

DÜNAMED – DÜngung für Nachhaltiges Management Edaphischer Diversität

Daniel Neuhoff, Isabel C. Kilian und
Christine Jakubassa

BfN-Schriften

734

2025





Bundesamt für
Naturschutz

DÜNAMED – DÜngung für NACHhaltiges Management Edaphischer Diversität

Daniel Neuhoff

Isabel C. Kilian

Christine Jakubassa

Impressum

Titelbild: zwei Carabidenarten, links oben *Pterostichus melanarius* L (Foto: A. Hamm), rechts oben Fang aus einer Barberfalle (Foto: F. Täufer), links unten: Rindermist, rechts unten: Versuchsfeld mit Photoektoren (Fotos: C. Dahn)

Adressen der Autorinnen und des Autors:

| | |
|--------------------------|---|
| Dr. Daniel Neuhoff | Auf dem Hügel 6, D-53121 Bonn, Universität Bonn E-Mail: d.neuhoff@uni-bonn.de |
| Dr. Isabel Kilian | ikilian@uni-bonn.de |
| Msc. Christine Jakubassa | christinejk95@gmail.com |

Fachbetreuung im BfN:

Dr. Moritz Nabel Fachgebiet II 2.5 „Naturschutz in der Landwirtschaft“

Förderhinweis:

Gefördert durch das Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV) (FKZ: 3520 84 0800).

Diese Veröffentlichung wird aufgenommen in die Literaturdatenbank „DNL-online“ (www.dnl-online.de).

BfN-Schriften sind nicht im Buchhandel erhältlich. Eine pdf-Version dieser Ausgabe kann unter www.bfn.de/publikationen heruntergeladen werden.

Institutioneller Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
URL: www.bfn.de

Der institutionelle Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des institutionellen Herausgebers übereinstimmen.



Diese Schriftenreihe wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz Namensnennung – keine Bearbeitung 4.0 International (CC BY - ND 4.0) zur Verfügung gestellt (creativecommons.org/licenses).

Druck: Druckerei des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (BMUV)

Gedruckt auf 100% Altpapier

ISBN 978-3-89624-498-7

DOI 10.19217/skr734

Bonn 2025

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Zusammenfassung | 5 |
| Abstract | 6 |
| 1 Einleitung und Zielsetzung von DüNaMed | 7 |
| 2 Literaturübersicht | 9 |
| 2.1 Habitat Boden | 9 |
| 2.2 Edaphon | 9 |
| 2.2.1 Collembola | 10 |
| 2.2.2 Nematocera..... | 10 |
| 2.2.3 Acari..... | 11 |
| 2.2.4 Coleoptera..... | 11 |
| 2.3 Ackerbauliche Bodennutzung | 12 |
| 2.3.1 Bodenbearbeitung | 12 |
| 2.3.2 Düngung | 13 |
| 3 Material und Methoden | 15 |
| 3.1 Boden | 15 |
| 3.2 Klima..... | 16 |
| 3.3 Versuchsdesign und-durchführung..... | 18 |
| 3.4 Fallensysteme und Probenahmetechnik..... | 19 |
| 3.5 Datenerhebung und Sortierung der Proben | 24 |
| 3.6 e-DNA Analysen..... | 24 |
| 3.7 Datenaufbereitung und statistische Auswertung | 25 |
| 4 Ergebnisse | 26 |
| 4.1 Mittlere Gesamtabundanz in den Photoelektoren. | 26 |
| 4.1.1 Collembola | 27 |
| 4.1.2 Nematocera..... | 29 |
| 4.1.3 Acari..... | 30 |
| 4.1.4 Carabiden | 32 |
| 4.2 e-DNA Analysen..... | 34 |
| 5 Diskussion | 36 |
| 5.1 Rindermist | 36 |
| 5.2 Rindergülle | 37 |
| 5.3 Grünschnittkompost | 37 |
| 5.4 Strohdüngung..... | 38 |

| | | |
|-----|---------------------------------------|-----------|
| 5.5 | Mineralische N-Düngung | 38 |
| 5.6 | Einfluss der Standortbedingungen..... | 39 |
| 5.7 | Methodenkritik | 39 |
| | Literaturverzeichnis | 41 |
| | Abbildungsverzeichnis | 49 |
| | Tabellenverzeichnis | 50 |

Zusammenfassung

Während die Avifauna und Segetalflora häufig Gegenstand agrarökologischer Untersuchungen waren, liegen für die auf und im Boden lebende Fauna mit Ausnahme von Carabiden und Lumbriciden nur wenige Untersuchungen vor. Zugleich ist bekannt, dass die Bodenfauna wichtige Funktionen erfüllt, insbesondere die Grobzersetzung von pflanzlicher Biomasse. Ausgehend von der Hypothese, dass organische Düngung das mikrobielle Bodenleben zu Beginn der trophischen Kette fördert, wurden im vorliegenden Projekt umfangreichen Untersuchungen mit gängigen organischen Düngern tierischen und pflanzlichen Ursprungs durchgeführt. Ziel der Versuche war zu analysieren, ob sich durch differenzierte Düngung (Rindermist, Rindergülle, Gärrestesubstrat, Grünschnittkompost, Stroh sowie mineralischer Düngung) im Vergleich zu einer ungedüngten Kontrolle Effekte auf die Abundanz verschiedener Gruppen von Bodenarthropoden ergeben. Hierfür wurden in den Jahren 2021-2023 an zwei Standorten der Universität Bonn (Campus Klein-Altendorf (konventionell) und Campus Wiesengut (ökologisch) dreijährige Feldversuche durchgeführt. Die Versuchsanlage erfolgte als klassische Blockanlage mit vier Feldwiederholungen mit einer Parzellengröße von 270 m² mit den Kulturarten Sommerweizen (2021), Hafer (2022) und Körnermais (2023). Es wurden zwei verschiedene Fallensysteme (Photoelektoren, Barberfallen) verwendet. Zusätzlich wurden Bodenproben zur Bestimmung der eDNA gezogen. Die Fallen wurden im Zeitraum von Mitte Mai bis Mitte Juni zweimal beprobt. Anschließend wurde das Probenmaterial unter einem Binokular nach Tiergruppen sortiert. Erfasst wurden Collembolen, Acari, Nematocera und Coleoptera sowie weitere Ordnungen und Familien. Anschließend erfolgte eine varianzanalytische Auswertung mit nachfolgendem Tukey-Test.

Insgesamt wurden in den Versuchen über 542.252 Tiere gesammelt, davon etwa die Hälfte im ersten der drei Versuchsjahre. Dies entspricht einer Gesamtabundanz je Parzelle und Jahr von 2.824 Individuen. Es wurden nur geringe Effekte der differenzierten Düngung auf die Abundanzen verschiedener Tiergruppen bei hoher Streuung der Feldwiederholungen festgestellt. Signifikante Effekte zeigten sich nur auf dem konventionell bewirtschafteten Standort Klein-Altendorf. Dort war die Abundanz von Collembolen nach Düngung mit Stallmist bzw. Stroh signifikant höher als in der Kontrolle. Die größten Unterschiede wurden mit Hinblick auf Nematocera (Mücken) festgestellt. Deren Abundanz war am Standort Klein-Altendorf in den Parzellen mit organischer Düngung tierischer Herkunft signifikant höher als in den Vergleichsvarianten. Grundsätzlich zeigte sich ein Trend, dass feste organische Dünger wie Stallmist und Stroh einzelne Tiergruppen fördern können. Auch die Ergebnisse zur Abundanz von Laufkäfern und zur eDNA weisen darauf hin, dass insbesondere Rindermistdüngung sich positiv auf Abundanz und Artenvielfalt von Bodenarthropoden auswirken kann.

Organische Düngung zu ackerbaulichen Kulturen fördert in jedem Fall die Bodenfruchtbarkeit und ist ein Kernelement nachhaltiger Landbewirtschaftung. Ihre Wirkung auf die Biodiversität von Bodenarthropoden gilt es künftig verstärkt kausal mit Hinblick auf Nahrungsketten zu untersuchen um daraus gezielte Maßnahmen zur Förderung der Biodiversität im Boden ableiten zu können.

Abstract

While the avifauna and segetal flora have often been the subject of agro-ecological studies, there have been few studies of the fauna living on and in the soil, with the exception of carabids and lumbricides. At the same time, it is known that soil fauna fulfills important functions, in particular the coarse decomposition of plant biomass. Based on the hypothesis that organic fertilization promotes soil microbial life at the beginning of the trophic chain, extensive studies were carried out in this project using common organic fertilizers of animal and plant origin. The aim of the experiments was to analyze whether differentiated fertilization has an effect on the abundance of different groups of soil arthropods compared to an unfertilized control.

The field trials were carried out from 2021-2023 at two locations of the University of Bonn (Campus Klein-Altendorf (conventional) and Campus Wiesengut (organic) with spring wheat (2021), oat (2022) and maize (2023). Treatments included cattle manure, cattle slurry, digestate substrate, green waste compost, straw and mineral fertilization and an unfertilized control). The experimental system was a classical RCB design with four field replicates and a plot size of 270 m². Two different trap systems (photoelectors, pit fall traps) were used. In addition, soil samples were taken to determine the eDNA. The traps were sampled twice in the period from mid-May to mid-June. The sample material was then sorted into animal groups under a binocular. Collembola, Acari, Nematocera and Coleoptera as well as other orders and families were recorded. Data recording was followed by ANOVA with a subsequent Tukey-test.

A total of 542,252 animals were collected in the trials, around half of them in the first of the three trial years. This corresponds to a mean total abundance of 2,824 individuals per plot and year. Overall, only a few effects of different fertilization on the abundance of various animal groups were found. Significant effects were only noted at the conventionally farmed Klein-Altendorf site. There was a general trend that solid organic fertilizers such as manure and straw can promote individual animal groups. The abundance of collembolla was significantly higher at the Klein-Altendorf site after fertilization with manure or straw than in the control. The greatest differences were found with regard to Nematocera. Their abundance was significantly higher at the Klein-Altendorf site in the plots with organic fertilization of animal origin than in the control treatments. The results on ground beetle abundance and eDNA also indicate that cattle manure fertilization in particular can have a positive effect on abundance and species diversity.

Organic fertilization of arable crops always promotes soil fertility and is a core element of sustainable land management. Effects of manuring on the biodiversity of soil arthropods needs to be studied more closely in the future with regard to food chains. A deeper insight in the food web will help to derive targeted measures to promote biodiversity in the soil.

1 Einleitung und Zielsetzung von DüNaMed

Die Landwirtschaft in Deutschland hat seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges eine starke Intensivierung erfahren, die mit einer deutlichen Zunahme der Produktivität einherging. Geführt hat dies zu einer historisch betrachtet nie dagewesenen Versorgungssicherheit mit Lebensmitteln zu günstigen Preisen. Mindestens seit den 1980er Jahren werden zunehmend auch die unerwünschten Effekte intensiver Landbewirtschaftung diskutiert (SRU 1985, Heißenhuber et al. 2015). Die Landwirtschaft spielt für den abiotischen und biotischen Ressourcenschutz eine Schlüsselrolle, nicht zuletzt deshalb, weil sie maßgebliche Flächennutzerin in Deutschland ist. Gängige Praktiken des intensiven Ackerbaus, wie Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz und Düngung können sich negativ auf die Biodiversität sowohl im als auch auf dem Boden auswirken (Cunningham et al. 2013, Nicholls & Altieri 2013).

In der „Krefelder Studie“ wurde in einem Langzeitmonitoring in Deutschland von 1989 bis 2016 ein Rückgang der Masse von Fluginsekten von mehr als 75 % festgestellt (Hallmann et al. 2017). Dieser Trend zeigt sich auch auf globaler Ebene als Folge verschiedener Ursachen wie intensive Landbewirtschaftung und Flächenversiegelung. In der Agrarlandschaft sind insbesondere Hymenopteren, Lepidopteren, und Geotrupiden (Mistkäfer) stärker vom Biodiversitätsverlust betroffen (Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019, Homburg et al. 2019). Gleiches gilt für die Avifauna, insbesondere Feldvogelarten, die seit Ende des 20. Jh. in weiten Teilen Europas deutlich abgenommen hat (Pain & Pienkowski 1997, Inger et al. 2014). Dieser Trend zeigt sich auch bei der Segetalflora (Ackerunkräuter) deren Artenvielfalt und Abundanz sich in Europa seit den siebziger Jahren deutlich verringert hat (Fried et al. 2009, Eichenberg et al. 2021).

Bisherige Studien fokussierten sich jedoch überwiegend auf Biodiversitätsindikatoren auf oder über der Bodenoberfläche (Gardi et al. 2013) bzw. auf Teile der Megafauna im Boden (v.a. Lumbricidae). Gründe hierfür sind der große Aufwand der Untersuchung des Edaphons und die Schwierigkeiten der taxonomischen Bestimmung (Spadaro et al. 2020) sowie der funktionalen Beschreibung. Es herrscht zudem ein Mangel an Kenntnissen bezüglich der Verteilung und Abundanz der jeweiligen Arten, womit eine genauere Quantifizierung des Edaphons erschwert wird (Gardi et al. 2013). Intensive Landbewirtschaftung führt jedoch erwartbar zu einer Abnahme der Biodiversität in Böden (Nabel et al. 2021). Während intensive Bodenbearbeitung und die Anwendung von Agrochemikalien sich tendenziell ungünstig auf die Biodiversität von Bodenorganismen auswirken können, besteht hinsichtlich der Nutzung von organischen Düngern, und somit Kohlenstoffzufuhr in den Boden, die Annahme, dass diese durch Förderung des mikrobiellen Bodenlebens sich fördernd auf das gesamte Edaphon auswirken können (Mäder et al. 2002). So führte etwa der Einsatz von kohlenstoffreichen Ernteresten zu einer Erhöhung der Diversität und Abundanz von Nematoden (Liu, et al., 2016). Gründüngung als auch Stallmist erhöhten die Abundanz von fungivoren Collembolen in Kartoffelfeldern (Scholte & Lootsma, 1998). Organische Dünger sind hinsichtlich Ausgangsmaterial und chemischer Zusammensetzung heterogen und können entsprechend differenziert auf Prozesse im Boden wirken. Die Zugabe von Rindermist oder Kompost kann den Porenanteil des Bodens erhöhen (Celik et al. 2004), welches als Habitat für verschiedene edaphische Gruppen, welche nicht selber graben können, dienen kann (Tibbett et al. 2020). Strohdüngung kann als Nahrungsquelle für Bodenarthropoden wie Collembolen fungieren (Kautz et al. 2006).

Vergleichende Untersuchungen zur Wirkung verschiedener organischer Dünger auf die Abundanz wichtiger Artengruppen von Bodenarthropoden liegen jedoch kaum vor. Hier setzt

das Forschungsprojekt DüNaMed (Düngung für nachhaltiges Management edaphischer Biodiversität) an, das von 2021-2024 an der Universität Bonn durchgeführt wurde. In diesem wurde der Einfluss von fünf organischen und zwei mineralischen Düngern auf die Abundanz von Bodenarthropoden auf zwei Standorten mit unterschiedlichen Erfassungsmethoden untersucht. Ziel der Untersuchung war es eine Datengrundlage zum gezielten Einsatz organischer Dünger zur Förderung der Biodiversität im Boden zu schaffen.



Abb. 1: Blick auf den DüNaMed-Versuch am Standort Wiesengut am 19.5.2021 (Foto: C. Dahn).

2 Literaturübersicht

2.1 Habitat Boden

Böden stellen komplexe Habitate dar, in denen eine Vielzahl von z.T. noch unbekanntem Organismen lebt, die in ihrer Gesamtheit als Edaphon bezeichnet werden. Gründe für die Komplexität liegen vorwiegend in der Strukturvielfalt der Habitate, der Varianz ihrer Größenordnungen und in der Heterogenität der physikalischen und chemischen Bedingungen. Als Folge variieren auch kleinräumig Luft- und Wasserkonzentrationen sowie die Nahrungsverfügbarkeit (Bardgett 2005, Thakur et al. 2019). Habitate für verschiedene Organismen können bspw. in Porenräumen, zwischen oder in Bodenaggregaten, aber auch in der Detrito- und Rhizosphäre entstehen (Beare et al. 1995, Tibbett et al. 2020). Weitere differenzierend wirkende Faktoren sind die Bodentemperatur, der pH-Wert und das Redoxpotential der Böden. Die spezifischen Faktoren und deren Interaktionen führen zu einer bestimmten Zusammensetzung des Edaphons, die vermutlich auch durch Düngungsmaßnahmen beeinflusst werden kann.

