Sonnenblume	Blüte	67-69
34	FlowerMix	Samenentwicklungsstadium	71-80
37	Himbeere	Überlappende Reifestadien	81-89
37	Bohne	Blüte	50-59
37	Sonnenblume	Samenentwicklungsstadium	71-79
37	FlowerMix	Samenentwicklungsstadium	89-99

*Seneszenz der Bohnen aufgrund von Pilzbefall. Anschließend wurde neu eingesät.

Für den Versuch wurden adulte Marmorierete Baumwanzen (*Halyomorpha halys*) aus einer etablierten Laborzucht der HGU verwendet. Pro Versuchsdurchgang und pro Käfig wurden 40 Wanzen (20 Männchen und 20 Weibchen) eingesetzt. Jedes Individuum wurde zur Wiedererkennung mit einem einzigartigen Code aus Farbpunkten auf dem Pronotum und Scutellum unter Verwendung von witterungsbeständigen Lackmarkern (Edding 780) individuell markiert (Abbildung 4).



Abbildung 4: *H. halys* Individuen auf einer Himbeerpflanze. Die Wanzen wurden zur individuellen Wiedererkennung mit einem Code aus Farbpunkten (Edding 780) auf dem Pronotum und Scutellum markiert.

Die insgesamt 40 Wanzen pro Käfig wurden zu Beginn jedes Durchgangs (Tag 1, 10:00 Uhr) zentral auf der Himbeerpflanze 1 freigesetzt (Abbildung 3). Die Position jeder einzelnen Wanze wurde über fünf Tage hinweg erfasst (Tag 1: 14:00 Uhr; Tag 2-5: 10:00 und 14:00 Uhr). Die Positionen wurden auf einer Skizze festgehalten und anschließend ausgemessen sowie digitalisiert. Für die Georeferenzierung wurden die exakten Realmaße von Referenzpunkten (Käfigecken, Pflanzregion-Ecken) vermessen und digitalisiert. Die Umrechnung der Skizzenkoordinaten der Wanzenbeobachtungen in metrische Real-Koordinaten erfolgte mittels einer Thin Plate Spline (TPS) Transformation. Anschließend wurden die transformierten Punkte mithilfe eines Spatial Joins den jeweiligen Pflanzenregionen oder dem umgebenden Käfigbereich zugeordnet.

Alle statistischen Analysen wurden in R durchgeführt. Die Aufenthaltspräferenzen wurden mittels Häufigkeitsverteilung und Chi-Quadrat-Unabhängigkeitstests analysiert. Unterschiede in der Bewegungsdistanz zwischen den Gruppen (Käfigtyp, Geschlecht, Tageszeit) wurden mit Wilcoxon-Rangsummentests geprüft. Der Zusammenhang zwischen Bewegungsdistanz und Wetterparametern wurde mittels Spearman-Rangkorrelation untersucht.

3.1.4 Molekulare Mageninhaltsanalysen von räuberischen Insekten

Die für die Analyse verwendeten Individuen stammen aus den Saugprogen des Erdbeer-Versuchsfelds aus dem Versuchsjahr 2024 (s. Kapitel 3.1.1 und 3.1.2). Aus den Proben wurden insgesamt 132 räuberische Wanzen der Gattungen *Orius* und *Nabis* morphologisch bestimmt und für die Mageninhaltsanalysen einzeln separiert. Zur Dokumentation wurde jedes Individuum unter einem Mikroskop fotografiert. Anschließend wurden die Wanzen einzeln in Reaktionsgefäße überführt und bei -20 °C gelagert, um einen DNA-Abbau bis zur weiteren Verarbeitung zu verhindern.

Die DNA-Extraktion aus den einzelnen Wanzen erfolgte mittels DNeasy Blood & Tissue Kits (Qiagen) gemäß Herstellerprotokoll. Um den Mageninhalt zu analysieren, wurden spezifische Abschnitte des mitochondrialen Cytochrom-c-Oxidase-I-Gens (COI), das als Standard-

Barcode für Insekten gilt, mittel Polymerase-Kettenreaktion (PCR) vervielfältigt. Hierfür wurden zwei universelle Primerpaare für Arthropoden nach Batuecas et al. (2022) verwendet, um unterschiedliche Fragmente des COI-Gens zu amplifizieren:

- ZBJ-ArtF1c-F (5'-AGATATTGGAACWTTATATTTATTTTGG-3') und ZBJ-ArtR2c-R (5'-WACTAATCAATTWCCAAATCCTCC-3'), welche ein Fragment von 157 bp Länge amplifizieren (Zeale et al., 2011)
- mICOLint-F (5'-GGWACWGGWTGAACWGTWTAYCCYCC-3') und HCO-2198 (5'-TAAACTTCAGGG TGACCAAAAAATCA-3'), welche ein Fragment von 313 bp Länge amplifizieren (Folmer et al., 1994; Leray et al., 2013).

Nach der PCR wurde der Erfolg der Amplifikation und die korrekte Größe der PCR-Produkte mittels Agarose-Gelelektrophorese überprüft.

Die PCR-Produkte wurden anschließend mit AMPure XP Beads aufgereinigt. Die Vorbereitung der Sequenzier-Bibliothek erfolgte gemäß dem 96 Native Barcoding Protokoll von Oxford Nanopore Technologies (ONT). Dabei wurden die aufgereinigten PCR-Produkte jeder Probe mit einem einzigen Barcode versehen, um eine spätere bioinformatische Zuordnung zu ermöglichen. Die fertig vorbereitete Bibliothek wurde auf einem Nanopore MinION sequenziert. Die bioinformatische Auswertung der Rohdaten umfasste eine Qualitätsfilterung, die Entfernung von Fehlersequenzen (Denoising, Chimären-Entfernung) und die taxonomische Zuordnung der resultierenden DNA-Sequenzen (Amplicon Sequence Variants) unter Verwenden der BOLD (Barcode of Life Data System) Referenzdatenbank.

Für die Auswertung wurde die DNA der Prädatoren (*Orius* spp. und *Nabis* spp.) digital aus dem Datensatz entfernt, um ausschließlich die DNA der Beutetiere zu analysieren. Die identifizierten Beute-Arten wurden basierend auf ihrer ökologischen Funktion in vier Hauptgruppen eingeteilt: Pflanzenschädlinge, andere Nützlinge, Bestäuber, sonstige Arthropoden.

Die statistische Auswertung umfasste die Verteilung der Raubwanzen und die Zusammensetzung ihrer Nahrung. Zuerst wurde die Verteilung der Nützlinge auf die Behandlungsvarianten analysiert. Die absolute Anzahl der gesammelten Individuen pro Gattung und Behandlung wurde ermittelt und mittels eines Chi-Quadrat-Tests auf signifikante Unterschiede geprüft. Um die Nahrungszusammensetzung darzustellen, wurden die relativen Häufigkeiten der DNA-Reads pro Beutegruppe berechnet. Zur statistischen Überprüfung, ob die Behandlungsvarianten einen signifikanten Einfluss auf die Zusammensetzung der Beute hatten, wurde für *Orius* spp. und *Nabis* spp. getrennt eine permutative multivariate Varianzanalyse (PERMANOVA).

3.2 Arbeitspaket 2: Verbesserung der mikrobiellen Diversität in Beerenobstkulturen

3.2.1 Extraktion der mikrobiellen DNA aus Bodenproben

Für die Gewinnung von mikrobieller DNA aus Bodenproben wurde das E.Z.N.A.® Soil DNA Kit der Firma Omega Bio-tek Inc. (Norcross, Georgia, USA) verwendet. Die Proben wurden zunächst homogenisiert, um eine repräsentative DNA-Extraktion sicherzustellen. Für die DNA-Extraktion wurde das vom Hersteller empfohlene Protokoll angepasst, um optimale Extraktionsergebnisse zu erzielen. Die Menge an eingewogener Erde sowie die Volumina der

verwendeten Puffer wurden erhöht, um ausreichend DNA für die anschließenden Analysen und Sequenzierungen zu gewinnen.

3.2.2 Spektroskopische Analyse der DNA des Bodenmikrobioms

Die extrahierten DNA-Proben wurden mittels NanoDrop One (Thermo Fisher Scientific) spektroskopisch auf Konzentration und Reinheit überprüft. Dafür wurden 1,5 µl der DNA direkt auf die Messoberfläche pipettiert, und Absorptionswerte im Bereich von 220–750 nm erfasst. Die DNA-Konzentration sowie die A260/A280- und A260/A230-Verhältnisse dienen zur Beurteilung der Reinheit. Ein Verhältnis von ~1,8 bzw. >2,0 wurde als Indikator für geringe Protein- bzw. Lösungsmittelverunreinigungen gewertet. Die spektroskopischen Ergebnisse dienen sowohl der Quantifizierung der DNA als auch der Überprüfung ihrer Qualität und Eignung für die nachfolgenden Sequenzierarbeiten.

3.2.3 Agarose-Gel-Elektrophorese der DNA-Proben

Zur Kontrolle der DNA-Integrität wurde eine 0,8 % Agarose-Gel-Elektrophorese mit TAE-Puffer und Fluoreszenzfarbstoff durchgeführt. Die Proben wurden zusammen mit einem Größenmarker aufgetragen und bei 90 V ca. 75–90 Minuten getrennt. Die Visualisierung im Gel-Dokumentationssystem diente der qualitativen Überprüfung auf hochmolekulare DNA und mögliche Fragmentierungen.

3.2.4 Sequenzanalysen und taxonomische Zuordnungen

Die extrahierte und hinsichtlich Konzentration und Reinheit kontrollierte DNA wurde anschließend an externe Dienstleister übergeben. Zunächst wurde Eurofins Genomics Europe Shared Services GmbH (Ebersberg, Deutschland) und später Biomarker Technologies GmbH (BMK, Münster, Deutschland) mit der Durchführung der Mikrobiomanalyse mittels Next Generation Sequencing (NGS) beauftragt.

Für die Sequenzierung wurden spezifische Primerpaare verwendet, die gezielt die ITS1b-Region zur Analyse der Pilzgemeinschaften sowie die 16S rRNA V3-V4-Region zur Charakterisierung der bakteriellen Populationen amplifizieren (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Übersicht der verwendeten Primer zur Analyse der mikrobiellen Diversität.

Organismen	Gen	Region	Primer Name	Amplikonlänge (bp)	Primer Sequenz (5'-3')	Quelle
Bakterien	16S	V3-V4	347F	430	TACGGGAGGCAGCAG	Turner et al., 1999
			800R		CCAGGGTATCTAATCC	Kisand et al., 2002
Pilze	ITS1		ITS5F	100-1000*	GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG	White et al., 1990
			ITS2R		GCTGCGTTCTTCATCGATGC	White et al., 1990

3.3 Arbeitspaket 3: Anwendung innovativer Schädlingsbekämpfungsstrategien

3.3.1 Kontrollstrategien gegen *Drosophila suzukii*

A) Kontrollstrategie gegen *Drosophila suzukii* basierend auf Fangpflanzen

Für die Entwicklung einer Kontrollstrategie gegen die Kirschessigfliege *Drosophila suzukii* basierend auf Fangpflanzen wurden Freilandhebungen und Wahlversuche unter kontrollierten Bedingungen mit dem Ziel der Identifikation einer geeigneten sogenannten „dead-end plant“ im Labor durchgeführt. Hierbei legen die Fliegen ihre Eier in die Früchte der dead-end plant, allerdings können sich die Larven nicht vollständig entwickeln und sterben ab.

i) Freilandbasierte Erhebungen zum Reproduktionserfolg von *D. suzukii* auf potentiellen „dead-end plants“ unter natürlichen Bedingungen:

Um ein umfassendes Verständnis der Wechselwirkungen zwischen *D. suzukii* und potentiellen dead-end plants zu erlangen, war es von besonderer Bedeutung, das Verhalten der Fliegen nicht nur unter kontrollierten Laborbedingungen, sondern auch unter den komplexen Gegebenheiten des Freilands zu untersuchen. Im Gegensatz zu Laborversuchen, die ein begrenztes Angebot von Auswahlmöglichkeiten präsentieren, steht *D. suzukii* im Freiland eine Vielzahl natürlicher Ressourcen zur Verfügung, was die natürliche Attraktivität und die Akzeptanz von Früchten maßgeblich beeinflusst. Der Fokus lag hierbei darauf, zu ermitteln, ob und in welchem Maße die potentiellen dead-end plants unter natürlichen, freien Wahlbedingungen überhaupt von *D. suzukii* angenommen werden und welchen Reproduktionserfolg die Fliegen auf ihnen erzielen.

In den Monaten Juli bis September 2023 und 2024 wurden reife Früchte von insgesamt zwölf Gehölzarten gesammelt (s. Abbildung 5). Hierzu zählten *Viburnum opulus* (Gewöhnlicher Schneeball), *Sorbus aucuparia* (Vogelbeere), *Cornus sanguinea* (Roter Hartriegel), *Pyracantha coccinea* (Mittelmeer-Feuerdorn), *Rhamnus cathartica* (Purgier-Kreuzdorn), *Prunus lusitanica* (Portugiesische Lorbeerkirsche), *Cornus mas* (Kornelkirsche), *Hippophae rhamnoides* (Sanddorn), *Phytolacca acinosa* (Asiatische Kermesbeere), *Ilex aquifolium* (Europäische Stechpalme), *Cotoneaster divaricatus* (Spreizende Zwergmispel) und *Prunus laurocerasus* (Kirschlorbeer). Die Sammlung erfolgte auf dem Campus der HGU (Geisenheim, Hessen, Deutschland). Pro Pflanzenart wurden im Jahr 2024 mindestens 200 intakte Früchte gesammelt. Für das Erhebungsjahr 2023 wurde die Gesamtanzahl an gesammelten Früchten nicht systematisch erfasst, jedoch wurde die Anzahl der Früchte mit Eiablagen, die Gesamtanzahl an Eiablagen sowie die Anzahl an geschlüpften Adulten dokumentiert.



Abbildung 5: Potentielle "dead-end plants" für *Drosophila suzukii* (1 *Cotoneaster divaricatus*, 2 *Cornus sanguinea*, 3 *Prunus laurocerasus*, 4 *Cornus mas*, 5 *Phytolacca acinosa*, 6 *Pyracantha coccinea*).

Unmittelbar nach der Sammlung wurden die Früchte unter einem Binokular auf das Vorhandensein von Eiablagen durch Drosophiliden überprüft. Anschließend wurden die gesammelten Beeren in separate Plastikcontainer mit perforierten Deckeln überführt, um eine ausreichende Belüftung zu gewährleisten und Kondensation zu verhindern. Diese Container wurden unter Freilandbedingungen, zusätzlich geschützt durch einen Insektenkäfig, für mindestens 14 Tage inkubiert. Die Inkubationsdauer diente der vollständigen Entwicklung und dem Schlupf adulter Fliegen aus potentiell abgelegten Eiern. Anschließend wurden die Proben bei -20 °C eingefroren, um die Fliegen abzutöten und eine genaue Zählung zu ermöglichen. Die ausgezählten adulten Fliegen wurden anschließend unter einem Binokular nach Art und Geschlecht bestimmt. Zur Überprüfung der morphologischen Artbestimmung, insbesondere für *D. suzukii*, wurde eine Polymerase-Kettenreaktion (PCR) unter Verwendung von artspezifischen Primern nach Wolf et al. (2018) durchgeführt:

- Droso-S391 (5'-AAATAACAATACAGGACTCATATCC-3') und Droso-A381 (5'-GTAATACGCTTACATACATAAAGGTATA-3'), die ein 240 bp langes Fragment amplifizieren für die Gattung *Drosophila*.
- Dro-suz-S390 (5'-TTGAACTGTTTACCCACCTCTT-3') und Dro-suz-A380 (5'-GGTATTCGGTCTAATGTAATACCC-3'), die ein 171 bp langes Fragment für die Art *Drosophila suzukii* amplifizieren.

ii) Wahlversuch zur Bewertung der Attraktivitätssteigerung der Eiablage von *D. suzukii* an Früchten von „dead-end plants“ durch Lockstoffapplikation:

Die für die Laborversuche verwendeten *D. suzukii* stammten aus einer etablierten Zucht der HGU. Die Zucht erfolgte unter kontrollierten Klimabedingungen bei 23 ± 2 °C, 55 ± 10 % relativer Luftfeuchtigkeit und einem Licht-Dunkel-Rhythmus von L16:D8 Stunden. Für die Wahlversuche wurden 3-5 Tage alte adulte Fliegen verwendet.

Die freilandbasierten Erhebungen zum Reproduktionserfolg auf potentiellen dead-end plants zeigten bereits 2023, dass viele der untersuchten Fruchtarten unter natürlichen Bedingungen eine sehr geringe oder keine natürliche Attraktivität für *D. suzukii* aufwiesen. Um die Attraktivität dieser potentiellen dead-end plants für eine „Attract-and-Kill“-Strategie zu steigern und somit ihre Eignung auch bei geringer ursprünglicher Akzeptanz zu evaluieren, wurde ein geeigneter Lockstoff zur Applikation auf den Früchten ausgewählt. Dies erfolgte basierend auf einem Vorversuch mit verschiedenen flüssigen Lockstoffmischungen. Getestet wurden hierbei Kombinationen aus Rotwein, Apfelessig, Hefe und Zucker. Als Ergebnis dieses Vorversuchs wurde der sogenannte „Droski-Drink“ (75 % Apfelessig, 25 % Rotwein, 20 g Zucker pro Liter), der auch als Fangflüssigkeit in Monitoringfallen von *D. suzukii* verwendet wird, als potentiell geeignet ausgewählt.

Für den Wahlversuch wurden Früchte von *Viburnum opulus*, *Sorbus aucuparia*, *Hippophae rhamnoides*, *Pyracantha coccinea* und *Cornus mas* gesammelt. Es wurden ausschließlich Früchte verwendet, die visuell frei von bereits vorhandenen, natürlichen Eiablagen von Drosophiliden und anderen Beschädigungen waren. Als Kontrollfrüchte dienten unbehandelte Kulturheidelbeeren in Bio-Qualität (*Vaccinium corymbosum*). Diese Heidelbeeren wurden ebenfalls für einen separaten Lockstoff-Kontrollversuch verwendet.

Die Wahlversuche wurden in einer zylindrischen transparenten Kunststoffarenen mit einer Röhrenlänge von 50 cm und einem Durchmesser von 20 cm unter konstanten Laborbedingungen (24 ± 1 °C, 55 ± 5 % relativer Luftfeuchte, L16:D8 Stunden Licht-Dunkel-Rhythmus) durchgeführt. Jede Arena war mittels zweier transparenter Barrieren in drei Abschnitte unterteilt. Die Barrieren wurden jeweils 10 cm von den gegenüberliegenden Enden innerhalb der Röhre angebracht, wodurch ein zentraler, neutraler Bereich von 30 cm Länge entstand. Jede Barriere war mit einer zentralen Öffnung von 2 mm Durchmesser versehen. Diese Unterteilung diente dazu eine direkte Durchmischung der Luft zwischen den Fruchtpositionen weitgehend zu verhindern und eine getrennte Geruchspräsentation zu ermöglichen. In den beiden äußeren Abschnitten (jeweils 10 cm lang) der Versuchsarena wurden an gegenüberliegenden Enden zwei Früchte positioniert: eine Testfrucht und eine unbehandelte Referenzfrucht. Als unbehandelte Referenzfrucht diente stets eine Heidelbeere. Die Testfrucht war entweder (1) eine mit Droski-Drink besprühte Frucht einer potentiellen dead-end plant oder (2) eine mit Droski-Drink besprühte Heidelbeere. Insgesamt wurden 40 unabhängige Wiederholungen pro getesteter Fruchtkombination durchgeführt. Die Positionen (links/rechts) der Test- und Referenzfrucht wurden zwischen den Wiederholungen randomisiert. In jede Versuchsarena wurden zentral 10 Weibchen und 5 Männchen von *D. suzukii* eingesetzt. Nach 24 h wurden zunächst die Position der Fliegen in der Arena festgehalten. Es wurde dokumentiert, auf welcher Seite sich die Fliegen befanden (Seite der Testfrucht oder Seite der Referenzfrucht) oder ob sie sich in der mittleren, neutralen Zone aufhielten und somit keine eindeutige Entscheidung getroffen hatten. Anschließend wurden die Fliegen aus den Arenen entfernt. Die Früchte wurden entnommen und die Anzahl der auf jeder Frucht abgelegten Eier unter einem Binokular gezählt und dokumentiert.

II) Wirksamkeitsprüfung von entomopathogenen Nematoden gegen *Drosophila suzukii*

Die Versuche im AP 3 zum Einsatz von entomopathogenen Nematoden zur Bekämpfung der Kirschessigfliege wurden hauptsächlich durch den Partner **ENAM** durchgeführt. An der HGU wurde im Rahmen dieses APs gemeinsam mit einer Arbeitsgruppe der Universität für Bodenkultur in Wien eine Masterarbeit im Rahmen des gemeinsamen Studiengangs „Weinbau, Oenologie, Weinwirtschaft“ durchgeführt, in der die Wirksamkeit von verschiedenen entomopathogenen Nematoden gegenüber der Kirschessigfliege geprüft wurde. In Laborversuchen konnte gezeigt werden, dass die Applikation der Nematodenspezies *Heterorhabditis bacteriophora* auf befallene Heidelbeeren den Populationsaufbau der *D. suzukii* signifikant verlangsamen kann (Matheis 2023).

3.3.2 Entomovectoring zur Bekämpfung von *Botrytis cinerea*

Im Rahmen einer Masterthesis wurde an der HGU (Lipinski 2024) untersucht, ob die Effizienz der *Botrytis*-Bekämpfung an Erdbeeren durch Entomovectoring (*Botrytis*-Antagonist *Clonostachys rosea* wird durch Hummeln an die Erdbeerblüte transferiert) beeinflusst wird, wenn zeitgleich Blühstreifen in der Anlage präsent sind. Dazu wurden im Gewächshaus Experimente mit blühenden Erdbeerpflanzen sowie Blüten von Phacelia (P) (*Phacelia tanacetifolia*), Buchweizen (B) (*Fagopyrum esculentum*), Löwenzahn (L) (*Taraxacum officinale*), Wicke (W) (*Vicia cracca*) und Inkarnatklie (I) (*Trifolium incarnatum*) durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 6 dargestellt.

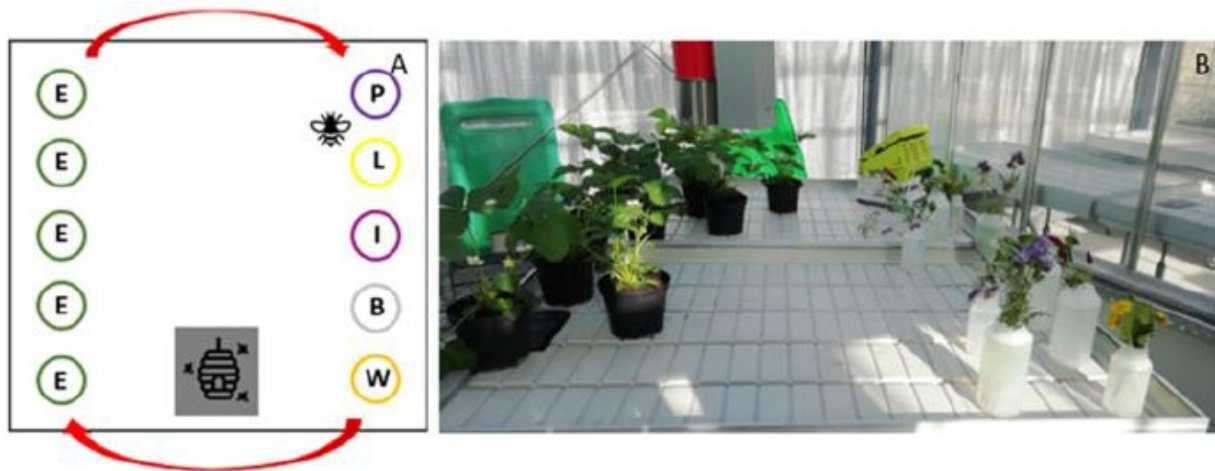


Abbildung 6: (A) Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus. Auf der einen Seite des Hummel-Baus befinden sich Erdbeeren (E), auf der anderen Seite der künstliche Blühstreifen. Die roten Pfeile markieren den Seitenwechsel der Erdbeeren und Blühstreifen-Pflanzen nach jeder Wiederholung. (B) Versuchsaufbau im Gewächshaus. Die Öffnung des Hummel-Baus ist nach Osten gerichtet. Rechts vom Bau stehen 10 Erdbeeren und links vom Bau jeweils 2 Pflanzen des Blühstreifens. P = Phacelia, L = Löwenzahn, B = Buchweizen, I = Inkarnatklie und W = Wicke.

4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Die Zuwendungen wurden entsprechend der Zielsetzungen im Projektantrag sachgemäß eingesetzt. Im Folgenden werden die erzielten Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete und die dafür notwendigen Zuwendungen im Einzelnen dargelegt:

4.1 Ergebnisse AP1: Feldversuch zum Habitatmanagement in Beerenkulturen

Die beiden Versuchsjahre 2023 und 2024 waren wie die Daten der DWD-Wetterstation Geisenheim belegen, klimatisch extrem unterschiedlich (s. Abbildung 7): 2023 war ein sehr trockenes Jahr, was zu einem schwachen Wachstum der Klee-Untersaat führte. 2024 war hingegen ein feuchtes Jahr, in dem sich eine dichte Klee-Decke etablieren konnte.

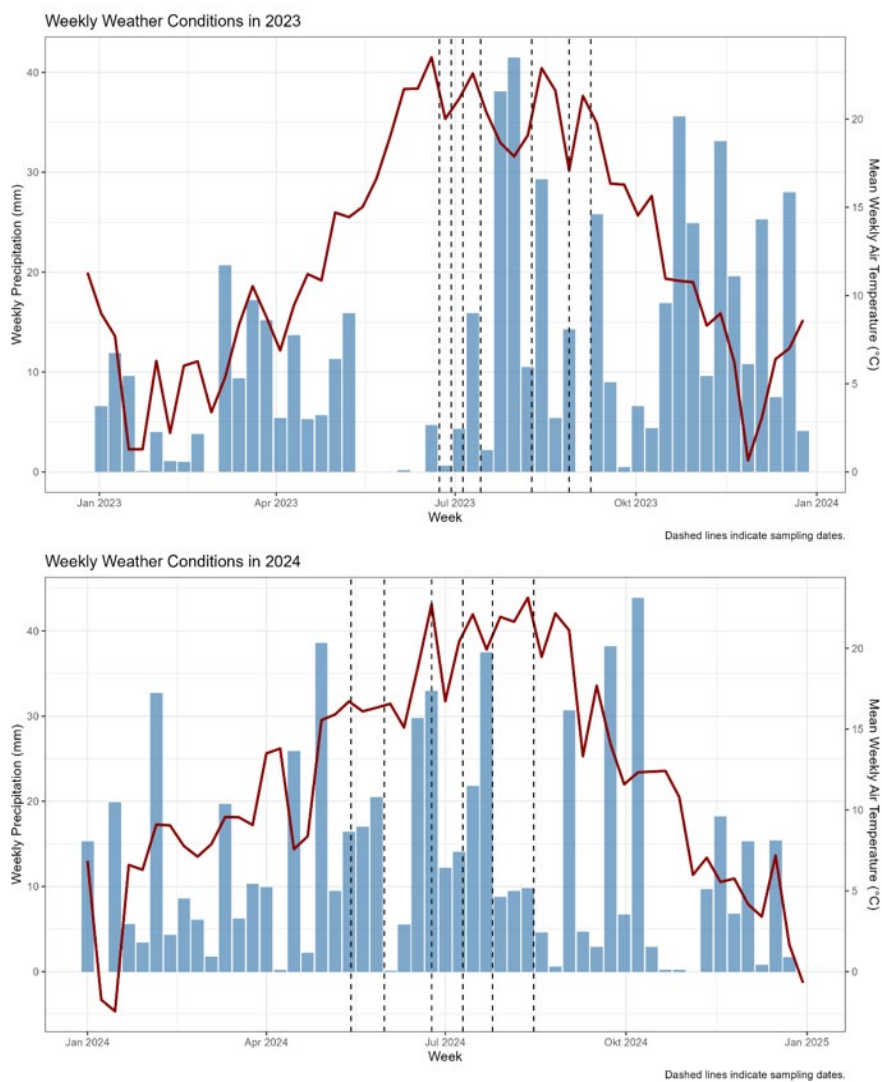


Abbildung 7: Witterungsverlauf der Versuchsjahre 2023 (oben) und 2024 (unten) am Standort Geisenheim. Dargestellt sind die wöchentlichen Niederschlagssummen (blaue Balken, linke y-Achse) und die wöchentliche Durchschnittstemperatur (rote Linie, rechte y-Achse). Die vertikalen gestrichelten Linien markieren die sechs Probennahmetermine pro Jahr. Datenquelle: DWD Wetterstation Geisenheim.

4.1.1 Einfluss der Habitatdiversifizierung auf die Arthropodengemeinschaft

Die Analyse der Arthropoden-Vielfalt ergab ein klares, vom Wetter des jeweiligen Jahres abhängiges Bild (s. Abbildung 8). Im trockenen Jahr 2023 erwiesen sich die Fang- und Blühstreifen-Kombinationen (FT) als alleinige Hotspots der Diversität. Sowohl der Taxon-Reichtum, also die reine Anzahl der verschiedenen Arthropodengruppen, als auch der Shannon-Diversitätsindex, der zusätzlich die Ausgeglichenheit der Gemeinschaft bewertet, waren in den Blüh- und Fangstreifen hoch signifikant höher als in allen Anbauvarianten (Kruskall-Wallis, beide $p < 0.001$). Obwohl die Fang- und Blühstreifen-Kombinationen (FT) selbst als Hotspots der Diversität fungierten, führte ihre direkte Nachbarschaft zu den Varianten T1 und T2 zu keiner statistisch messbaren Erhöhung der Vielfalt innerhalb dieser Anbauflächen im Vergleich zur Kontrolle (C).

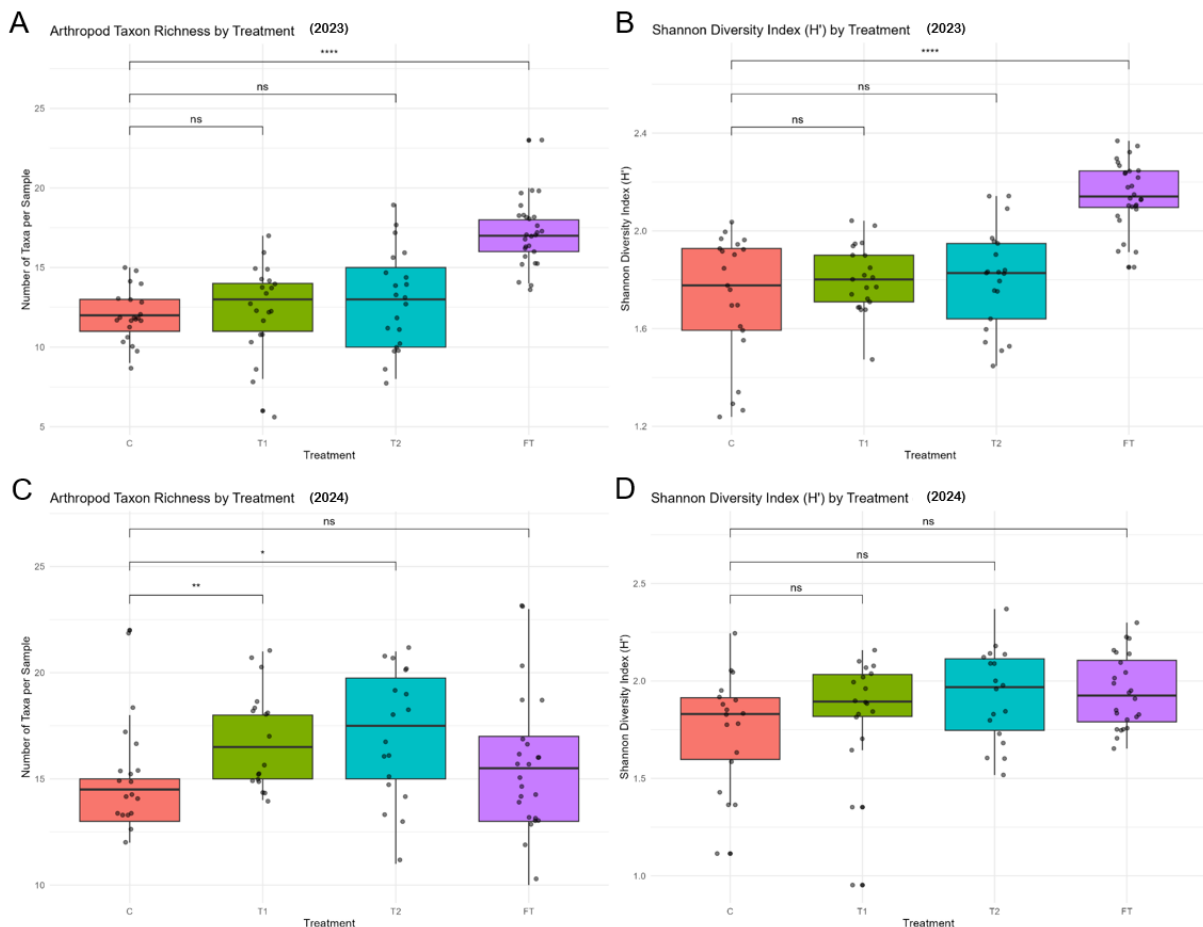


Abbildung 8: Vergleich der Arthropoden-Diversität zwischen den einzelnen Pflanzpartnern in den Versuchsjahren 2023 und 2024. Dargestellt sind der Taxon-Reichtum (A: 2024; C: 2023) und der Shannon-Diversitätsindex H' (B: 2023; D: 2024). Die Boxplots zeigen den Median (dicke Linie), die Interquartilsabstände (Box) und die Spannweite (Whisker). Signifikanz-Niveaus aus den paarweisen Wilcoxon-Tests zwischen den Pflanzpartnern (T1, T2, FT siehe Versuchsplan Abbildung 1) und der Kontrolle (C) sind durch Sternchen gekennzeichnet.

Diese Muster veränderten sich im feuchten Jahr 2024 deutlich. Hier zeigte die nun gut etablierte Klee-Untersaat in den T2 Plots ihre Wirkung direkt in der Kulturfläche: Sie führte zu einem signifikant höheren Taxon-Reichtum als die Kontrolle (C) (Dunn's Test, $p = 0.046$). Dieser Effekt war jedoch nicht stark genug, um auch die Dominanzstruktur der Gemeinschaft zu verändern, weshalb der Unterschied im Shannon-Index nicht mehr statistisch signifikant war.

Die Analyse der funktionellen Gruppen ergab, dass die Fang- und Blühstreifen-Kombinationen (FT) in beiden Jahren als entscheidendes Habitat für die Förderung von Nützlingen dienten. Sie beherbergten eine Gemeinschaft mit einem konstant hohen relativen Anteil an Prädatoren und Parasitoiden sowie einer eigenen, von der Kultur unabhängigen Herbivoren-Fauna. Ein zentrales Ergebnis der Studie ist der Nachweis des „Spillover“-Effekts (s. Abbildung 9): **Die Korrelationsanalyse bestätigte für beide Jahre einen statistisch signifikanten positiven Zusammenhang (2023: $p = 0.017$; 2024: $p = 0.027$), der belegt, dass Nützlinge aktiv aus den Fang- und Blühstreifen (FT) in die angrenzenden Anbauflächen (T1, T2) einwandern.**

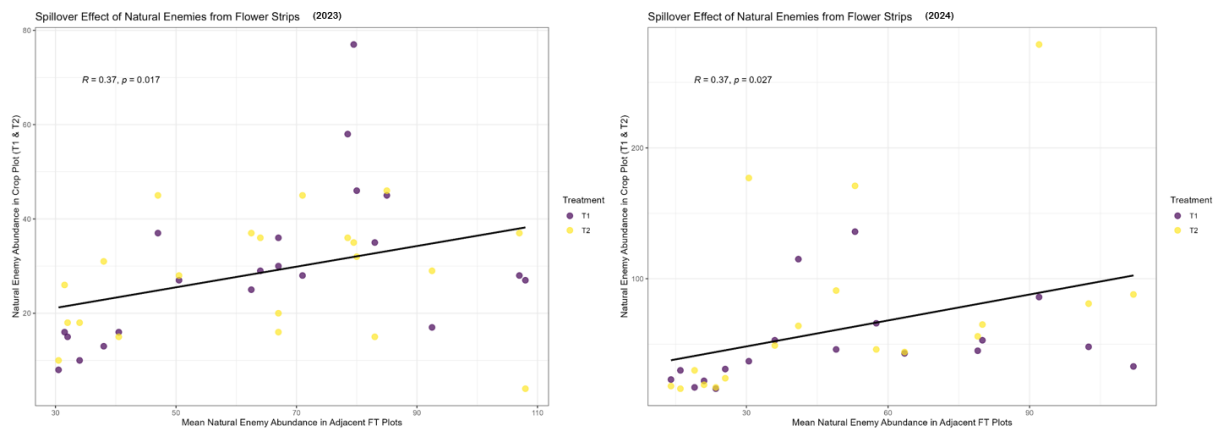


Abbildung 9: Nachweis des Spillover-Effekts in den Versuchsjahren 2023 (links) und 2024 (rechts). Dargestellt ist die Korrelation zwischen den mittleren Nützlingsabundanz in den Fang- und Blühstreifen FT (x-Achse) und der Nützlingsabundanz in den direkt angrenzenden Erdbeer-Plots T1 und T2 (y-Achse). Jeder Punkt repräsentiert eine Probe. Die schwarzen Linien zeigen den linearen Trend. In beiden Jahren wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang nachgewiesen (2023: $p = 0.017$); 2024: $p = 0.027$), der die Einwanderung von Nützlingen in die Kultur belegt.

Ein Ziel der Studie war die Bewertung des Potentials zu biologischen Schädlingskontrolle, welches durch das Verhältnis von natürlichen Feinden zu Kulturschädlingen (Nützlings-Schädlingsverhältnis N/S-Verhältnis) quantifiziert wurde. Die Analyse der saisonalen Durchschnittswerte ergab in beiden Versuchsjahren keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Anbauflächen (C, T1 und T2). Eine detailliertere Betrachtung der zeitlichen Entwicklung (Phänologie) dieses Verhältnisses offenbarte jedoch wichtige saisonale und jahresabhängige Trends (s. Abbildung 10). Im trockenen Jahr 2023 zeigte sich, dass die Klee-Untersaat (T2) zur Mitte der Saison tendenziell ein ungünstigeres N/S-Verhältnis aufwies als die Kontrolle (C), was auf eine stärkere Förderung von Schädlingen oder eine Behinderung von Nützlingen durch die Untersaat hindeuten könnte. Im Gegensatz dazu zeichnete sich im feuchten Jahr 2024 ein in der T2-Variante ein Trend zu einem höheren N/S-Verhältnis ab, was sich in der grafischen Darstellung widerspiegelt und mit der beobachteten Förderung von Parasitoiden in dieser Behandlung in Einklang steht.

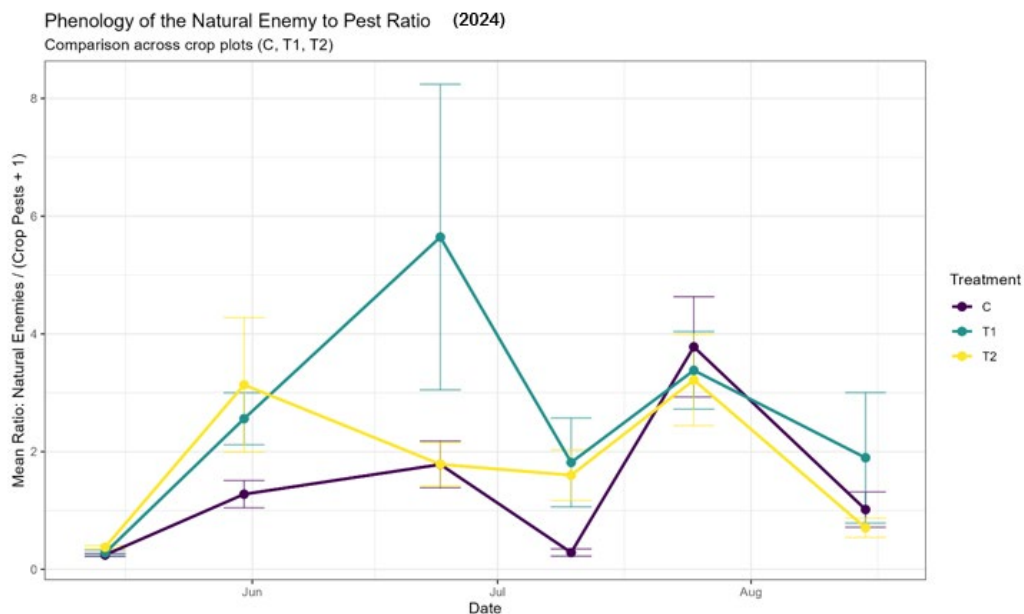
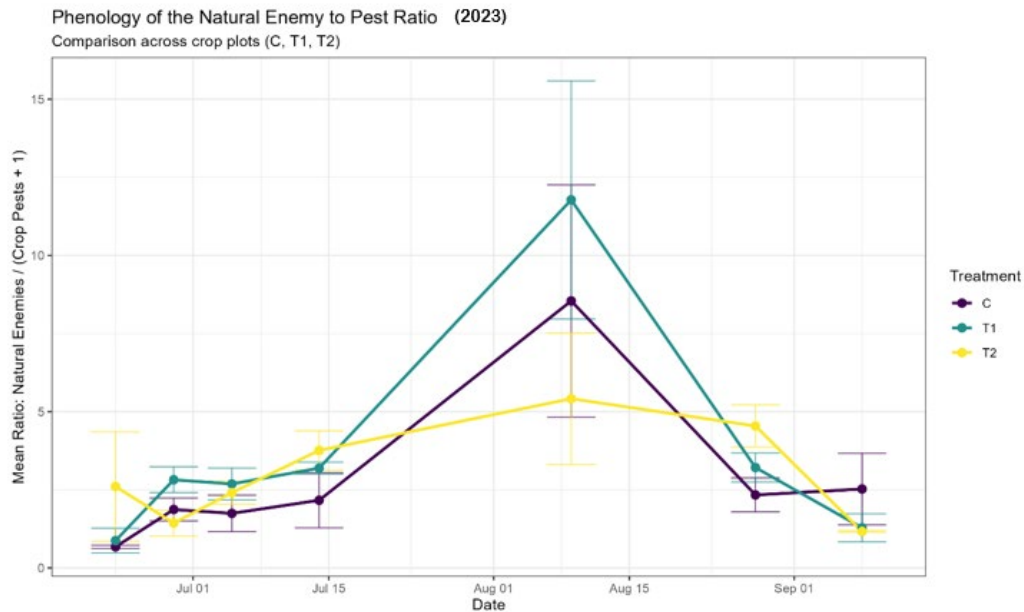


Abbildung 10: Zeitliche Entwicklung (Phänologie) des Nützling-Schädling-Verhältnisses in den Anbau-Plots (C, T1, T2) für das trockene Jahr 2023 (oben) und das feuchte Jahr 2024 (unten). Dargestellt ist das mittlere Verhältnis von natürlichen Feinden zu Kulturschädlingen über die sechs Sammelermine. Die Punkte repräsentieren die Mittelwerte pro Behandlung, die Fehlerbalken den Standardfehler.

4.1.2 Ausbreitungsmuster von invasiven Stinkwanzen

A) Ausbreitungsmuster von *Nezara viridula* zwischen Kultur- und Begleitpflanzen

Insgesamt wurden 56 grün markierte Individuen (17 in T2-2, 12 in FT3, 27 in FT2) und 48 blau markierte Individuen (23 in T2-2, 17 in FT3, 8 in FT2) nach 24 h wiedergefunden. Die Rate der Ortstreue (definiert als Wiederaufnahme am ursprünglichen Freilassungspunkt nach 24 h) betrug 5,7 % (17/300) für die grün markierte und 8,3 % (25/300) für die blau markierte Gruppe. Entsprechend wurden 13 % der grün und 7,7 % der blau markierten Individuen an einem anderen Ort als dem Freilassungsort nachgewiesen.

Um zu untersuchen, ob sich die Ortstreue zwischen den Individuen, die im Zentrum des Erdbeerplots T2-2 (grün markierte Gruppe, N = 300) von denen, die in den Begleitpflanzungen FT2 und FT3 freigelassen wurden (blau markierte Gruppe, N = 300) unterschied, wurde ein Fisher's Exact Test durchgeführt. Der Test ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = 0,263$, $\alpha = 0,05$). Beide Gruppen zeigten innerhalb 24 h deutliche räumliche Mobilität. Von den grün markierten Individuen wurde ein Anteil von 5,7 % in den Erdbeeren wiedergefunden, während 69,6 % der Wiederfänge dieser Gruppe (39/56) in den angrenzenden Begleitpflanzungen FT2 und FT3 wiedergefunden wurden. Die blau markierten Individuen, die ursprünglich in FT2 und FT3 freigesetzt wurden, wurden nahezu gleich häufig im Erdbeerplot T2-2 ($n = 23$) sowie in den Blühstreifen ($n = 25$) wiedergefunden.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die eingesetzten Begleitpflanzungen das Potenzial besitzen, adulte *N. viridula* von der Hauptkultur abzulenken. Gleichzeitig zeigt die Bewegung der aus FT2 und FT3 freigesetzten Individuen in Richtung Erdbeeren, dass eine vollständige Abgrenzung nicht stattfand. Dies spricht für eine hohe Mobilität der Art und eine flexible Nutzung der verschiedenen Habitatstrukturen.

B) Pflanzenwahl und Ausbreitungsverhalten von *Halyomorpha halys* im Halbfreiland

Die deskriptive Analyse der Aufenthaltsorte zeigte, dass die Topfhimbeeren im Versuchskäfig mit 50,4 % der Beobachtungen die am häufigsten besuchte Region darstellten. Die Begleitpflanzen wurden insgesamt bei ca. 25 % der Beobachtungen aufgesucht, wobei Bohnen (11,2 %) und Sonnenblumen (10,9 %) eine höhere Attraktivität zeigten als der Flowermix (3,3 %). Ein signifikanter Anteil der Beobachtungen (24,3 %) fand außerhalb der Pflanzenregionen im Käfigbereich statt. Die Wahl des Aufenthaltsortes wurde signifikant vom Käfigtyp (Sun/Shadow, χ^2 -Test, $p < 0.001$) und der Tageszeit ($p < 0.001$) beeinflusst. Im Sonnenkäfig wurden proportional mehr Wanzen auf Sonnenblumen gefunden, während im Schattenkäfig der Anteil auf den Himbeeren höher war. Um 14:00 Uhr war der Anteil der Wanzen auf Begleitpflanzen tendenziell höher als um 10:00 Uhr. Zwischen den Geschlechtern konnte kein signifikanter Unterschied in der allgemeinen Aufenthaltspräferenz festgestellt werden.

Die Bewegungsaktivität, gemessen als Distanz zwischen Beobachtungen, war im Schattenkäfig signifikant höher als im Sonnenkäfig (Wilcoxon-Test, $p \approx 0.0016$). Zudem korrelierte sie signifikant positiv mit der Temperatur (Spearman's $\rho \approx 0.22$, $p < 0.001$) und signifikant negativ mit der relativen Luftfeuchtigkeit (Spearman's $\rho \approx -0.11$, $p < 0.001$) (s. Abbildung 11). Dies deutet darauf hin, dass die Wanzen bei wärmeren und trockeneren Bedingungen tendenziell aktiver waren.

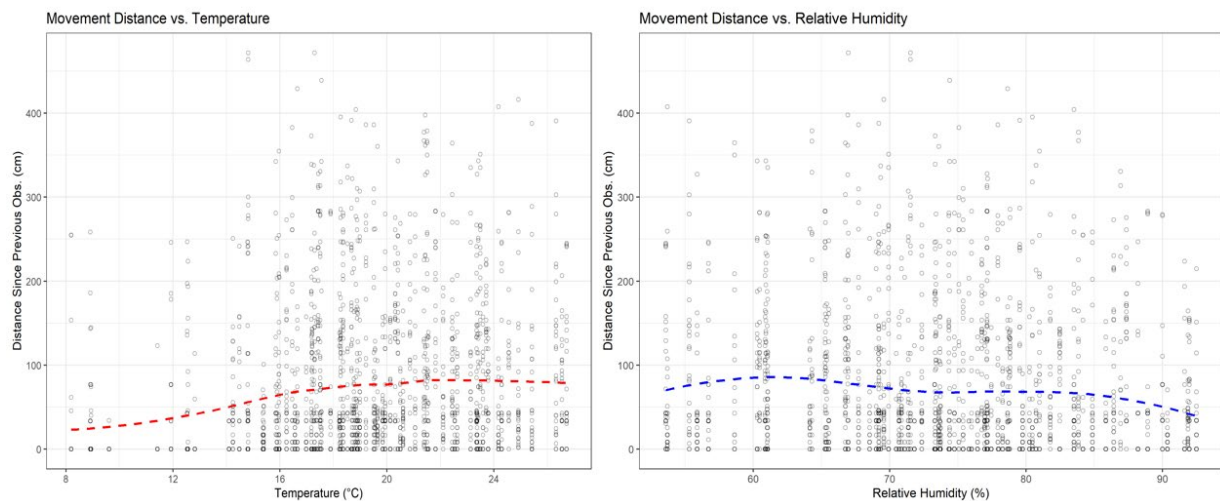


Abbildung 11: Zusammenhang zwischen der Bewegungsdistanz von *H. halys* und abiotischen Faktoren. Dargestellt ist die zurückgelegte Distanz (cm) zwischen zwei Beobachtungen in Abhängigkeit von der Temperatur (°C) (links) und der relativen Luftfeuchtigkeit (%) (rechts). Jeder Punkt repräsentiert eine Beobachtung. Die gestrichelte Linie zeigt eine LOESS-Glättungskurve zur Visualisierung des Trends. Die Bewegungsdistanz korrelierte signifikant positiv mit der Temperatur (Spearman's $\rho \approx 0.22$, $p < 0.001$) und signifikant negativ mit der Luftfeuchtigkeit (Spearman's $\rho \approx -0.11$, $p < 0.001$).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die untersuchten Begleitpflanzen unter bestimmten Bedingungen eine Ablenkungswirkung auf *H. halys* von der Hauptkultur Himbeere ausüben können.

4.1.3 Trophische Interaktionen basierend auf Mageninhaltsanalysen räuberischer Wanzen

Insgesamt wurden die Mageninhalte von 89 *Orius*-Individuen und 43 *Nabis*-Individuen erfolgreich mittels PCR und universellen Primerpaaren für Arthropoden und nachfolgender Sequenzanalyse über die Nanopore Technologie analysiert. Damit konnte erstmals ein Einblick in die trophischen Räuber-Beute-Beziehungen der Nützlinge und den Einfluss von Begleitpflanzungen erzielt werden.

Die Anzahl der Individuen unterschied sich deutlich zwischen den Behandlungsvarianten. Die mit Abstand meisten *Orius*-Individuen ($n = 51$) wurden in den Fang- und Blühstreifen-Kombinationen (FT) gefunden. Auch die Variante T2 wies eine erhöhte Anzahl an *Orius* spp. auf. Die Verteilung der Gattungen auf die Behandlungen ist statistisch hochsignifikant (Chi-Quadrat-Test: $\chi^2 = 18.49$, $p < 0.001$). Dies bedeutet, dass die FT eine starke Anziehungskraft auf diese Nützlingsgruppe, insbesondere *Orius*, ausüben und als wichtiges Habitat im Erdbeerfeld dienen.

Die Mageninhaltsanalysen offenbarten ein breites Beutespektrum für beide Prädatorengattungen, was für diese als Generalisten bekannten Nützlinge zu erwarten ist. Die durchschnittliche Zusammensetzung der Nahrung für *Orius* und *Nabis* in den verschiedenen Behandlungsvarianten ist in Abbildung 12 dargestellt.

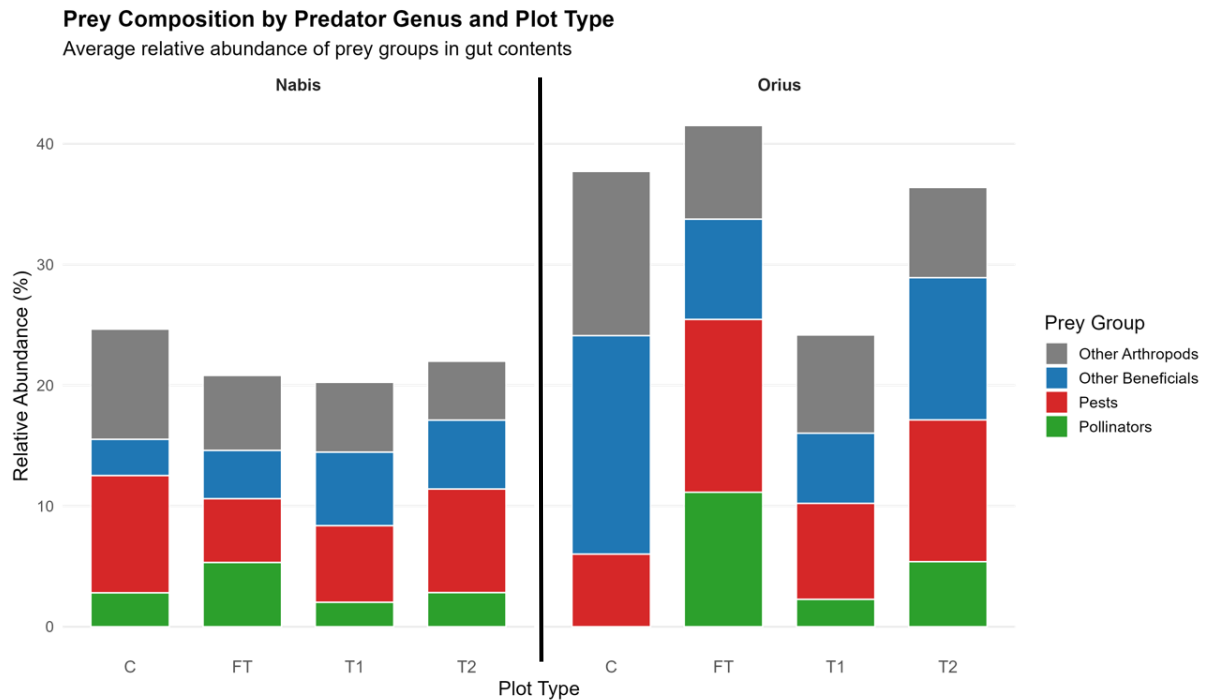


Abbildung 12: Durchschnittliche Zusammensetzung der Beute von *Nabis* spp. (links) und *Orius* spp. (rechts), aufgeteilt nach funktionellen Gruppen und Behandlungsvariante (C = Kontrolle, FT = Fang- und Blühstreifen, T1 = Erdbeeren mit Strohmulch, T2 = Erdbeeren mit Mikroklée-Untersaat). Die Balken zeigen die mittlere relative Häufigkeit der DNA-Reads pro Beutegruppe.

Bei beiden Gattungen bildeten Organismen aus der Gruppe der Pflanzenschädlinge einen wesentlichen Nahrungsanteil. Visuell deutet sich an, dass der Anteil an Schädlingen in der Nahrung von *Orius* spp. tendenziell höher ist als bei *Nabis* spp.. Dies ist vermutlich auf die unterschiedliche Körpergröße und die damit verbundene Verdünnung der Beute-DNA durch höhere Eigen-DNA-Mengen bei den größeren *Nabis*-Individuen zurückzuführen. Neben Schädlingen wurden auch andere Nützlinge und in geringerem Maß Bestäuber als Nahrungsbestandteile nachgewiesen. Der Nachweis von Bestäuber-DNA deutet vermutlich auf die Prädation von deren Eiern und Larven. Die statistische Auswertung mittels PERMANOVA ergab jedoch, dass die beobachteten visuellen Unterschiede in der Nahrungszusammensetzung zwischen den Behandlungsvarianten weder für *Orius* spp. ($p = 0.875$) noch für *Nabis* spp. ($p = 0.569$) statistisch signifikant waren.