2.2 Edaphon

Bodenlebewesen lassen sich nach ihrer Größe in vier Klassen der Körperlänge einteilen. Diese sind die Mikroorganismen mit der Teilgruppe Mikrofauna sowie die Meso-, Makro- und Megafauna. Zu den Mikroorganismen gehören u.a. Bakterien, Pilze und Archaeen, aber auch die als Mikrofauna bezeichneten Stämme der Rädertierchen (Rotifera) und Nematoden (Nematoda) (Fierer et al. 2007). Die Funktion der Rädertierchen besteht vor allem in der Zersetzung (Destruenten) von abgestorbener Biomasse (Usman et al. 2016). Nematoden können sich je nach Art bakteriophag, fungivor, herbivor, räuberisch oder omnivor ernähren (Usman 2012).

Zur Mesofauna gehören u.a. Milben (Acari), Beintaster (Protura), Springschwänze (Collembolen) und Doppelschwänze (Diplura). Der Größenbereich der Mesofauna liegt zwischen 100 µm und 2 mm (Tibbett et al. 2020). Im Gegensatz zur Mikrofauna bewohnen Vertreter der Mesofauna meist in mit Luft gefüllten Bodenporen und ernähren sich von Pflanzen, Algen und Mikroben (Tibbett et al. 2020).

Die Makrofauna weist eine Körperlänge von 2 bis ca. 20 mm auf und umfasst u.a. Tausendfüßler (Myriapoda), Asseln (Isopoda), Weberknechte (Opiliones) und Ameisen (Hymenoptera). Coleopteren (Käfer) werden je nach Größe der Makrofauna oder der Megafauna zugeordnet (Tibbett et al. 2020). Zusammen mit der Mesofauna hat die Makrofauna die Funktion der Durchmischung des Bodens durch die Bewegung der Erdpartikel, Veränderung der Poren und Aggregate und Erhöhung des Feuchtigkeitsgehalts des Bodens (Ritz et al. 2004).

Zur Megafauna (> 20 mm) gehören u.a. Hundertfüßer (Chilopoda), Regenwürmer (Lumbricidae) und Schnecken (Mollusca), aber auch Maulwürfe und Reptilien (Amelung et al. 2018, Tibbett et al. 2020). Lumbriciden und Maulwürfe werden aufgrund ihrer grabenden Lebensweise als Ökosystem-Ingenieure bezeichnet, da sie die Bodenstruktur verändern können (Tibbett et al. 2020).

Jenseits der Größe lässt sich das Edaphon auch anhand der im Boden verbrachten Lebensstadien klassifizieren. Permanente Bodenbewohner verbleiben während des gesamten Lebenszyklus im Boden, z. B. Collembolen (Amelung et al. 2018). Periodische Bodentiere verbringen das Ei- und Juvenilstadium gänzlich im Boden, während sie als Adulte den Boden verlassen.

Temporäre und alternierende Bodenbewohner verbringen nur einen Teil ihres Lebens im Boden. Beispiel hierfür sind Schnakenarten (*Tipula*) die das Ei- und Juvenilstadium im Boden verbringen, während sie als Adulte den Boden verlassen. Eine alternierende Lebensweise zeigen Arten der Gattung *Hippodamia* sp. (Coleoptera). Hierbei verbringen die Generationen abwechselnd ihren gesamten Lebenszyklus entweder im oder über dem Boden (Amelung et al. 2018).

Aufgrund dieser verschiedenen Verhaltensweisen sind für eine umfassende Erfassung von Bodenarthropoden der Einsatz von verschiedenen Fallenarten, wie z. B. Barberfallen und Photoelektoren, erforderlich, da man mit letztgenannten auch Schlüpfabundanzen ermitteln kann (Schuch et al. 2020). Diese beiden Methoden stehen auch im methodischen Vordergrund der vorliegenden Arbeit, welche den Einfluss von Düngemaßnahmen auf Bodenarthropoden untersucht. Der Schwerpunkt der Arbeit richtet sich auf wichtige Artengruppen der Meso- und Makrofauna, die nachfolgend näher charakterisiert werden. Die Darstellung folgt keiner taxonomisch begründeten Systematik und konzentriert sich auf die Artengruppen, die in der vorliegenden Arbeit von Bedeutung waren. Eine vertiefte Darstellung erfolgt in der Diskussion.

2.2.1 Collembola

Springschwänze sind eine Klasse (Collembola) von flügellosen Arthropoden, die in vielen Habitaten vorkommen können. Sie besitzen eine der Fortbewegung dienende Sprunggabel und weisen Körpergrößen von 0,2 bis 17 mm auf (Christiansen et al. 2009). Springschwänze können in hohen Abundanzen mit hoher Artenzahl Boden vorkommen. Es wurden bis zu 200 000 Individuen aus 100 Arten je m² Boden gefunden (Schmitt 2022). In Mitteleuropa gibt es ungefähr 1500 Arten (Schmitt 2022).

Springschwänze sind von großer Bedeutung für Zersetzungsprozesse im Boden und spiegeln durch ihre Abundanz Veränderungen der Bodenqualität wieder (Dettner & Werner 2003). Sie ernähren sich häufig fungivor, zum Teil jedoch auch von Bakterien, Algen, Kot, totem Pflanzenmaterial oder Pollen (Culliney 2013). Sie präferieren eine konstant feuchte Umgebung. Da sie keine Gänge graben können, sind sie auf Hohlräume und Poren im Boden angewiesen (Dettner & Werner 2003, Hofer 2017). Ähnlich wie Acari sind sie jedoch nicht an der Bildung von Bodenporen oder Strukturveränderungen im Boden beteiligt (Coleman et al. 2004). Collembolen können eine hohe Bodenfeuchte tolerieren, reagieren jedoch empfindlich auf Dürre (Schröder 2008, Kumar & Singh 2016).

2.2.2 Nematocera

Mücken umfassen als Unterordnung der Diptera etwa 40 Familien (Schaub & Vogel 2021). Mücken sind holometabole Insekten und zeichnen sich durch ihren schlanken, filigranen Körperbau und ihre vielgliedrigen Antennen aus (Poehling et al. 2013). Familien mit hohen Abundanzen sind Trauermücken (Sciaridae), Gallmücken (Cecidomyiidae) und Zuckmücken (Chironomidae) (Frouz 1999).

Adulte Trauermücken leben zwei bis zehn Tage und nehmen in dieser Zeit nur Flüssigkeit auf (Menzel & Mohrig 2000). Die Ernährung der im Boden lebenden Larven ist demgegenüber vielseitiger. Es wird davon ausgegangen, dass sich etwa 75% der Arten phytosaprophag ernähren und so einen wichtigen Beitrag beim Abbau von toter organischer Substanz leisten, d.h. streuzersetzend wirken. Es gibt jedoch auch Arten, die mycetophag, karpophag oder xylophag leben. In einer Untersuchung von Weber (1995) fraßen die Larven der Trauermücken Pilze, Bierhefe, Algen und Gras, aber auch tote Artgenossen. In Gewächshäusern können die Larven

bestimmter Trauermückenarten erhebliche Schäden mit großen Ertragseinbußen verursachen. Zugleich stellen die Trauermücken und deren Larven aufgrund ihrer hohen Individuenzahl ein wichtiges Glied in der Nahrungskette dar. Sie dienen als Nahrungsgrundlage für höhere Tiere und ihre nährstoffreichen Ausscheidungen sind Nahrung für andere Bodenlebewesen (Menzel & Mohrig 2000).

Gallmücken weisen eine geringe Körpergröße von < 3mm auf und haben einen zarten feingliedrigen Körperbau. Die Lebensdauer der adulten Gallmücken beträgt nur 1-2 Tage (Gagné & Jaschhof 2004). Die Larven der in Deutschland vorkommenden Arten ernähren sich größtenteils phytophag (ca. 87%), die restlichen zoo- bzw. mycetophag soweit bekannt (Skuhravá et al. 2014). Viele der phytophag lebenden Larven bilden Gallen an ihren Wirtspflanzen, in denen sich die Larven entwickeln. Sie können in der Landwirtschaft sowohl schädlich als auch nützlich sein. Bekannte Schädlinge sind die Sattelmücke (*Haplodiplosis marginata*), die an Weizen und Hafer zu Wuchshemmungen und angeschwollenen Blattscheiden führen können (Spaar et al. 1989) und die Johannisbeergallmücke (*Cecidophyopsis ribis*).

Demgegenüber verhielten sich Larven der Gallmückenart *Lestodiplosis diaspidis* räuberisch gegenüber der Maulbeerschildlaus (*Pseudaulacaspis pentagona*) (Rauleder et al. 2015).

Zuckmücken sind zwischen 2 und 14 mm groß. Weltweit wurden bisher über 10.000 Arten identifiziert und Schätzungen gehen von 15.000 Arten aus (Cranston et al. 1995). In Deutschland sind ungefähr 700 Arten bekannt (Menzel & Mohrig 2000).

Mit ihrer Körperlänge von bis zu 40 mm und Flügelspannweiten von bis zu 50 mm sind Schnaken (Tipulidae) die Mückenfamilie mit den größten Tieren (Moog 1988). Mit 4.250 bekannten Arten, davon 134 in Deutschland, gehören die Schnaken zu den artenreichen Familien der Zweiflügler (Heiß & Weber 2013). Die vorwiegend terrestrisch lebenden Larven ernähren sich von Streu, moderndem Holz (xylophag) und abgestorbenem pflanzlichem Material (Heiß & Weber 2013).

2.2.3 Acari

Acari (Milben) bilden die artenreichste Unterklasse innerhalb der Arachnida mit mehr als 48.000 Arten, von denen nur ca. 10 % beschrieben wurden (O' Connor 2009). Sie zeichnen sich durch ihre geringe Körpergröße von ca. 0,1- 30 mm aus. Milben können eine hohe Abundanz mit bis zu 100.000 Individuen pro Quadratmeter aufweisen und sind wichtige Humusbildner (Eisenbeis & Wichard 1985). Acari können räuberisch, fungivor, herbivor, detritivor sowie parasitär leben und kommen in fast allen Lebensräumen vor, u.a. auch im Grundwasser (O' Connor 2009). Milben sind ein wichtiger Teil des Bodennahrungsnetzwerks. Im Oberboden dominieren die Oribatiden, welche sich von totem organischen Material und den darauf wachsenden Pilzen und Mikroorganismen ernähren (Culliney 2013). Weiterhin gibt es im Oberboden viele räuberische Acari der Ordnung Trombidiformes und Mesostigmata, welche sich von Nematoden, Collembolen oder Insekteneiern ernähren (O' Connor 2009).

2.2.4 Coleoptera

Die Käfer bilden mit etwa 360.000 Arten die artenreichste Insektenordnung. In Europa sind etwa 20.000 Arten bekannt (Schmitt 2022). Käfer kommen weltweit in fast allen terrestrischen und aquatischen Biotopen vor, nur in den Freiwasserzonen der Meere fehlen sie. Durch die starken Anpassungen an die verschiedenen Umgebungen unterscheiden sich die Arten in ihrer Ernährungsweise und ihrem Aussehen stark. Herbivore Arten präferieren pflanzliche Materialien wie Rinde, Wurzeln, Blätter, Blüten oder Samen und helfen so beim Abbau organischer

Substanz im Boden. Unter den bodenbewohnenden Coleopteren sind vor allem die Carabiden (Laufkäfer) und Staphyliniden (Kurzflügler) typische Beispiele (Lange et al. 2014). Carabiden leben häufig räuberisch, können jedoch auch omnivor oder herbivor sein (Porhajasova et al. 2017). Sie können Schädlinge und die Verbreitung von Ackerbeikräutern durch das Fressen der Samen unterdrücken (de Heij & Willenborg 2020). Staphyliniden weisen eine Vielfalt an Ernährungsweisen auf, wie z. B. Saprophagie, Herbivorie aber auch Carnivorie (Frank & Thomas 2019). Andere Coleoptera leben aber auch entweder phytophag, wie Maikäfer (Scarabaeidae) oder Rüsselkäfer (Curculionidae), oder sie sind an der Zerkleinerung des organischen Materials beteiligt (saprophag) (Gisi 1997).

2.3 Ackerbauliche Bodennutzung

Der Ackerbau ist in Deutschland (Stand 2021) mit etwa $11,66 \times 10^6$ ha (32% der Landesfläche) die größte einzelne Bodennutzungsform vor Wald ($10,67 \times 10^6$ ha) und Grünland ($4,73 \times 10^6$ ha) (BMEL 2022). Verglichen mit Grünland, bei dem es eine stärkere Differenzierung in der Nutzungsintensität gibt, wird Ackerbau im Regelfall intensiv, gleichwohl standortspezifisch variabel, betrieben, d.h. oft in engen Fruchtfolgen unter Einsatz regelmäßiger Bodenbearbeitung und der Verwendung von Agrochemikalien, v.a. via Düngung und Pflanzenschutz. Die hohe Flächenbelegung und die intensive Bewirtschaftung machen Äcker zu einem wichtigen Einflussfaktor auf die Biodiversität. Beispielsweise wird Winterweizen in Deutschland mit einer Anbaufläche von ca. 3×10^6 ha in der Regel intensiv geführt (N-Düngung 160 - 220 kg N ha⁻¹, Behandlungsindex 5,3 in 2021, JKI 2023). Der Behandlungsindex setzte sich in 2021 zusammen aus Spritzungen mit Fungiziden (1,95), Herbiziden (1,99) Insektiziden (0,4) und Wachstumsreglern (0,96). Der standardmäßige Einsatz von Pflanzenschutzmitteln ist aus ökologischer Sicht häufig nachteilig. Umfassende Erhebungen in Winterweizen in acht europäischen Ländern haben ergeben, dass die Intensität der Bewirtschaftung samt Pestizideinsatz negativ mit der Biodiversität der Segetalflora und Carabiden korreliert (Geiger et al. 2010).

Diverse (viele verschiedene Kulturarten) und weite (lange Rotationszeiten) Fruchtfolgen wirken sich generell positiv auf die Biodiversität und speziell das Bodenleben aus (Tiemann et al. 2015). Sie reichern den Boden mit organischem Material an und können Nährstoffverluste reduzieren. Gleichzeitig legen sie die Grundlage für den integrierten Pflanzenschutz und reduzieren so den Bedarf an chemisch-synthetischen Pflanzenschutzmaßnahmen. Biodiversitätsrelevant sind Fruchtfolgeeffekte wie Habitatschaffung und Substratbereitstellung.

2.3.1 Bodenbearbeitung

Ackerbaulich genutzte Böden zeichnen sich zudem durch variabel intensive und häufige Bodenbearbeitungsmaßnahmen aus, die mit den bereits genannten Faktoren interagieren. Die Bodenbearbeitung stellt einen intensiven Eingriff dar, v.a. mit Hinblick auf sich im und auf dem Boden befindende Mikrohabitate und dort lebende Organismen. Lockern, Mischen, Wenden und Rückverdichtung führen zu einer veränderten Porezusammensetzung des Bodens. Grundsätzlich erwartbar ist, dass die Intensität des Eingriffs und dessen Wirkung auf das Bodenleben zumindest für bestimmte Organismengruppen korreliert. Beispielsweise wird nach einer jüngst publizierten Metaanalyse der Artenreichtum von Carabiden in Äckern durch intensive Bodenbearbeitung (Pflug) im Vergleich zu extensiveren Verfahren tendenziell gemindert (Müller et al. 2022). Zugleich kann intensive Bodenbearbeitung aber auch zu einer verstärkten Abundanz von wenigen Arten führen, wenn deren Lebensbedingungen oder Wettbewerbsfähigkeit gefördert werden (Menalled et al. 2007). Weiterhin differenzierend wirkt die

ackerbauliche Maßnahme Düngung, die im Vordergrund der vorliegenden Arbeit steht, und nachfolgend beschrieben wird.

2.3.2 Düngung

In der Landwirtschaft werden seit alters her Dünger zur Steigerung des Pflanzenwachstums und der Bodenfruchtbarkeit eingesetzt, vor allem Stallmist oder Kuhdung. In der heutigen Zeit spielen diese immer noch eine Rolle, wenngleich sich das Spektrum an verwendbaren Düngern deutlich erweitert hat, u.a. durch mineralische Dünger.