Die vorliegende Untersuchung liefert ein mehrschichtiges Bild der Wirkung von Begleitpflanzungen. Sie fungieren als effektives Habitat, das die lokale Nützlingspopulation stützt und vergrößert. Die Analyse der Mageninhalte bestätigt, dass die Nützlinge ihre Rolle als Schädlingsantagonist in allen Varianten erfüllen. Die Tatsache, dass die statistische Analyse keine signifikanten Unterschiede in der Diät zwischen den Behandlungen zeigte, ist dabei nicht widersprüchlich. Es zeigt die Flexibilität dieser Generalisten. Die entscheidende Wirkung der Begleitpflanzungen liegt in der Schaffung eines Lebensraums, der diesen und anderen Nützlingen ein Habitat bietet. Die breite Nahrungsgrundlage, die durch die geförderte Biodiversität entsteht, sichert zudem die dauerhafte Etablierung der Nützlinge im Feld.

4.2 Ergebnisse AP 2 Verbesserung der mikrobiellen Diversität in Beerenobstkulturen

Zu Beginn des Projekts wurde in einem Online-Treffen im Februar 2022 gemeinsam mit allen Partnerinstitutionen das Vorgehen für die Bodenbeprobung abgestimmt. Dabei wurden Anzahl und Art der Proben, Einstichtiefe (0–30 cm), Probemengen und der Versand festgelegt. Jede Versuchsfläche sollte durch 5 Einzelproben repräsentiert werden, die zu einer Mischprobe zusammengeführt und gekühlt an das ILU gesendet wurden.

Im Sommer 2022 gingen erste Proben aus Marokko (ENAM) ein, die jedoch ungekühlt, extrem trocken und sehr sandig waren. Aus diesen Proben konnte keine mikrobielle DNA extrahiert werden, vermutlich wegen der Probenkonstitution (hoher Sandanteil, geringe Feuchtigkeit). Die Bodenproben von der HGU wurden erfolgreich auf -20 °C eingelagert.

4.2.1 Analyse des nativen mikrobiellen Bodenkonsortiums im Erdbeerversuchsfeld Geisenheim

Im Rahmen dieses APs erfolgte zunächst eine Methodenoptimierung und anschließend die DNA-Extraktion aus jeweils 4 Gramm Boden mittels eines kommerziellen Kits (E.Z.N.A. Soil DNA Kit). Die HGU hatte dazu im Jahr 2022 die angelegten Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) sowie Referenzen (T0) beprobt. In den zwei Folgejahren beprobte HGU auch die entsprechenden Erdbeerbefelder, zu denen Versuchsflächen mit Strohmulchauflage (T1) sowie mit Mikroklee als Bodendecker (T2) und darüber hinaus Kontrollfelder ohne angrenzende Blüh- und Fangpflanzenstreifen (C).

Nach erfolgter DNA-Extraktion wurde die Reinheit und Qualität photometrisch und durch Agarose-Gelelektrophorese überprüft (s. Abbildung 13 für Proben der Partner HGU (Probenbezeichnungen 1 bis 13) sowie USAMV (Probenbezeichnungen 14 und 15)). Dabei zeigte sich, dass die Proben aus Deutschland (HGU) im Schnitt höhere Konzentrationen und eine bessere DNA-Integrität aufwiesen als die rumänischen Proben (USAMV). In allen Proben war jedoch eine gewisse Fragmentierung sichtbar, typisch für Umwelt-DNA aus Böden, die durch biologische und physikalische Abbauprozesse entsteht (Pietramellara et al., 2009). In einigen Fällen deuteten niedrige Absorptionsquotienten zudem auf mögliche Verunreinigungen hin.

Bei Proben, die schlechte Ergebnisse bei den Qualitätsprüfungen erreichten, wurde die Extraktion der DNA wiederholt. Bei zufriedenstellender Quantität und Qualität der DNA wurden die Proben aufbereitet und durch einen Dienstleister die spezifischen Bereiche der bakteriellen 16S-rRNA-Gene (V3–V4) sowie der pilzlichen ITS 1b-Region per PCR amplifiziert und sequenziert. Die resultierenden Sequenzen wurden mit Referenzdatenbanken abgeglichen und taxonomisch, wo möglich bis auf die Spezies, zugeordnet.

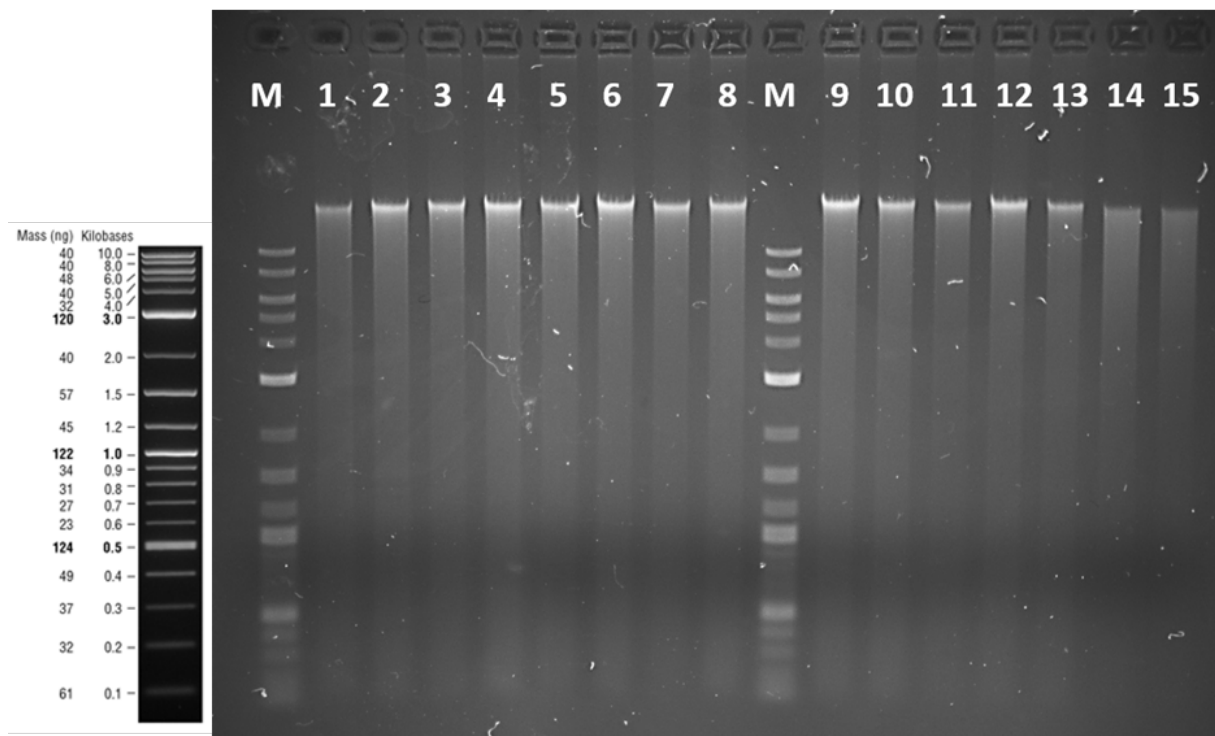


Abbildung 13: UV-belichtete Fotografie eines Agarosegels zur Qualitätsprüfung extrahierter mikrobieller DNA aus Bodenproben. Als Referenzmarker (M) wurde die 1kb Plus DNA Ladder der Firma New England Biolabs verwendet. Links von der Abbildung ist dargestellt, in welche DNA Fragmente sich der Marker auf trennt.

Abbildung 14 zeigt beispielhaft die grafische Darstellung der taxonomischen Zuordnungen der amplifizierten und sequenzierten ITS 1b Abschnitte der extrahierten DNA der Bodenproben aus Geisenheim aus dem Jahr 2022. Beprobte wurden vier Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) sowie unbewirtschaftete Felder als Referenzproben (T0) jeweils in Duplikaten. Mit Hilfe der ITS-Sequenzen konnten Rückschlüsse auf die Häufigkeiten der unterschiedlichen Pilzgattungen und -spezies gezogen werden. So erkennt man in Abbildung 14 bereits, dass die Gattung *Mortierella* (helles, kräftiges Grün) in allen Proben dominiert. Diese Dominanz zeichnet sich auch rechts auf der Spezies Ebene ab, da ein Großteil der *Mortierella*-Arten nicht eindeutig identifiziert werden konnten und dann als „*Mortierella sp.*“ zusammengefasst werden. Ein Teil der Arten konnte dennoch bestimmt werden. So stellt der lilafarbene und gelbe Bereich über dem roten *Mortierella* Balken die Spezies *M. exigua* und *M. gamsii* dar. Der zweithäufigste Pilz in diesen Proben ist die Gattung *Fusarium*, die im linken Bild in türkis bzw. rechts in lachsfarben dargestellt ist.

Anhand der grafischen Darstellungen lassen sich bereits auf den ersten Blick Tendenzen und Unterschiede zwischen den Proben erkennen, was dabei hilft, die zahlenmäßigen Daten gezielter auszuwerten.

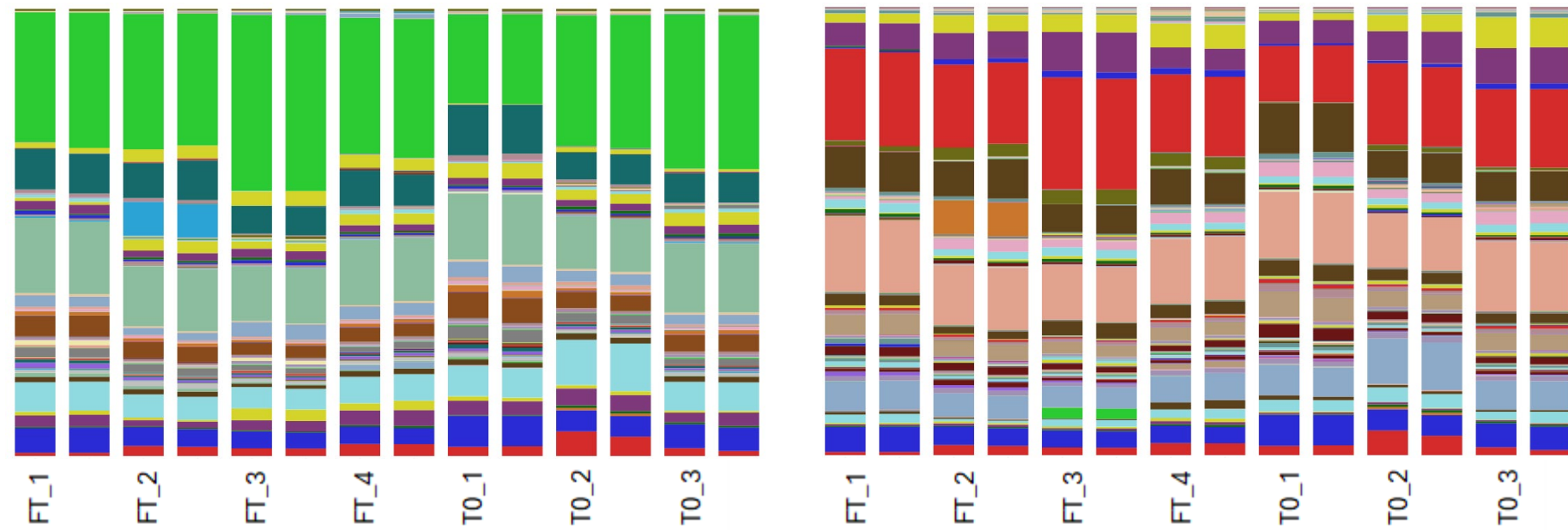


Abbildung 14: Grafische Darstellung der taxonomischen Zuordnungen der sequenzierten ITS 1 DNA von Bodenproben des Partners HGU aus dem Jahr 2022. Links dargestellt ist die taxonomische Verteilung der Pilzfraktionen auf Ebene der Gattungen, rechts auf Ebene der Spezies. In Doppelbestimmungen wurden die Proben der Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT_1 bis FT_4) sowie die drei Referenzfelder ohne Bewirtschaftung (T0_1 bis T0_3) analysiert.

Im Rahmen der Datenauswertung wurden sowohl bakterielle als auch pilzliche Gattungen und Arten erfasst, die entweder einen besonders hohen Anteil am Gesamtkonsortium ausmachten, deren Auftreten sich nur auf einen Teil der Proben beschränkt oder die in der Literatur als funktionell relevant für die Gesundheit von Pflanzen und Böden gelten. Die Auswahl der untersuchten Mikroorganismen umfasste gezielt sowohl **förderliche** als auch **potenziell schädliche Gruppen**, um ein differenziertes Bild der biologischen Bodenqualität zu erhalten.

Zu den **positiv bewerteten Bakterien** zählten Gattungen wie *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* und *Frankia*, die für ihre Fähigkeit zur biologischen Stickstofffixierung bekannt sind und vor allem in Assoziation mit Leguminosen wie Klee auftreten. Ihr regelmäßiges Vorkommen deutet auf eine aktive, fruchtbare Rhizosphäre mit guter Symbiosefähigkeit hin (Masson-Boivin et al., 2009; Rosenblueth & Martínez-Romero, 2006). Weitere wichtige Vertreter waren *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Paenibacillus*, *Lysobacter* und *Burkholderia cepacia*, die teilweise antagonistisch gegenüber phytopathogenen Keimen wirken, das Pflanzenwachstum fördern oder durch Enzymproduktion zur Nährstoffmobilisierung beitragen (Compant et al., 2005).

Demgegenüber wurden auch **negativ bewertete bakterielle Pathogene** wie *Ralstonia solanacearum*, *Agrobacterium tumefaciens*, *Pectobacterium* spp. und *Xanthomonas* spp. gezielt erfasst. Diese Erreger können in empfindlichen Kulturarten erhebliche Schäden verursachen, etwa durch Gefäßverstopfung, Wurzelnekrosen oder Wuchsdepressionen (Mansfield et al., 2012). Ihre Präsenz im Boden – auch in geringen Anteilen – stellt einen wichtigen Frühindikator für potenzielle phytosanitäre Risiken dar.

Im Bereich der **Pilze** wurden ebenfalls gezielt funktionelle Gruppen unterschieden. Als **positiv wirkend** gelten *Trichoderma*, *Mortierella*, *Chaetomium*, *Clonostachys rosea* sowie *Glomus* als Vertreter der arbuskulären Mykorrhiza. Diese Pilze fördern die Zersetzung organischer Substanz, verbessern die Bodenstruktur, unterstützen die Nährstoffaufnahme der Pflanzen oder wirken antagonistisch gegenüber Pathogenen (Frac et al., 2018; Harman et al., 2004; Smith & Read, 2008; Zhang & Yang, 2007).

Die **negativ bewerteten Pilzgattungen** *Fusarium* und *Aspergillus* umfassen zahlreiche Arten mit phytopathogener oder toxinbildender Wirkung. Ihr Auftreten im Boden ist besonders in Dauerkulturen wie Erdbeeren von Bedeutung, da sie unter bestimmten Umweltbedingungen zu Frucht- oder Wurzelfäulen führen können (Coleman, 2016; Henry et al., 2017; Zakaria, 2024).

Die Erfassung und der Vergleich dieser Mikroorganismen über mehrere Jahre liefert wertvolle Hinweise auf Trends in der mikrobiellen Bodenfunktionalität. Schwankungen im Anteil förderlicher oder schädlicher Gattungen können Rückschlüsse auf die Wirkung von Anbaumaßnahmen wie Mulchaufgaben, Begrünung oder Fruchtwechsel zulassen. Gleichzeitig ermöglichen sie, die Auswirkungen von Witterungsextremen auf das mikrobielle Gleichgewicht zu analysieren. Ein regelmäßiges Monitoring dieser Gattungen ist daher besonders sinnvoll, um Veränderungen im Boden frühzeitig zu erkennen, Risiken zu minimieren und Empfehlungen für nachhaltige Bewirtschaftungsstrategien im ökologischen Beerenanbau abzuleiten.

Pilzkonsortium

Bei den **Pilzen** zeigte sich, dass *Mortierella* in allen Anbausystemen einen wesentlichen Anteil der Pilzgemeinschaft stellte. In den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) lag der Anteil in den Jahren 2022 und 2023 jeweils bei 32%, während er im niederschlagsreichen Jahr 2024 auf

56% anstieg. Auf den Kontrollflächen ohne Begleitpflanzungen (C) wurden Anteile von 28% im Jahr 2022, 30% im Jahr 2023 und 35% im Jahr 2024 gemessen. Besonders hohe Werte wurden im Erdbeerfeld mit Strohmulch (T1) registriert, wo *Mortierella* im trockenen Jahr 2023 durchschnittlich 76% ausmachte, sich jedoch 2024 auf 38% verringerte. Im Vergleich dazu wies das Erdbeerfeld mit Mikrokleebewuchs (T2) Anteile von 34% im Jahr 2023 und 50% im Jahr 2024 auf.

Die Gattung *Fusarium* war in den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) im Jahr 2022 mit 14% vertreten, sank 2023 auf 7% und erreichte 2024 noch 3,5%. In den Kontrollflächen (C) blieb der *Fusarium*-Anteil in den beiden ersten Jahren konstant bei 14% und nahm 2024 auf 5% ab. In den Strohmulchflächen (T1) waren *Fusarium* über beide Jahre mit stabilen Werten von 3,3% vertreten, während im Mikroklee-System (T2) 2023 ein Anteil von 6,1% und 2024 ein Wert von 4,7% festgestellt wurden.

Die Gattung *Aspergillus* trat in allen Varianten nur in geringen Anteilen auf. In den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) wurde in den Jahren 2022 und 2023 jeweils ein Anteil von 0,1% nachgewiesen, während 2024 kein relevanter Nachweis erfolgte. Die Kontrollflächen (C) wiesen in den ersten beiden Jahren ebenfalls 0,1% *Aspergillus* auf, im Jahr 2024 stieg der Anteil leicht auf 0,5%. Im Erdbeerfeld mit Strohmulch (T1) wurden 2023 Anteile von 0,07% und 2024 von 0,12% festgestellt. Das Mikroklee-System (T2) zeigte 2023 keinen Nachweis, 2024 einen Anteil von 0,2%.

Die Gattung *Chaetomium* war in den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) 2022 und 2023 mit jeweils 1,9% vertreten und nahm 2024 auf 0,2% ab. Die Kontrollflächen (C) zeigten 2022 mit 2,8% den höchsten Wert, 2023 2,1% und 2024 1,1%. In den Strohmulchflächen (T1) wurden 2023 Anteile von 0,7% und 2024 von 1,2% gemessen. Das Mikroklee-System (T2) wies 2023 einen Anteil von 2% und 2024 von 1,2% auf.

Bakterienkonsortium

Bei den **bakteriellen Gattungen** war *Lysobacter* in allen Varianten regelmäßig vertreten. In den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) betrug der Anteil 2,1% im Jahr 2022, 1,7% im Jahr 2023 und 0,9% im Jahr 2024. In den Kontrollflächen (C) wurde *Lysobacter* 2022 mit 2,6%, 2023 mit 2,1% und 2024 mit 0,6% nachgewiesen. Im Strohmulch-System (T1) lagen die Anteile bei 2,1% im Jahr 2023 und 0,8% im Jahr 2024. Das Mikroklee-System (T2) wies Werte von 1,8% 2023 und 1,0% 2024 auf.

Pseudomonas war in den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) im Jahr 2022 mit 1% vertreten, stieg 2023 leicht auf 1,2% und nahm 2024 auf 0,5% ab. In den Kontrollflächen (C) wurden Anteile von 1,1% im Jahr 2022, 0,9% im Jahr 2023 und 0,2% im Jahr 2024 festgestellt. Die Strohmulchflächen (T1) zeigten 2023 einen Anteil von 1,7% und 2024 von 1,1%. Das Mikroklee-System (T2) wies 2023 0,5% und 2024 1,0% *Pseudomonas* auf.

Die Gattung *Chitinophaga* wurde in den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) 2022 mit 0,3% nachgewiesen, 2023 mit 1,3%, während 2024 kein Nachweis erfolgte. Die Kontrollflächen (C) zeigten 2022 ebenfalls 0,3%, 2023 0,7% und 2024 keinen Nachweis. Im Strohmulch-System (T1) wurden 2023 1,0% und 2024 0% festgestellt. Im Mikroklee-System (T2) lag der Anteil 2023 bei 1,3% und 2024 ebenfalls bei 0%.

Die Gattung *Bradyrhizobium* trat in allen Varianten nur in geringen Anteilen auf. In den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) wurden 2022 1,1%, 2023 0,1% und 2024 0,2% gemessen. Die Kontrollflächen (C) wiesen 2022 einen Anteil von 1,0% auf, 2023 lag der Wert unterhalb der

Nachweisgrenze, während 2024 0,1% festgestellt wurden. Im Strohmulch-System (T1) betrug die Anteile 0,3% im Jahr 2023 und 0,1% im Jahr 2024. Das Mikroklee-System (T2) zeigte 2023 0,2% und 2024 0,1%.

Die Analysen der bakteriellen Gemeinschaften umfassten auch die Gattungen **Sphingomonas** und **Gemmatimonas**, die in den ersten beiden Untersuchungsjahren jeweils einen vergleichsweise hohen Anteil am bakteriellen Konsortium aufwiesen. Bei *Sphingomonas* wurde in den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) im Jahr 2022 ein Anteil von 21,63% festgestellt, der 2023 bei 19,75% lag und im Jahr 2024 auf 3,64% zurückging. In den Kontrollflächen (C) erreichten die Anteile im Jahr 2022 24,43%, 2023 24,73% und sanken 2024 auf 2,81%. Im Erdbeerefeld mit Strohmulch (T1) wurden für *Sphingomonas* Anteile von 20,23% im Jahr 2023 und 2,28% im Jahr 2024 gemessen. Das Erdbeerefeld mit Mikrokleebewuchs (T2) wies 2023 einen Anteil von 17,67% und 2024 einen Anteil von 3,08% auf.

Die Gattung *Gemmatimonas* zeigte in den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) einen Anteil von 10,34% im Jahr 2022, der 2023 auf 11,2% stieg und 2024 auf 0,58% zurückging. In den Kontrollflächen (C) lag der Anteil im Jahr 2022 bei 8,4%, 2023 bei 9,1% und 2024 bei 0,4%. Im Strohmulch-System (T1) wurden 2023 9,6% und 2024 0,44% ermittelt. Im Mikroklee-System (T2) wies *Gemmatimonas* 2023 den höchsten Wert mit 13,0% auf, der 2024 auf 0,43% abnahm.

Die wichtigsten der erhobenen Daten der Bodenproben aus Deutschland sind in den Tabellen Tabelle 3 und Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 3: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Pilzgattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems (C = Kontrollfläche, FT = Blüh- und Fangpflanzenstreifen, T1 = Strohmulch, T2 = Bodendecker Mikroklee) und des Anbaujahres in den Bodenproben der Versuchsfelder der Hochschule Geisenheim.

Gattung	System	2022	2023	2024
<i>Mortierella</i>	FT	32 %	32 %	56 %
	C	28 %	30 %	35 %
	T1	–	76 %	38 %
	T2	–	34 %	50 %
<i>Fusarium</i>	FT	14 %	7 %	3,5 %
	C	14 %	14 %	5 %
	T1	–	3,3 %	3,3 %
	T2	–	6,1 %	4,7 %
<i>Aspergillus</i>	FT	0,1 %	0,1 %	0 %
	C	0,1 %	0,1 %	0,5 %
	T1	–	0,07 %	0,12 %
	T2	–	0 %	0,2 %
<i>Chaetomium</i>	FT	1,9 %	1,9 %	0,2 %
	C	2,8 %	2,1 %	1,1 %
	T1	–	0,7 %	1,2 %
	T2	–	2 %	1,2 %

Tabelle 4: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Bakteriengattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems (C = Kontrollfläche, FT = Blüh- und Fangpflanzenstreifen, T1 = Strohmulch, T2 = Bodendecker Mikroklee) und des Anbaujahres in den Bodenproben der Versuchsfelder der Hochschule Geisenheim University.

Gattung	System	2022	2023	2024
<i>Lysobacter</i>	FT	2,1 %	1,7 %	0,9 %
	C	2,6 %	2,1 %	0,6 %
	T1	–	2,1 %	0,8 %
	T2	–	1,8 %	1,0 %
<i>Pseudomonas</i>	FT	1,0 %	1,2 %	0,5 %
	C	1,1 %	0,9 %	0,2 %
	T1	–	1,7 %	1,1 %
	T2	–	0,5 %	1,0 %
<i>Chitinophaga</i>	FT	0,3 %	1,3 %	0 %
	C	0,3 %	0,7 %	0 %
	T1	–	1,0 %	0 %
	T2	–	1,3 %	0 %
<i>Bradyrhizobium</i>	FT	1,1 %	0,1 %	0,2 %
	C	1,0 %	0 %	0,1 %
	T1	–	0,3 %	0,1 %
	T2	–	0,2 %	0,1 %
<i>Sphingomonas</i>	FT	21,63 %	19,75 %	3,64 %
	C	24,43 %	24,73 %	2,81 %
	T1	–	20,23 %	2,28 %
	T2	–	17,67 %	3,08 %
<i>Gemmatimonas</i>	FT	10,34 %	11,2 %	0,58 %
	C	8,4 %	9,1 %	0,4 %
	T1	–	9,6 %	0,44 %
	T2	–	13,0 %	0,43 %

Daraufhin wurde im Juli 2023 im Rahmen von **AP2.2** gemeinsam mit den Partnern eine Strategie zur gezielten Anreicherung mikrobieller Antagonisten entwickelt und umgesetzt. Dafür wurde ein mikrobielles Inokulum aus *Klebsiella oxytoca* und *Pseudomonas fluorescens* auf kompostierbares Material aufgebracht. Dieses wurde mehrere Wochen feucht und belüftet gelagert, mit Huminsäure angereichert und anschließend in den Versuchsfeldern in Polen und Rumänien ausgebracht (Partner **InHort** und **USAMV**).

4.2.2 Analyse des mikrobiellen Bodenkonsortiums in einem kommerziellen Beerenobst-Betrieb in Rumänien

4.2.2.1 Versuche mit Blühstreifen und Bodendeckern an Himbeeren

Neben den Versuchen in Geisenheim, untersuchte das ILU auch Bodenproben des Partners **USAMV**, die zusammen mit dem Partner **Rodagria** der Forschungsfrage, inwiefern unterschiedliche Bewirtschaftungsmaßnahmen in Himbeer-Polytunneln die Zusammensetzung der bodenbürtigen mikrobiellen Gemeinschaften beeinflussen können, nachgingen. Der Versuchsansatz umfasste den Anbau von Himbeeren in Polytunneln, wobei einerseits die Etablierung von Bodendeckern zwischen den Pflanzreihen getestet wurde (Kontrollfläche ohne Begrünung, Weißklee [Sorte *Pirouette*], Mischung aus Süßgräsern),

andererseits Blühinseln unterschiedlicher Saadmischungen an den Tunnelseiten angelegt wurden (a) Borretsch, b) einjährige Mischung, c) mehrjährige Mischung).

Zur Erfassung der bodenmikrobiellen Vielfalt wurden über einen Zeitraum von April 2022 bis April 2024 an mehreren Zeitpunkten Bodenproben sowohl aus den Flächen zwischen den Himbeerreihen als auch von den Randbereichen der Polytunnel entnommen. Wie zuvor beschrieben, erfolgte nach Extraktion der DNA eine Sequenzierung und die taxonomische Zuordnung der nachgewiesenen Mikroben.

Pilzkonsortium

Bezüglich der Pilzfraktionen wies *Mortierella* in der unbehandelten Kontrolle zwischen den Himbeerreihen über den gesamten Zeitraum Anteile zwischen 1,43 % und 6,80 % auf, wobei der höchste Wert im Mai 2023 festgestellt wurde. *Chaetomium* war kontinuierlich nachweisbar und schwankte zwischen 1,35 % und 4,80 %. *Trichoderma* blieb insgesamt auf einem niedrigen Niveau zwischen 0,24 % und 1,70 %. *Glomus* trat nur einmalig im April 2022 mit 0,02 % auf, während *Clonostachys rosea* in geringen Anteilen von maximal 0,23 % vorkam. In der unbehandelten Kontrolle an den Tunnelrändern wurden insgesamt höhere Anteile von *Mortierella* festgestellt, insbesondere im Mai 2023 mit 47,90 % und im April 2024 mit 31,00 %. *Chaetomium* bewegte sich hier durchgehend in einem Bereich zwischen 0,19 % und 0,61 %. *Trichoderma* blieb mit Anteilen zwischen 0,10 % und 0,53 % auf niedrigem Niveau. *Glomus* trat lediglich im Mai 2023 mit 0,30 % auf. Bei *Clonostachys rosea* wurden Anteile von bis zu 6,02 % im April 2024 festgestellt.