2.3.2.1 Rindermist

Rindermist ist ein Gemisch aus Kot, Harn und Stroh mit einem Trockensubstanzgehalt von etwa 25%. Die Nährstoffzusammensetzung ist abhängig von Fütterung, Einstreumenge sowie Lagerungsart und -dauer des Mistes, enthält jedoch immer geringe Mengen an Stickstoff (etwa 2% i.d.TM) sowie alle weiteren für das pflanzliche Wachstum erforderlichen Mineralien. Aufgrund seines hohen Kohlenstoffgehaltes wirkt Rindermist bei regelmäßiger Anwendung kumulativ fördernd auf die Bodenfruchtbarkeit, während die N-Verfügbarkeit im Ausbringungsjahr vglw. gering ist. Positive Auswirkungen der Düngung mit Rindermist sind zum einen eine Zunahme der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens. Zum anderen wird der Boden gelockert und besser durchlüftet, wodurch eine Verbesserung der Bodenstruktur eintritt. Zudem bietet die zugeführte Menge an organischer Substanz Nahrung für Bodenorganismen, in deren Folge das Bodenleben gefördert und deren Biomasse erhöht werden kann.

2.3.2.2 Rindergülle

Rindergülle ist ein Gemisch aus festen und flüssigen Exkrementen mit einem stark variierenden Wassergehalt. Der Trockenmassegehalt liegt in der Regel unter 10 %. Rindergülle besitzt einen deutlich höheren Ammoniumgehalt (NH_4) als Rindermist und wird deshalb in deutlich höherem Maße wachstumssteigernd. Rindergülle fällt in modernen einstreulosen Haltungssystemen in hohen Mengen an und kann bei hohen Viehdichten ein Entsorgungsproblem darstellen. Das Fehlen der Strohkomponente bedeutet zugleich, dass die Zufuhr stabiler Kohlenstoffverbindungen (Lignin) gering ist. Rindergülle und -mist dient nicht nur als Nahrungsquelle für bereits anwesende Bodenlebewesen, sondern kann auch Lockstoff für weibliche Zweiflügler sein, die ihre Eier ablegen (Frouz 1999).

2.3.2.3 Grünschnittkompost

Grünschnittkompost wird in der Regel auf Basis von Schnittgut aus kommunaler und privathaushaltlicher Provenienz in einem aeroben Verfahren hergestellt. Komposte sind Kohlenstoff- und Aschereich, enthalten jedoch vergleichsweise geringe Stickstoffmengen, die zudem nicht pflanzenverfügbar sind.

Pflanzlich basierte organische Dünger haben zum Teil andere Eigenschaften als organische Dünger tierischen Ursprungs. Durch die Verdauungsvorgänge enthalten tierische Dünger eine andere Nährstoffzusammensetzung samt -verfügbarkeit sowie Mikroflora als pflanzliche Dünger. In einem Vergleich der Wurzelbildung von Buschbohnen in Abhängigkeit der Düngung mit Stallmist versus Grünschnittkompost zeigte sich, dass die Wurzeln der mit Grünschnittkompost behandelten Buschbohnen weniger Struktur und ein schwächeres Wachstum zeigten als die mit Stallmist behandelte Variante (Oltmanns 2014). Zugleich können pflanzliche Komposte jedoch durch suppressive Effekte auch fördernd auf die Bodengesundheit wirken (Tamm et al. 2010). Zudem wirkt organische Substanz in Form von Grünschnittkompost positiv auf die

Struktur und Wasserspeicherfähigkeit des Bodens. Das zusätzliche Nahrungsangebot versorgt die Bodenfauna und fördert deren Aktivität. Obwohl Rindermist und -gülle mehr Nährstoffe liefern, kann auch Grünschnittkompost einen Beitrag zur Bodenfruchtbarkeit leisten.

2.3.2.4 Gärrestesubstrat

Gärreste entstehen bei der Produktion von Biogas und werden in Form von Dünger wieder in den Boden zurückgeführt. Die Ausgangsmaterialien, die zu diesem Wirtschaftsdünger werden, sind divers und können sowohl aus der Landwirtschaft als aus der Forstwirtschaft oder dem Gartenbau kommen. Aufgrund der unterschiedlichen Ausgangsmaterialien und der Dauer, die sie in der Biogasanlage verbleiben, ist der Nährstoffgehalt variabel (Keymer 2012). Dementsprechend wird vor der Ausbringung laut Düngeverordnung eine Untersuchung der Zusammensetzung erforderlich (Wendland & Lichti 2013). Von 2008 bis 2010 wurden in einem Versuch in Scheyern (Bayern) die Auswirkungen von Rindergülle und Gärrestesubstrat auf diverse Bodenlebewesen erfasst. Untersucht wurde zum einen die Anzahl und Dichte von Springschwänzen (Collembolen) und Milben (Acari), zum anderen die von Regenwürmern. Sowohl bei der Anzahl der Milben und Springschwänze als auch bei deren Siedlungsdichte, wurden Unterschiede zwischen den beiden Düngern und der Kontrolle festgestellt. Verglichen mit der ungedüngten Kontrollfläche waren die Abundanzen von Springschwänzen und Milben und Regenwürmern auf den gedüngten Flächen höher. Die mit Rindergülle gedüngten Flächen wiesen nur eine leicht höhere Abundanz als die mit Gärrestesubstrat gedüngten Flächen auf (Walter & Burmeister 2012).

2.3.2.5 Stroh

Stroh fällt als Koppelprodukt der Getreideproduktion in Deutschland in hohen Mengen an. Stroh ist gekennzeichnet durch ein weites C/N Verhältnis von etwa 100:1 und durch eine vergleichsweise langsame Abbaugeschwindigkeit im Boden. Verglichen mit anderen Düngern sind die Nährstoffgehalte zwar gering, jedoch bietet eine Düngung mit Stroh auch Vorteile. Die Menge an organischer Substanz trägt zur Bodenfruchtbarkeit bei, steigert die biologische Aktivität und fungiert als Schutz vor Erosion des Bodens. In einem einjährigen Versuch untersuchten Scheunemann et al. (2015) die Auswirkung einer Strohzugabe auf Bodenarthropoden. Während die Vielfalt und Abundanz von Amöben (Wechseltierchen) und Nematoden (Fadenwürmer) anstieg, wurden keine Effekte auf Milben und Springschwänze festgestellt. Es wurde vermutet, dass Arthropoden, zumindest in dem kurzen Versuchszeitraum, nur wenig durch das zusätzliche Nahrungsangebot profitieren.

Die pflanzenbaulichen Vorteile der Verwendung organischer Dünger sind hinlänglich bekannt (Verma 2020). Demgegenüber ist als Folge des hohen Aufwandes und den Schwierigkeiten der taxonomischen Bestimmung das Edaphon jedoch weniger ausführlich erforscht worden (Spadaro et al. 2020). Zugleich ist jedoch die Biodiversität und Funktionalität des Edaphons von essentieller Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit.

Im Rahmen des Dünamed-Projektes („Düngung für Nachhaltiges Management von edaphischer Diversität“), wurde daher unter Feldbedingungen untersucht, wie sich organische Dünger tierischen und pflanzlichen Ursprungs bei kumulativer Anwendung auf Abundanz und Zusammensetzung von Bodenarthropoden auswirken. Es wurde angenommen, dass die Zufuhr von Kohlenstoffverbindungen durch Substrate verschiedenen Ursprungs das Nahrungsangebot für Bodenarthropoden durch quantitative und qualitative Förderung des Mikrobioms biodiversitätsfördernd erweitert.

3 Material und Methoden

Es wurden zwei Feldversuche mit nahezu identischem Design auf zwei Standorten der Universität Bonn angelegt. Es handelt sich um den Campus Klein Altendorf, der konventionell bewirtschaftet wird und um den Campus Wiesengut, der seit 37 Jahren ökologisch bewirtschaftet wird. Die Standorte unterscheiden sich deutlich mit Hinblick auf Boden, Klima und Bewirtschaftung. Zur Sicherstellung hinreichender Praxisnähe wurden auf beiden Standorten die betriebsüblichen Anbau- und Pflegeverfahren durchgeführt. Es wurden jedoch die gleichen Kulturen angebaut, d. h. Sommerweizen in 2021, Hafer in 2022 und Mais in 2023.

3.1 Boden

Der Schlag Gelsdorf auf dem Campus Klein-Altendorf (CKA) mit den Koordinaten $50^{\circ}58'22.89''$ N / $7^{\circ}01'97.69''$ E befindet sich 232 m über NN und gehört naturräumlich zum Rheinischen Schiefergebirge. Die Ausgangsgesteine sind Ton-, Schluff- und Sandstein und stammen aus der Zeit des Unterdevons (Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, 2018). Der Boden am CKA ist stark sandiger Lehm und wird dem Bodentyp Parabraunerde zugeordnet (Geologischer Dienst NRW, 2022, siehe Abb. 2). Die Parabraunerde nimmt bis zu 20 % der Fläche in NRW ein und ist durch ihren Nährstoffgehalt für die landwirtschaftliche Nutzung geeignet und dient meist als Ackerstandort (Geologischer Dienst NRW, 2022). Parabraunerden aus schluffigem Lehm können mehr als 250 mm Wasser speichern und bieten eine gute Wasserversorgung für Kulturpflanzen (Geologischer Dienst NRW, 2022).

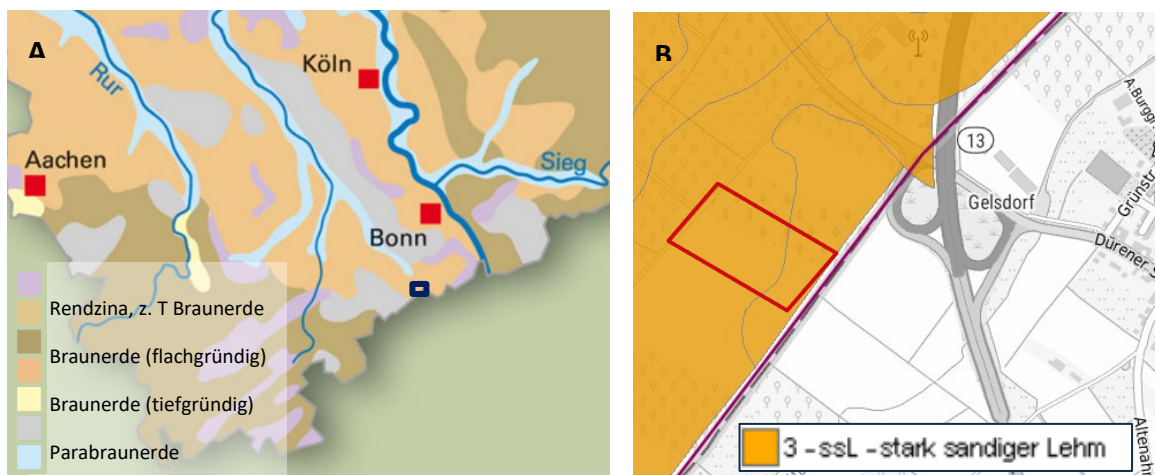


Abb. 2: Alter des Bodens (A) und Bodenbeschaffenheit (B) des Gelsdorfer Schlags vom CKA (Karten entnommen und verändert von Geologischer Dienst NRW (2022) und Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2022)). Position der Versuchsfläche in blau (A) und rot (B) markiert.

Der Versuchsschlag 17 des Campus Wiesengut (WG) besitzt die Koordinaten $50^{\circ}79'38.73''$ N / $7^{\circ}25'58.67''$ E und befindet sich in Hennef in Nähe zum Fluss Sieg und liegt 61 m über NN. Laut Heusch et al. (1996) handelt es sich bei diesem Standort um eine Senkungszone, welche mit tertiären Tonen und quartären Schottern der Sieg aufgefüllt wurde. Der Boden des Versuchsschlages gehört zur jüngeren mittleren Auenterrasse und ist im Holozän entstanden (Heusch et al., 1996; Abb. 3).

Der Bodentyp ist ein Fluvisol (Braunauenboden) mit einer Mächtigkeit von 1-2 m, der sich über holozänem und pleistozänem Schotter auf devonischem Grundgebirge ausgebildet hat (Heusch et al., 1996). Braunauenböden werden auch als Veges bezeichnet und sind wie viele Auenböden meist nährstoffreich, besitzen eine hohe biologische Aktivität und nutzbare Feldkapazität (Amelung, 2018). Zugleich sind sie jedoch hinsichtlich ihrer Mächtigkeit heterogen. Braunauenböden in Überflutungsbereichen werden häufig als Grünlandflächen genutzt. Wenn keine Überschwemmungsgefahr besteht, eignen sich Veges auch für den Ackerbau (StMELF, 2004). Der Versuchsschlag 17 befand sich in einem Bereich ohne Überflutungsgefahr (Heusch et al., 1996).

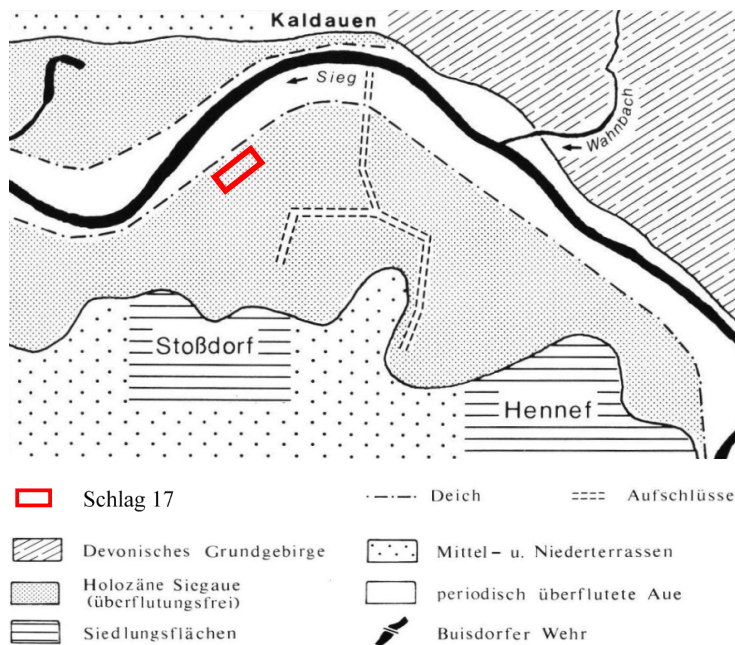


Abb. 3: Bodenkarte mit Versuchsschlag 17 vom Standort Wiesengut in roter Farbe. Entnommen und verändert nach Heusch et al. (1996).

Die chemische Charakterisierung der Standorte spiegelt die typischen Unterschiede zwischen konventionellen und ökologischen Landbau wider. Dementsprechend waren die Nährstoffgehalte mit Hinblick auf Phosphor und Kalium am Standort Klein-Altendorf deutlich höher (Tab. 1). Dies traf auch für den Humusgehalt zu, der mit 2,3 % deutlich höher war als am Wiesengut (1,5 %). Der pH-Wert war am Standort Klein-Altendorf mit 6,8 deutlich höher als am Wiesengut (6,1). Die Textur des Bodens ist am Standort Klein-Altendorf vorwiegend schluffig (ca. 60%), während der Boden am Wiesengut zu 50 % aus Sand besteht.

3.2 Klima

Der Campus Wiesengut (WG) in Hennef (Sieg) liegt im Großraum der Niederrheinischen Bucht und weist ein maritim beeinflusstes, atlantisch geprägtes Klima auf. Die mittlere Jahreslufttemperatur beträgt 10,3 °C und die jährliche Niederschlagsmenge liegt bei 850 mm.