In der Variante mit Weißklee lagen die Anteile von *Mortierella* zwischen 0,12 % und 10,70 %, mit dem Maximum im Mai 2023. *Chaetomium* war in allen Proben vorhanden und zeigte Werte von 1,60 % bis 3,55 %. *Trichoderma* blieb hier durchgehend unter 0,70 %. *Glomus* wurde in keiner Probe nachgewiesen, *Clonostachys rosea* trat nur in sehr geringen Anteilen von maximal 0,04 % auf. In den mit Süßgräsern bestellten Parzellen lag *Mortierella* in einem Bereich zwischen 0,68 % und 4,81 %. *Chaetomium* war gleichmäßig vertreten und erreichte Anteile von 1,31 % bis 7,42 %, mit dem höchsten Wert im April 2024. *Trichoderma* war stets auf einem niedrigen Niveau zwischen 0,13 % und 0,30 % nachweisbar. *Glomus* wurde in keiner Probe gefunden, *Clonostachys rosea* trat nur vereinzelt mit sehr geringen Anteilen unter 0,1 % auf. In der Variante mit Borretsch lagen die Anteile von *Mortierella* zwischen 4,39 % und 21,60 %, wobei im Mai 2023 der höchste Wert gemessen wurde. *Chaetomium* schwankte hier zwischen 0,20 % und 1,03 %. *Trichoderma* bewegte sich im Bereich von 0,20 % bis 0,94 %. *Glomus* trat nur in Spuren mit maximal 0,04 % auf. *Clonostachys rosea* zeigte Anteile bis 1,11 %.

Die Variante mit einer Saadmischung einjähriger Pflanzen wies bei *Mortierella* Werte von 3,36 % bis 28,80 % auf. Die höchsten Anteile wurden hier ebenfalls im Mai 2023 ermittelt. *Chaetomium* zeigte vergleichsweise konstante Anteile zwischen 0,68 % und 1,36 %. *Trichoderma* lag in allen Proben unter 0,43 %. *Glomus* wurde nur vereinzelt gefunden, mit einem Maximalwert von 0,44 % im Oktober 2023. *Clonostachys rosea* erreichte in derselben Probe einen Wert von 1,27 %. In der Variante mit einer Saadmischung mehrjähriger Pflanzen lagen die Anteile von *Mortierella* zwischen 3,48 % und 40,30 %, wobei der Höchstwert im Mai 2023 festgestellt wurde. *Chaetomium* blieb durchgehend unter 1 %. *Trichoderma* wurde in allen Proben mit Anteilen von 0,19 % bis 0,35 % nachgewiesen. *Glomus* trat in mehreren Proben mit Werten bis 0,28 % auf, war aber im April 2024 nicht mehr nachweisbar. *Clonostachys rosea* zeigte in dieser Variante Anteile zwischen 0,05 % und 0,51 %.

Die Häufigkeit von *Fusarium* schwankte über alle Varianten und Zeitpunkte hinweg deutlich. In der unbehandelten Kontrollvariante zwischen den Himbeerreihen lag der Anteil von *Fusarium* zwischen 1,09 % im April 2024 und 3,21 % im Oktober 2022. In der unbehandelten Kontrollvariante an den Tunnelrändern traten zum Teil höhere Werte auf: So wurden 11,69 % im Oktober 2023 und 9,17 % im April 2022 erfasst. Die niedrigsten Werte dieser Variante lagen bei 0,50 % (Mai 2023). In der Weißkleevariante zeigte *Fusarium* über den gesamten Zeitraum eine durchgehend moderate Präsenz. Die Werte bewegten sich zwischen 2,10 % (Mai 2023) und 4,39 % (April 2024), ohne deutliche Spitzen. In der Variante mit Süßgräsern wurden wechselhafte *Fusarium*-Häufigkeiten festgestellt, mit einem Minimum von 1,40 % (Oktober 2023) und einem Maximum von 4,20 % (Mai 2023).

Deutlich höhere *Fusarium*-Werte wurden in den Borretsch-Böden beobachtet. Hier traten im Oktober 2022 und Oktober 2023 Anteile von 8,15 % bzw. 8,28 % auf. In den Frühjahrsproben hingegen lagen die Werte deutlich niedriger, etwa bei 0,40 % (Mai 2023) und 3,60 % (April 2024). Auch die Variante mit einjährigen Pflanzen wies zwei sehr hohe *Fusarium*-Werte auf: 11,49 % im Oktober 2022 und 12,44 % im Oktober 2023. Dazwischen lagen die Anteile im Frühjahr bei 0,50 % bzw. 4,14 %. In der Variante mit mehrjährigen Pflanzen zeigte sich eine andere Dynamik: *Fusarium* war über den gesamten Zeitraum mit vergleichsweise hohen Werten vertreten. Diese lagen zwischen 4,40 % (Oktober 2022) und 9,70 % (Mai 2023).

Die Analysen der Pilzfraktionen zeigen, dass potenziell nützliche Vertreter in allen Varianten nachweisbar waren, jedoch in ihrem relativen Anteil deutlich schwankten. So wurden Vertreter der Gattung *Mortierella* regelmäßig in hohem Umfang detektiert; insbesondere an den Tunnelrändern mit Blühinseln. Auch *Chaetomium*, bekannt für seine antagonistischen Eigenschaften gegenüber Schadpilzen, trat in allen Varianten auf. *Trichoderma* war durchgehend in geringen Mengen präsent, während arbuskuläre Mykorrhizapilze (*Glomus*) nur vereinzelt nachgewiesen wurden.

Bei den potenziell phytopathogenen Pilzen dominierte *Fusarium*, dessen relative Häufigkeit teils erhebliche Unterschiede zwischen den Bewirtschaftungsformen und Zeitpunkten aufwies. Im Boden der unbehandelten Kontrollfläche innerhalb der Reihen lag der Anteil bei 1–3 %, während an den Randbereichen der Tunnel sowie in den Varianten mit einjährigen Blühinseln im Herbst 2023 Werte bis zu 12,4 % beobachtet wurden. *Macrophomina phaseolina* und *Aspergillus* wurden hingegen nur in sehr geringen Anteilen (<1 %) identifiziert.

Eine zeitliche Tendenz zeigte sich darin, dass *Mortierella* im Frühjahr 2023 besonders stark vertreten war, wohingegen *Fusarium* teils in den Herbstproben höhere Anteile erreichte. Diese Ergebnisse legen nahe, dass sowohl saisonale Schwankungen als auch die Etablierung von Begrünungsmaßnahmen Einfluss auf die bodenmikrobielle Gemeinschaft nahmen.

Bakterienkonsortium

Auch in den rumänischen Bodenproben wurden die oben genannten Bakterienstämme untersucht und die Daten zusammengetragen. Die Verteilung der potenziell nützlichen Bakterien zeigt über die verschiedenen Bewirtschaftungsformen und Probenahmezeitpunkte deutliche Schwankungen. *Bradyrhizobium* war in allen Proben vertreten, mit vergleichsweise hohen Anteilen im unbehandelten Bereich zwischen den Himbeerreihen, wo im April 2022 0,29% gemessen wurden, und mit einem Maximum von 0,90% im Weißklee-Bereich im Mai 2023. *Pseudomonas* zeigte generell niedrige Anteile, erreichte aber in der unbehandelten Kontrolle an den Tunnelrändern im April 2024 mit 2,32% einen deutlich höheren Wert. *Streptomyces* war in allen Proben verbreitet und zeigte besonders hohe Anteile in Böden der

Flächen mit dem Weißklee, mit 2,40%, sowie in den Flächen mit den Süßgräsern, mit 4,80% im Mai 2023. *Lysobacter* wies in den Weißklee-Böden im Oktober 2022 mit 1,90% und im unbehandelten Bereich an den Tunnelrändern im April 2022 mit 0,66% verhältnismäßig hohe Werte auf.

Andere Gattungen wie *Bacillus* und *Frankia* traten eher mit niedrigen Anteilen auf, wobei *Bacillus* im unbehandelten Bereich zwischen den Himbeerpflanzstreifen im April 2024 mit 0,21% seinen höchsten Wert hatte. *Chitinophaga* zeigte im Mai 2023 bei der mehrjährigen Saatmischung mit 1,50% einen auffälligen Anstieg, während in anderen Proben die Werte meist unter 1% lagen. *Rhizobium* war überwiegend selten, erreichte aber im Feld mit dem Weißklee im Oktober 2022 0,10%.

Bei den potenziell schädlichen Bakterien fiel *Pectobacter* auf, das im Weißkleefeld im April 2024 mit 0,71% den höchsten Wert erzielte. Auch im Feld der Süßgräser lagen die Anteile mit 0,23% (Oktober 2022) und 0,23% (April 2024) vergleichsweise hoch. In den unbehandelten Bereichen (sowohl zwischen den Himbeerpflanzstreifen als auch an den Tunnelrändern) lagen die Anteile meist unter 0,1%. *Xanthomonas spp.* war in fast allen Proben vernachlässigbar oder nicht nachweisbar, mit Ausnahme von wenigen Zeitpunkten, wie zum Beispiel im Borretschbestand im Oktober 2023 oder bei den ausgesäten mehrjährigen Pflanzen im Oktober 2023 mit jeweils 0,05% Anteil an der Gesamtheit der Bakterien.

Insgesamt zeigen die Daten, dass potenziell nützliche Bakterien über alle Bewirtschaftungsformen hinweg präsent waren, jedoch mit deutlichen Schwankungen in der Häufigkeit, abhängig von Zeit und Behandlung. Potenziell schädliche Bakterien waren insgesamt weniger häufig vertreten, mit vereinzelt Höchstwerten vor allem für *Pectobacter* in bestimmten Behandlungen.

Die wichtigsten der erhobenen Daten sind in den Tabellen Tabelle 5 und Tabelle 6 zusammengefasst.

Tabelle 5: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Pilzgattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems und des Anbaujahres in den Bodenproben der rumänischen Himbeerversuchsflächen der Partner USAMV und Rodagria.

Variante	Zeitpunkt	<i>Trichoderma</i> (%)	<i>Glomus</i> (%)	<i>Mortierella</i> (%)	<i>Chaetomium</i> (%)	<i>Clonostachys rosea</i> (%)
Kontrolle (unbehandelt, zwischen Reihen)	April 2022	0,61	0,02	2,68	2,27	0,08
	Oktober 2022	1,07	0,00	2,76	1,35	0,23
	Mai 2023	1,70	0,00	6,80	4,80	0,00
	Oktober 2023	0,73	0,00	2,55	3,32	0,12
	April 2024	0,24	0,00	1,43	3,13	0,06
Kontrolle (unbehandelt, Tunnelrand)	April 2022	0,53	0,00	11,40	0,22	0,06
	Mai 2023	0,10	0,30	47,90	0,20	0,00
	Oktober 2023	0,22	0,00	4,11	0,61	1,05
	April 2024	0,11	0,00	31,00	0,19	6,02
Weißklee	Oktober 2022	0,30	0,00	8,34	2,36	0,04
	Mai 2023	0,70	0,00	10,70	1,60	0,00
	Oktober 2023	0,32	0,00	2,63	2,78	0,03
	April 2024	0,01	0,00	0,12	3,55	0,00
Süßgräser	Oktober 2022	0,22	0,00	4,81	3,31	0,09
	Mai 2023	0,30	0,00	1,30	4,10	0,00
	Oktober 2023	0,13	0,00	0,81	1,31	0,03
	April 2024	0,19	0,00	0,68	7,42	0,02
Borretsch	Oktober 2022	0,20	0,02	4,39	0,83	0,09
	Mai 2023	0,30	0,00	21,60	0,20	0,00
	Oktober 2023	0,75	0,00	6,61	0,44	1,11
	April 2024	0,94	0,04	6,27	1,03	0,20
Einjährige Pflanzen	Oktober 2022	0,41	0,00	5,01	0,68	0,14
	Mai 2023	0,20	0,10	28,80	0,70	0,00
	Oktober 2023	0,43	0,44	3,36	1,20	1,27
	April 2024	0,43	0,00	7,70	1,36	0,34
Mehrjährige Pflanzen	Oktober 2022	0,35	0,28	10,05	0,23	0,05
	Mai 2023	0,20	0,20	40,30	0,40	0,00
	Oktober 2023	0,20	0,15	3,48	0,56	0,51
	April 2024	0,19	0,00	10,97	0,64	0,23

Tabelle 6: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Bakteriengattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems und des Anbaujahres in den Bodenproben der rumänischen Himbeerversuchsflächen der Partner USAMV und Rodagria.

Variante	Probenahme	<i>Bradyrhizobium</i> (%)	<i>Bacillus</i> (%)	<i>Pseudomonas</i> (%)	<i>Streptomyces</i> (%)	<i>Chitinophaga</i> (%)	<i>Lyso-bacter</i> (%)	<i>Frankia</i> (%)	<i>Paenibacillus</i> (%)	<i>Pectobacter</i> (%)	<i>Xanthomonas</i> spp.(%)
Kontrolle (unbehandelt, zwischen Reihen)	April 2022	0,29	0,16	0,07	0,79	0,04	0,22	0,27	0,00	0,02	0,00
	Oktober 2022	0,51	0,09	0,05	0,76	0,04	0,31	0,28	0,03	0,04	0,00
	Mai 2023	0,40	0,00	0,10	2,40	0,90	0,20	0,00	0,10	0,00	0,00
	Oktober 2023	0,47	0,08	0,05	1,58	0,00	0,29	0,29	0,02	0,00	0,00
	April 2024	0,41	0,21	0,18	2,15	0,00	0,62	0,36	0,01	0,06	0,00
Kontrolle (unbehandelt, Tunnelrand)	April 2022	0,37	0,04	0,05	0,00	0,00	0,66	0,00	0,02	0,21	0,00
	Mai 2023	0,50	0,00	0,30	1,80	1,60	1,70	0,00	0,10	0,00	0,00
	Oktober 2023	0,24	0,04	0,17	0,42	0,00	0,08	0,00	0,02	0,02	0,00
	April 2024	0,40	0,05	2,32	0,34	0,00	0,15	0,08	0,08	0,00	0,00
Weißklee	Oktober 2022	0,31	0,04	0,04	0,68	0,01	1,90	0,15	0,02	0,08	0,00
	Mai 2023	0,90	0,10	0,20	2,30	0,80	0,80	0,50	0,10	0,00	0,00
	Oktober 2023	0,49	0,05	0,38	2,45	0,03	1,71	0,50	0,01	0,10	0,04
	April 2024	0,13	0,69	1,19	2,20	0,00	1,61	0,56	0,00	0,71	0,02
Süßgräser	Oktober 2022	0,40	0,02	0,05	0,49	0,03	3,01	0,31	0,06	0,23	0,00
	Mai 2023	0,80	0,00	0,10	4,80	0,40	0,30	0,50	0,20	0,00	0,00
	Oktober 2023	0,66	0,09	0,04	3,29	0,00	0,31	0,69	0,06	0,05	0,00
	April 2024	0,28	0,14	0,47	3,40	0,11	1,70	1,17	0,02	0,23	0,00
Borretsch	Oktober 2022	0,26	0,01	0,10	0,17	0,00	0,38	0,23	0,00	0,12	0,00
	Mai 2023	0,70	0,00	0,50	1,70	1,10	1,60	0,00	0,00	0,00	0,00
	Oktober 2023	0,31	0,07	0,21	0,46	0,00	0,28	0,00	0,01	0,00	0,05
	April 2024	0,24	0,09	0,28	0,35	0,00	0,21	0,22	0,00	0,02	0,00
Einjährige Pflanzen	Oktober 2022	0,40	0,03	0,20	0,29	0,00	0,16	0,22	0,01	0,10	0,00
	Mai 2023	1,00	0,00	0,50	2,00	0,80	1,30	0,00	0,10	0,00	0,00
	Oktober 2023	0,25	0,18	0,77	0,49	0,00	0,10	0,32	0,02	0,02	0,00
	April 2024	0,25	0,11	0,28	0,21	0,27	0,14	0,42	0,02	0,10	0,00
Mehrjährige Pflanzen	Oktober 2022	0,35	0,00	0,15	0,21	0,00	0,30	0,23	0,00	0,03	0,03
	Mai 2023	1,00	0,00	0,90	1,20	1,50	5,20	0,00	0,10	0,00	0,00
	Oktober 2023	0,39	0,08	0,32	0,65	0,00	0,15	0,45	0,06	0,07	0,05
	April 2024	0,50	0,14	0,64	0,29	0,01	0,44	0,22	0,02	0,19	0,00

4.2.2.2 Versuche der mikrobiellen Anreicherung an Erdbeeren

In einem weiteren Versuch wurde auf Erdbeerefeldern der Partner **USAMV** und **Rodagria** ein selbstproduzierter Kompost aus Pflanzenresten (wie bspw. das Schnittgut der Blühstreifen und Bodendecker) eingesetzt, welcher teilweise auch noch durch ein Inokulum aus Bakterien der Spezies *Pseudomonas fluorescens* und *Klebsiella oxytoca* (kultiviert und zur Verfügung gestellt durch den Partner **InHort**) angereichert wurde. Ziel war es, die Bodenqualitäten der Erdbeerefelder zu verbessern und damit auch die mikrobielle Aktivität. Während Daten der Partner bestätigen, dass bspw. der Stickstoff- und Kohlenstoffgehalt der Böden anstieg, und sich der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit verbesserten, wenn der Kompost bzw. der angereicherte Kompost eingesetzt wurde, konnten *Klebsiellen* in keiner der Bodenproben nachgewiesen werden und die Gattung *Pseudomonas* war in allen Proben stärker vertreten als in den Böden, die mit angereichertem Kompost behandelt wurden. Dennoch zeigte der Einsatz des Komposts auf dem Erdbeerefeld überdurchschnittliche hohe Anteile an *Streptomyces* (0,98%), *Lysobacter* (1,26%) und *Frankia* (0,19%) Gattungen in den Böden der Erdbeerepflanzen im April 2024, während die Bodenprobe des Erdbeerefelds, welches mit angereichertem Kompost ergänzt wurde, im September 2023 vermehrt *Bacillus* Bakterien (0,89%) aufwies. Auch zu beachten ist der höchste Anteil an *Fusarium* in der Probe der mit Kompost behandelten Erdbeereböden im April 2024 (8,75%). Interessanterweise waren die höchsten Anteile an *Trichoderma* (0,21%), *Mortierella* (20,7%) und *Chaetonium* (2,67%) in der Bodenprobe der unbehandelten Erdbeerefelder aus dem Jahr 2024 zu verzeichnen. Die genommenen Proben des Komposts, die als Referenz dienen sollten, wiesen in den meisten Fällen unterdurchschnittliche Anteile der beobachteten Bakterien- und Pilzgattungen auf (vgl. Tabelle 7 und Tabelle 8). Dass die Kompostproben generell ein abweichendes Mikrobiom aufwiesen, zeigen auch die taxonomischen Heatmaps in den Abbildung 15 und Abbildung 16. Die beiden Heatmaps zeigen die Abundanzen der Bakterien und Pilze auf Ebene der Klassen. Häufigkeiten in Proben, die stark erhöht sind gegenüber dem Durchschnitt aller getesteter Proben, werden durch eine orange bis rote Farbe markiert, während geringere Häufigkeiten durch blaue Töne angezeigt werden. Darüber hinaus werden die Proben nach Ähnlichkeiten gruppiert, d.h. Proben, die ähnliche Zusammensetzungen haben, stehen in der Heatmap näher beieinander. Deutlich erkennbar in Abbildung 15 sind die gehäuften rot gefärbten Kacheln am linken Rand der Heatmap der Proben mit den Kürzeln RU11, RU18 und RU36. Dahinter verbergen sich die Daten der Kompostproben aus dem April 2024, dem Juli 2023 und dem September 2023 (s. Tabelle 9). Diese unterscheiden sich in ihrer Zusammensetzung des Bakterienkonsortiums. Die Probe aus dem April 2024 zeigte u.a. stark vermehrte Vertreter der Bakterienklassen *Cloacimonadia*, *Methanobacteria*, *Nitrososphaeria*, *Halobacteria*, *Brevinematia* und *Desulfovibrionia* sowie der Pilzklassen *Rozellomycotina*, *Rhizophydiomycetes* und *Aphelidiomycetes*. Der beprobte Kompost aus dem Juli 2023 wies dagegen gehäuft Vertreter der Bakterienklassen *Anaerolineae*, *Clostridia*, *Dehalococcoidia*, *Desulfobacterota*, *Limnochordia*, *Deinococci* und *Symbiobacteriia* auf sowie der Pilzklassen *Saccharomycetes*, *Geoglossomycetes*, *Pezizomycotina* und *Endogonomycetes*.

Tabelle 7: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Bakteriengattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems und des Anbaujahres in den Bodenproben der rumänischen Erdbeerversuchsflächen sowie in den Kompostproben der Partner USAMV und Rodagria.

Gattung bzw. Stamm	Unbehandeltes Erdbeerfeld		Kompost auf Erdbeerfeld		Angereicherter Kompost auf Erdbeerfeld	Kompost			Angereicherter Kompost
	09/2023	04/2024	09/2023	04/2024	09/2023	07/2023	09/2023	04/2024	09/2023
<i>Rhizobium</i>	0,08%	0,05%	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%
<i>Bradyrhizobium</i>	0,28%	0,35%	0,26%	0,13%	0,11%	0,00%	0,00%	0,11%	0,18%
<i>Azospirillum, Azotobacter</i>	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%
<i>Bacillus</i>	0,00%	0,07%	0,07%	0,44%	0,89%	0,02%	0,06%	0,00%	0,05%
<i>Pseudomonas</i>	0,17%	0,14%	0,24%	0,12%	0,07%	0,47%	0,69%	0,61%	0,22%
<i>Streptomyces</i>	0,31%	0,17%	0,00%	0,98%	0,29%	0,40%	0,33%	0,02%	0,02%
<i>Chitinophaga</i>	0,01%	0,15%	0,01%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Cellulomonas</i>	0,11%	0,00%	0,05%	0,04%	0,03%	0,08%	0,09%	0,12%	0,00%
<i>Lysobacter</i>	0,48%	0,33%	0,66%	1,26%	0,09%	0,01%	0,05%	0,17%	0,73%
<i>Frankia</i>	0,16%	0,00%	0,04%	0,19%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Paenibacillus</i>	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%	0,02%
<i>Burkholderia cepacia</i>	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Tabelle 8: Prozentuale Häufigkeiten verschiedener Pilzgattungen in Abhängigkeit des Bewirtschaftungssystems und des Anbaujahres in den Bodenproben der rumänischen Erdbeerversuchsflächen sowie in den Kompostproben der Partner USAMV und Rodagria.

Gattung bzw. Stamm	Unbehandeltes Erdbeerfeld		Kompost auf Erdbeerfeld		Angereicherter Kompost auf Erdbeerfeld	Kompost			Angereicherter Kompost
	09/2023	04/2024	09/2023	04/2024	09/2023	07/2023	09/2023	04/2024	09/2023
<i>Trichoderma</i>	0,05%	0,21%	0,03%	0,17%	0,02%	0,02%	0,01%	0,08%	0,03%
<i>Glomus</i>	0,00%	0,05%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<i>Mortierella</i>	8,49%	20,69%	10,47%	3,50%	3,26%	0,41%	1,43%	11,16%	20,54%
<i>Chaetomium</i>	1,24%	2,67%	0,75%	0,34%	0,98%	0,00%	0,00%	1,38%	1,42%
<i>Clonostachys rosea</i>	0,02%	0,03%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,14%	0,00%
<i>Fusarium</i>	6,49%	1,66%	2,16%	8,75%	5,33%	0,86%	0,52%	3,71%	2,51%

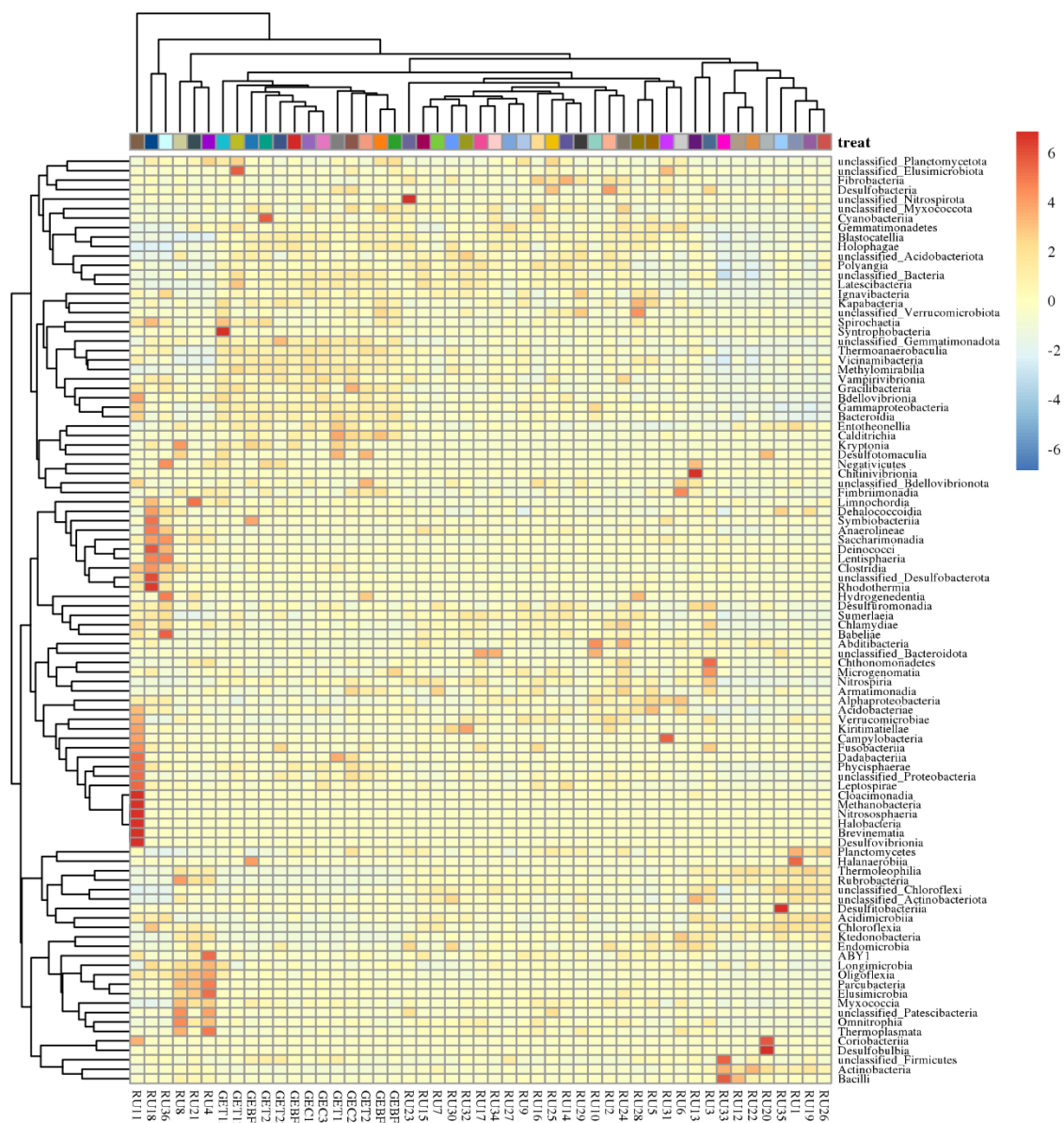


Abbildung 15: Taxonomische Heatmap der Bakterien einiger Bodenproben der Partner HGU sowie USAMV/Rodagria auf Ebene der Klassen.