Tab. 1: Chemo-physikalische Beschreibung der Böden an den Versuchsstandorten Campus Wiesengut (WG) und Campus Klein-Altendorf (CKA) vor Versuchsbeginn.

| | Parameter | Einheit | Ergebnis |
|-----|--|---------|----------|
| WG | pH-Wert (CaCl ₂) | | 6,1 |
| | Phosphor (P ₂ O ₅) in CAL | mg/100g | 4 |
| | Kalium (K ₂ O) in CAL | mg/100g | 4 |
| | Magnesium (Mg) in CaCl ₂ | mg/100g | 4 |
| | Gesamt organischer C (TOC) | % | 0,9 |
| | Humus | % | 1,5 |
| | Gesamt-Stickstoff (TN) | % | 0,085 |
| | Ton (< 0,002 mm) ¹ | % | 12,3 |
| | Schluff (0,002 - 0,063 mm) ¹ | % | 35,7 |
| | Sand (0,063 - 2,0 mm) ¹ | % | 52,0 |
| CKA | pH-Wert (CaCl ₂) | | 6,8 |
| | Phosphor (P ₂ O ₅) in CAL | mg/100g | 17 |
| | Kalium (K ₂ O) in CAL | mg/100g | 16 |
| | Magnesium (Mg) in CaCl ₂ | mg/100g | 8 |
| | Gesamt organischer C (TOC) | % | 1,34 |
| | Humus | % | 2,3 |
| | Gesamt-Stickstoff (TN) | % | 0,11 |
| | Ton (< 0,002 mm) ¹ | % | 17,3 |
| | Schluff (0,002 - 0,063 mm) ¹ | % | 60,6 |
| | Sand (0,063 - 2,0 mm) ¹ | % | 22,1 |

Am Standort Gelsdorf (CKA) an der Grenze zwischen NRW und RP herrscht ein ähnliches Klima wie am WG. Es handelt sich um ein maritimes Klima mit kühleren Sommern und mäßigen Wintern (Rheinland-Pfalz, o. J.). Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt etwa 9,6 °C und die jährliche Niederschlagsmenge liegt bei etwa 652 mm. Die Witterungsbedingungen waren an beiden Standorten in den Versuchsjahren vergleichbar. Das Versuchsjahr 2021 war geprägt durch die Flutkatastrophe vom 14 Juli, von der auch die DüNaMed-Versuche betroffen waren. Das Versuchsjahr 2022 zeichnete sich durch ein trockenes und warmes Frühjahr samt Frühsommer aus, während das Jahr 2023 mit einem nasskühlen Frühjahr begann, dann in Frühsommertrockenheit überging und einen feuchtkühlen Hochsommer endete. Die Witterungsbedingungen während der Fallenaufstellung (Mai bis Juni) finden sich in Tab. 2.

Tab. 2: Witterungsbedingungen während der Versuchszeit am Standort Wiesengut

| Parameter | Maßeinheit | 2021 | 2022 | 2023 |
|-------------------------|------------|------|------|------|
| Bodentemperatur (15 cm) | ° C | 16,2 | 15,3 | 21,1 |
| Lufttemperatur (2 m) | ° C | 17,3 | 16,8 | 20,2 |
| Relative Luftfeuchte | % | 76,7 | 71,0 | 65,8 |
| Niederschlag | mm | 220 | 59 | 64 |

3.3 Versuchsdesign und-durchführung

Auf beiden Standorten wurden acht verschiedene Düngungsvarianten geprüft, die sich nur in einer Variante geringfügig unterschieden. Gedüngt wurde entweder mit Rindermist (Rimi), Rindergülle (Rigü), Grünschnittkompost (Kom), Gärrestesubstrat (GärRS), Stroh oder mit mineralischem Dünger (min. NPK). Die festen organischen Dünger Rindermist, Grünschnittkompost und Stroh wurden jeweils im Vorjahr im August nach der Ernte der Vorfrucht ausgebracht (Tab. 3). Bemessungsgrundlage für die Ausbringungsmengen war der Kohlenstoffgehalt der Substrate. Ziel war, dass mit den organischen 2500 kg C je Hektar ausgebracht wurden. Die organischen Flüssigdünger Rindergülle und Biogasgärsubstrat wurden zur Vermeidung von Nitratauswaschung immer im Frühjahr vor Aussaat der jeweiligen Sommerung (2012: Sommerweizen, 2022 Hafer, 2023: Mais) ausgebracht. Da die oben genannte Bemessungsgrundlage für die Festdünger zu einer nicht vertretbaren N-Überdüngung führte, wurde diese im zweiten und dritten Versuchsjahr geändert. Die ausgebrachten Mengen sprachen nun einer Stickstoffgabe von 120 kg N je Hektar, was zugleich einen deutlich geringeren Kohlenstoffinput zur Folge hatte. Die Ausbringung der festen organischen Dünger erfolgte per Hand, die flüssigen Dünger wurden mit einem Flüssigdüngerstreuer der Firma Vredo (NL) ausgebracht. Am Campus Klein-Altendorf erfolgte die Ausbringung des mineralischen Düngers (KAS) manuell mit 75 kg N je Hektar. Am ökologisch wirtschaftenden Campus Wiesengut wurde stattdessen Kartoffelfruchtwasser, ein Nebenprodukt der Stärkegewinnung, mit einer Aufwandmenge von 75 kg N je Hektar ausgebracht. Als Kontrollen dienten Parzellen ohne Düngung, sowohl eine mit und als auch eine ohne Zwischenfrucht (KON1, KON2). Die Düngung erfolgte über alle drei Versuchsjahre immer auf den gleichen Parzellen (keine Neuanlage der Versuche) um kumulative Effekte zu erzielen.

Die Bruttoparzellengröße betrug 23 x 18 m, die Nettoparzellengröße 15 m x 18 m = 270 m². Die „überschüssigen“ 8 m am oberen und unteren Rand der Bruttoparzelle wurden lediglich mitgedüngt, dienten aber nicht der Datenerfassung (Abb. 4). Der Abstand von 8 m zwischen den gedüngten Bereichen diente zur Vermeidung einer Überlappung der Parzellen. Zwischen den Parzellenreihen wurde ein Freiraum von 3 m geschaffen. An beiden Standorten erfolgte die Anlage als vollständig randomisierte Blockanlage mit vier Wiederholungen.



Abb. 4: Luftansicht auf die Ausbringung der festen organischen Dünger Stroh, Rindermist und Kompost (vorne von links nach rechts) am 11.8.2022 am Standort Wiesengut (Foto: C. Dahn).

Tab. 3: Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte (% in der Trockenmasse TM) der verwendeten organischen Dünger

| Düngerart | TM-Gehalt (%) | N-Gehalt (%TM) | C-Gehalt (%TM) | C/N |
|--------------------|---------------|----------------|----------------|------|
| Rindermist | 26,2 | 2,6 | 44,1 | 16,9 |
| Rindergülle | 4,9 | 4,2 | 43,7 | 8,6 |
| Gärrestesubstrat | 4,5 | 5,1 | 38,4 | 7,5 |
| Grünschnittkompost | 63,3 | 0,8 | 16,4 | 20,5 |
| Stroh | 90,0 | 0,5 | 46,6 | 93,2 |

Die Anlage und Pflege der jeweiligen Kulturen erfolgte auf beiden Standorten betriebsüblich unter Nutzung der vor Ort vorhandenen Technik. An beiden Standorten wurde nach Ausbringung der festen Dünger im August des Vorjahres Zwischenfrucht Ölrettich gesät (Ausnahme: KON2). Im nachfolgenden Frühjahr wurden die organischen Flüssigdünger sowie die mineralischen Düngungsvarianten ausgebracht und anschließend samt Zwischenfrucht eingearbeitet. Dies erfolgte am Standort Wiesengut mittels Pflug und am Standort Klein-Altendorf mittels Grubber. Dieser Sachverhalt ist insofern von Relevanz, als dass die differenzierte Bodenbearbeitung einen weiteren Interaktionsfaktor über die unterschiedlichen Standorts- und Bewirtschaftungsbedingungen hinaus darstellt.

Der differenzierende Effekt der Bewirtschaftungsbedingungen ergibt sich vorwiegend durch die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln am Campus Klein-Altendorf, im DüNamed-Feldversuch reduziert auf die Anwendung von Herbiziden und die Ausbringung mineralischer Dünger. Am ökologisch bewirtschafteten Standort Wiesengut erfolgte im Frühjahr (Bestockung) eine Unkrautregulierung mittels Striegel (Getreide) bzw. Hacke (Mais).

3.4 Fallensysteme und Probenahmetechnik

Es wurden zwei verschiedene Fallenarten verwendet namentlich Photoeklektoren und Barberfallen, welche sowohl im Photoeklektor als auch alleinig eingesetzt wurden. Zudem wurden Bodenproben für die DNA-Analysen gezogen.

Photoeklektoren mit integrierter Barberfalle sind geschlossene Fallensysteme, in denen Arthropoden passiv und unselektiv erfasst werden. Es können sowohl aus dem Boden schlüpfende als auch auf der Oberfläche der Erde lebende Tiere gefangen werden. Photoeklektoren nutzen das positiv phototaktische Verhalten von Arthropoden aus, indem die Organismen vom Boden aus zum vom Tageslicht erhellten Fangbehälter hochfliegen oder –krabbeln und schließlich in der Fangflüssigkeit verenden (Abb. 5). Mit diesem Fallentyp lassen sich insbesondere die Schlüpfabundanzen von Diptera, Coleoptera, Thysanoptera, Homoptera, Collembola und Araneae gut erfassen (Dorow, 1992). Vorteil dieses Fallensystems ist, dass sie die Erfassung eines breiten Spektrums an Arten ermöglichen. Die Fängigkeit hängt jedoch in hohem Maße von der Aktivität der Insekten ab, welche wiederum von den Witterungsbedingungen beeinflusst wird. Der Nachteil von Photoeklektoren liegt jedoch darin, dass abgesehen von der qualitativen Erfassung keine genaue quantitative Erfassung möglich ist, da es sich um Schlüpfabundanzen handelt, welche nicht auf ein festes Bodenvolumen begrenzt sind (Schuch et al., 2020). Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass für eine ausführliche Untersuchung der

Arthropodengesellschaft viele Proben mit 1000 bis zu 10.000 Tieren erforderlich sind (Hyvärinen et al. 2006).

Bei der zusätzlich eingesetzten Barberfalle handelt es sich um Bodenfallen nach Barber (1931). Dies sind Fanggefäße mit Ködern oder Fangflüssigkeiten, welche in den Boden eingelassen werden. Der Rand des Fanggefäßes sollte unterhalb der Erdoberfläche sein, damit die Öffnung nicht für Arthropoden sichtbar ist und sie bei ihren Wanderbewegungen hineinfallen können. Barberfallen eignen sich besonders für die Erfassung von epigäischen Arthropoden wie Carabiden, Staphyliniden, Formiciden und Aranaen (Schuch et al., 2020). Der Vorteil von Barberfallen liegt in ihrer einfachen Anwendung und der günstigen Bauweise. Nachteilig ist, dass größere und aktivere Arten leichter gefangen werden als kleinere, inaktivere und somit ein Ergebnisverzerrung entstehen könnte. Weiterhin kann die verwendete Fanglösung verschiedene Arten anlocken oder abschrecken, was zu einer stärkeren Erfassung bestimmter Arten und somit zu einer Verzerrung führen könnte. Zudem können auch Konservierungsstoffe auf verschiedene Carabidenarten anziehend wirken (Woodcock 2005). Andere Arten, z.B. Vertreter der Myriapoden wie *J. scandinavicus* können vom Essigsäure-Ethanol-Geruch wiederum abgeschreckt werden, während Carabiden keine Präferenz oder Ablehnung zeigen (Gerlach 2009).

Sowohl mit dem Photoelektrode als auch der Barberfalle lassen sich überwiegend die Aktivität der Tiere messen und es wird kein Anspruch auf die vollständige Erfassung aller in den Fallen und der beprobten Fläche vorkommenden Arthropoden erhoben (Blick 1999). Der kombinierte Einsatz dieser beiden Fallenarten ist jedoch von Vorteil, da hierdurch eine genauere Erfassung im Vergleich zu nur einer Fallenart möglich wird. Der Photoelektrode und die Barberfalle können dann als ein System zur Erfassung betrachtet werden. Aus Gründen des hohen Arbeitsaufwandes wurden in einem Großteil der bisherigen Studien zu den Versuchsfragen von DüNaMed nur Barberfallen eingesetzt.

In DüNaMed wurden selbstgebaute Photoelektroden eingesetzt. Der Durchmesser des schwarzen Kunststoffzylinders, welcher die zu beprobende Fläche von dem Rest des Versuchsschlages abgrenzt, betrug 57 cm. Ein helles, atmungsaktives Stofftuch wurde mit metallischen Halterungen so befestigt, so dass es ein 75 cm hohes Zelt auf dem Kunststoffzylinder ergab, welches sich an der Seite mithilfe eines Reißverschlusses öffnen ließ. Das Zelt hatte an der Spitze eine Öffnung, auf der eine Eklektordose der Firma ecoTech (www.ecotech.de) aufgesetzt wurde. Die Eklektordose bestand aus einem weißlichen Fangbehälter mit einem Durchmesser von 15 cm und einer Höhe von 11 cm und einem klaren Deckel, damit das Tageslicht in das Zelt gelangen und die Arthropoden anlocken konnte. Die Eklektordose wurde mit 300 mL Natriumbenzoatlösung zur Abtötung und Konservierung der Arthropoden und 3-5 Tropfen Spüli zur Verringerung der Oberflächenspannung versetzt. Die Natriumbenzoatlösung wurde aus Natriumbenzoatpulver und destilliertem Wasser im 1:10 Verhältnis hergestellt.

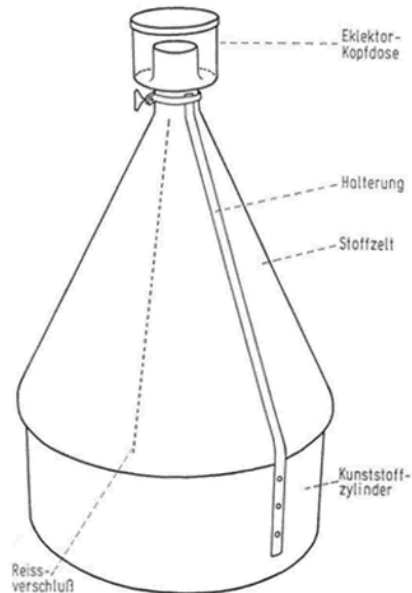


Abb. 5: Grundprinzip (links) eines Photoektors (entnommen von der Firma ecoTech: www.ecotech.de). Rechts: Aufbau des weißlichen Fangbehälters mit der Öffnung und der klaren Deckel ersichtlich (Foto: C. Jakubassa).

Weiterhin wurden selbstgebaute, modifizierte Barberfallen nach Melber (1987) eingesetzt (Abb. 6). Die Barberfalle bestand aus einer Plastikflasche mit 350 mL Volumen, welche in einem Kunststoffzylinder mit einem Durchmesser von 7,5 cm in den Boden eingelassen wurde. Die Öffnung des Kunststoffzylinders befand sich auf gleicher Höhe wie die Bodenoberfläche. Mit lockerer Erde wurden Zwischenräume zwischen dem Boden und der Öffnung weiter eingeebnet, sodass ein gleichmäßiger Übergang zwischen Falle und Boden ermöglicht wurde und die Öffnung der Falle für Arthropoden nicht sichtbar war. In den Kunststoffzylinder wurde ein Trichter mit einem Durchmesser von 7,5 cm eingelassen, damit alle in das Loch fallenden Tiere in die Plastikflasche geleitet wurden und nicht in Lücken zwischen der Falle und dem Fanggefäß verloren gingen. Als Fanglösung diente 250 mL Rennerlösung zur Abtötung und Konservierung der Arthropoden. Die Lösung wurde nach Renner (1980) aus Ethanol, Glycerin, Essigsäure und Wasser im Verhältnis von 4:2:1:3 hergestellt. Das Abtöten der Arthropoden ist notwendig, da durch starke Bewegung von großen Arthropoden kleinere beschädigt und schwer identifizierbar werden könnten. Weiterhin könnten ohne Abtötung flugfähige Tiere aus der Falle entkommen und somit zu einer Verfälschung der Erfassungen führen (Schuch et al., 2020).

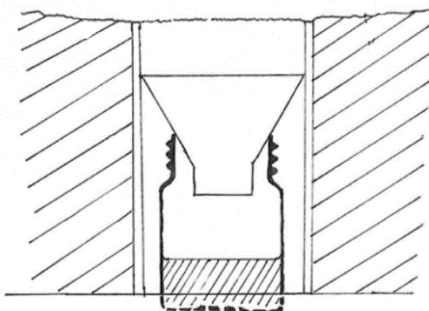


Abb. 6: Skizze der Barberfalle im Eklektor (entnommen und verändert nach Melber, 1987).