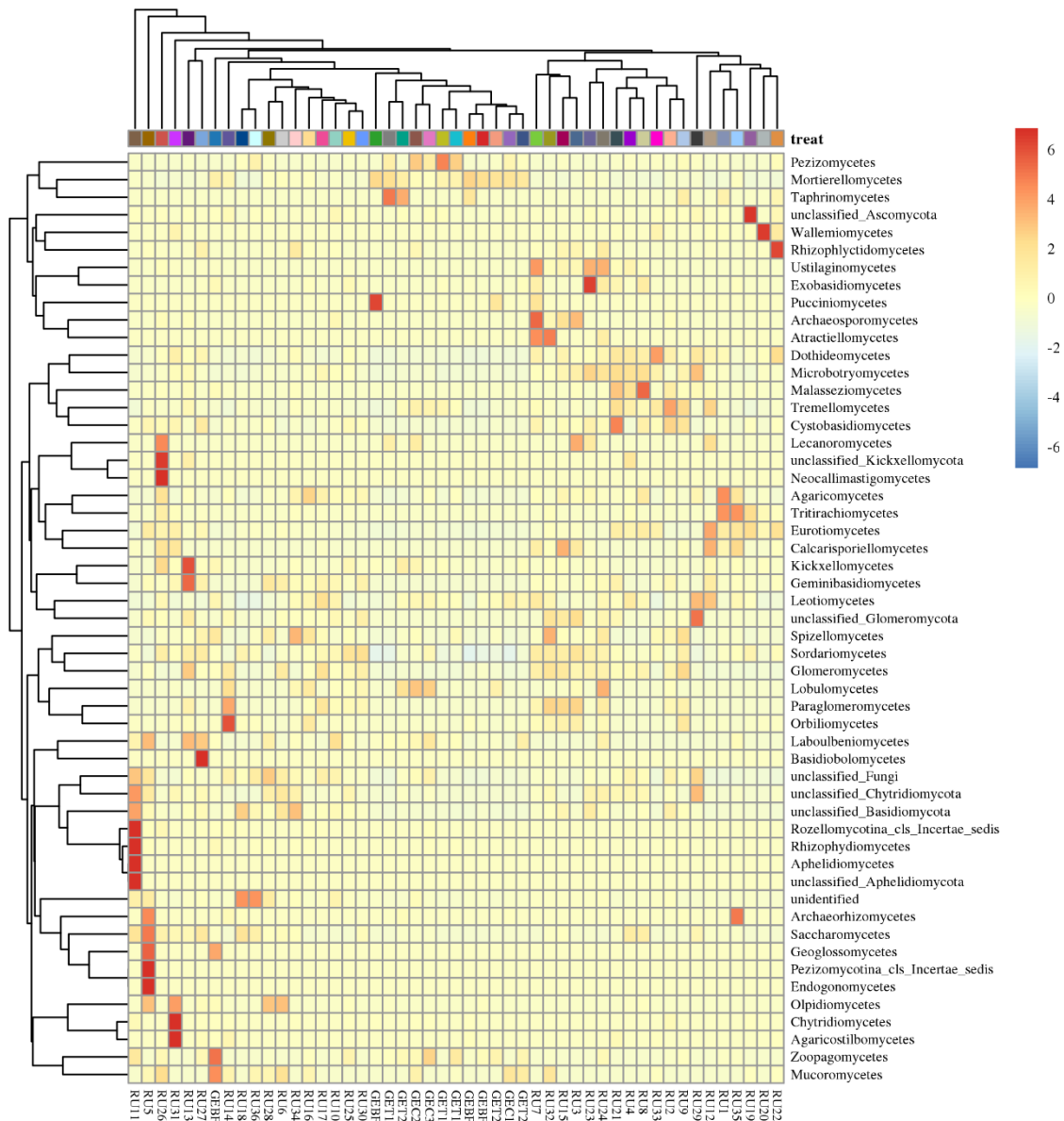


Abbildung 16: Taxonomische Heatmap der Pilze einiger Bodenproben der Partner HGU sowie USAMV/Rodagria auf Ebene der Klassen.

Tabelle 9: Probenübersicht der mikrobiellen Heatmap-Analysen (Abbildungen 15 und 16).

Sequenzier - kürzel	Herkunft	Flächenbehandlung	Termin Beprobung
GEC1	Geisenheim	Kontrollfläche (C)	06/ 2024
GEC2	Geisenheim	Kontrollfläche (C)	06/ 2024
GEC3	Geisenheim	Kontrollfläche (C)	06/ 2024
GEBF1	Geisenheim	Blüh- und Fangstreifen (FT)	06/ 2024
GEBF2	Geisenheim	Blüh- und Fangstreifen (FT)	06/ 2024
GEBF3	Geisenheim	Blüh- und Fangstreifen (FT)	06/ 2024
GEBF4	Geisenheim	Blüh- und Fangstreifen (FT)	06/ 2024
GET11	Geisenheim	Strohmulchung (T1)	06/ 2024
GET12	Geisenheim	Strohmulchung (T1)	06/ 2024
GET13	Geisenheim	Strohmulchung (T1)	06/ 2024
GET21	Geisenheim	Mikroklee (T2)	06/ 2024
GET22	Geisenheim	Mikroklee (T2)	06/ 2024
GET23	Geisenheim	Mikroklee (T2)	06/ 2024
RU1	Rumänien	Kontrollfläche zwischen den Himbeerstreifen	10/ 2023
RU2	Rumänien	Borretschfläche am Tunnelrand der Erdbeerstreifen	04/ 2024
RU3	Rumänien	Einjährige Pflanzen am Tunnelrand der Himbeerstreifen	10/ 2023
RU4	Rumänien	Kontrollfläche zwischen den Erdbeerstreifen	09/ 2023
RU5	Rumänien	Kompostboden unter Erdbeerstreifen	09/ 2023
RU6	Rumänien	Kontrollfläche zwischen den Erdbeerstreifen	04/ 2024
RU7	Rumänien	Mehrjährige Pflanzen am Tunnelrand der Himbeerstreifen	10/ 2023
RU8	Rumänien	Angeimpfter Kompostboden unter Erdbeerstreifen	09/ 2023
RU9	Rumänien	Weißklee neben Erdbeerstreifen	04/ 2024
RU10	Rumänien	Mehrjährige Pflanzen am Tunnelrand der Himbeerstreifen	04/ 2024
RU11	Rumänien	Kompost	04/ 2024
RU12	Rumänien	Kontrollfläche zwischen den Himbeerstreifen	04/ 2024
RU13	Rumänien	Weißklee neben Erdbeerstreifen	10/ 2023
RU14	Rumänien	Kontrollfläche am Tunnelrand der Himbeerstreifen	04/ 2024
RU15	Rumänien	Kontrollfläche am Tunnelrand der Himbeerstreifen	10/ 2023
RU16	Rumänien	Einjährige Pflanzen am Tunnelrand der Himbeerstreifen	04/ 2024
RU17	Rumänien	Borretschfläche am Tunnelrand der Himbeerstreifen	04/ 2024
RU18	Rumänien	Kompost	07/ 2023
RU19	Rumänien	Süßgräserfläche zwischen den Himbeerstreifen	10/ 2023
RU20	Rumänien	Mikroklee zwischen den Himbeerstreifen	10/ 2023
RU21	Rumänien	Kompostboden unter Erdbeerstreifen	09/ 2023
RU22	Rumänien	Süßgräserfläche zwischen den Himbeerstreifen	04/ 2024
RU23	Rumänien	Mehrjährige Pflanzen am Tunnelrand der Himbeerstreifen	10/ 2022
RU24	Rumänien	Einjährige Pflanzen am Tunnelrand der Himbeerstreifen	10/ 2022
RU25	Rumänien	Borretschfläche am Tunnelrand der Himbeerstreifen	10/ 2022
RU26	Rumänien	Kontrollfläche am Tunnelrand der Himbeerstreifen	10/ 2022
RU27	Rumänien	Mikroklee zwischen den Himbeerstreifen	10/ 2022
RU28	Rumänien	Angereicherter Kompost	09/ 2023
RU29	Rumänien	Kontrollfläche am Tunnelrand der Erdbeerstreifen	10/ 2023
RU30	Rumänien	Borretschfläche am Tunnelrand der Erdbeerstreifen	10/ 2023
RU31	Rumänien	Süßgräserfläche zwischen den Himbeerstreifen	10/ 2022
RU32	Rumänien	Borretschfläche am Tunnelrand der Himbeerstreifen	10/ 2023
RU33	Rumänien	Mikroklee zwischen den Himbeerstreifen	04/ 2024
RU34	Rumänien	Kontrollfläche am Tunnelrand der Himbeerstreifen	04/ 2022
RU35	Rumänien	Kontrollfläche zwischen den Himbeerstreifen	04/ 2022
RU36	Rumänien	Kompost	07/ 2023

4.3 Ergebnisse AP 3: Anwendung innovativer Schädlingsbekämpfungsstrategien

4.3.2 Kontrollstrategien gegen *Drosophila suzukii*

A) Kontrollstrategie gegen *Drosophila suzukii* basierend auf Fangpflanzen

i) Freilandbasierte Erhebungen zum Reproduktionserfolg von *D. suzukii* auf potentiellen „dead-end plants“ unter natürlichen Bedingungen:

Die Ergebnisse der Freilanduntersuchungen in den Jahren 2023 und 2024 zeigten eine sehr heterogene Attraktivität und einen variierenden Reproduktionserfolg von *D. suzukii* auf den untersuchten Fruchtarten. Eine detaillierte Übersicht über die gesammelten Daten, einschließlich Eiablagen, erfolgreich entwickelten Adulten und berechneten Metriken, befinden sich in Tabelle 10.

Auf den Früchten von *Viburnum opulus* und *Sorbus aucuparia* wurden in den Jahren ihrer jeweiligen Erfassung (2024 für beide) keine natürlichen Eiablagen von Drosophiliden gefunden. Auch auf den Früchten von *Ilex aquifolium* im Jahr 2024 sowie von *Phytolacca acinosa* im Jahr 2023 gab es keine Eiablagen.

Geringe Eiablagen wurden bei mehreren Arten verzeichnet: *Pyracantha coccinea*, *Cornus sanguinea*, *Hippophae rhamnoides* und *Rhamnus cathartica*. Während *Pyracantha coccinea* (2024) 14 Eier verzeichnete, aus denen sich 1 Adultes entwickelte (Mittleres Reproduktionserfolgs-Verhältnis 7.1 %), zeigte *Cornus sanguinea* (2024) 129 Eier mit 3 Adulten (Mittleres Reproduktionserfolgs-Verhältnis 2.3 %). Im Jahr 2023 zeigte *Cornus sanguinea* einen höheren Reproduktionserfolg von 55.9 % (33 Adulte aus 59 Eiern). Für *Hippophae rhamnoides* (2024: 17 Eier) gab es kein Erreichen des Adultenstadiums (Mittleres Reproduktionserfolgs-Verhältnis 0.0 %). Für *Rhamnus cathartica* (2024: 61 Eier) hingegen entwickelten sich 8 Adulte, was einem Mittleren Reproduktionserfolgs-Verhältnis von 13.1 % entspricht.

Deutlich höhere Eiablagen im Freiland zeigten *Prunus lusitanica* mit 546 Eiern im Jahr 2024, wobei hier keine Adulten entwickelten (Mittleres Reproduktionserfolgs-Verhältnis 0.0 %). Diese Art zeigte mit 88.0 % die höchste Gesamtbefallshäufigkeit im Jahr 2024, was auf eine sehr hohe Attraktivität und Annahme für die Eiablage hinweist. *Phytolacca acinosa* verzeichnete 2024 330 Eier, ebenfalls ohne Erreichen des Adultenstadiums (Mittleres Reproduktionserfolgs-Verhältnis 0.0 %), bei einer Gesamtbefallshäufigkeit von 79.5 %. *Cornus mas* zeigte in beiden Jahren hohe Eiablagen (2023: 451 Eier; 2024: 467 Eier). Im Jahr 2023 konnte der Reproduktionserfolg bei *Cornus mas* jedoch nicht bestimmt werden (n.b.), da die Früchte während der Inkubationszeit von einem Pilz befallen wurden. Im Jahr 2024 entwickelten sich 33 Adulte, was einem Mittleren Reproduktionserfolgs-Verhältnis von 10.5 % entspricht. *Prunus laurocerasus* verzeichnete 2023 766 Eier, aus denen sich 142 Adulte entwickelten (Mittleren Reproduktionserfolgs-Verhältnis 18.5 %).

Tabelle 10: Natürliche Eiablagen und Reproduktionserfolg von *D. suzukii* auf potentiellen „dead-end plants“ in Freilanduntersuchungen 2023/2024.

Pflanzenart	Jahr	Früchte mit Eierablage	Anzahl Eier	Adulte geschlüpft	geschlüpfte Weibchen	geschlüpfte Männchen	Repro. Success Ratio ¹ [%] (Adulte/Eier)	Ovip. Intensity ² (Eier/befallene Frucht)	Früchte gesamt	Overall Infest. Rate ³ [%] (Befallshäufigkeit)
<i>C. divaricatus</i>	2023	87	158	35	20	15	22.2	1.816	-	-
<i>C. mas</i>	2023	133	451	n.b. ⁴	n.b. ⁴	n.b. ⁴	n.b. ⁴	3.391	-	-
	2024	184	467	33	18	15	10.5	2.466	400	46.0
<i>C. sanguinea</i>	2023	48	59	33	20	13	55.9	1.229	-	-
	2024	109	129	3	2	1	2.3	1.183	255	42.7
<i>H. rhamnoides</i>	2024	14	17	0	0	0	0.0	1.214	200	7.0
<i>I. aquifolium</i>	2024	0	0	0	0	0	0.0	0.000	200	0.0
<i>P. acinosa</i>	2023	0	0	0	0	0	0.0	0.000	-	-
	2024	159	330	0	0	0	0.0	2.075	200	79.5
<i>P. coccinea</i>	2023	0	0	0	0	0	0.0	0.000	-	-
	2024	14	14	1	0	1	7.1	1.000	203	6.9
<i>P. laurocerasus</i>	2023	238	766	142	80	62	18.5	3.218	-	-
<i>P. lusitanica</i>	2024	176	546	0	0	0	0.0	3.102	200	88.0
<i>R. cathartica</i>	2024	51	61	8	5	3	13.1	1.196	200	25.5
<i>S. aucuparia</i>	2024	0	0	0	0	0	0.0	0.000	514	0.0
<i>V. opulus</i>	2024	0	0	0	0	0	0.0	0.000	489	0.0

¹Reproduction Success Ratio (Mittleres Reproduktionserfolgs-Verhältnis): Das mittlere Verhältnis der geschlüpften adulten *D. suzukii* zur Anzahl der abgelegten Eier.

²Oviposition Intensity (Mittlere Eiablage-Intensität auf befallenen Früchten): Die durchschnittliche Anzahl an Eiern pro Frucht, berechnet ausschließlich für Früchte, die Eiablagen aufwiesen.

³Overall Infestation Rate (Gesamte Befallshäufigkeit): Anteil der inspizierten Früchte, die Eiablagen von *D. suzukii* aufwiesen.

⁴n.b.: Nicht bestimmbar aufgrund von Pilzbefall der Früchte während der Inkubationszeit.

Die Mittlere Eiablage-Intensität auf befallenen Früchten variierte ebenfalls zwischen den Arten: *Pyracantha coccinea* (2024) zeigte eine Intensität von 1.000, *Cornus sanguinea* (2024) von 1.183, *Hippophae rhamnoides* (2024) von 1.214, *Rhamnus cathartica* (2024) von 1.196, *Prunus lusitanica* (2024) von 3.102, *Phytolacca acinosa* (2024) von 2.075, *Cornus mas* (2024) von 2.466 und *Prunus laurocerasus* (2023) von 3.218.

Der Chi-Quadrat-Test für das Jahr 2024 ergab einen hochsignifikanten Unterschied in der Gesamtbefallshäufigkeit zwischen den Pflanzenarten ($\chi^2 = 1358.5$, $df = 9$, $p\text{-value} < 2.2e-16$). Dies deutet darauf hin, dass die Pflanzenarten im Freiland unterschiedlich stark von *D. suzukii* in Bezug auf die Eiablage angenommen wurden. Die Kruskal-Wallis-Tests für die Anzahl an Eiablagen ($p = 0.2153$), das Mittlere Reproduktionserfolgs-Verhältnis ($p = 0.4695$) und die Mittlere Eiablage-Intensität auf befallenen Früchten ($p = 0.3286$) zeigten hingegen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Pflanzenarten im Jahr 2024.

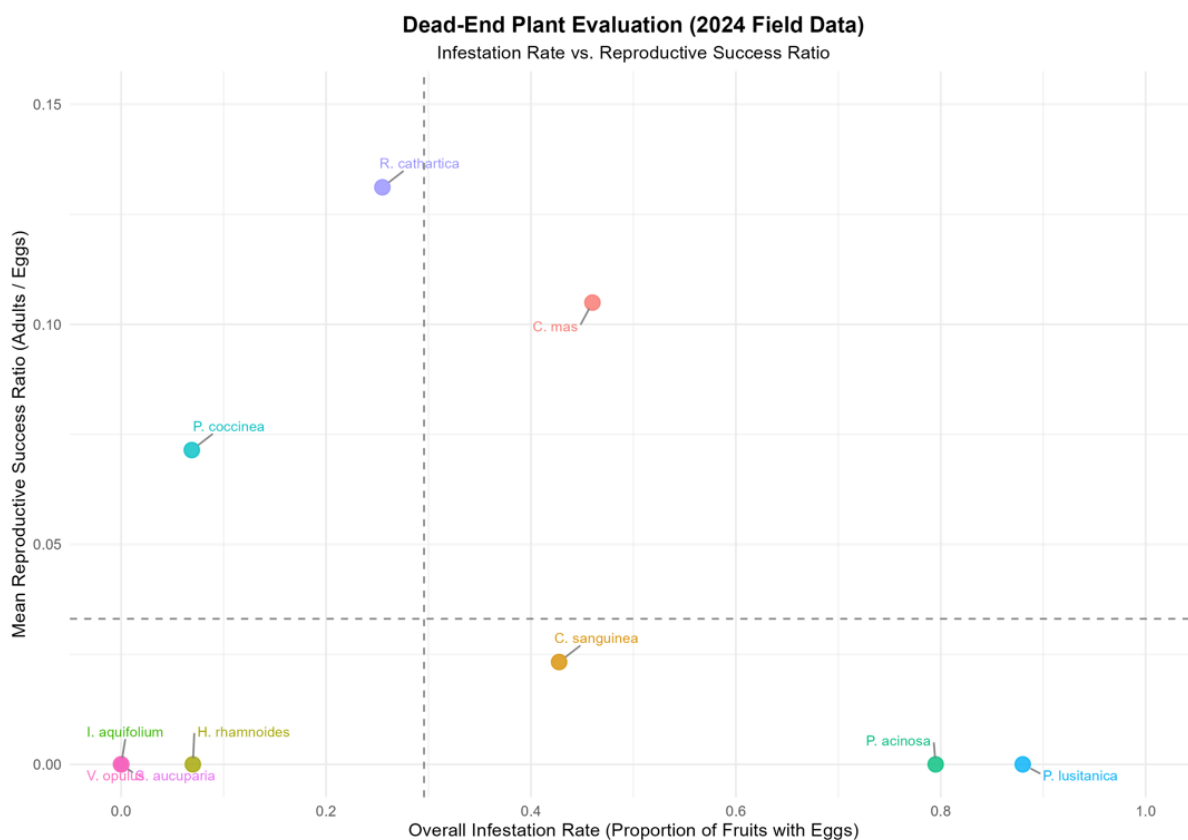


Abbildung 17: Evaluierung potentieller dead-end plants im Freiland (2024). Das Streudiagramm visualisiert die Gesamtbefallshäufigkeit (Overall Infestation Rate) als Indikator für die Attraktivität und Annahme durch *D. suzukii* auf der X-Achse gegen das Mittlere Reproduktionserfolgs-Verhältnis (Mean Reproductive Success Ratio) auf der Y-Achse. Jeder Punkt repräsentiert eine im Jahr 2024 untersuchte Pflanzenart. Die gestrichelten Linien markieren die durchschnittliche Gesamtbefallshäufigkeit (2024: 29.6 %) und das durchschnittliche Mittlere Reproduktionserfolgs-Verhältnis (2024: 2.3 %) über alle untersuchten Pflanzenarten hinweg.

Das Streudiagramm in Abbildung 17 ermöglicht eine visuelle Bewertung zur Eignung der untersuchten Pflanzenarten als dead-end plant im Freiland. Ziel war es, Pflanzen zu identifizieren, die eine hohe Attraktivität für *D. suzukii* aufweisen, aber gleichzeitig einen geringen Reproduktionserfolg zulassen.

Arten wie *Viburnum opulus*, *Sorbus aucuparia* und *Ilex aquifolium* zeigten im Ursprung des Diagramms keine nachweisbare Attraktivität und somit auch keine Reproduktion unter Freilandbedingungen. Andere Pflanzenarten wiesen variierende Attraktivitäts- und Reproduktionsprofile auf, die in Abbildung 17 detailliert dargestellt sind.

Als besonders vielversprechende dead-end plant-Kandidaten im Sinne der angestrebten Populationsreduktion erwiesen sich *Prunus lusitanica* und *Phytolacca acinosa*. Beide Arten kombinierten eine sehr hohe Gesamtbefallshäufigkeit (88.0 % bzw. 79.5 %) mit einem Mittleren Reproduktionserfolgs-Verhältnis von 0.0 %, was bedeutet, dass sie viele *D. suzukii*-Eiablagen anzogen, jedoch keine Entwicklung zu adulten Fliegen zuließen. Auch *Cornus sanguinea* (Gesamtbefallshäufigkeit 42.7 %, Mittleres Reproduktionserfolgs-Verhältnis 2.3 %) zeigte eine beachtliche Attraktivität bei gleichzeitig sehr geringem Reproduktionserfolg. Diese Pflanzen repräsentieren somit effektive natürliche Fallen bzw. Fangpflanzen für *D. suzukii*.

ii) Wahlversuch zur Bewertung der Attraktivitätssteigerung der Eiablage von *D. suzukii* an Früchten von „dead-end plants“ durch Lockstoffapplikation:

Die Ergebnisse des Wahlversuchs zum Entscheidungsverhalten von *D. suzukii* auf mit Lockstoff behandelten Früchten potentieller dead-end plants im Vergleich zu unbehandelten Heidelbeeren, sind in Abbildung 18 zusammengefasst.

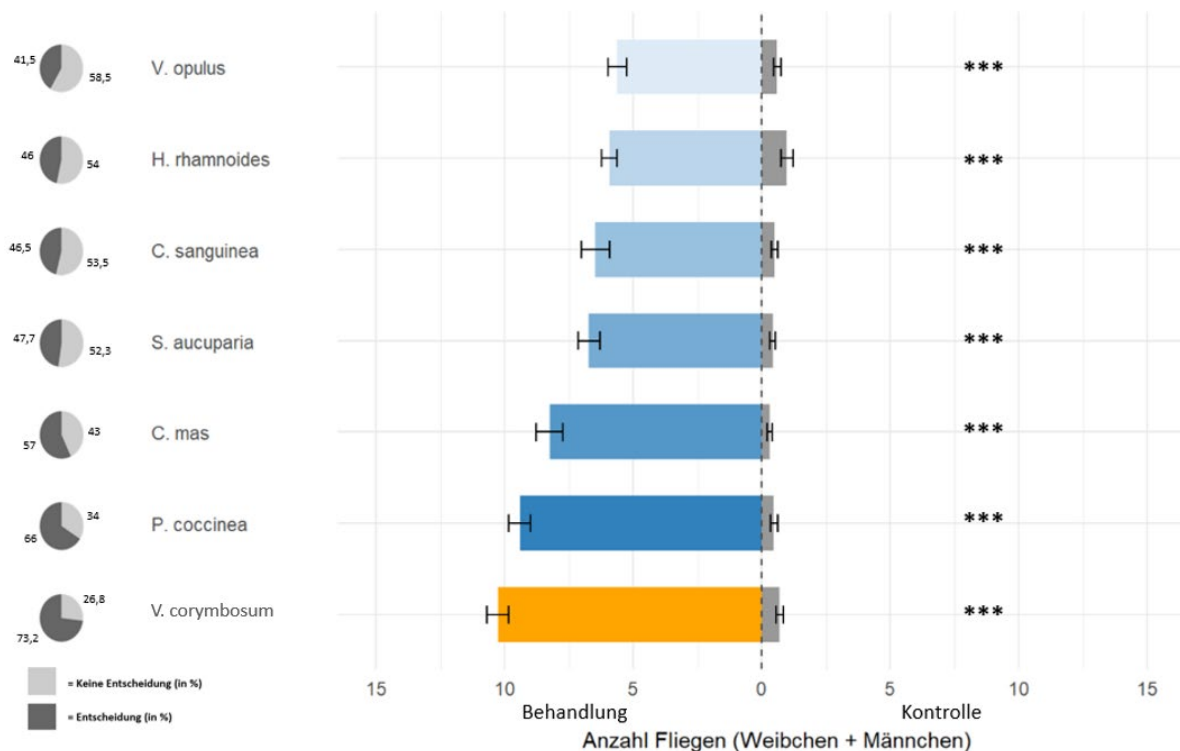


Abbildung 18: Entscheidungsverhalten von *D. suzukii* im Labor-Wahlversuch. Dargestellt ist die Präferenz von *D. suzukii* (10 Weibchen, 5 Männchen pro Arena; 40 Wiederholungen pro Fruchtkombination) zwischen mit Lockstoff behandelten Testfrüchten (linke Balken) und unbehandelten Heidelbeer-Referenzfrüchten (rechte Balken). Signifikanzen basieren auf Binomialtests für jede Fruchtkombination gegen eine erwartete Gleichverteilung (50:50); (***) $p < 0.001$). Die Kreisdiagramme stellen den Anteil getroffener (dunkelgrau) und nicht getroffener (hellgrau) Entscheidungen dar.

Die Entscheidung der Fliegen, welche Seite der Arena sie nach 24 h präferierten, zeigte deutliche und hochsignifikante Unterschiede zwischen den getesteten Fruchtkombinationen. Angeordnet nach abnehmender Präferenz ergab sich folgende Staffelung für die mit Droski-Drink besprühten Früchte im Vergleich zu unbehandelten Heidelbeeren ($p < 0.001$): Heidelbeere (*V. corymbosum*), *P. coccinea*, *C. mas*, *S. aucuparia*, *C. sanguinea*, *H. rhamnoides*, *V. opulus*. Dies bedeutet, dass sich die Fliegen für alle getesteten mit Droski-Drink besprühten Früchte signifikant häufiger entschieden haben als für die unbehandelten Heidelbeeren. Der Anteil an Fliegen, der sich innerhalb des 24 h Zeitraums nicht eindeutig für eine Fruchtposition entschieden hatten (Verbleib in der mittleren Zone), variierte zwischen 26.8 % und 58.5 % über alle Versuchsdurchgänge und ist in den Kreisdiagrammen der Abbildung 18 dargestellt.

B) Wirksamkeitsprüfung von entomopathogenen Nematoden gegen *Drosophila suzukii*

Im Rahmen einer Masterarbeit (Matheis 2023) wurde die Wirksamkeit von verschiedenen entomopathogenen Nematoden gegenüber der Kirschessigfliege geprüft. Dabei konnte in Laborversuchen gezeigt werden, dass die Applikation der Nematodenspezies *Heterorhabditis bacteriophora* auf befallene Heidelbeeren den Populationsaufbau der *D. suzukii* signifikant verlangsamen kann.

4.3.3 Wirksamkeit des Entomovectorings zur Bekämpfung von *Botrytis cinerea*

In Gewächshausversuchen wurde im Rahmen einer weiteren Masterthesis (Lipinski 2024) der Frage nachgegangen, ob die Effizienz der *Botrytis*-Bekämpfung an Erdbeeren durch Entomovectoring beeinflusst wird, wenn zeitgleich Blühstreifen in der Anlage präsent sind. Dabei zeigte sich, dass die eingesetzten Hummeln tatsächlich den künstlichen Blühstreifen den Erdbeerblüten vorzogen (Abbildung 19). Innerhalb des künstlichen Blühstreifens zogen sie die Blüten von Phacelia, Buchweizen und Löwenzahn den Blüten von Wicke und Inkarnatklie vor (Abbildung 20).

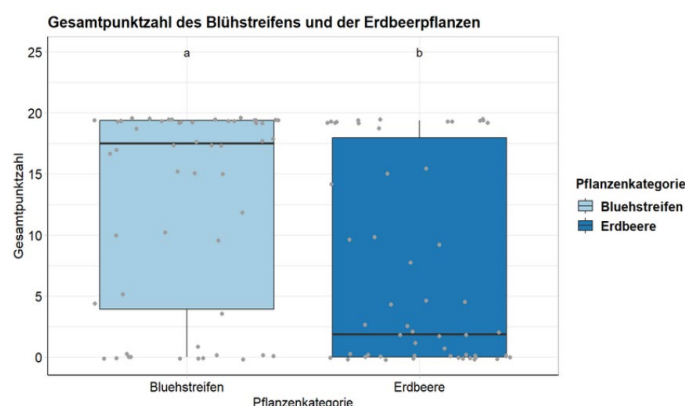


Abbildung 19: Häufigkeit der Blütenbesuche (Blühstreifen vs. Erdbeerblüten) von Hummeln bewertet nach einem Punktesystem, welches dem ersten Blütenbesuch die meisten Punkte zuspricht und dann logarithmisch abnimmt. Signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Kruskal-Wallis-Test ($\alpha \leq 0,05$). $N = 54$. (Abbildung: Lipinski 2024).

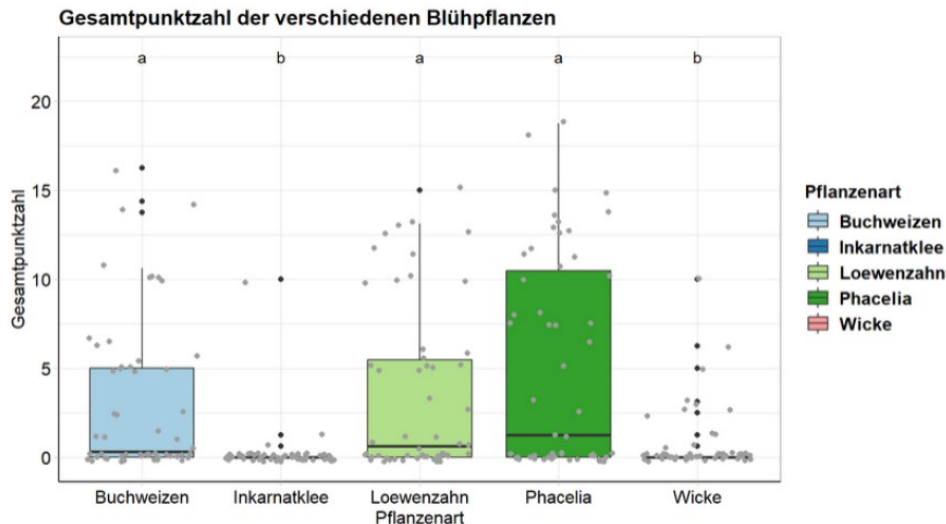


Abbildung 20: Häufigkeit der Blütenbesuche (Pflanzen eines Blühstreifens) bewertet nach einem Punktesystem, welches dem ersten Blütenbesuch die meisten Punkte zuspricht und dann logarithmisch abnimmt. Signifikante Unterschiede sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet. Kruskal-Wallis-Test ($\alpha \leq 0,05$). $N = 54$. (Abbildung: Lipinski 2024)

Anschließend wurde mikroskopisch geprüft, ob der *Botrytis*-Antagonist dementsprechend seltener auf den Blüten der Erdbeeren zu finden war: Dies war nicht der Fall. Auch bei den Nachernte-Untersuchungen zum Shelf-Life, d.h. dem Befall der geernteten, reifen Erdbeeren durch Schimmelpilze, gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Erdbeeren, die mit und denen, die ohne die Präsenz des artifiziellen Blühstreifens von Entomovectoring-Hummeln besucht wurden.

4.4 Arbeitspaket 5: Kommunikation, Dissemination und Transfer

Die Projektpartner **HGU** und **ILU** beteiligten sich sowohl im Bereich der **Kommunikation** innerhalb des Projektkonsortiums als auch im Bereich der **Verbreitung** der neuen Erkenntnisse und dem **Transfer** in die Praxis.

Zusammen mit den anderen Projektpartnern wurde eine offizielle ResBerry Website (<https://projects.au.dk/coreorganiccofund/2021-call-projects/resberry>) erstellt (AP5.1 „Kommunikation und Verwertung“). Das ILU hat darüber hinaus auf der institutseigenen Website (<https://www.ilu-ev.de/portfolio-items/resberry/>) sowie via Twitter für das Projekt geworben. Des Weiteren erschienen Zusammenfassungen des Projekts und insbesondere der erbrachten Arbeiten des ILU während der Projektlaufzeit in den Jahresberichten des Instituts.

Beide Partner **HGU** und **ILU** präsentierten das Projekt sowie Teile der Ergebnisse auf mehreren **nationalen und internationalen Tagungen bzw. Veranstaltungen** in Form von (z.T. gemeinsamen) Vorträgen oder Postern. Im Folgenden werden diese Präsentationen für beide Projektpartner getrennt dargestellt, die jeweiligen Projektmitarbeitenden bzw. Projektleitungen von HGU bzw. ILU sind fett markiert, der „presenting author“ ist unterstrichen:

HGU:

- **Wenz S, Reineke A**, Pleissner D, Bujor-Nenita OC, Sigsgaard L, Lahlali R, Blenzar A, Doruchowski G, Mihalcea B, Ciceoi R. 2022. *Resilient organic berry cropping systems through enhanced biodiversity and innovative management strategies – ResBerry*, Posterpräsentation Joint Meeting of Integrated Protection of Food Crops, Girona, Spanien 25.-29.09. 2022
- **Wenz S, Reineke A**, Pleissner D, Bujor-Nenita OC, Sigsgaard L, Lahlali R, Blenzar A, Doruchowski G, Mihalcea B, Ciceoi R. 2022. *ResBerry: Resilient organic berry cropping systems through enhanced biodiversity and innovative management strategies*, Posterpräsentation 38. Tagung des DPG & DGaaE Arbeitskreises Nutzarthropoden und entomopathogene Nematoden, Kiel, Deutschland, 24.-25.11.2022
- **Becker C, Wenz S, Reineke A**, Pleissner D, Bujor-Nenita OC, Sigsgaard L, Lahlali R, Blenzar A, Doruchowski G, Mihalcea B, Ciceoi R. 2022. *Resilient organic berry cropping systems through enhanced biodiversity and innovative management strategies – ResBerry*, Posterpräsentation SFE², GFÖ & EEF Joint Meeting, Metz, Frankreich, 21.-25.11.2022
- **Wenz S**, Meyhöfer R, **Reineke A**. 2023 *Increasing plant diversity in organic berry cropping systems for sustainable insect pest control*, Posterpräsentation Entomologentagung der DGaaE, Bozen, Italien, 20.-23.02.2023
- **Wenz S, Reineke A**. 2023 *Erhöhte funktionelle Diversität durch Begleitpflanzen für eine nachhaltige Schädlingskontrolle im ökologischen Beerenanbau*, Posterpräsentation 63. Deutsche Pflanzenschutztagung, Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland, 26.-29.09.2023
- **Wenz S**, Hauck M, Ramlow N, **Reineke A**. 2024 *Use of dead-end plants in orchards: A potential strategy to control Drosophila suzukii?* Posterbeitrag und Pitch International Conference on Organic Fruit Growing (EcoFruit), Stuttgart, Deutschland 19.-21.02.2024
- **Wenz S, Reineke A**. 2024 *Enhancing insect diversity through companion plants for creating a resilient organic strawberry cropping system*, Posterbeitrag, IV International Organic Fruit Symposium and II International Organic Vegetable Symposium, Warschau, Polen, 17.-20.09.2024
- **Wenz S**. 2024 *Companion plants as a treasure trove for functional insect diversity in organic strawberries*, Vortrag International Congress in Ecology & Evolution SFE², GFÖ & EEF Joint Meeting Lyon, Frankreich, 21.-25.10.2024
- Lipinski A, **Reineke A, Becker C**. 2024 *Entomovectoring in strawberry: Do flowering companion plants impact the success of antagonist application?* Posterbeitrag International Congress in Ecology & Evolution SFE², GFÖ & EEF Joint Meeting Lyon, Frankreich, 21.-25.10.2024
- **Wenz S**. 2025 *Creating synergies: Companion plantings fostering biodiversity and pest control in organic strawberries*, Vortrag Entomologentagung der DGaaE Geisenheim, Deutschland, 17.-20.03.2025

Des Weiteren wurde an der Hochschule Geisenheim ein **Video** zum Projekt ResBerry erstellt, das auf Deutsch und Englisch auf der Homepage der HGU und auf YouTube verfügbar ist: <https://www.youtube.com/watch?v=khkYJmzqyag>.

Im Rahmen des Projekts wurden an der HGU **zwei Masterthesen** angefertigt, die in der Bibliothek der HGU einsehbar sind:

Lipinski, Alicia (WS 2023/2024): Der Einfluss blühender Begleitpflanzen auf den Erfolg von Entomovectoring bei Erdbeeren. MSc Thesis Studiengang Spezielle Pflanzen- und Gartenbauwissenschaften, Hochschule Geisenheim

Matheis, Mathias (WS 2022/2023): Innovative Bekämpfungsstrategien gegen *Drosophila suzukii* – Einfluss olfaktorischer und visueller Stimuli auf Köderfallen sowie Anwendung von insektenpathogenen Nematoden. MSc Thesis Studiengang Weinbau, Oenologie, Weinwirtschaft (Hochschule Geisenheim gemeinsam mit der Boku Wien)

ILU:

ILU-Mitarbeiter Martin Almendinger hat am 12.03.2024 auf der Konferenz „Agrarforschung zum Klimawandel“ der Deutschen Agrarforschungsallianz (dafa) in Potsdam vor dem Fachpublikum über „Biostimulanzen und Begleitpflanzen – Anpassung des ökologischen Landbaus an den Klimawandel“ über das ResBerry Projekt gesprochen. Darüber hinaus hat Prof. Dr. Daniel Pleissner in dem Vortrag mit dem Titel „Impact of companion planting in organic berry production on yield and soil microbiome“ am 19.09.2024 auf dem „IV International Organic Fruit Symposium and II. International Organic Vegetable Symposium“ (OrgHort Konferenz) in Warschau, Polen auf die Projektergebnisse des ILU aufmerksam gemacht. Ein LinkedIn Post erfolgte auf Prof. Pleissners privatem Account (https://www.linkedin.com/posts/daniel-pleissner-397646137_orghort2024-resberry-inhort-activity-7242841309441310720-BdzG?utm_source=social_share_sheet&utm_medium=member_desktop_web).

Darüber hinaus war das ILU im Projektzeitraum an diversen Posterbeiträgen beteiligt:

- Wenz S, Reineke A, **Pleissner D**, Bujor-Nenita OC, Sigsgaard L, Lahlali R, Blenzar A, Doruchowski G, Mihalcea B, Ciceoi R. 2022. *ResBerry – Resilient organic berry cropping systems through enhanced biodiversity and innovative management strategies*. Abstract and poster presentation at Beneficial Arthropods & Entomopathogenic Nematodes Meeting, 24th to 25th of November, Kiel, Germany
- Becker C, Wenz S, Reineke A, **Pleissner D**, Bujor-Nenita OC, Sigsgaard L, Lahlali R, Blenzar A, Doruchowski G, Mihalcea B, Ciceoi R. 2022. *Resilient organic berry cropping systems through enhanced biodiversity and innovative management strategies – ResBerry*. Poster presentation at SFE2, GFÖ & EEF Joint Meeting, 21st to 25th of November, Metz, France
- Wenz S, Reineke A, **Pleissner D**, Bujor-Nenita OC, Sigsgaard L, Lahlali R, Blenzar A, Doruchowski G, Mihalcea B, Ciceoi R. 2022. *Resilient organic berry cropping systems through enhanced biodiversity and innovative management strategies – ResBerry*. Poster presentation at Joint Meeting of Integrated Protection of Food Crops, 25th to 29th of September, Girona, Spain
- Sigsgaard L, Reineke A, **Pleissner D**, Bujor-Nenita OC, Lahlali R, Blenzar A, Doruchowski G, Mihalcea B, 2022. *Resilient organic berry cropping systems through enhanced biodiversity and innovative management strategies – ResBerry*. Poster presentation at 31st International Horticultural Congress, 14th to 20th of August, Angers, France

Prof. Dr. Daniel Pleissner betreute zusammen mit Sophie Wenz von der HGU die Bachelorstudentin Janette Tyborski von der Leuphana Universität Lüneburg (Fakultät für Nachhaltigkeit) bei ihrer Abschlussarbeit mit dem Titel „Wirtschaftlichkeitsanalyse eines ökologischen Himbeeranbausystems mit Begleitpflanzen im Vergleich zum konventionellen Anbau“.

4.5 Arbeitspaket 6: Projekt- und Datenmanagement

Im Zuge des Arbeitspaket 6 „Projekt- und Datenmanagement“ fanden über den Projektverlauf mehrere Projekttreffen online statt. Teilweise kamen dabei auch nur Teile des Projektkonsortiums zusammen, wenn es speziell um einzelne Arbeitspakete oder Arbeiten ging. Bedingt durch die COVID-19 Pandemie konnte erst im September 2024 ein gemeinsames Projekttreffen in Persona stattfinden. Eine Übersicht über Projekttreffen und die besprochenen Themenschwerpunkte ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Übersicht über erfolgte Treffen zwischen den Partnern des ResBerry-Konsortiums.

Datum	Teilnehmende	Schwerpunkte
18.02.2022	USAMV, ILU, Inhort, IMU	<ul style="list-style-type: none"> Planung zu Arbeiten im Arbeitspaket 2 – Analyse des Bodenmikrobioms
24.06.2022	HGU, USAMV, Inhort, ILU	<ul style="list-style-type: none"> Allgemeine Planungen zum Datenmanagement und zur Dissemination Informationsaustausch über die geplanten Feldversuche Absprache zur Bodenbeprobung
18.08.2022	HGU, ILU	<ul style="list-style-type: none"> Absprache zur Probenanalyse der Bodenproben aus Geisenheim
10.03.2023	alle	<ul style="list-style-type: none"> Projekttreffen zum Projektfortschritt und zur Planung des weiteren Vorgehens Erreichen von Ergebnis D6.2
03.07.2023	USAMV, Inhort, ILU	<ul style="list-style-type: none"> Absprache zu den Ergebnissen und das weitere Vorgehen in Arbeitspaket 2 <ul style="list-style-type: none"> Kompostierungsversuche Beimpfung mit mikrobiellen Kulturen
20.09.2024	alle	<ul style="list-style-type: none"> Projekttreffen in Warschau zum Projektfortschritt und zur Planung des weiteren Vorgehens Absprache zur Notwendigkeit einer möglichen Projektverlängerung
13.06.2025	alle	<ul style="list-style-type: none"> Absprache zur Erstellung des internationalen Abschlussberichts

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 AP 1: Einfluss der Habitatdiversifizierung auf die Arthropodengemeinschaft

Der Einsatz von Begleitpflanzen zur Förderung der biologischen Schädlingskontrolle ist eine etablierte Strategie in verschiedenen Agrarsystemen, beispielsweise im Apfelanbau, wo positive Effekte auf Nützlingsgemeinschaften nachgewiesen wurden (Cahenzli et al., 2019). Es gibt allerdings nur wenige Studien zum Einsatz von Begleitpflanzen im Beerenobst, die sich zudem meist einen einzelnen spezifischen Schädling konzentrieren (Hodgkiss et al., 2019; Sigsgaard et al., 2013; Zuma et al., 2023).

Der vorliegende zweijährige Feldversuch schließt diese Wissenslücke und liefert entscheidende Erkenntnisse für die Praxis, indem er die Auswirkung auf die gesamte Arthropodengemeinschaft untersucht. Die Studie unterstreicht die Komplexität, aber auch das enorme Potential von „Conservation Biological Control“-Strategien im Erdbeeranbau. Die zentrale Schlussfolgerung der Studie ist, dass die Wirksamkeit der getesteten Maßnahmen maßgeblich von den klimatischen Bedingungen des jeweiligen Anbaujahres abhängt.

Die Etablierung von Fang- und Blühstreifen-Kombinationen (FT) erwies sich über beide, klimatisch extrem unterschiedliche Jahre hinweg als die verlässlichste und wirkungsvollste Maßnahme. Sowohl im trockenen Jahr 2023 als auch im feuchten Jahr 2024 unterschied sich die Arthropodengemeinschaft der FT hoch signifikant von der in den Anbauflächen (PERMANOVA, $p < 0.01$ in beiden Jahren). Die Blühstreifen fungierten als Hotspots der Biodiversität und als Reservoir für eine hohe Dichte an Nützlingen, insbesondere Prädatoren und Parasitoide. Diese Funktion von Blühstreifen als Quelle für funktionelle Agrobiodiversität ist in der Literatur gut dokumentiert (Géneau et al., 2012; Kowalska et al., 2022; Tscharrntke et al., 2007). Entscheidend für den praktischen Nutzen ist der nachgewiesene „Spillover-Effekt“: In beiden Jahren konnte statistisch signifikante, positive Korrelation zwischen der Nützlingdichte in den Fang- und Blühstreifen-Kombinationen (FT) und den angrenzenden Anbauflächen (T1, T2) nachgewiesen werden (2023: $p = 0.017$; 2024: $p = 0.027$). Dies belegt, dass die FT nicht nur Nützlinge beherbergen, sondern dass von diesen eine aktive Einwanderung in die Anbauflächen ausgeht, wo sie zur biologischen Schädlingskontrolle beitragen können. Die Analyse der funktionellen Gruppen offenbarte, dass die getesteten Maßnahmen die verschiedenen Gruppen von Nützlingen und Schädlingen sehr unterschiedlich beeinflussten. Die Fang- und Blühstreifen-Kombinationen zeigten in beiden Jahren den höchsten relativen Anteil an Nützlingen (Prädatoren und Parasitoide), was ihre Rolle als deren primäres Habitat unterstreicht. Interessanterweise unterschied sich die Wirkung der in die Kultur integrierten Maßnahmen je nach Jahr: Im trockenen Jahr 2023 zeigte die Behandlung T1 (Strohmulch + Fang- und Blühstreifen-Kombination in direkter Nachbarschaft) einen grenzwertig signifikanten positiven Effekt auf die Prädatoren-Population. Im feuchten Jahr 2024 hingegen war es die T2-Variante (Mikroklee-Untersaat + Fang- und Blühstreifen-Kombination in direkter Nachbarschaft), die die Gesamt-Nützlingszahl signifikant förderte ($p = 0.036$), was vor allem auf eine starke Zunahme der Parasitoide zurückzuführen war. Die Indikatorenanalyse bestätigte, dass sich die Erdbeerplots mit Klee-Untersaat in ihrer ökologischen Funktion den Fang- und Blühstreifen-Kombinationen annäherten. Die positive Wirkung von blühender Begleitpflanzen auf Nützlinge ist in der Literatur bekannt und wird oft auf ein günstigeres Mikroklima und die Bereitstellung alternativer Nahrungsquellen (Nektar und Pollen) zurückgeführt (Baggen & Gurr, 1998; Díaz et al., 2012). Gleichzeitig war die T1-

Variante im Jahr 2024 am effektivsten bei der Reduktion der direkten Kulturschädlinge ($p = 0.0024$). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass unterschiedliche Bodenbedeckungen spezifische Nischen schaffen, die je nach Witterung von unterschiedlichen Nützlingsgruppen bevorzugt werden. Allerdings offenbarte sich hier ein klassisches agrarökologisches Spannungsfeld: Die ökologischen Vorteile der Klee-Untersaat im feuchten Jahr standen in direktem Kontrast zu erheblichen praktischen Herausforderungen. Die dichte Vegetationsdecke erschwerte die Erntearbeiten. Zudem schuf das feuchte Mikroklima unter dem Klee ideale Bedingungen für Fruchtfäule und Schneckenfraß.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Fang- und Blühstreifen-Kombinationen eine robuste und empfehlenswerte Grundstrategie zur Förderung der (funktionellen) Biodiversität darstellen. Die Klee-Untersaat ist eine vielversprechende, aber anspruchsvolle Ergänzung, deren Erfolg unter anderem von der Wasserverfügbarkeit abhängt. Um die ökologischen Vorteile der Klee-Untersaat nutzbar zu machen und gleichzeitig die agronomischen Nachteile zu minimieren, wäre eine Kombination mit dem Anbau auf Dämmen (Dammkultur) eine vielversprechende Lösungsstrategie. Bei diesem System wachsen die Erdbeerpflanzen auf erhöhten Erdhügel, während der Klee nur in den Fahrgassen dazwischen etabliert werden könnte. Zukünftige Forschung sollte sich daher auf die Untersuchung und Optimierung solcher kombinierten Anbausysteme konzentrieren, um die Wirtschaftlichkeit und Praktikabilität für den Beerenobstanbau zu gewährleisten.

5.2 AP 1: Ausbreitungsmuster von invasiven Stinkwanzen

Feld- und Halbfreilandversuche konnten neue Erkenntnisse bezüglich des Ausbreitungsmusters der beiden invasiven Stinkwanzenarten Grüne Reiswanze *Nezara viridula* und Marmorierte Baumwanze *Halyomorpha halys* erzielen. Im Feldversuch konnte über Fang-Markierung-Wiederfang-Studien gezeigt werden, **dass die eingesetzten Begleitpflanzungen das Potenzial besitzen, adulte *N. viridula* von der Hauptkultur Erdbeere abzulenken. Gleichzeitig zeigt die Bewegung der aus den Blühstreifen-Kombinationen freigesetzten Individuen in Richtung Erdbeeren, dass eine vollständige Abgrenzung nicht stattfand.** Dies spricht für eine hohe Mobilität der Art und eine flexible Nutzung der verschiedenen Habitatstrukturen. Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit den in der Literatur beschriebenen Herausforderungen von der Anwendung von Fangpflanzen. Knight & Gurr (2007) betonen, dass Wanzen wie *N. viridula* die Fangpflanzen-Bereiche schnell wieder verlassen, sobald diese an Attraktivität verlieren (z.B. durch Abreife) oder die Hauptkultur in ein attraktiveres Entwicklungsstadium eintritt (McPherson & Newsom, 1984). Für eine erfolgreiche Implementierung im Freiland ist daher, wie bereits von Todd & Schumann (1988) betont, ein aktives Management der Begleitpflanzungen unerlässlich.

Auch für die Marmorierte Baumwanze *H. halys* konnte mittels Freilassung und Wiederfang individuell markierter Tiere in Halbfreilandversuchen gezeigt werden, **dass die untersuchten Begleitpflanzen unter bestimmten Bedingungen eine Ablenkungswirkung auf *H. halys* von der Hauptkultur Himbeere ausüben können.** Die Hypothese einer reinen Präferenz für Himbeeren kann verworfen werden. Stattdessen ist die Habitatwahl ein komplexer Prozess, der stark von abiotischen Faktoren und zeitlicher Dynamik abhängt. Der signifikant positive Einfluss von höheren Temperaturen auf die Bewegungsaktivität und die höhere proportionale Nutzung von Sonnenblumen im sonnenexponierten Freiland-Versuchskäfig deuten darauf hin, dass die Wanzen bei wärmeren Bedingungen aktiver sind und dann eher bereit sind, neue Nahrungs- oder Aufenthaltsorte zu explorieren. Die höhere Bewegungsaktivität im Schattenkäfig könnte eine Kompensationsstrategie oder eine verstärkte Suche nach optimalen

thermischen Bedingungen darstellen. Dieses Verhalten steht im Einklang mit dem von Weber et al. (2017) beschriebenen hohen Ausbreitungspotential von *H. halys*. Die Literatur beschreibt, dass die Wanzen zu explorativen Flügen neigen, bevor sie sich auf einer Wirtspflanze niederlassen (Lee & Leskey, 2015), was die in unserem Versuch beobachtete Suche nach optimalen thermischen Bedingungen als einen wesentlichen Treiber für diese Bewegung nahelegt. Nielsen et al. (2016) identifizierten Sonnenblumen ebenfalls als hochattraktive Fangpflanze für *H. halys* in Paprika, stellten jedoch gleichzeitig fest, dass Sonnenblumen allein keine effektive Schutzwirkung boten. Dies hebt den potenziellen Vorteil des hier verfolgten Ansatzes hervor, eine Mischung aus mehreren Begleitpflanzenarten zu verwenden, um eine robustere und über einen längeren Zeitraum wirksame Ablenkungsstrategie zu schaffen.

5.3 AP 1: Trophische Interaktionen basierend auf Mageninhaltsanalysen räuberischer Wanzen

Im Rahmen des ResBerry-Projektes wurden trophische Räuber-Beute-Beziehungen bei im Freiland gesammelten räuberischen Wanzen der Gattungen *Orius* und *Nabis* mittels Mageninhaltsanalysen erfasst. Die erzielten Ergebnisse liefern ein mehrschichtiges Bild der Wirkung von Begleitpflanzungen. Bei beiden Gattungen bildeten Organismen aus der Gruppe der Pflanzenschädlinge einen wesentlichen Nahrungsanteil. Begleitpflanzen fungieren dabei als effektives Habitat, das die lokale Nützlingspopulation stützt und vergrößert. Die Analyse der Mageninhalte bestätigte, dass die Nützlinge ihre Rolle als Schädlingsantagonist in allen Varianten erfüllen. Die Tatsache, dass die statistische Analyse keine signifikanten Unterschiede in der Diät zwischen den Behandlungen zeigte, ist dabei nicht widersprüchlich. Es zeigt die Flexibilität dieser Generalisten (Mahdavi et al., 2020; Venzon et al., 2002). Die entscheidende Wirkung der Begleitpflanzungen liegt in der Schaffung eines Lebensraums, der diesen und anderen Nützlingen ein Habitat bietet. Die breite Nahrungsgrundlage, die durch die geförderte Biodiversität entsteht, sichert zudem die dauerhafte Etablierung der Nützlinge im Feld.

5.4 AP 2 Verbesserung der mikrobiellen Diversität in Beerenobstkulturen

Die über drei Jahre hinweg erfassten Daten aus Deutschland und Rumänien zeigen ein deutlich differenziertes Bild der Bodenmikroflora, das durch die Art der Habitatmanagementmaßnahmen und die Witterungsbedingungen geprägt wurde. Besonders auffällig ist dabei die Dynamik der dominanten Gattungen wie *Mortierella*, *Fusarium*, *Sphingomonas* und *Gemmatimonas*, die auf ökologische Veränderungen der Böden sensibel reagierten.

Auch zu beachten ist, dass sämtliche Bodenproben aus dem umgebenden Bodenmaterial ohne gezielte Anreicherung der Wurzelzone (Rhizosphäre) genommen wurden. Diese Probennahme hat maßgeblich beeinflusst, dass insbesondere Rhizosphärenbakterien wie *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Azospirillum* oder auch Teile der *Pseudomonas*-Populationen in eher niedrigen Anteilen nachgewiesen wurden (weshalb die Daten zu den Gattungen im Ergebnisteil teilweise keine Erwähnung fanden). Diese Gattungen sind typischerweise in unmittelbarer Nähe zu Wurzeln und in Wurzeladhäsionszonen deutlich höher konzentriert. Ihr begrenztes Vorkommen in den hier untersuchten Proben stellt daher keinen Hinweis auf eine geringe mikrobielle Funktionalität oder ein defizitäres Bodenmikrobiom dar, sondern spiegelt die Probentechnik wider.

5.4.1 Bodenproben Erdbeerversuchsfeld Geisenheim

5.4.1.1 Einfluss der Bewirtschaftungssysteme

Strohmulchsystem mit Nähe zu Blüh- und Fangpflanzen

Das Erdbeerfeld mit Strohmulch (T1), das zusätzlich zur Mulchung in direkter Nähe zu Blüh- und Fangpflanzenstreifen lag, wies 2023 – einem ausgesprochen trockenen Jahr – eine außergewöhnlich hohe Dominanz von *Mortierella* auf (76 %). 2024, unter deutlich feuchteren Bedingungen, sank der Anteil auf 38 %. Diese Beobachtung entspricht der bekannten Vorliebe dieser Gattung für reichlich vorhandenes, leicht zersetzbares organisches Material wie Strohmulch (R. sheng Yao et al., 2012), das unter trockenen Bedingungen besonders stabil und konkurrenzarm verfügbar bleibt. Die hohen *Mortierella*-Anteile deuten zusätzlich auf einen kombinierten Effekt aus Mulchung und der Nähe zu Begleitpflanzen hin – vermutlich durch verstärkte mikrobielle Aktivität in einem insgesamt günstigen Substratmilieu.

Parallel waren die Anteile von *Fusarium* in diesem System vergleichsweise gering (stabile 3,3 % in beiden Jahren), ebenso wie die Anteile anderer potenziell phytopathogener Pilze wie *Aspergillus*. Diese Konstellation kann als Hinweis auf eine mikrobielle Bodenflora gewertet werden, die zwar sehr saprotroph geprägt, aber in Bezug auf Krankheitserreger tendenziell unkritisch war. Auf der Bakterienseite lagen die Anteile potenziell förderlicher Gattungen wie *Lysobacter* (2,1 % 2023), *Pseudomonas* (1,7 % 2023) und *Chitinophaga* (1,0 % 2023) auf moderatem Niveau. Auffällig war auch hier der Rückgang nahezu aller Anteile im Jahr 2024, was auf die veränderten Abbau- und Konkurrenzverhältnisse bei höherer Bodenfeuchte hinweist.