Die Platzierung beider Fallenarten in jeder Kernparzelle folgte immer einem bestimmten Muster. Hierfür wurde jede Kernparzelle in neun gleich große Rechtecke (Subplots) mit den Maßen 5 x 6 m eingeteilt und der Photoeklektor wurde in den Subplot im Zentrum gestellt. Hierbei wurde der Eklektor in die Mitte der äußeren Seite des Subplots im Feld gestellt. Es wurde darauf geachtet, dass der Eklektor neben der Fahrrinne platziert wurde, damit keine Lücke zwischen dem Boden und dem Eklektorrand entstand und Arthropoden von außen eindringen oder aus der Falle herauslaufen konnten. Die Barberfalle wurde innen am Rand des Kunststoffzylinders im Eklektor platziert in der Annahme, dass im Ring umherlaufende Arthropoden dort hineinfliegen werden (Abb. 7). Ein Vorteil der Barberfalle innerhalb des Photoeklektors besteht darin, dass epigäische räuberische Arthropoden abgefangen werden, und somit ihr Fraßverhalten unterbrochen wird (Winter 1999). Sowohl der Eklektor als auch die Barberfalle im Eklektor wurden während der Versuchszeit am Ende des Monats um 1 m weiter nach Süden verschoben, um eine gleichmäßige Erfassung über den gesamten Zeitraum zu ermöglichen, da nicht bekannt ist, ob sich in geschlossenen Eklektoren das Mikroklima und somit die Fängigkeit der Falle verändert (Økland 1996). Der Beprobungszeitraum war in allen drei Jahren von Mitte Mai bis Mitte Juni (Tab. 4). In diesem Zeitraum wurden sowohl die Photoeklektoren als auch Barberfallen alle zwei Wochen geleert. Zusätzlich wurde jede Woche bei einer Feldbegehung überprüft, ob die Fallen einwandfrei funktionierten und gegebenenfalls Anpassungen gemacht, bspw. Nachfüllen der Fangflüssigkeit nach starker Verdunstung. Nach starken Niederschlägen wurden die Barberfallen ausgetauscht, um ein Überfließen der Fallen und somit einen Verlust an Arthropoden zu vermeiden. Zudem wurde die Position der Trichter über den Barberfallen und die Eklektorzelte wöchentlich kontrolliert, sodass verrutschte Trichter korrigiert oder offene Eklektorzelte geschlossen werden konnten.



Abb. 7: Blick in das Innere einer Photoeklektorfalle mit Barberfalle und Temperatursensor (Foto: C. Jakubassa).

Tab. 4: Übersicht über die Probenahmeterminale in DüNaMed

| Standort | Jahr | Sammelperiode/ termin | Photoelektor | Barberfalle | eDNA | |
|----------|------|--------------------------|--------------|-------------|------|---|
| WG | 2021 | 31.05 | | | x | |
| | | 20.05-03.06 | x | x | | |
| | | 03.-17.06. | x | | | |
| | | 01.-15.07. | | x | | |
| | | 30.09 | | | x | |
| | 2022 | 04.05 | | | | x |
| | | 10-24.05. | x | x | | |
| | | 24.05-07.06 | x | x | | |
| | | 04.10 | | | x | |
| | 2023 | 09.06 | | | | x |
| | | 26.06.-10.07 | x | x | | |
| | | 10.-24.07 | x | x | | |
| | | 21.09 | | | x | |
| CKA | 2021 | 21.05 | | | x | |
| | | 17.-31.05. | x | x | | |
| | | 31.05 – 14.06. | x | | | |
| | | 28.06-12.07 | | x | | |
| | | 18.10. | | | x | |
| | 2022 | 12.05 | | | | x |
| | | 01.-15.06. | x | x | | |
| | | 15.-29.06 | x | x | | |
| | | 05.10 | | | x | |
| | 2023 | 21.06 | | | | x |
| | | 06.-20.07 | x | x | | |
| | | 20.07-03.08. | x | x | | |
| | | 20.09 | | | x | |



Abb. 8: Luftbild vom DüNaMed-Versuch am Standort Klein-Altendorf, 8.8.2022(Foto C. Dahn).

3.5 Datenerhebung und Sortierung der Proben

Die gesammelten Proben wurden anschließend im Labor durch Abgießen über engmaschige Netze soweit wie möglich von Schlamm gereinigt (Abb. 9). Die gesäuberten Proben wurden anschließend mit 80 %-igem Ethanol versetzt, um das Probenmaterial für künftige Untersuchungen zu konservieren.

Das Sortieren der Proben geschah unter Zuhilfenahme eines Binokulars des Modells BMS 11/140/143 der Firma Breukhoven b.v.. Die Sortierung erfolgte standardmäßig nach Großgruppen zum Teil auf Ebene der Klasse (z.B. Collembola), Unterklasse (z.B. Aranae), Ordnung (z.B. Coleoptera) mit Bestimmungsschlüsseln von Müller/Bährmann (2015) und Klausnitzer (2011). Im Falle der Nematocera (Mücken) erfolgte für einige Termine eine Bestimmung auf Familienebene. Laufkäfer (Carabidae) wurden auf Gattungs- bzw. Artebene bestimmt. Anschließend wurden die Abundanzen der verschiedenen Artengruppen durch Zählung erfasst. Zum Sortieren von größeren Arthropoden wie Myriapoden oder Coleopteren wurden Federstahlpinzetten verwendet. Kleinere Arthropoden wie Kugelspringer und Milben wurden mit Glaspipetten herausgesaugt, da sie bei Verwendung von Federstahlpinzetten zerdrückt werden und eine spätere Bestimmung dadurch erschwert wird.

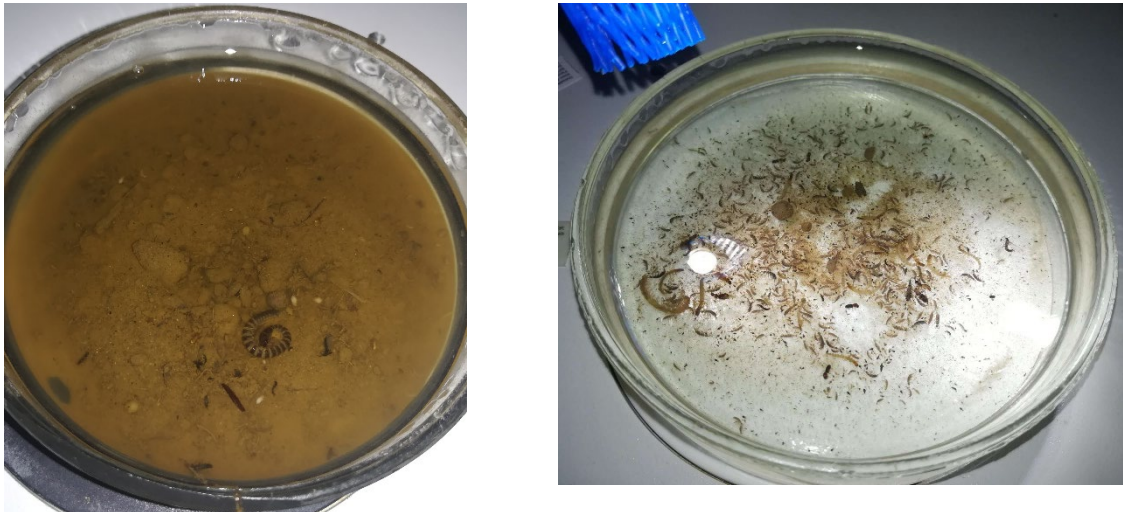


Abb. 9 & 10 schlammverunreinigte Barberfallenprobe (links) und Probe mit mehr als 3000 Tieren (rechts). (Fotos: C. Jakubassa).

3.6 e-DNA Analysen

Weiterhin wurde in Bodenproben von allen Varianten des Standorts WG im Mai 2012 an drei Teilproben von 250-500 mg die Umwelt-DNA (environmental DNA – eDNA) extrahiert (NucleoSpin Soil, Macherey- Nagel). Eine 'amplicon library' für den Cytochromoxidase-1-Marker wurde in einem Zwei-Schritt-PCR-Verfahren erstellt (Bourlat et al. 2016) und auf einer Illumina HiSeq Plattform sequenziert. Für weitere methodische Informationen siehe Kirse et al. (2021). Mittels bioinformatischer Auswertung wurden anschließend operative taxonomische Einheiten (Operative Taxonomic Unit = OTU) (Taberlet et al., 2018; Thomsen & Willerslev, 2015) bestimmt, welche qualitative Rückschlüsse auf die Präsenz individueller Arten zulassen (Foucher et al., 2020; Rota et al., 2020).

Nur Rohsequenzen, die sowohl Forward- als auch Reverse-Primer enthielten, wurden für die weitere Analyse beibehalten. Zur Identifizierung der vorhandenen 'Amplicon Sequence Variants' (ASVs) wurde das in QIIME2 integrierte Dada2-Plugin verwendet (Bolyen et al. 2019, Callahan et al. 2016). Im Anschluss wurden die ASVs unter Verwendung von VSEARCH2 in OTUs gruppiert (Rognes et al. 2016). Die repräsentativen Sequenzen wurden mittels Boldigger mit der BOLD-Datenbank abgeglichen (Buchner & Leese 2021). Ausschließlich OTU-repräsentierende Sequenzen, die eine Übereinstimmung von 98% aufwiesen, wurden auf Art-Ebene zugeordnet.

3.7 Datenaufbereitung und statistische Auswertung

Die Auswertung erfolgte mithilfe des Programms RStudio (Version 2023.03.1) unter Verwendung der Pakete „tidyverse“, „vegan“, „reshape“, „plyr“ und „car“. Die Auswertung erfolgte mittels einfaktorieller Varianzanalyse mit anschließendem Tukey-Test ($\alpha = 0,05$). Die Normalverteilung der Datensätze wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test und einer grafischen Auswertung der Quantilverteilung ermittelt und die Varianzhomogenität mithilfe des Levene-Tests. Zur Beantwortung der Fragestellung, ob die verschiedenen Düngerarten einen Einfluss auf Abundanz von Bodenarthropoden haben, wurde auf der entsprechenden Tiergruppenebene die mittlere Abundanz je Probenahmetermin berechnet. Diese setzte sich zusammen aus den Abundanzen aller Probenahmetermine, Feldwiederholungen und Jahre. Anders als in summarischen Abundanzen gehen auf diese Weise fehlende Werte nicht verzerrend in die Berechnung ein. Die qualitative Auswertung der eDNA Ergebnisse erfolgte zusätzlich mit dem R Paket „UpSetR“.

4 Ergebnisse

4.1 Mittlere Gesamtabundanz in den Photoelektoren.

Insgesamt wurden in den Photoelektoren samt integrierter Barberfalle in den drei Versuchsjahren summiert über beide Standorte 542.252 Individuen (2021:273.012, 2022: 115.326 2023: 153.914) erfasst. Dies entspricht einer mittleren kumulativen Abundanz je Parzelle und Jahr von 2824 Tieren, gesammelt über sechs Probenahmeterminen am Wiesengut und fünf am CKA in drei Jahren. Gemittelt über alle Jahre, Probenentnahmeterminen und Feldwiederholungen zeigte sich am Standort Wiesengut kein signifikanter Unterschied in der mittleren Abundanz zwischen den Versuchsvarianten (Abb. 11). Zugleich war die Streuung zwischen den Wiederholungen einer Versuchsvariante hoch. Der höchste Gesamtmittelwert 810 (nicht signifikant) und die höchsten Einzelwerte der Gesamtabundanz (knapp 2000 Individuen) wurden in den Parzellen mit Stallmistdüngung festgestellt. In der Kontrolle mit Zwischenfrucht war die mittlere Gesamtabundanz mit 605 Individuen um etwa 33 % niedriger, während diese in der Kontrolle ohne Zwischenfrucht mit 765 sich kaum von der Variante mit Stallmistdüngung unterschied.

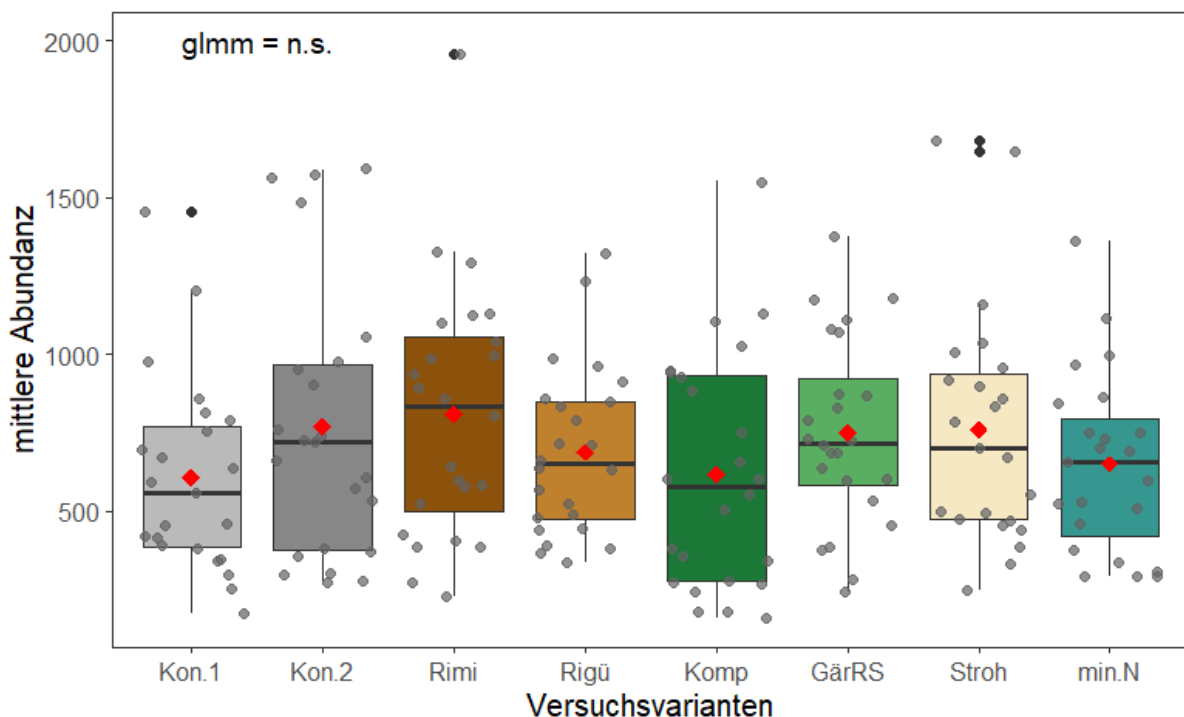


Abb. 11: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Bodentieren in Photoelektorfällen am Standort Wiesengut 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant.

Am Standort Klein-Altendorf zeigte sich ein vergleichbares Bild hinsichtlich der mittleren Gesamtabundanz bei insgesamt höheren Mittelwerten (Gesamtmittel: 1003). Die höchste mittlere Gesamtabundanz wurde in den Parzellen mit Strohdüngung (1257) ermittelt, während diese in der Kontrolle mit Zwischenfrucht mit 870 etwa 44 % niedriger war. Obwohl der F-Test einen p-Wert von $< 0,05$ auswies, wurde keine signifikante Mittelwertdifferenzierung mit dem Tukey- oder Bonferroni-Test festgestellt (Abb. 12). Analog zum Standort Wiesengut waren die mittleren Gesamtabundanzen nach Stallmistdüngung etwa 30 % höher verglichen mit der Kontrolle (nicht signifikant). Wertet man die einzelnen Versuchsjahre getrennt aus, zeigt sich

für das erste Versuchsjahr jedoch ein signifikant abundanz erhöhender Effekt der Strohdüngung verglichen mit KON1. Die Variante mit mineralischer Düngung wies auf beiden Standorten unterdurchschnittliche Werte für die mittlere Gesamtabundanz auf, die jedoch statistisch nicht signifikant waren.

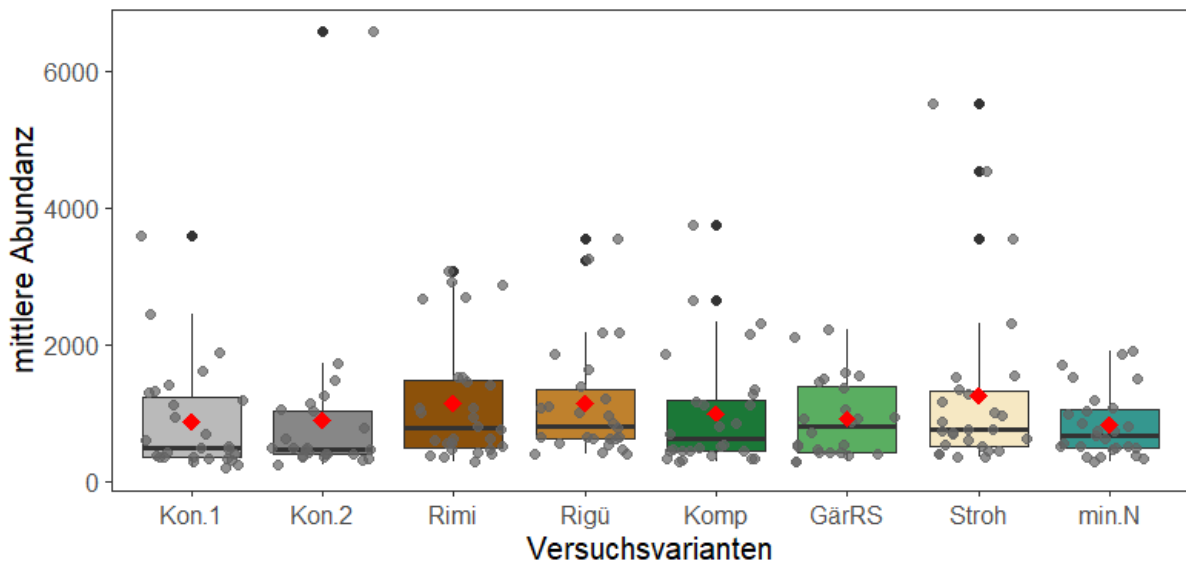


Abb. 12: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Bodentieren in Photoelektrofallen am Standort Klein-Altendorf 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant.