Kontrollsystem

Da auch die Kontrollflächen (C) mit Stroh gemulcht waren, jedoch keinerlei räumliche Nähe zu Blüh- oder Fangpflanzen aufwiesen, lässt sich ihre mikrobielle Ausstattung als Referenz für die isolierte Wirkung der Mulchung interpretieren. Die *Mortierella*-Anteile lagen hier 2023 bei 30 % und stiegen 2024 auf 35 %. Im Vergleich zum stark erhöhten *Mortierella*-Wert im Versuchssystem (T1) deutet dies darauf hin, dass die reine Strohmulchung zwar saprotrophe Pilze fördert, aber nicht in dem Maße wie die Kombination mit Habitatmaßnahmen. Der vergleichsweise konstante Anteil von *Fusarium* (14 % in 2022 und 2023, 5 % in 2024) legt nahe, dass eine alleinige Strohmulchung nicht ausreichend suppressive Effekte gegen pathogene Pilze entfaltet. Die bakterielle Gemeinschaft war durch moderate *Sphingomonas*- und *Gemmatimonas*-Anteile geprägt, die 2024 ebenfalls stark zurückgingen. Insgesamt zeigt sich, dass die räumliche Integration von Begleitpflanzen eine entscheidende Rolle für die Ausbildung eines förderlichen Mikrobioms spielt.

Mikroklee-System

Das Erdbeerfeld mit Mikroklee (T2) zeigte insgesamt ein etwas ausgeglicheneres mikrobielles Muster. Die *Mortierella*-Anteile bewegten sich 2023 bei 34 % und stiegen 2024 bei feuchten Bedingungen auf 50 %. Die vergleichsweise moderate Dominanz im trockenen Jahr 2023 sowie der deutliche Anstieg 2024 sprechen dafür, dass die Begrünung durch Mikroklee über Wurzelexsudate eine kontinuierlichere Versorgung saprotropher und rhizosphärenassoziierter Pilze sicherstellte. Die *Fusarium*-Anteile lagen tendenziell etwas höher als im Strohmulchsystem (T1) (6,1 % 2023, 4,7 % 2024), was auf ein differenzierteres, stärker durch Rhizosphärenprozesse geprägtes Mikrobiom hindeuten könnte. Bei den Bakterien wurde ein Anstieg von *Pseudomonas* im feuchten Jahr (von 0,5 % auf 1,0 %) sowie ein weitgehendes

Verschwinden von *Chitinophaga* beobachtet, was möglicherweise auf veränderte Substratverfügbarkeit zurückzuführen ist.

Blüh- und Fangpflanzenstreifen

In den Blüh- und Fangpflanzenstreifen (FT) zeigte sich ebenfalls eine deutliche Dynamik der *Mortierella*-Anteile, die 2022 und 2023 konstant bei 32 % lagen und 2024 auf 56 % anstiegen. Diese Entwicklung unterstreicht die Rolle der Habitatvielfalt für den Erhalt saprotropher Gemeinschaften bei wechselnden Witterungsbedingungen. Gleichzeitig nahmen die *Fusarium*-Anteile deutlich ab (von 14 % 2022 auf 3,5 % 2024), was als Indiz für ein stabileres mikrobielles Gleichgewicht gewertet werden kann. Im bakteriellen Bereich waren die auffälligsten Werte hohe *Sphingomonas*-Anteile (21,63 % 2022, 19,75 % 2023), die 2024 jedoch stark auf 3,64 % zurückgingen. Dies belegt erneut die hohe Abhängigkeit dieser Gattungen von trockenen Bedingungen und stabiler organischer Substanz.

5.4.1.2 Einfluss der Witterungsbedingungen

Etwa 150 Meter von den Versuchsfeldern in Geisenheim stand in den Anbaujahren 2023 und 2024 eine Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes. Mit Hilfe der Wetterdaten lassen sich die ermittelten Daten der Bodenmikroflora in den Kontext setzen. So zeigte sich, dass 2023 – das deutlich trockener war – in allen Bewirtschaftungssystemen die höchsten Anteile von *Sphingomonas* und *Gemmatimonas* (DeBruyn et al., 2011; Zhou et al., 2016) hervorgebracht hat. Diese Gattungen sind bekannt dafür, unter trockenen Bedingungen und bei Vorhandensein stabiler organischer Substanz besonders konkurrenzfähig zu sein. Im Jahr 2024 hingegen, das durch häufige Niederschläge geprägt war, sank der Anteil dieser dominanten Gruppen zum Teil drastisch, während andere, v.a. saprotrophe Pilze wie *Mortierella* in den stroh- und pflanzenbedeckten Flächen anteilsmäßig anstiegen. Gleichzeitig nahm der Anteil der potenziell pathogenen Gattungen wie *Fusarium* und *Aspergillus* in allen Varianten tendenziell ab, was für eine erhöhte mikrobielle Konkurrenz unter feuchteren Bedingungen sprechen kann.

5.4.1.3 Rückschlüsse auf die Boden- und Pflanzengesundheit

Insgesamt lässt sich festhalten, dass alle getesteten Bewirtschaftungssysteme über die Versuchsjahre hinweg eine hohe mikrobiologische Aktivität aufwiesen, die je nach System und Jahr von unterschiedlichen funktionellen Gruppen geprägt war. Besonders in den mit Strohmulch kombinierten Systemen, wie dem Strohmulchfeld nahe der Begleitpflanzen (T1) und den Kontrollflächen ohne Nachbarschaft zu Blühstreifen (C), sowie in den Flächen mit Blühstreifen selbst, zeigte sich eine ausgeprägte Dominanz zersetzungsaktiver saprotropher Pilze in Trockenperioden. Dies deutet auf den förderlichen Einfluss stabiler organischer Substanz wie Stroh unter trockenen Bedingungen hin, wobei die Kombination mit Begleitpflanzen (T1) offenbar zusätzliche Mikrobiom-Effekte bewirken kann. In feuchten Jahren wiesen insbesondere Begrünungssysteme höhere Anteile symbiontisch oder wachstumsfördernder Bakterien auf. Die vergleichsweise niedrigen und rückläufigen Anteile phytopathogener Pilze wie *Fusarium* und *Aspergillus* deuten darauf hin, dass keine Anreicherung potenziell problematischer Pilzpopulationen stattfand. Die Präsenz potenziell förderlicher Bakteriengruppen wie *Lysobacter*, *Pseudomonas* oder *Paenibacillus* in allen Varianten weist auf eine grundsätzlich gute mikrobielle Ausstattung der Böden hin.

Besonders wichtig für die Interpretation ist jedoch, dass die hier erhobenen Daten aus Böden außerhalb der Rhizosphäre stammen und daher keine Aussage darüber erlauben, in welchem Umfang die Rhizosphäre direkt von stickstofffixierenden oder wachstumsfördernden

Mikroorganismen besiedelt war. Für eine differenzierte Einschätzung der Symbiose- und Pflanzenwachstumsförderung wäre eine gezielte Rhizosphärenprobenahme ergänzend sinnvoll gewesen.

5.4.2 Bodenproben Beerenobstbetrieb Rumänien

5.4.2.1 Versuche mit Blühstreifen und Bodendeckern an Himbeeren

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen aus den Himbeer-Polytunneln in Rumänien verdeutlichen, dass die Einführung unterschiedlicher Begrünungsmaßnahmen und Blühinseln einen signifikanten Einfluss auf die Zusammensetzung der bodenmikrobiellen Gemeinschaft hatte. Besonders auffällig sind hierbei die starken Schwankungen bei potenziell nützlichen Pilz- und Bakteriengattungen wie *Mortierella*, *Chaetomium*, *Bradyrhizobium* und *Streptomyces*, aber auch bei potenziell phytopathogenen Gattungen wie *Fusarium* und *Pectobacter*.

Die Etablierung von Weißklee oder artenreichen Blühmischungen führte in vielen Fällen zu einer Zunahme der relativen Häufigkeit bestimmter Mikroorganismen, die für ihre positiven Funktionen in Agrarökosystemen bekannt sind. So wird *Mortierella* häufig als Indikator für eine gute Bodenstruktur und aktive Zersetzung organischer Substanz interpretiert (Ozimek & Hanaka, 2021). Dass diese Gattung vor allem im Frühjahr 2023 in hohen Anteilen detektiert wurde, legt nahe, dass feuchtere und mäßig warme Bedingungen in dieser Jahreszeit optimale Wachstumsbedingungen geschaffen haben. Studien belegen, dass *Mortierella* vor allem bei Temperaturen zwischen 10 °C und 20 °C eine hohe Aktivität zeigt und Nährstoffkreisläufe fördert (Ozimek et al., 2018; Ozimek & Hanaka, 2021; Werner et al., 2016). Die vergleichsweise hohen Anteile in den Tunnelrandbereichen mit Blühinseln sprechen zudem dafür, dass zusätzliche organische Einträge und eine geringere Bodenbearbeitung die Vermehrung dieser Gattung begünstigen.

Auch *Chaetomium*, bekannt für seine antagonistischen Eigenschaften gegenüber phytopathogenen Pilzen (Zhang & Yang, 2007), konnte in allen Varianten regelmäßig nachgewiesen werden. Die kontinuierliche Präsenz dieser Gattung, vor allem in den Süßgräser- und Weißkleevarianten, lässt vermuten, dass eine permanente Bodenbedeckung nicht nur das Bodenklima stabilisiert, sondern auch förderliche mikrobielle Antagonisten unterstützt.

Die Dynamik von *Fusarium* hingegen unterstreicht, dass Begrünungsmaßnahmen auch Risiken bergen können. Die signifikant erhöhten *Fusarium*-Anteile in den Herbstproben der einjährigen und mehrjährigen Blühinseln (bis zu 12,4 %) deuten darauf hin, dass eine dichte Vegetation und organische Akkumulation in Kombination mit abnehmenden Temperaturen und erhöhter Bodenfeuchte günstige Bedingungen für diese Gattung schaffen. Frühere Untersuchungen zeigen, dass *Fusarium* besonders bei Temperaturen um 15–20 °C und hoher Feuchte proliferiert (Fravel et al., 1996). Dies könnte erklären, warum gerade die Proben aus dem Oktober hohe Befallswerte aufwiesen.

Auch das bakterielle Konsortium reflektiert die Effekte der Bewirtschaftung: Die höchste *Bradyrhizobium*-Häufigkeit wurde in Weißklee-Parzellen gemessen, was die enge Assoziation dieser Stickstofffixierer mit Leguminosen bestätigt (Abe et al., 2023; Ngwenya et al., 2022). Der deutliche Anstieg von *Streptomyces* in Weißklee- und Süßgräserflächen weist ebenfalls auf eine Förderung potenziell phytopathogen-antagonistischer Bakterien hin (S. Li et al., 2024). Gleichzeitig zeigen die deutlich höheren *Pectobacter*-Anteile in Weißklee und Süßgräserflächen, dass organisch angereicherte Systeme nicht ausschließlich förderliche

Organismen begünstigen. *Pectobacterium* wird unter feuchten Bedingungen häufig aktiver und kann Weichfäulekrankheiten auslösen (X. Li et al., 2018).

Diese Muster sind zudem stark von saisonalen Temperaturverläufen geprägt. Die kontinental geprägte Klimazone der Region mit heißen Sommern und kühlen Übergangszeiten bedingt eine ausgeprägte saisonale Dynamik im Mikrobiom. So wurde beobachtet, dass im Frühjahr höhere Anteile saprotropher Pilze wie *Mortierella* vorlagen, während im Herbst potenziell pathogene Pilze wie *Fusarium* dominierten. Dieses saisonale Wechselspiel deckt sich mit Erkenntnissen der Wissenschaft, die in kontinentalklimatischen Böden eine stärkere Abhängigkeit der Diversität saprotropher Pilze von Temperaturschwankungen nachwies (He et al., 2017).

Insgesamt zeigen die Daten, dass die Begrünungsmaßnahmen in den Himbeer-Polytunneln differenzierte Effekte auf die bodenbürtigen Mikroorganismen hatten: Während Weißklee und Blümmischungen förderliche Gruppen wie *Bradyrhizobium*, *Streptomyces* oder *Chaetomium* stärkten, waren sie gleichzeitig mit einem höheren Risiko der Ansiedlung potenziell pathogener Gattungen assoziiert. Entscheidend scheint dabei nicht nur die Art der Begrünung, sondern auch das Zusammenspiel von Temperatur und Bodenfeuchte über die Vegetationsperiode hinweg.

Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass die Etablierung artenreicher Begrünungssysteme in Himbeeranlagen eine wichtige Strategie zur Förderung mikrobieller Diversität und Funktionalität darstellen kann. Gleichzeitig sollten jedoch potenzielle phytopathogene Entwicklungen, insbesondere bei hoher Bodenfeuchte in den Herbstmonaten, sorgfältig überwacht und gegebenenfalls durch gezielte Managementmaßnahmen (z.B. Mulchregime, Drainage) reguliert werden.

5.4.2.2 Versuche der mikrobiellen Anreicherung an Erdbeeren

Die Ergebnisse der Bodenproben aus den rumänischen Erdbeerefeldern zeigen, dass der Einsatz von selbstproduziertem Kompost – mit und ohne zusätzliche Inokulation mit *Pseudomonas fluorescens* und *Klebsiella oxytoca* – messbare Effekte auf die mikrobielle Zusammensetzung der Böden hatte. Die Zielsetzung, über Kompostgaben die mikrobielle Aktivität zu fördern und die Bodenqualität zu verbessern, konnte teilweise erreicht werden, wenngleich die Inokulation nur begrenzt Wirkung zeigte.

Einfluss des Komposts auf die mikrobielle Gemeinschaft

Der Einsatz von Kompost führte auf den Erdbeerefeldern im April 2024 zu einem Anstieg nützlicher mikrobieller Gattungen wie *Streptomyces* (0,98 %), *Lysobacter* (1,26 %) und *Frankia* (0,19 %). Diese Mikroben sind bekannt für ihre Rolle in der Hemmung phytopathogener Organismen (*Streptomyces*; S. Li et al., 2024) der Förderung der Pflanzengesundheit (*Lysobacter*; Shen et al., 2021) und der biologischen Stickstofffixierung (*Frankia*; Naik et al., 2023).

Dennoch ist bei der Bewertung des Komposteinsatzes der deutliche Anstieg von *Fusarium* zu berücksichtigen. Die höchsten Anteile wurden in den Proben vom April 2024 auf dem Erdbeerefeld mit einfachem Kompost gemessen (8,75 %). Zum Vergleich: im unbehandelten Erdbeerefeld betrug der Anteil 6,49 % (Sep. 2023), im angereicherten Kompostfeld 5,33 % (Sep. 2023), während der reine Kompost in allen Proben erheblich niedrigere *Fusarium*-Gehalte aufwies (0,86–3,71 %). *Fusarium* spp. gehören zu den wichtigsten bodenbürtigen Pathogenen

in Erdbeerkulturen und sind Verursacher von Welkekrankheiten und Wurzelfäulen (Pastrana et al., 2023). Diese Zunahme kann in zweierlei Hinsicht interpretiert werden: Einerseits liefert der Kompost potenziell Nährstoffe, die auch saprotrophe oder pathogene Pilze begünstigen. Andererseits könnte der Kompost den Wettbewerb zwischen antagonistischen Mikroben und Pathogenen verändert haben. Besonders auffällig ist, dass trotz der Anreicherung mit *Pseudomonas fluorescens* – einem biologischen Antagonisten gegen *Fusarium* spp. (Rathore et al., 2020) – keine klare Reduktion der *Fusarium*-Anteile festgestellt wurde. Dies legt nahe, dass das inokulierte *Pseudomonas* sich nicht ausreichend etablieren oder durchsetzen konnte.

Vergleich mit unbehandelten Flächen

Interessanterweise wiesen die unbehandelten Erdbeerbefelder im April 2024 trotz Abwesenheit gezielter Maßnahmen die höchsten Anteile an für Pflanzengesundheit förderlichen Pilzen auf: *Mortierella* (20,7 %), *Chaetomium* (2,67 %) und *Trichoderma* (0,21 %). Diese Pilze sind als Antagonisten gegen pathogene Pilze bekannt, was zumindest teilweise erklären könnte, warum *Fusarium*-Anteile dort unter denen der Kompostflächen lagen (Frac et al., 2018; Soyong et al., 2021; Yao et al., 2023).

Mikrobielle Besonderheiten im Kompost

Die Referenzproben des Komposts selbst wiesen eine im Vergleich niedrigere *Fusarium*-Präsenz (max. 3,71 %) auf, was darauf hindeutet, dass der Kompost nicht primär als Inokulumquelle für *Fusarium* fungierte. Wahrscheinlich führten seine Applikation und der dadurch veränderte Nährstoff- und Feuchtehaushalt eher indirekt zur Förderung von *Fusarium* im Boden. In der Literatur wird beschrieben, dass Kompost unter bestimmten Umständen sowohl die Suppressivität als auch die Pathogenaktivität erhöhen kann – je nach Kompostierungspraktik, Ausgangsmaterial und Mikrobiota (Bouchtaoui et al., 2024).

Darüber hinaus wurde für die Kompostproben eine deutlich veränderte Bakteriengemeinschaft nachgewiesen. Dies ist nicht verwunderlich, denn Komposte enthalten höhere Mengen leicht abbaubarer organischer Substanzen und Nährstoffe und bieten dadurch günstige Bedingungen für schnell wachsende Mikroorganismen, die im Boden nur in geringer Zahl vorkommen. Durch Verdichtung und Feuchtigkeit können sich anaerobe Zonen bilden, in denen Methanogene und Sulfatreduzierer aktiv werden. Zudem fördert die Rottephase thermophile Bakterien und Pilze. So lassen sich auch die erhöhten Anteile von *Cloacimonadia*, *Methanobacteria* und *Desulfovibrionia* in den Kompostproben erklären, die vor allem auf den Abbau organischer Substanzen unter Sauerstoffmangel spezialisiert sind (Thummes et al., 2007; Yadav et al., 2024). Der Nachweis von *Nitrososphaeria* weist auf eine intensive Stickstoffumsetzung hin.

Das Vorkommen bestimmter Pilzklassen wie *Saccharomycetes*, *Geoglossomycetes* und *Pezizomycotina* ergänzt dieses Bild, da sie auf eine aktive, saprotrophe Pilzflora hinweisen, die leicht und komplex abbaubare organische Substanzen zersetzt (Suh et al., 2006; Tedersoo et al., 2006). Insgesamt zeigt die mikrobielle Gemeinschaft des Komposts ein dynamisches Milieu in einer Übergangsphase, geprägt von anaeroben Mikro-Nischen und einer sich etablierenden aeroben Pilzflora, was auf eine noch nicht vollständig gereifte Rotte hinweist.

Die Ergebnisse unterstreichen, dass der Einsatz von Kompost in Erdbeersystemen differenziert zu betrachten ist. Während positive Effekte auf Bodenparameter und nützliche Mikroben vorliegen, muss der Anstieg von *Fusarium* als potenzielles Risiko bewertet werden. Langfristig könnte eine Kombination aus organischer Düngung, standortspezifischer Mikrobiomanalyse und gezielter Bioaugmentation helfen, eine ausgewogene Balance

zwischen Förderung erwünschter Mikroorganismen und Unterdrückung pathogener Pilze zu erreichen.

5.4.4 Standortbedingte Unterschiede

Wie in den Heatmaps in Abbildung 15 und Abbildung 16 zu erkennen, lassen sich die Proben aus Rumänien (erkennbar am Kürzelbeginn „RU“) klar von denen aus Deutschland, Geisenheim (erkennbar am Kürzelbeginn „GE“) hinsichtlich ihrer mikrobiellen Zusammensetzung abgrenzen. Heatmaps gruppieren Proben nach ihrer Ähnlichkeit, weshalb geschlussfolgert werden kann, dass sich die Böden aus Rumänien, in Hinblick auf die enthaltenen Bakterien und Pilze, klar von denen aus Deutschland unterscheiden. Diese Abgrenzbarkeit lässt sich auf ein komplexes Zusammenspiel mehrerer standortspezifischer Faktoren zurückführen. Einer der zentralen Einflussgrößen ist das Klima, das sich in Temperaturverläufen, Niederschlagsmengen und Saisonalität unterscheidet. So begünstigt das kontinental geprägte Klima in Teilen Rumäniens andere mikrobielle Gemeinschaften als das eher gemäßigte mitteleuropäische Klima in Deutschland. Darüber hinaus spielen Bodenchemie und Bodentypen eine entscheidende Rolle. Unterschiede im pH-Wert, der Basensättigung, der organischen Substanz oder der Gehalte an Spurenelementen schaffen Selektionsdruck auf bestimmte Pilze und Bakterien. Böden mit höherem Kalk- oder Tonanteil oder unterschiedlicher Nährstoffverfügbarkeit beherbergen oft spezifische mikrobielle Leitarten.

Nicht zuletzt bestimmt die Vegetation, sowohl die Kultur- als auch Begleitflora, das Bodenmikrobiom. Wurzelexsudate, abgestorbene Pflanzenreste und die spezifische Rhizosphären-Interaktion liefern das Substrat, das verschiedene mikrobiellen Gruppen selektiv fördert. Schließlich spielen auch biogeografische und historische Faktoren eine Rolle. Viele Bodenmikroben zeigen charakteristische Verbreitungsmuster, die durch Isolation, klimatische Geschichte und unterschiedliche Ausgangsbedingungen entstanden sind. Diese Einflüsse wirken oft langfristig und tragen dazu bei, dass sich die mikrobielle Zusammensetzung von Standorten verschiedener Regionen selbst bei ähnlicher Nutzung unterscheidet.

Insgesamt verdeutlichen die beobachteten Unterschiede, dass sich Bodenmikrobiome nicht nur durch kurzfristige Eingriffe, sondern in hohem Maß durch langjährig wirksame Standortbedingungen formen, die in Metabarcoding-Analysen deutlich sichtbar werden.

5.5 AP 3: Anwendung innovativer Schädlingsbekämpfungsstrategien

5.5.1 Kontrollstrategien gegen *Drosophila suzukii*

Fangpflanzen gegen *D. suzukii*

Die vorliegenden Untersuchungen bestätigen die Hypothese, dass bestimmte Wildgehölze als effektive "dead-end plants" für *D. suzukii* dienen können, was eine vielversprechende Strategie für ein nachhaltiges Schädlingsmanagement darstellt. Die Ergebnisse der Freilandhebungen in den Jahren 2023 und 2024 zeigen eine hochsignifikante Variabilität in der Gesamtbefallshäufigkeit zwischen den Pflanzenarten ($p < 2.2e-16$), was die Annahme einer klaren Wirtspräferenz von *D. suzukii* im Freiland belegt. Diese Ergebnisse stehen im Kontext der Forschung von Fragnière et al. (2024), die in Laborversuchen 16 von 60 Pflanzenarten als

attraktiver für die Eiablage als Weintrauben identifizierten, die zudem die Larvenentwicklung hemmten. Die Autoren selbst schlussfolgerten, dass diese Kandidaten nun unter Freilandbedingungen getestet werden müssten, da die komplexen natürlichen Gegebenheiten in ihren Laborversuchen nicht abgebildet werden konnten. Unsere parallel durchgeführten Freilanduntersuchungen schließen genau diese Lücke, indem sie das Verhalten von *D. suzukii* auf einer ähnlichen Auswahl von Wildgehölzen unter natürlichen Bedingungen beobachten. Besonders hervorzuheben sind die Pflanzenarten, die das ideale "Dead-End"-Profil am besten erfüllen: hohe Attraktivität für die Eiablage bei gleichzeitig vollständiger oder nahezu vollständiger Unterbrechung der Nachkommenentwicklung. In dieser Hinsicht erwiesen sich *Prunus lusitanica* und *Phytolacca acinosa* als besonders effektiv.

Die Laborversuche unserer Studie ergänzen diese Befunde entscheidend und führen einen neuartigen Ansatz ein: die gezielte Lockstoffapplikation. Während Fragnière et al. (2024) die natürliche Attraktivität der Früchte untersuchten, belegen unsere Versuche, dass die Lockstoffmischung "Droski-Drink" die Attraktivität aller getesteten Früchte hochsignifikant steigern kann. Dies beweist die Machbarkeit, die natürliche, teils geringe Attraktivität von dead-end plants gezielt zu erhöhen und sie damit als effektive Fallen zu optimieren. Die Kombination dieser Befunde legt nahe, dass der Einsatz von attraktiven, aber reproduktionshemmenden Wildgehölzen in Verbindung mit einem Lockstoff eine vielversprechende, nicht-chemische Strategie im integrierten Pflanzenschutz darstellen könnte.

Entomopathogene Nematoden gegen *D. suzukii*

Laborversuche zeigten, dass die Applikation der Nematodenspezies *Heterorhabditis bacteriophora* auf befallene Heidelbeeren den Populationsaufbau der der Kirschessigfliege *D. suzukii* signifikant verlangsamen kann. Für die Anwendung dieser oder anderer entomopathogener Nematodenarten zur Kontrolle der Kirschessigfliege in der Praxis ist es nachfolgend wichtig, Applikationsort (Boden, Blatt), Applikationszeitpunkt und Integration dieser biologischen Kontrollstrategie mit anderen Kulturverfahren zu prüfen. Hierfür könnte in Folgeprojekten und Studien auch auf die Ergebnisse des marokkanischen Projektpartners ENAM/UMI aufgebaut werden.

5.5.2 Wirksamkeit des Entomovectorings zur Bekämpfung von *Botrytis cinerea*

In Gewächshausversuchen wurde der Frage nachgegangen, ob die Effizienz der *Botrytis*-Bekämpfung an Erdbeeren durch Entomovectoring (Transfer eines pilzlichen *Botrytis*-Antagonisten auf die Erdbeerblüte durch Hummeln) beeinflusst wird, wenn zeitgleich Blühstreifen in der Anlage präsent sind. Diese Hypothese konnte nicht bestätigt werden. Die gewonnenen Ergebnisse sind damit vielversprechend für die Anwendung von Entomovectoring in Betrieben, die zeitgleich Blühstreifen verwenden. Um allerdings tatsächlich eine dementsprechende Empfehlung aussprechen zu können, müssen zuvor Freiland-Experimente durchgeführt werden. Die durchgeführten Gewächshausversuche fanden auf einer kleinen Fläche und mit einer großen Anzahl von Hummeln pro Pflanze statt. Freiland-Experimente könnten zeigen, ob die Präferenz der Hummeln für den Blühstreifen sich tatsächlich nicht negativ auf den Schutz der Erdbeeren gegen *Botrytis*-Befall auswirkt. Der praktische Einsatz der Entomovectoring Technik im Freiland wird allerdings durch die derzeitige Zulassungssituation des Verfahrens stark erschwert (Antagonist ist zwar zur *Botrytis*-Kontrolle im ökologischen Beerenobst zugelassen, eine Ausbringung mittels Entomovectoring in Deutschland aber nicht).

6 Angaben zum voraussichtlichen Nutzen und zur Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projekts ResBerry leisten einen bedeutenden Beitrag zur Weiterentwicklung des ökologischen Beerenanbaus in Europa. Durch die Kombination von Habitatmanagementmaßnahmen, der gezielten Förderung mikrobieller Bodenbiodiversität und dem Einsatz innovativer biologischer Bekämpfungsverfahren werden neue praxistaugliche Strategien zur Steigerung der Resilienz von Beerenanbausystemen bereitgestellt.

Für die landwirtschaftliche Praxis besteht der unmittelbare Nutzen darin, dass ökologisch wirtschaftende Betriebe konkrete Handlungsempfehlungen erhalten, wie sie durch Blühstreifen, Fangpflanzen und Bodendecker die natürliche Regulierung von Schaderregern fördern und damit den Einsatz externer Betriebsmittel nachhaltig reduzieren können. Die im Projekt erarbeiteten Konzepte zur Anreicherung nützlicher Bodenmikroorganismen ermöglichen es, bodenbürtigen Krankheiten präventiv zu begegnen und gleichzeitig die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Durch die entwickelten Techniken zur Ausbringung organischer Substrate und mikrobieller Präparate wird Beerenobstbetrieben ein praktisches Instrumentarium an die Hand gegeben, um den ökologischen Anbau resilienter und nachhaltiger zu gestalten.

Für Beratungseinrichtungen, Verbände und den Wissenstransfer sind die wissenschaftlichen Ergebnisse von hoher Bedeutung, da sie durch umfangreiche Feldversuche und mikrobiologische Analysen untermauert sind. Die gewonnenen Daten zum Bodenmikrobiom in unterschiedlichen Anbausystemen stellen eine wertvolle Grundlage für künftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte dar. Darüber hinaus tragen die Erfahrungen mit dem Entomovectoring-Ansatz und dem Einsatz entomopathogener Nematoden zur Erweiterung der biologischen Pflanzenschutzstrategien bei.