4.1.1 Collembola

Springschwänze wurden sowohl in den Photoelektrofallen samt integrierter Barberfallen als auch in den Parzellen eingegrabenen Barberfallen gefangen.

In den eingegrabenen Barberfallen wurden im Gesamtmittel je Parzelle 350 Collembolen gefangen. Die Anzahl gefangener Collembolen war an beiden Standorten in etwa gleich hoch. Am Standort Wiesengut wurden keine Unterschiede in der mittleren Gesamtabundanz festgestellt (Tab. 5). Demgegenüber war am Standort Klein-Altendorf die mittlere Gesamtabundanz an Collembolen in den Varianten mit Rindermist (n=350) und Grünschnittkompostdüngung (n=350) signifikant höher als in der Variante mit Gärrestesubstrat (n=300) und der Kontrolle ohne Zwischenfrucht (n=300).

Tab. 5: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Collembolen in Barberfallen an den Standorten Wiesengut und Klein-Altendorf 2021 - 2023, Tukey-Test $\alpha = 0,05$.

| Variante | Wiesengut | Klein-Altendorf | Mittelwert |
|------------|------------------------|--------------------------|------------|
| KON1 | 269,2 ($\pm 240,75$) | 356,3 ($\pm 386,7$) ab | 312,7 |
| KON2 | 295,6 ($\pm 283,4$) | 304,8 ($\pm 337,7$) b | 300,2 |
| GärRS | 254,8 ($\pm 261,8$) | 346,0 ($\pm 487,5$) b | 300,4 |
| Komp | 378,2 ($\pm 505,4$) | 321,1 ($\pm 275,9$) ab | 349,6 |
| Min.N | 282,02 ($\pm 316,8$) | 242,9 ($\pm 213,2$) ab | 262,5 |
| Rigü | 294,7 ($\pm 228,9$) | 282,5 ($\pm 224,4$) ab | 288,6 |
| Rimi | 326,82 ($\pm 372,7$) | 372,9 ($\pm 292,8$) a | 349,9 |
| Stroh | 306,3 ($\pm 295,0$) | 316,1 ($\pm 205,5$) ab | 311,2 |
| Mittelwert | 300,9 | 317,8 | 309,4 |

In den Photoelektorfallen wurden im Gesamtmittel deutlich mehr Collembolen ($n=469$) gefangen, als in den Barberfallen. Die mittlere Abundanz an Collembolen war in der Variante mit Gärrestesubstrat ($n=395$) signifikant geringer als in den Varianten mit Strohdüngung ($n=612$). Alle anderen Düngungsvarianten unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Tab. 6).

Tab. 6: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Collembolen in Photoelektorfallen an den Standorten Wiesengut und Klein-Altendorf 2021 - 2023, Tukey-Test $\alpha = 0,05$.

| Variante | Wiesengut | Klein-Altendorf | Mittelwert |
|------------|-----------------------|---------------------------|------------|
| KON1 | 311.7 (± 241.7) | 508.5 (± 661.2) ab | 409,9 |
| KON2 | 432.0 (± 334.1) | 580.9 (± 1040.1) ab | 506,0 |
| GärRS | 355.1 (± 257.0) | 436.4 (± 395.2) a | 395,6 |
| Komp | 347.6 (± 292.0) | 633.8 (± 735.8) ab | 490,3 |
| Min.N | 309.2 (± 226.7) | 455.0 (± 421.6) ab | 382,6 |
| Rigü | 304.0 (± 218.2) | 564.0 (± 535.1) ab | 434,6 |
| Rimi | 357.5 (± 282.2) | 692.0 (± 734.2) ab | 524,7 |
| Stroh | 381.7 (± 310.7) | 844.6 (± 1061.5) b | 612,9 |
| Mittelwert | 349,9 | 589,3 | 469,6 |

4.1.2 Nematocera

Die mittlere Abundanz von Mücken wurde am Standort Wiesengut signifikant durch die Düngung beeinflusst. Diese war in den Varianten Rigü (78), Rimi (80) und GärRs (79) fast doppelt so hoch (signifikant) verglichen mit KON1 (41). Weitere Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten wurden nicht festgestellt (Abb. 13).

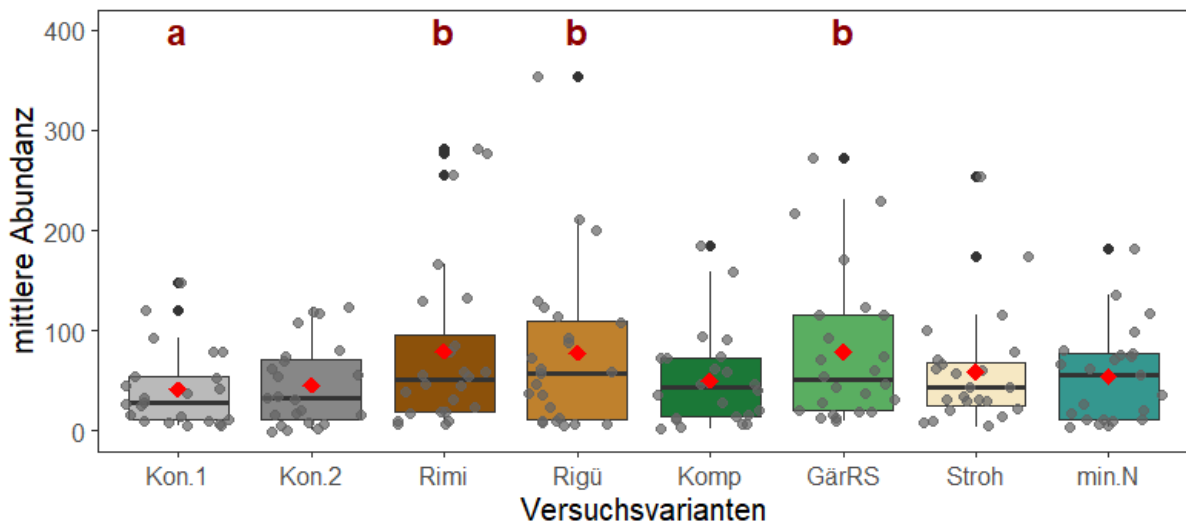


Abb. 13: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Nematocera in Photoelektrofallen am Standort Wiesengut 2021 - 2023, Tukey-Test $\alpha = 0,05$.

Vergleichbare Ergebnisse zeigten sich auch am Standort Klein-Altendorf bei insgesamt höheren mittleren Mückenabundanz. Die Varianten Rigü (94), Rimi (65) und GärRs (75) wiesen zum Teil signifikant höhere Abundanz auf als die Kontrollen. Die höchsten Mückenabundanz wurden in den Parzellen mit Rindergülle Düngung festgestellt (Abb. 14).

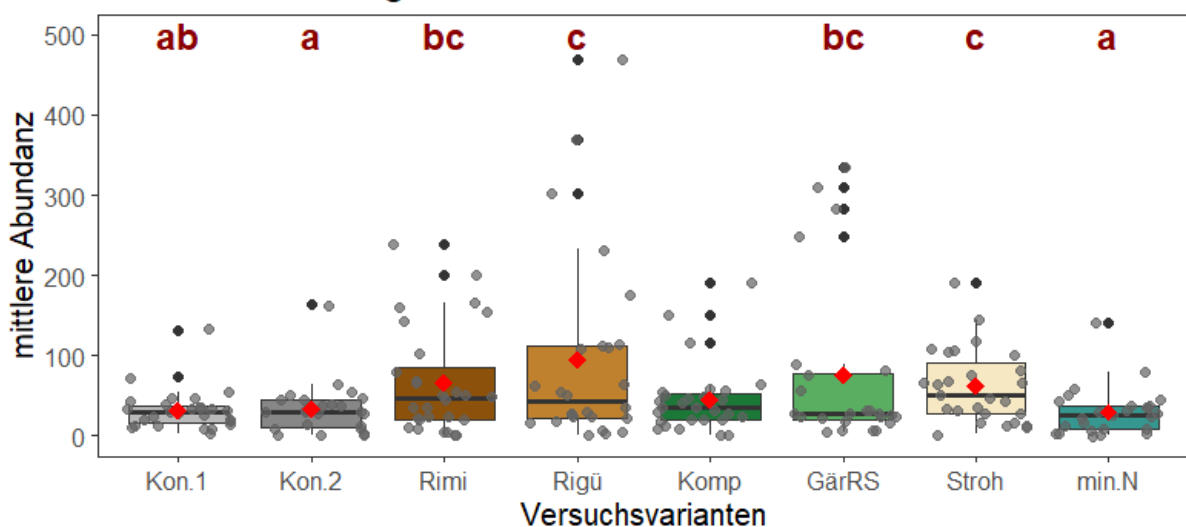


Abb. 14: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Nematocera in Photoelektrofallen am Standort Klein-Altendorf 2021 - 2023, Tukey-Test $\alpha = 0,05$.

Demgegenüber wiesen die Varianten mit mineralischer und pflanzenbasierter organischer Düngung deutlich geringere Mückenabundanzen auf als die Varianten mit tierischen Düngern.

Eine stichprobenartige Differenzierung in einem Versuchsjahr am Standort Wiesengut nach Trauermücken (Sciaridae), Gallmücken (Cecidomyiidae) und Zuckmücken (Chironomidae) ergab, dass die Gallmücken etwa die Hälfte der Gesamtabundanz der drei Familien ausmachten. Knapp unter 10 % der gefangenen Mücken waren Zuckmücken (Tab. 7).

Tab. 7: Abundanz wichtiger Mückenfamilien am Standort Wiesengut im Versuchsjahr 2022 in Abhängigkeit verschiedener Düngerarten.

| Variante | Chironomidae | Sciaridae | Cecidomyiidae | Summe |
|----------|--------------|-----------|---------------|-------|
| KON1 | 57 | 254 | 459 | 770 |
| KON2 | 35 | 378 | 391 | 804 |
| GärRS | 47 | 599 | 512 | 1158 |
| Komp | 115 | 317 | 487 | 919 |
| PPL | 187 | 206 | 523 | 916 |
| Rigü | 11 | 616 | 416 | 1043 |
| Rimi | 195 | 323 | 643 | 1161 |
| Stroh | 55 | 259 | 587 | 901 |
| Summe | 702 | 2952 | 4018 | 7672 |

4.1.3 Acari

Die Abundanz von Milben (Acari) wurde weder durch den Faktor Düngung noch durch die Standortbedingungen beeinflusst (Tab. 8). Das gleiche Bild zeigte sich auch bei den Barberfallen in den Parzellen (nicht dargestellt).

Tab. 8: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz von Acari in Photoelektorfällen an zwei Standorten 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant

| Variante | Wiesengut | Klein-Altendorf | Mittelwert |
|------------|------------------|-----------------|------------|
| KON1 | 79,3 (±70,9) | 92,74 (±90,67) | 86,0 |
| KON2 | 103,87 (±89,53) | 51,29 (±41,39) | 77,6 |
| GärRS | 86,58 (±68,01) | 99,58 (±142,93) | 93,1 |
| Komp | 62,08 (±53,46) | 91,46 (±65,22) | 76,8 |
| Min.N | 87,91 (±68,35) | 85,77 (±66,68) | 86,8 |
| Rigü | 94,79 (±69,46) | 133,5 (±144,48) | 114,1 |
| Rimi | 146,13 (±304,78) | 92,93 (±84,38) | 119,5 |
| Stroh | 109,74 (±113,17) | 96,78 (±100,53) | 103,3 |
| Mittelwert | 96,3 | 93,0 | |

Gesamtabundanz in Barberfällen

In den Barberfällen außerhalb der Photoelektoren wurden über alle Varianten und Versuchsjahre insgesamt 8.338 Tiere gefangen. Die mittlere Gesamtabundanz unterschied sich kaum zwischen beiden Standorten und Düngungsvarianten und betrug 533 gefangene Tiere je Parzelle (Tab. 9). Folgerichtig wurden keine signifikanten Effekte der Düngung auf die Gesamtabundanz festgestellt.

Tab. 9: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Tieren in Barberfällen an den Standorten Wiesengut und Klein-Altendorf 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant.

| Variante | Wiesengut | Klein-Altendorf | Summe |
|----------|-----------|-----------------|-------|
| KON1 | 445 | 533 | 977 |
| KON2 | 505 | 474 | 980 |
| GärRS | 534 | 547 | 1081 |
| Komp | 602 | 503 | 1104 |
| PPL | 510 | 458 | 967 |
| Rigü | 530 | 480 | 1010 |
| Rimi | 589 | 615 | 1204 |
| Stroh | 515 | 501 | 1016 |
| Summe | 4229 | 4109 | 8338 |

4.1.4 Carabiden

Ein wichtiger Bestandteil der Tierfänge in den Barberfallen waren Laufkäfer. Diese wurden bis auf Artenebene bestimmt. Im Gesamtmittel wurden am Standortwiesengut 46 Carabiden je Beprobungstermin gesammelt. Die höchste mittlere Abundanz wurde in den Parzellen mit Stallmistdüngung (n=56) ermittelt (Abb. 15). Demgegenüber wurden in den Kontrollen nur 43 Individuen gefangen. Die Unterschiede sind jedoch statistisch nicht signifikant. Auch hier zeigen sich wieder deutliche Ausreißer nach oben, siehe Rindermist (Abb. 14).

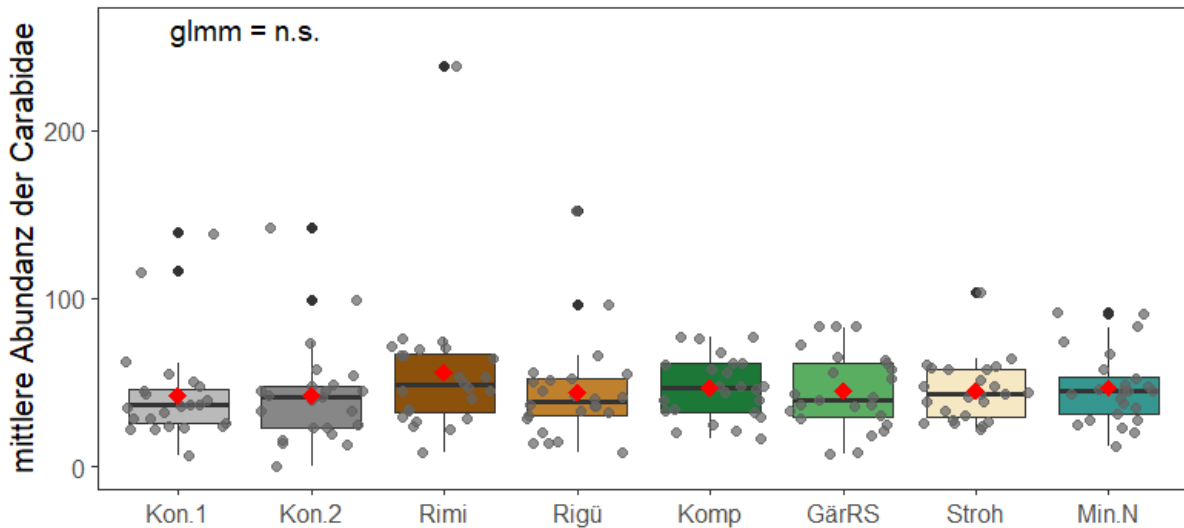


Abb. 15: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Carabiden in Barberfallen am Standort Wiesengut 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant.

Am Standort Klein-Altendorf war die mittlere Carabidenabundanz mit 29 Individuen je Parzelle deutlich geringer als am Wiesengut (n=46). Die höchsten Carabidenabundanzen wurden in Parzellen mit Rindermist- (n=33) bzw. Rindergülledüngung (n=34) festgestellt (Abb. 16). Die entsprechenden Werte der ungedüngten Kontrollen waren deutlich geringer (n=24). Die ANOVA ergab einen signifikanten Effekt ($p=0,02$), dieser konnte jedoch mit dem gewählten Tukey *post-hoc* Test nicht statistisch abgesichert werden. Dennoch weisen die Daten auf eine tendenziell carabidenfördernde Wirkung von Rindermist hin.