Der Transfer der Ergebnisse wird durch Veröffentlichungen in Fachzeitschriften, Informationsmaterialien, Schulungsveranstaltungen sowie die Einbindung der Projektergebnisse in die Ausbildung und Beratung gesichert. Darüber hinaus ist geplant, mit den erzeugten Daten zur Bodenmikrobiologie samt den Metadaten dabei zu helfen, den „**Soil Holistic Quality Index**“ (**SHQI**) aufzubauen. Der Bodenqualitätsindex, der im Zuge des SPIN-FERT Projekt entwickelt und etabliert werden soll, integriert neben chemischen und physikalischen Bodenparametern auch biologische Indikatoren, um ein umfassendes Bild der Bodenqualitäten zu erstellen. So wird sichergestellt, dass die vom ILU erhobenen Daten auch langfristig für Forschung und Praxis verfügbar sind (FAIR) und durch Vergleiche mit weiteren Datensätzen noch besser in Relation gesetzt werden können.

Langfristig tragen die Projektergebnisse dazu bei, den ökologischen Beerenanbau ökonomisch tragfähiger, umweltverträglicher und klimaanpassungsfähiger zu machen und so die Wettbewerbsfähigkeit der Betriebe zu stärken und die Nachfrage nach nachhaltig erzeugten Produkten zu bedienen.

7 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Das Projekt ResBerry hatte sich zum Ziel gesetzt, durch die Kombination biodiversitätsfördernder Maßnahmen und innovativer mikrobieller Strategien die Resilienz ökologischer Beerenanbausysteme gegenüber biotischen und abiotischen Belastungen maßgeblich zu steigern. Die überwiegende Mehrzahl der gesetzten Ziele konnte planmäßig oder in wesentlichen Teilen erreicht werden.

Im Bereich der Implementierung präventiver Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen (Teilziel a) wurden Blühstreifen, Fangpflanzen und Bodendecker an verschiedenen Standorten erfolgreich etabliert. Die Habitatmaßnahmen erwiesen sich als umsetzbar und wurden in verschiedenen Varianten hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Förderung und das Ausbreitungsverhalten potenzieller Nützlinge sowie hinsichtlich eines Einflusses auf das Bodenmikrobiom und bodenbürtige Pathogene untersucht.

Im Hinblick auf die Entschlüsselung der mikrobiellen Gemeinschaften (Teilziel b) wurden umfassende Bodenprobenserien gewonnen, aufbereitet und sequenziert. Durch die Analysen konnten zahlreiche förderliche Bakterien- und Pilzarten identifiziert werden, deren Häufigkeit je nach Bewirtschaftungsform signifikant variierte. Auch Strategien zur gezielten Anreicherung nützlicher Mikroorganismen wurden wie geplant entwickelt und erstmalig in Feldversuchen angewendet. Lediglich die Proben aus Marokko konnten aufgrund unvorhersehbarer logistischer Schwierigkeiten nicht in die Analysen einbezogen werden.

Das Ziel, landwirtschaftliche Betriebe für innovative biologische Verfahren wie entomopathogene Nematoden und Entomovectoring zu sensibilisieren (Teilziel c), wurde durch Fachveranstaltungen, Beratungen und den Wissenstransfer weitgehend erfüllt. Entsprechende Versuche zur Wirksamkeit dieser Methoden wurden in mehreren Partnerländern demonstriert.

Hinsichtlich der Bewertung der Auswirkungen auf Ertrag, Qualität und Verbraucherakzeptanz (Teilziel d) wurden umfangreiche Daten an den Standorten in Deutschland und Rumänien erhoben. Zum Zeitpunkt der Berichterstellung liegen jedoch noch nicht alle endgültigen Ergebnisse und Auswertungen der beteiligten Partnerinstitutionen vor, sodass eine vollständige abschließende Bewertung noch aussteht. Erste Trends deuten jedoch auf positive Effekte biodiversitätsfördernder Maßnahmen auf die Stabilität der Anbausysteme hin.

Die geplante Verbreitung und Kommunikation der Ergebnisse (Teilziel e) konnte wie vorgesehen umgesetzt werden. Das Projekt hat durch zahlreiche Beiträge auf nationalen und internationalen Tagungen, über Veröffentlichungen, Workshops, den Aufbau von Informationsmaterialien und den Austausch mit Raxisbetrieben und Beratungsstellen eine breite Wirkung entfaltet. Die angestrebten Veröffentlichungen in Fachzeitschriften mit Peer-Review befinden sich noch in Vorbereitung und sollen nach Ende der Projektlaufzeit realisiert werden.

Zusammenfassend wurden die ursprünglich formulierten Ziele in nahezu allen Bereichen erreicht bzw. z.T. übertroffen. Einzelne Einschränkungen ergaben sich ausschließlich durch standortbedingte Rahmenbedingungen oder noch ausstehende finale Auswertungen. Das Projekt konnte damit die Grundlage für eine nachhaltige Weiterentwicklung ökologischer Beerenanbausysteme in Europa schaffen.

8 Zusammenfassung

Das Verbundprojekt ResBerry verfolgte das Ziel, ökologische Beerenanbausysteme durch die Integration biodiversitätsfördernder Maßnahmen wie Begleitpflanzungen und innovativer mikrobieller Managementstrategien widerstandsfähiger gegenüber biotischen und abiotischen Stressoren zu gestalten. An mehreren Standorten – insbesondere in Deutschland und Rumänien – wurden Strohmulchauflage, Bodendecker und Blühstreifen sowie die Anwendung von mikrobiell angereicherten Komposten erprobt. Mehrjährige Feldversuche haben erfolgreich gezeigt, dass Begleitpflanzungen die funktionelle Biodiversität im biologischen Erdbeeranbau signifikant steigern können. Direkt an die Kultur angrenzende Fangpflanzen und Blühstreifen sind dabei die verlässlichste und wichtigste Maßnahme, um ein Reservoir an Nützlingen aufzubauen und deren Einwanderung in die Kultur (hier: Erdbeeren) zu fördern. Eine Analyse der Mageninhalte ausgewählter räuberischer Wanzen bestätigte, dass die Nützlinge ihre Rolle als Schädlingsantagonist in allen Varianten erfüllten. Fang-Markierung-Wiederfang-Studien belegten zudem, dass die eingesetzten Begleitpflanzungen das Potenzial besitzen, adulte invasive Stinkwanzen wie *Nezara viridula* von der Hauptkultur Erdbeere abzulenken, wobei zugleich auch eine Bewegung von den Begleitpflanzen in Richtung Erdbeerkultur stattfand. Auch für die Marmorierte Baumwanze *Halyomorpha halys* konnte belegt werden, dass die Begleitpflanzen unter bestimmten Bedingungen eine Ablenkungswirkung auf von der Hauptkultur Himbeere ausüben können, wobei die Aktivität dieser Schädlinge insbesondere durch vorherrschende Temperaturverhältnisse bestimmt wurde. Wahlversuche zum Eiablageverhalten der Kirschessigfliege *Drosophila suzukii* zeigten, dass sich *D. suzukii* in den Früchten von *P. acinosa* nicht vollständig entwickeln konnte, obwohl die Früchte zur Eiablage gewählt wurden. Damit stellen Früchte dieser Pflanze eine potentielle „dead end“ Wirtsfrucht dar, die im Rahmen von Begleitpflanzungen in der Nähe von Beerenobstkulturen gepflanzt werden könnte. Bei Früchten von *C. divaricatus*, *C. sanguinea*, *P. coccinea* und *P. laurocerasus* konnte nur eine Tendenz zu einer geringeren Anzahl voll entwickelter adulter Tiere beobachtet werden.

Die durchgeführten mikrobiologischen Analysen zeigten, dass die im Projekt ResBerry erprobten Maßnahmen die Zusammensetzung der Bodenmikrobiome beeinflussen und Anteile förderlicher Mikroorganismen steigern können. Im Erdbeeranbau in Geisenheim erwiesen sich vor allem Strohmulch und Mikroklee als wirksam, während in Rumänien Begrünungsmaßnahmen in Himbeer-Polytunneln saisonal stark variierende Effekte auf die Häufigkeit potenziell phytopathogener Pilze aufwiesen. Ergänzend wurde ein Verfahren zur gezielten Anreicherung nützlicher Bakterien entwickelt und implementiert. Die Projektergebnisse unterstreichen die Bedeutung integrativer Ansätze, die Habitatmanagement und mikrobielles Bodenmanagement verbinden. ResBerry liefert damit praxisorientierte Handlungsempfehlungen und wissenschaftliche Grundlagen, um die ökologische Beerenproduktion in Europa nachhaltig und resilient weiterzuentwickeln.

9 Literaturverzeichnis

- Abe, J. N. A., Dhungana, I., & Nguyen, N. H. (2023). Legume-nodulating rhizobia are widespread in soils and plants across the island of *O'ahu, Hawai'i*. *BioRxiv*, 2023.05.04.539415. <https://doi.org/10.1101/2023.05.04.539415>
- Asplen, M. K., Anfora, G., Biondi, A., Choi, D.-S., Chu, D., Daane, K. M., Gibert, P., Gutierrez, A. P., Hoelmer, K. A., Hutchison, W. D., Isaacs, R., Jiang, Z.-L., Kárpáti, Z., Kimura, M. T., Pascual, M., Philips, C. R., Plantamp, C., Ponti, L., Véték, G., ... Desneux, N. (2015). Invasion biology of spotted wing *Drosophila* (*Drosophila suzukii*): a global perspective and future priorities. *Journal of Pest Science*, 88(3), 469–494. <https://doi.org/10.1007/s10340-015-0681-z>
- Baggen, L. R., & Gurr, G. M. (1998). The Influence of Food on *Copidosoma koehleri* (Hymenoptera: Encyrtidae), and the Use of Flowering Plants as a Habitat Management Tool to Enhance Biological Control of Potato Moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Biological Control*, 11(1), 9–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/bcon.1997.0566>
- Barda, M. S., Karamaouna, F., Kati, V., Stathakis, T. I., Economou, L. P., & Perdakis, D. Ch. (2025). Flowering plant patches to support the conservation of natural enemies of pests in apple orchards. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 381, 109405. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109405>
- Batuecas, I., Alomar, O., Castañe, C., Piñol, J., Boyer, S., Gallardo-Montoya, L., & Agustí, N. (2022). Development of a multiprimer metabarcoding approach to understanding trophic interactions in agroecosystems. *Insect Science*, 29(4), 1195–1210. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1744-7917.12992>
- Bouchtaoui, E. M., Haouas, A., Dababat, A. A., Lahlali, R., Benali, A., Fahr, M., Smouni, A., Azim, K., Liu, Z., Li, J., & Mokrini, F. (2024). Exploring mechanisms of compost-mediated suppression of plant pathogens: A critical review. *Applied Soil Ecology*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105644>
- Cahenzli, F., Sigsgaard, L., Daniel, C., Herz, A., Jamar, L., Kelderer, M., Jacobsen, S. K., Kruczyńska, D., Matray, S., Porcel, M., Sekrecka, M., Świergiel, W., Tasin, M., Telfser, J., & Pfiffner, L. (2019). Perennial flower strips for pest control in organic apple orchards - A pan-European study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 278, 43–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.03.011>
- Cini, A., Ioriatti, C., & Anfora, G. (2012). A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bulletin of Insectology*, 65, 149–160.
- Coleman, J. J. (2016). The *Fusarium solani* species complex: Ubiquitous pathogens of agricultural importance. *Molecular Plant Pathology*, 17(2), 146–158. <https://doi.org/10.1111/mpp.12289>
- Compant, S., Duffy, B., Nowak, J., Clément, C., & Barka, E. A. (2005). Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: Principles, mechanisms of action, and future prospects. In *Applied and Environmental Microbiology* (Vol. 71, Issue 9, pp. 4951–4959). <https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005>
- DeBruyn, J. M., Nixon, L. T., Fawaz, M. N., Johnson, A. M., & Radosevich, M. (2011). Global biogeography and quantitative seasonal dynamics of *Gemmatimonadetes* in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(17), 6295–6300. <https://doi.org/10.1128/AEM.05005-11>

- Díaz, M. F., Ramírez, A., & Poveda, K. (2012). Efficiency of different egg parasitoids and increased floral diversity for the biological control of noctuid pests. *Biological Control*, 60(2), 182–191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2011.11.001>
- Du, Y., Han, X., & Tsuda, K. (2025). Microbiome-mediated plant disease resistance: recent advances and future directions. *Journal of General Plant Pathology*, 91(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s10327-024-01204-1>
- Folmer, O., Black, M., Hoeh, W., Lutz, R., & Vrijenhoek, R. (1994). DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Molecular Marine Biology and Biotechnology*, 3(5), 294–299. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7881515/>
- Frac, M., Hannula, S. E., Belka, M., & Jędrzycka, M. (2018). Fungal biodiversity and their role in soil health. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 9, Issue APR). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00707>
- Fragnière, A.-L., Bacher, S., & Kehrl, P. (2024). Identifying candidate host plants for trap cropping against *Drosophila suzukii* in vineyards. *Journal of Pest Science*, 97(4), 1975–1991. <https://doi.org/10.1007/s10340-024-01748-3>
- Fravel, D. R., Stosz, S. K., & Larkin, R. P. (1996). Effect of temperature, soil type, and matric potential on proliferation and survival of *Fusarium oxysporum* f. sp. *erythroxyli* from *Erythroxyllum coca*. *Phytopathology*, 86(3), 236–240. <https://doi.org/10.1094/PHTO-86-236>
- Géneau, C. E., Wäckers, F. L., Luka, H., Daniel, C., & Balmer, O. (2012). Selective flowers to enhance biological control of cabbage pests by parasitoids. *Basic and Applied Ecology*, 13(1), 85–93. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.baae.2011.10.005>
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species - Opportunistic, avirulent plant symbionts. In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 2, Issue 1, pp. 43–56). <https://doi.org/10.1038/nrmicro797>
- He, J., Tedersoo, L., Hu, A., Han, C., He, D., Wei, H., Jiao, M., Anslan, S., Nie, Y., Jia, Y., Zhang, G., Yu, G., Liu, S., & Shen, W. (2017). Greater diversity of soil fungal communities and distinguishable seasonal variation in temperate deciduous forests compared with subtropical evergreen forests of eastern China. *FEMS Microbiology Ecology*, 93(7), fix069. <https://doi.org/10.1093/femsec/fix069>
- Henry, P. M., Kirkpatrick, S. C., Islas, C. M., Pastrana, A. M., Yoshisato, J. A., Koike, S. T., Daugovish, O., & Gordon, T. R. (2017). The population of *Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*, cause of fusarium wilt of strawberry, in California. *Plant Disease*, 101(4), 550–556. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-16-1058-RE>
- Hodgkiss, D., Brown, M. J. F., & Fountain, M. T. (2019). The effect of within-crop floral resources on pollination, aphid control and fruit quality in commercial strawberry. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 275, 112–122. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.02.006>
- Jacobsen, S. K., Sørensen, H., & Sigsgaard, L. (2022). Perennial flower strips in apple orchards promote natural enemies in their proximity. *Crop Protection*, 156, 105962. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2022.105962>
- Kisand, V., Cuadros, R., & Wikner, J. (2002). Phylogeny of culturable estuarine bacteria catabolizing riverine organic matter in the northern Baltic Sea. *Applied and Environmental Microbiology*, 68(1), 379–388. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.1.379-388.2002>
- Knight, K. M. M., & Gurr, G. M. (2007). Review of *Nezara viridula* (L.) management strategies and potential for IPM in field crops with emphasis on Australia. *Crop Protection*, 26(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2006.03.007>

- Kowalska, J., Antkowiak, M., & Sienkiewicz, P. (2022). Flower Strips and Their Ecological Multifunctionality in Agricultural Fields. *Agriculture*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/agriculture12091470>
- Lee, D.-H., & Leskey, T. C. (2015). Flight behavior of foraging and overwintering brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *Bulletin of Entomological Research*, 105(5), 566–573. <https://doi.org/10.1017/S0007485315000462>
- Leray, M., Yang, J. Y., Meyer, C. P., Mills, S. C., Agudelo, N., Ranwez, V., Boehm, J. T., & Machida, R. J. (2013). A new versatile primer set targeting a short fragment of the mitochondrial COI region for metabarcoding metazoan diversity: application for characterizing coral reef fish gut contents. *Frontiers in Zoology*, 10(1), 34. <https://doi.org/10.1186/1742-9994-10-34>
- Li, S., Liang, W., Huang, H., Wu, H., Luo, H., Mo, J., Zhang, Z., & Hu, S. (2024). Antagonistic and Plant Growth-Promoting Properties of *Streptomyces* F2 Isolated from Vineyard Soil. *Agronomy*, 14(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy14071489>
- Li, X., Ma, Y., Liang, S., Tian, Y., Yin, S., Xie, S., & Xie, H. (2018). Comparative genomics of 84 *Pectobacterium* genomes reveals the variations related to a pathogenic lifestyle. *BMC Genomics*, 19(1), 889. <https://doi.org/10.1186/s12864-018-5269-6>
- Mahdavi, T. S., Madadi, H., & Biondi, A. (2020). Predation and reproduction of the generalist predator *Nabis pseudoferus* preying on *Tuta absoluta*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(10), 732–741. <https://doi.org/10.1111/eea.12975>
- Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S. V., Machado, M. A., Toth, I., Salmond, G., & Foster, G. D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(6), 614–629. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x>
- Masson-Boivin, C., Giraud, E., Perret, X., & Batut, J. (2009). Establishing nitrogen-fixing symbiosis with legumes: how many rhizobium recipes? *Trends in Microbiology*, 17(10), 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2009.07.004>
- McPherson, R. M., & Newsom, L. D. (1984). Trap crops for control of stink bugs (*Hemiptera: Pentatomidae*) in soybean. *Journal of the Georgia Entomological Society*, 19, 470–480.
- Naik, H., Chandarana, K. A., Gamit, H. A., Chandwani, S., & Amaresan, N. (2023). Nutrition and cultivation strategies of core rhizosphere microorganisms. In *Rhizobiome: Ecology, Management and Application* (pp. 209–231). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-16030-1.00018-3>
- Ngwenya, Z. D., Mohammed, M., Jaiswal, S. K., & Dakora, F. D. (2022). Phylogenetic relationships among *Bradyrhizobium* species nodulating groundnut (*Arachis hypogea* L.), jack bean (*Canavalia ensiformis* L.) and soybean (*Glycine max* Merr.) in Eswatini. *Scientific Reports*, 12(1), 10629. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14455-9>
- Nielsen, A. L., Dively, G., Pote, J. M., Zinati, G., & Mathews, C. (2016). Identifying a Potential Trap Crop for a Novel Insect Pest, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae), in Organic Farms. *Environmental Entomology*, 45(2), 472–478. <https://doi.org/10.1093/ee/nvw006>
- Ozimek, E., & Hanaka, A. (2021). *Mortierella* species as the plant growth-promoting fungi present in the agricultural soils. *Agriculture (Switzerland)*, 11(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010007>
- Ozimek, E., Jaroszuk-ściśeł, J., Bohacz, J., Kornilowicz-Kowalska, T., Tyśkiewicz, R., Słomka, A., Nowak, A., & Hanaka, A. (2018). Synthesis of indoleacetic acid, gibberellic acid and ACC-deaminase by *Mortierella* strains promote winter wheat seedlings growth under different conditions. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(10). <https://doi.org/10.3390/ijms19103218>

- Pastrana, A. M., Borrero, C., Pérez, A. G., & Avilés, M. (2023). Soilborne pathogens affect strawberry fruit flavor and quality. *Plant Science*, 326. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111533>
- Pietramellara, G., Ascher, J., Borgogni, F., Ceccherini, M. T., Guerri, G., & Nannipieri, P. (2009). Extracellular DNA in soil and sediment: Fate and ecological relevance. *Biology and Fertility of Soils*, 45(3), 219–235. <https://doi.org/10.1007/s00374-008-0345-8>
- Rathore, R., Vakharia, D. N., & Rathore, D. S. (2020). In vitro screening of different *Pseudomonas fluorescens* isolates to study lytic enzyme production and growth inhibition during antagonism of *Fusarium oxysporum* f. sp. *cumini*, wilt causing pathogen of cumin. *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 30(1). <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00259-4>
- Rosenblueth, M., & Martínez-Romero, E. (2006). Bacterial Endophytes and Their Interactions with Hosts. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 19(8), 827–837. <https://doi.org/10.1094/MPMI>
- Shen, X., Wang, B., Yang, N., Zhang, L., Shen, D., Wu, H., Dong, Y., Niu, B., Chou, S. H., Puopolo, G., Fan, J., & Qian, G. (2021). *Lysobacter enzymogenes* antagonizes soilborne bacteria using the type IV secretion system. *Environmental Microbiology*, 23(8), 4673–4688. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.15662>
- Sigsgaard, L., Betzer, C., Naulin, C., Eilenberg, J., Enkegaard, A., & Kristensen, K. (2013). The effect of floral resources on parasitoid and host longevity: Prospects for conservation biological control in strawberries. *Journal of Insect Science*, 13(1), 104. <https://doi.org/10.1673/031.013.10401>
- Smagghe, G. (2020). Case Studies on Entomovectoring in the Greenhouse and Open Field. In G. Smagghe, O. Boecking, B. Maccagnani, M. Mänd, & P. G. Kevan (Eds.), *Entomovectoring for Precision Biocontrol and Enhanced Pollination of Crops* (pp. 123–136). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18917-4_7
- Smith, S. E., & Read, D. (2008). The symbionts forming arbuscular mycorrhizas. In S. E. Smith & D. Read (Eds.), *Mycorrhizal Symbiosis* (Third Edition) (pp. 13–41). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012370526-6.50003-9>
- Soytong, K., Kanokmedhakul, S., Song, J., & Tongon, R. (2021). Chaetomium Application in Agriculture. In F. Ahmad & M. Sultan (Eds.), *Technology in Agriculture*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.99402>
- Suh, S.-O., Blackwell, M., Kurtzman, C. P., & Lachance, M.-A. (2006). Phylogenetics of *Saccharomycetales*, the ascomycete yeasts. *Mycologia*, 98(6), 1006–1017. <https://doi.org/10.1080/15572536.2006.11832629>
- Tedersoo, L., Hansen, K., Perry, B. A., & Kjølner, R. (2006). Molecular and morphological diversity of pezizalean ectomycorrhiza. *New Phytologist*, 170(3), 581–596. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01678.x>
- Thummes, K., Schäfer, J., Kämpfer, P., & Jäckel, U. (2007). Thermophilic methanogenic Archaea in compost material: Occurrence, persistence and possible mechanisms for their distribution to other environments. *Systematic and Applied Microbiology*, 30(8), 634–643. <https://doi.org/10.1016/j.syapm.2007.08.001>
- Todd, J. W., & Schumann, F. W. (1988). Combination of Insecticide Applications with Trap Crops of Early Maturing Soybean and Southern Peas for Population Management of *Nezara viridula* in Soybean (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Entomological Science*, 23(2), 192–199. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-23.2.192>
- Tscharntke, T., Bommarco, R., Clough, Y., Crist, T. O., Kleijn, D., Rand, T. A., Tylianakis, J. M., van Nouhuys, S., & Vidal, S. (2007). Conservation biological control and enemy diversity on a landscape scale. *Biological Control*, 43(3), 294–309. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2007.08.006>

- Turner, S., Pryer, K. M., Miao, V. P. W., & Palmer, J. D. (1999). Investigating deep phylogenetic relationships among cyanobacteria and plastids by small subunit rRNA sequence analysis. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 46(4), 327–338. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.1999.tb04612.x>
- Venzon, M., Janssen, A., & Sabelis, M. W. (2002). Prey preference and reproductive success of the generalist predator *Orius laevigatus*. *Oikos*, 97(1), 116–124. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.970112.x>
- Weber, D. C., Morrison, W. R., Khrimian, A., Rice, K. B., Leskey, T. C., Rodriguez-Saona, C., Nielsen, A. L., & Blaauw, B. R. (2017). Chemical ecology of *Halyomorpha halys*: discoveries and applications. *Journal of Pest Science*, 90(4), 989–1008. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0876-6>
- Werner, S., Peršoh, D., & Rambold, G. (2016). New aspects of the biology of *Mortierella alliacea*. *Mycological Progress*, 15(12), 1293–1301. <https://doi.org/10.1007/s11557-016-1243-3>
- White, T. J., Bruns, T., Lee, S., & Taylor, J. (1990). Amplification and Direct Sequencing of Fungal Ribosomal RNA Genes for Phylogenetics. In M. A. Innis, D. H. Gelfand, J. J. Sninsky, & T. J. White (Eds.), *PCR Protocols* (pp. 315–322). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1>
- Wolf, S., Zeisler, C., Sint, D., Romeis, J., Traugott, M., & Collatz, J. (2018). A simple and cost-effective molecular method to track predation on *Drosophila suzukii* in the field. *Journal of Pest Science*, 91(2), 927–935. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0948-7>
- Yadav, S., Koenen, M., Bale, N. J., Reitsma, W., Engelmann, J. C., Stefanova, K., Damsté, J. S. S., & Villanueva, L. (2024). Organic matter degradation in the deep, sulfidic waters of the Black Sea: insights into the ecophysiology of novel anaerobic bacteria. *Microbiome*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40168-024-01816-x>
- Yao, R. S., Zhang, P., Wang, H., Deng, S. S., & Zhu, H. X. (2012). One-step fermentation of pretreated rice straw producing microbial oil by a novel strain of *Mortierella elongata* PFY. *Bioresource Technology*, 124, 512–515. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.142>
- Yao, X., Guo, H., Zhang, K., Zhao, M., Ruan, J., & Chen, J. (2023). *Trichoderma* and its role in biological control of plant fungal and nematode disease. *Frontiers in Microbiology*, 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1160551>
- Zakaria, L. (2024). An Overview of *Aspergillus* Species Associated with Plant Diseases. *Pathogens*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/pathogens13090813>
- Zeale, M. R. K., Butlin, R. K., Barker, G. L. A., Lees, D. C., & Jones, G. (2011). Taxon-specific PCR for DNA barcoding arthropod prey in bat faeces. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 236–244. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02920.x>
- Zhang, H., & Yang, Q. (2007). Expressed sequence tags-based identification of genes in the biocontrol agent *Chaetomium cupreum*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 74(3), 650–658. <https://doi.org/10.1007/s00253-006-0701-2>
- Zhou, L., Li, H., Zhang, Y., Han, S., & Xu, H. (2016). *Sphingomonas* from petroleum-contaminated soils in Shenfu, China and their PAHs degradation abilities. *Brazilian Journal of Microbiology*, 47(2), 271–278. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.01.001>
- Zuma, M., Njekete, C., Konan, K. A. J., Bearez, P., Amiens-Desneux, E., Desneux, N., & Lavoit, A.-V. (2023). Companion plants and alternative prey improve biological control by *Orius laevigatus* on strawberry. *Journal of Pest Science*, 96(2), 711–721. <https://doi.org/10.1007/s10340-022-01570-9>

10 Übersicht über realisierte Veröffentlichungen

Die Konferenzbeiträge, an denen die Partner HGU und ILU bislang beteiligt waren, sind unter Punkt 4.4 im Rahmen des Arbeitspakets 4 aufgeführt.

Folgende wissenschaftliche Veröffentlichungen befinden sich zudem derzeit in Vorbereitung und werden in den kommenden Monaten bei entsprechenden Fachzeitschriften eingereicht:

- 1) Wenz S., Zimmermann O., Reineke A.: "Unexpected success: Natural parasitism of *Nezara viridula* by *Trichopoda pictipennis* (Diptera: Tachinidae) in an organic strawberry field in Germany"
- 2) Wenz S., Ramlow N., Reineke A.: „Distracted by a plant: Movement of two invasive pentatomids, *Halyomorpha halys* and *Nezara viridula*, between companion plants and berry crops"
- 3) Wenz S., Ramlow N., Reineke A.: „Fast and Functional: Rapid colonization of beneficial insects via companion plants in an organic strawberry cropping system"
- 4) Wenz S., Schmidt M., Reineke A.: "Trophic links in a strawberry agroecosystem: Molecular gut content analysis confirms habitat function of companion plants for generalist predators (*Orius* and *Nabis* spp.)"
- 5) Wenz S., Meyer M., Reineke A., Becker C.: "How to become more attractive: Optimizing dead-end plant performance against spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*)"