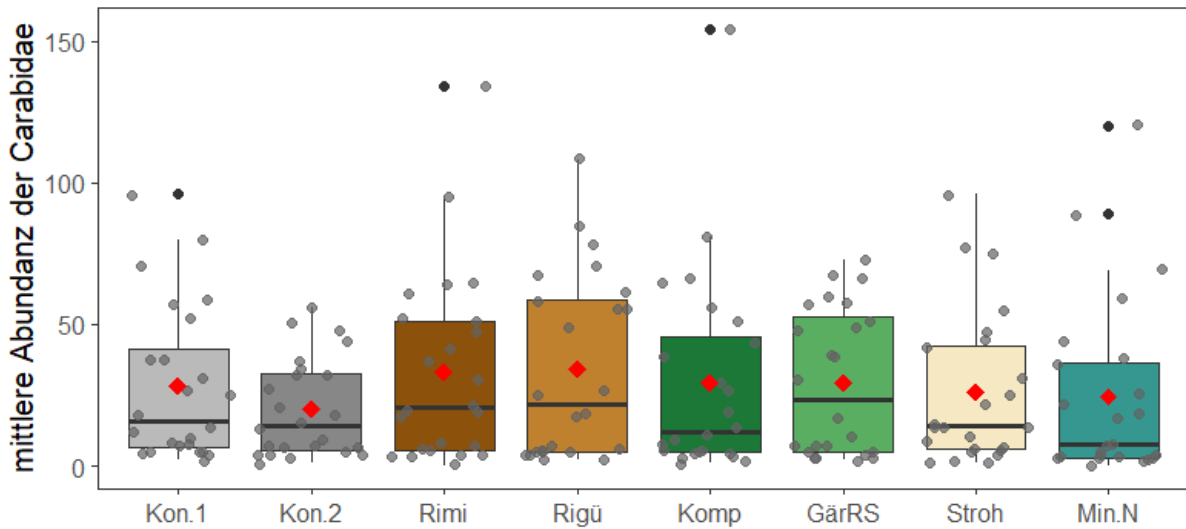


Abb. 16: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Carabiden in Barberfallen am Standort Klein-Altendorf 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant.

Die mittlere Anzahl an Carabidenarten war am Standort Wiesengut mit acht Arten deutlich höher als am Standort Klein-Altendorf mit fünf Arten. Es wurden keine düngungsbedingten Unterschiede festgestellt, gleichwohl wurden am Standort Wiesengut in der Variante mit Stallmist mehr Arten festgestellt (Abb. 17, Abb. 18). Über die gesamte Versuchszeit wurden am Standort Wiesengut 41 Laufkäferarten und am Standort Kleinaltendorf 37 Arten gefunden. Eine zielgerichtete Auswertung und Publikation dieser Daten sind in Vorbereitung.

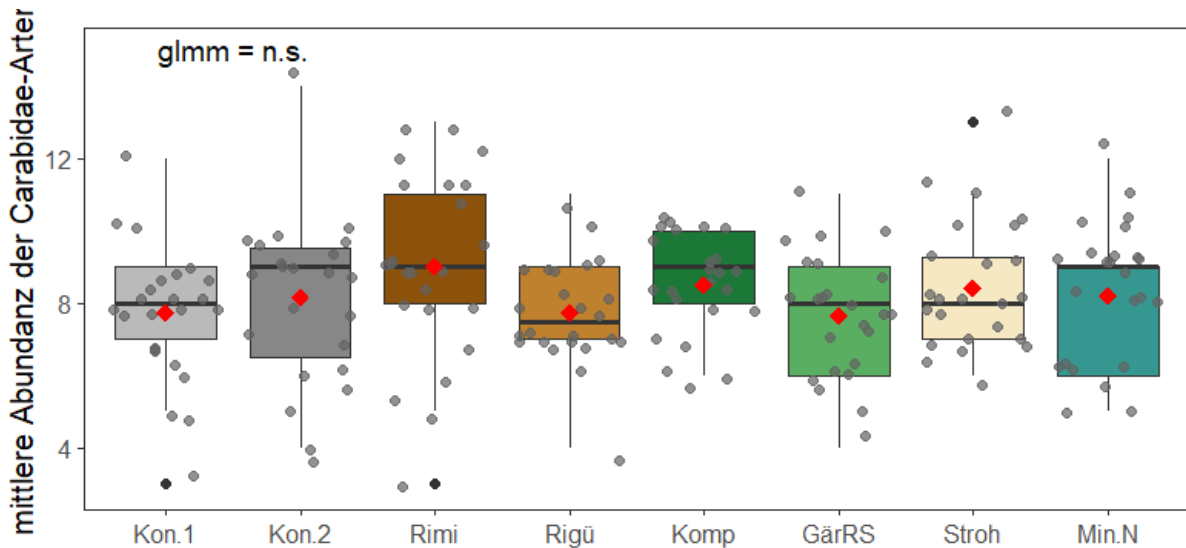


Abb. 17: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Anzahl an Carabidenarten in Barberfallen am Standort Wiesengut 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant.

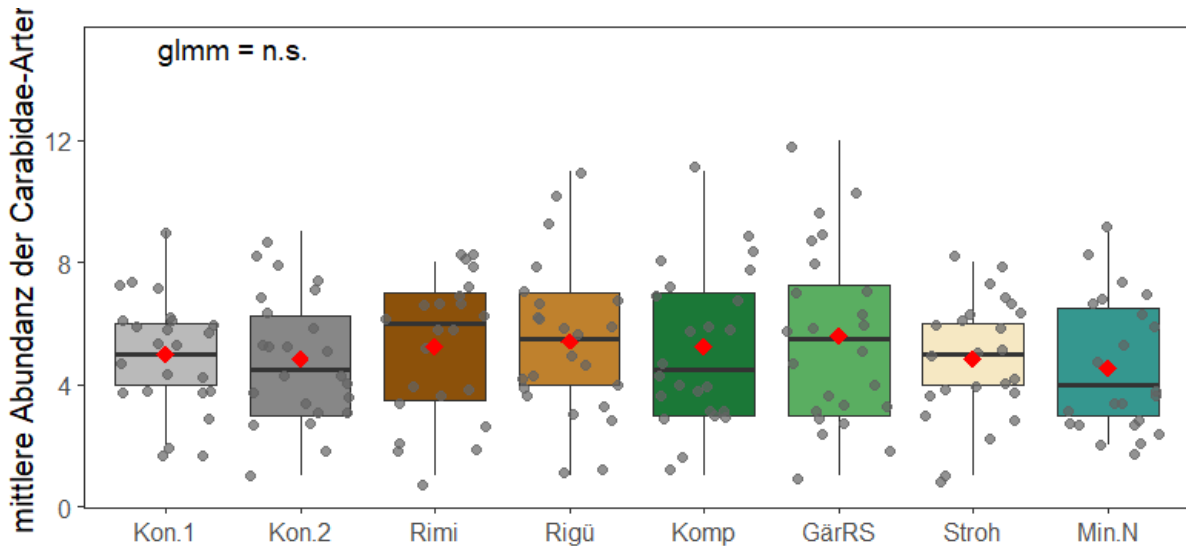


Abb. 18: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Anzahl an Carabidenarten in Barberfallen am Standort Klein-Altendorf 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant.

4.2 e-DNA Analysen

Der Vergleich der Düngerarten am Standort Wiesengut zeigt, dass insgesamt 36 OTUs in allen acht Varianten gefunden wurden (Abb. 18), darunter sieben OTUs von Springschwänzen (einschließlich Arten der Familien Tullbergiidae, Tomoceridae, Entomobryidae, Isotomidae und Bourletiellidae), zehn OTUs von Pflanzenläusen, sieben Käfer OTUs (einschließlich Cerambycidae, Curculionidae, Chrysomelidae und Staphylinidae), wie auch vier Raubmilben-OTUs und drei Pflanzenwespen-OTUs.

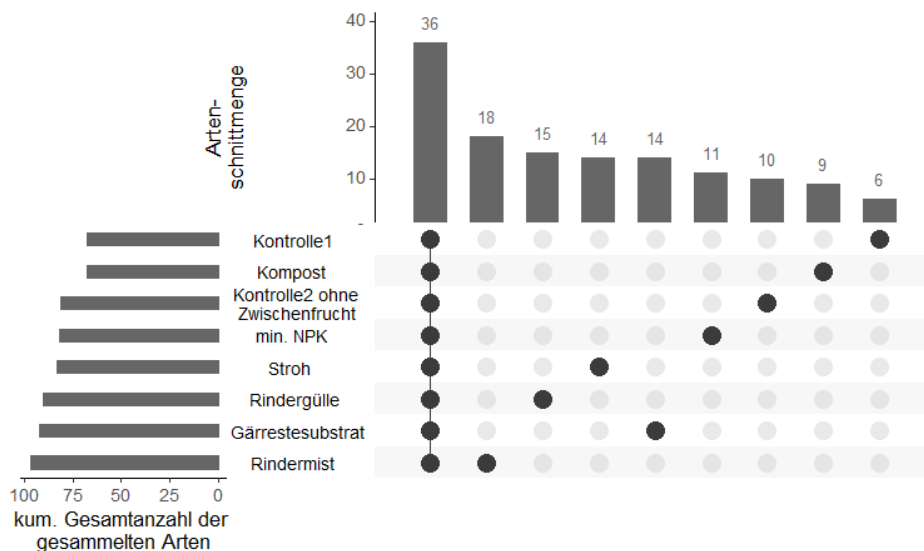


Abb. 19: UpSet-Plots zur Veranschaulichung der qualitativen Überschneidung der operativen taxonomische Einheiten (Operative Taxonomic Unit = OTU) -Gemeinschaften in den acht Düngungsvarianten am Standort Wiesengut, Probenahme im Mai 2021, Zahlen über den Balken

In der ungedüngten Kontrolle 1 wurden insgesamt sechs exklusive OTUs festgestellt, die als Kugelspringer (*Sminthuridae*), Erbsenlaus (*Acyrtosiphon pisum*), Humusschnellkäfer (*Agriotes obscurus*), und eine an Graswurzeln lebende Röhrenlaus (*Forda spec.*) identifiziert wurden. Darüber hinaus wurde jeweils ein OTU als Hemiptera und ein anderes als Diptera identifiziert. Die höchste Anzahl exklusiver OTUs (n = 18) wurde in der Düngungsvariante mit Stallmist gefunden, hauptsächlich sechs Zweiflügler-OTUs (u.a. Gallmücken, Zuckmücken und Blumenfliegen), fünf Käfer-OTUs (Kurzflügler und Erzgrüner Schnellläufer), vier Raubmilben OTUs und drei Springschwanz-OTUs (Kugelspringschwänze und Ringelhörnler).

5 Diskussion

Insgesamt haben die umfassenden Untersuchungen gezeigt, dass sich das komplexe Phänomen Bodenleben auch bei Fokussierung auf einige Arthropodengruppen durch den experimentellen Ansatz des klassischen Feldversuchs nur bedingt beschreiben und zudem kaum erklären lässt. Die Gründe hierfür und die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen für die weitere Forschung werden am Ende der Diskussion aufgegriffen. Insofern ist auch nachvollziehbar, dass die meisten Untersuchungen zu Bodenarthropoden, die in der nachfolgenden Diskussion Erwähnung finden, sich nicht zuletzt auch deshalb hinsichtlich Faktorvariation und Messparameterspektrum einen engeren Rahmen gesetzt haben als DüNaMed. Zudem ist der Bestimmungsaufwand selbst auf vglw. grober Ebene wie Ordnungsniveau extrem hoch. Die Sortierung von über einer halben Millionen Tiere im Rahmen von DüNaMed war nur durch den Einsatz motivierter Studierender möglich, die im Rahmen des Projektes ihre Abschlussarbeiten (insgesamt sechs) angefertigt haben. Obschon die später zu diskutierenden methodischen Unzulänglichkeiten agrarökologischer Feldversuchsforschung einen mächtigen Schatten auf das Interpretationspotenzial der Ergebnisse werfen, lassen sich dennoch einige wichtige Erkenntnisse aus den Versuchen ableiten, die nachfolgend diskutiert werden. Im Gegensatz zu dem häufig gewählten Ansatz der parameterweisen Analyse der Ergebnisse, wird hier eine faktorweise Diskussion vorgenommen. Folglich werden die Effekte der verschiedenen Faktorstufen des Versuchsfaktors Düngerart getrennt voneinander auf das untersuchte Tiergruppenspektrum diskutiert. In einem weiteren Schritt werden dann standörtliche Erwägungen in die Interpretation einbezogen, bevor abschließend die eingangs erwähnte Methodenkritik folgt.

5.1 Rindermist

In diesem Versuch führte die Düngung mit Rindermist an beiden Standorten über alle Fangtermine hinweg zu keinen signifikanten Unterschieden in der Gesamtabundanz. Zudem wurden die Abundanzen von Collembola, Acari, Brachycera und Coleoptera durch die kumulative Gabe von Rindermist (3 mal ca. 25 t ha⁻¹) nicht erkennbar beeinflusst.

Die Ergebnisse stehen zum Teil in Einklang mit anderen Studien, in denen Rindermistdüngung nicht zu einer Veränderung der Abundanzen von Collembolen, Acari, Carabiden und Staphyliniden führte (Porhajašová et al. 2017, Gergócs et al. 2022). Erklärt wurde dieser Sachverhalt damit, dass Faktoren wie das Versuchsjahr und die angebaute Kulturart einen stärkeren Einfluss auf Collembolen und Acari hatten als die Düngerart (Gergócs et al. 2022). Zieht man die hohen Streuungen innerhalb der Feldwiederholungen und Probenahmetermine mit in die Bewertung ein, wird klar, dass die Streuung dominanter Arten, in der vorliegenden Untersuchung die Collembolen, mögliche Effekte auf die Gesamtabundanz maskieren können. Zudem weisen verschiedene Arten der Acari unterschiedliche Präferenzen für Düngerarten auf, sodass bei alleiniger Betrachtung der Gruppe der Effekt des Düngers weniger sichtbar sein könnte. Es kann zudem nicht ausgeschlossen werden, dass Coleopteren von den Versuchspartellen migrieren, sodass potentielle Effekte der Dünger verwischt werden (Gergócs et al. 2022). Demgegenüber förderte unter Laborbedingungen die Zugabe von Rindermist je nach Bodenart und Höhe der Bodenfeuchtigkeit unterschiedlich stark die Abundanz der Collembolenart *Folsomia candida* (Sandor et al. 2016). In älteren Untersuchungen führte der Einsatz von Rindermist kombiniert mit min. NPK Düngung und Herbizideinsatz zu einer kurzfristigen Erhöhung der Aktivität von Carabiden, was auf ein vermehrtes Aufkommen von Beutetieren zurückgeführt wurde (Purvis & Curry 1984). In anderen Versuchen führte die kombinierte Anwendung von

Rindermist und Gründüngung (Weißer Senf: *Sinapis alba*) zu einer höheren Abundanz von Collembolen (Scholte & Lootsma 1998). Es ist jedoch unklar, ob dieser Effekt auf den Rindermist oder die Gründüngung zurückzuführen ist, da Bodenbedeckung auch Arthropoden fördern kann (Good & Giller 1991). In den eigenen Untersuchungen war demgegenüber kein Effekt der Zwischenfrucht Ölrettich auf die Abundanz von Collembolen erkennbar.

Im Gegensatz zu den genannten Tiergruppen war der Effekt von Rindermist auf die Dipteren-Unterordnung der Mücken (Nematocera) in den eigenen Untersuchungen auf beiden Standorten deutlich (Faktor 2-3 verglichen mit ungedüngt) und häufig statistisch signifikant. Eine Erklärung könnte daran liegen, dass generell Nematocerenfamilien wie Sciaridae und Cecidomyiidae ihre Eier in Rindermist ablegen und deren Larven dort häufig aufzufinden sind (Curry 1979, Frouz 1999). Die eigenen Ergebnisse zur eDNA von Bodenproben des ökologisch bewirtschafteten Standorts Wiesengut deuten zudem darauf hin, dass Stallmistdüngung jenseits von Abundanzen auch die Artenvielfalt fördern kann. Dieser noch näher zu untersuchende Sachverhalt könnte sich durch die kombinierten physikalischen, chemischen und biologischen Effekte des Substrats Stallmist erklären, das nach Anwendung ein spezielles Nahrungsangebot und spezifische Mikrohabitate bereitstellt.

5.2 Rindergülle

Analog zu Stallmist hatte die dreimalige Anwendung von Rindergülle (3 mal ca. 15 m³ ha⁻¹) keinen Einfluss auf die Gesamtabundanz des untersuchten Tiergruppenspektrums sowie auf die Abundanz von Collembolen, Acari, Brachycera und Coleoptera.

Dieser Sachverhalt entspricht nicht den Ergebnissen früherer Studien, welche entweder einen positiven oder negativen Effekt von Rindergülle auf Bodenarthropoden feststellten. Beispielsweise wurde durch Anwendung von Rindergülle im Grünland die Abundanz von Collembolen und Oribatiden (Acari), verringert (Bolger & Curry, 1980, Graczyk et al. 2008, Kruczyńska & Seniczak 2011). Eine möglicher Erklärungsgrund liegt in der Toxizität von NH₄ für Oribatiden (Kruczyńska & Seniczak 2011). Gülleanwendung in Grünland ist jedoch differenziert von ackerbaulichem Einsatz zu sehen, da das Substrat nur bedingt eingearbeitet werden kann und somit die puffernde Wirkung des Bodens unterbleibt und zudem Grünland eine andere Bodenfauna als Ackerland aufweist (Bedano et al. 2006). In Analogie zur Düngung mit Rindermist war der Effekt von Rindergülledüngung auf Mücken (Nematoceren) an beiden Standorten signifikant und erklärt sich wiederum mit der Affinität einiger Nematocerenfamilien mit tierischen Ausscheidungen (Curry 1979). Grundsätzlich ist jedoch von Rindergülleanwendung ein verglichen mit Stallmist geringerer Effekt auf die Artenvielfalt von Bodenarthropoden erwartbar, da die kohlenstoffreiche und somit strukturschaffende Strohkomponente fehlt und zudem die Ausbringungsmengen aufgrund der Bemessungsgrundlage Stickstoffgehalt deutlich geringer waren.

5.3 Grünschnittkompost

Die wiederholte Anwendung von Grünschnittkompost (3 mal ca. 30 t ha⁻¹) hatte in den eigenen Untersuchungen keinen Effekt auf die Gesamtabundanz und einzelne Gruppen des untersuchten Tierspektrums. Dieser Sachverhalt steht nicht in Einklang mit älteren Untersuchungen, in denen eine höhere Abundanz von Collembolen und saprophagen Nematoceren in Roggenfeldern nach einer Düngung mit Grünschnittkompost verglichen mit mineralischer NPK-Düngung bzw. keiner Düngung festgestellt wurde (Idinger & Kromp (1997). Auch Komposte auf Basis von Gemüse-, Obst- und Gartenabfällen hatten einen positiven Einfluss auf die Abundanz

von Collembolen, Acari und Nematoden (Leroy et al. 2007). Ein Grund für die mangelnde abundanzfördernde Wirkung des eingesetzten Grünschnittkomposts könnte an der vergleichsweise kurzen Versuchsdauer von drei Jahren gelegen haben, aber auch an den im Vergleich zu den oben genannten Untersuchungen niedrigen N- und C-Gehalten des Substrats (Idinger & Kromp 1997, Pfozter & Schüler 1997). Zudem enthält Grünschnitt höhere Mengen an ligninhaltigem Material, welches langsamer abgebaut wird und anders als nach Rindermistanwendung nicht zu einer schnellen Zunahme der mikrobiellen Biomasse führt (Hoffmann et al. 2009). Da die mikrobielle Biomasse häufig mit der Abundanz an Bodenarthropoden korreliert (Scheu & Schulz 1996, Potatov et al. 2017, Rizali et al. 2017) könnte in den vorliegenden Versuchen eine mögliche Wirkung von Grünschnittkompost erst später auftreten. Grundsätzlich fördert ein engeres C/N-Verhältnis von Substraten die mikrobielle Biomasse (Li et al. 2018), während ein weiteres CN Verhältnis stärker die physikalischen Eigenschaften sowie die langfristige Humusreproduktion fördert.

5.4 Strohdüngung

Auch die in DüNaMed vorgenommene Düngung mit Stroh (3 mal ca. 6 t ha⁻¹) hatte weder einen Effekt auf die Gesamtabundanz der untersuchten Tiergruppen, noch auf die Abundanz einzelner Gruppen. Demgegenüber wurden in einem zweijährigen Versuch auf bewässerten und unbewässerten Ackerflächen, in denen der Einfluss einer Düngung mit Stroh, Klärschlamm und Geflügelkot auf die Bodenfauna untersucht wurde, zum Teil abundanzfördernde Effekte von Strohdüngung festgestellt. Collembolen wiesen auf dem unbewässerten Acker eine höhere Abundanz nach Strohdüngung als die Kontrolle auf (Fratello et al 1989). Die Abundanz von Acari war in bewässerten Äckern nach Strohdüngung höher als in den Vergleichsvarianten (Fratello et al 1989). Diese Effekte zeigten sich jedoch nur im ersten Versuchsjahr; während im zweiten Versuchsjahr keine Unterschiede festgestellt wurden. Auch auf Carabiden wurde kein Einfluss der Strohdüngung hinsichtlich Gesamtabundanz in einem 5-jährigen Versuch festgestellt, obwohl teilweise annuelle Effekte auftraten (Kennedy et al. 2013). Die jährliche Zugabe von Stroh förderte die Abundanz von Collembolen auf lehmigen Sandböden, welches auf ein erhöhtes Nahrungsangebot und höherer Bodenporosität zurückgeführt wurde (Kautz et al. 2006). Die geringen Effekte der Strohdüngung auf die Abundanz von Bodenarthropoden (Ausnahme Collembolen) erklärt sich möglicherweise in Analogie zur Interpretation der Ergebnisse zu Grünschnittkompost mit dessen weitem C/N-Verhältnis. Allerdings bleibt die Erklärung nicht schlüssig, da durch die wiederholte Anwendung von Strohdüngung über drei Jahre kumulative Effekte mit einer erhöhten mikrobiellen Biomasse erwartbar gewesen wären. Da in der vorliegenden Untersuchung die mikrobielle Biomasse in den einzelnen Varianten nicht untersucht werden konnte, bleibt der Erklärungsansatz in beiden Richtungen spekulativ (vgl Rizali et al. 2019). Der Trend zu einer höheren Abundanz von Collembolen nach Strohdüngung könnte sich damit erklären, dass sich durch diese das direkte Nahrungsangebot verbesserte. Nicht auszuschließen ist auch ein fördernder Effekt der Strohdüngung auf die mikroklimatischen Bedingungen im Acker, insbesondere mit Hinblick auf die Bodenfeuchte.

5.5 Mineralische N-Düngung

Sowohl die Gesamtabundanzen als auch das untersuchte Tiergruppenspektrum wurden durch mineralische Düngung (KAS bzw. PPL) nicht signifikant beeinflusst. Lässt man jedoch die kritische Lupe der Statistik außer Acht, ist über die Gesamtheit der Ergebnisse ein Trend zu unterdurchschnittlichen Abundanzen, wenngleich nicht signifikant, in den Varianten festzustellen, in denen kein organisches Material gedüngt wurde. Dieser generelle Befund steht in Einklang

mit Versuchen unter kontrollierten Bedingungen, in denen die Collembolenabundanz nach mineralischer NPK-Düngung geringer als nach Stallmistdüngung war, ein Effekt der durch eine höhere Bodenfeuchtigkeit verstärkt wurde (Sandor et al. 2017). Mit Hinblick auf einzelne Tierarten können jedoch auch fördernde Effekte durch mineralische Düngung auftreten. Beispielsweise wurden Staphyliniden in einem Obstgarten vermehrt auf mit mineralisch gedüngten Flächen erfasst, jedoch war auch hierbei der Faktor der Bodenbedeckung für die Abundanz bedeutender (Minarro et al. 2009).

5.6 Einfluss der Standortbedingungen

Mit Hinblick auf Gesamtabundanzen und signifikante Differenzierung einzelner Tiergruppen sprechen die Ergebnisse zugunsten des konventionell bewirtschafteten Standortes Klein-Altendorf. Auf diesem wurden deutlich höhere Gesamtabundanzen in den genutzten Fallensystemen festgestellt. Grundsätzlich ist jedoch bekannt, dass ökologische Landwirtschaft fördernd auf die Biodiversität wirkt (Tuck et al. 2014). Hierzu ist festzustellen, dass auch die Standortbedingungen und systemunabhängige Bewirtschaftungsfaktoren einen starken Einfluss auf die Biodiversität haben. In der vorliegenden Untersuchung trifft dies vor allem auf die Bodenbearbeitung zu, die am ökologisch bewirtschafteten Standort wendend mit dem Pflug erfolgte, während sie am Standort Klein-Altendorf nicht wendend mit einem Grubber erfolgte. Grundsätzlich führt Grubbern verglichen mit Pflügen zu einer stärkeren Akkumulation von organischer Substanz im Oberboden, welche in diesen Schichten die mikrobielle Aktivität fördert. Daher ist dort die Abundanz von Collembolen, Acari, räuberischen Carabiden, Staphyliniden und Spinnen häufig höher als in gepflügten Flächen (House & Parmelle 1985, Volkmar et al. 2003). Gründe hierfür liegen in der geringeren Verdunstungsneigung, der heterogeneren Bodenstruktur und der Stabilisierung der Temperatur auf der Bodenoberfläche von nicht gepflügten Flächen (House & Parmelee 1985). Diese Faktoren könnten in der vorliegenden Untersuchung den grundsätzlich fördernden Einfluss des Bewirtschaftungssystems ökologischer Landbau, u.a. induziert durch Nichtverwendung von Agrochemikalien, überkompensiert haben. Zugleich jedoch ist es auch wichtig darauf hinzuweisen, dass hohe Gesamtabundanzen alleine genommen kein Indikator für Biodiversität sind, da sie in hohem Maße von den dominierenden Arten bestimmt werden. Diese können je nach Standortbedingungen durch eine Maßnahme wie die Bodenbearbeitung stark gefördert oder gehemmt werden. Deswegen ist aus agrarökologischer Sicht die Erfassung der Artenvielfalt von großer Bedeutung. Hierfür sind allerdings deutlich aufwändigere und detailliertere Bestimmungen der gefangenen Tiere notwendig. Gleichwohl weisen die Ergebnisse indirekt darauf hin, dass eine alleinige Fokussierung auf ein Bewirtschaftungssystem ohne adäquate Berücksichtigung systemunabhängiger Bewirtschaftungsfaktoren nicht ausreicht ist

5.7 Methodenkritik

Insgesamt haben die umfangreichen Feldversuche und Datenerhebungen gezeigt, dass der hier gewählte methodische Ansatz zur Beantwortung der Fragestellungen nicht ausreicht. Hauptgrund hierfür waren die hohen statistischen Versuchsfehler, das heißt die hohe Streuung innerhalb der Feldwiederholungen einer Düngungsvariante. Als großer Vorteil des hier gewählten Ansatzes ist jedoch die vergleichsweise hohe Repräsentativität der erfassten Daten mit Hinblick auf räumliche und zeitliche Verteilung der Beprobungen anzusehen. Zugleich erwies es sich jedoch aus kapazitativen Gründen als nicht machbar, das hohe Probenvolumen hinreichend genau taxonomisch zu bestimmen. Aufgrund der Konservierung der Proben sind

jedoch weitere Bestimmungen weiterhin möglich und werden auch für die Collembola durchgeführt.

In isolierten Kleinversuchen unter standardisierten Bedingungen und der Erfassung eines engen Artenspektrums lassen sich mithin auch keine weitergehenden Schlüsse über das komplexe Nahrungsnetz im Boden ziehen. Hierfür sind weitere methodisch anspruchsvollere Untersuchungen im Labor erforderlich, die ergänzend zu den Felderhebungen durchzuführen sind, und einen Teilbereich der Nahrungsketten im Boden analysieren. In jedem Falle wäre es von Vorteil, in derartigen Untersuchungen auch abiotische Faktoren, insbesondere die Bodenfeuchte zu variieren. Weiterhin wird es künftig von Bedeutung sein, funktionale Aspekte einzelner Arten im Bodenökosystem genauer zu quantifizieren, insbesondere mit Hinblick auf die Offenlegung von Nahrungsketten. Der generelle Wert organischer Dünger zur Erhaltung und Förderung der Bodenfruchtbarkeit wird durch die vorliegenden Ergebnisse nicht infrage gestellt.

Literaturverzeichnis

- Amelung, W., Blume, H. P., Fleige, H., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I. & Wilke, B. M. (2018). Scheffer/Schachtschabel Lehrbuch der Bodenkunde. Springer-Verlag.
- Barber, H. S. (Juni 1931). Traps for Cave-Inhabiting Insects. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society* 46, 259-266.
- Bardgett, R. (2005). *The Biology of Soil: A community and ecosystem approach*. Oxford: Oxford University Press. doi:10.1093/acprof:oso/9780198525035.001.0001
- Beare, M., Coleman, D., Crossley, D., Hendrix, P. & Odum, E. (1995). A Hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. In H. Collins, G. Robertson & M. Klug, *The Significance and Regulation of Soil Biodiversity. Developments in Plant and Soil Sciences* (Bd. 63). Dordrecht: Springer. doi:https://doi.org/10.1007/978-94-011-0479-1_1
- Bedano, J. C., M. P. Cantú & M. E. Doucet, 2006: Influence of three different land management practices on soil mite (Arachnida: Acari) densities in relation to a natural soil. *Applied Soil Ecology* 32 (3), 293-304.
- Blick, T. (1999). Spinnentiere. In *Handbuch landschaftsökologischer Leistungen – Vereinigung umweltwissenschaftlicher Berufsverbände in Deutschland (VUBD)* (S. 147-160). Nürnberg: Selbstverlag des VUBD.
- BMEL (2022): *Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland, 2022*, 66. Jahrgang, (Hrsg.) BMEL Referat 723, ISBN 978-3-8308-1439-9, online verfügbar unter: <https://www.bmel-statistik.de/archiv/statistisches-jahrbuch>, URL abgerufen am 9.10.2023.
- Bolger, T. & J. P. Curry, 1980: Effects of cattle slurry on soil arthropods in grassland. *Pedobiologia* 20 (4), 246-253.
- Bolyen, E., Rideout, J.R., Dillon, M.R. et al. (2019): Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. *Nat Biotechnol* 37, 852-857 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0209-9>.
- Bourlat, S. J., Haenel, Q., et al. (2016): Preparation of Amplicon Libraries for Metabarcoding of Marine Eukaryotes Using Illumina MiSeq: The Dual-PCR Method. *Marine Genomics – Methods and protocols*. Springer (New York).
- Buchner D., Leese F. (2020): BOLDigger – a Python package to identify and organise sequences with the Barcode of Life Data systems. *Metabarcoding and Metagenomics* 4: e53535. <https://doi.org/10.3897/mbmg.4.53535>.
- Callahan, B. et al. (2016): DADA2: High-resolution sample inference from Illumina amplicon data. *Nat Methods* 13, 581-583 (2016). <https://doi.org/10.1038/nmeth.3869>.
- Celik, I., Ortas, I. & Kilic, S. (2004). Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil. *Soil and Tillage Research* 78(1), 59-67. doi:https://doi.org/10.1016/j.still.2004.02.012
- Christiansen, K. A., Bellinger, P. & Janssens, F. (2009). Chapter 55 – Collembola: (Springtails, Snow Fleas). In: Resh, VH, Cardé, RT (Hrsg.) *Encyclopedia of Insects* (2. Aufl., S. 206-210). Academia Press. doi:https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00064-3
- Coleman, D. C., Crossley Jr., D. & Hendrix, P. (2004). 4 – Secondary Production: Activities of Heterotrophic Organisms—The Soil Fauna. In D. C. Coleman, P. F. Hendrix & J. D. Crossley, *Fundamentals of Soil Ecology* (2. Ausg., S. 79-185). Academic Press. doi:https://doi.org/10.1016/B978-012179726-3/50005-8

-
- Cranston, P. S. (1995). Systematics. In *The Chironomidae: Biology and ecology of non-biting midges* (pp. 31-61). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Culliney, T. W. (2013). Role of Arthropods in Maintaining Soil Fertility. *Agriculture* 3(4), 629-659. doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture3040629>
- Cunningham, S. et al. (2013): To close the yield-gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 173, 20-27.
- Curry, J. P., 1979: The Arthropod Fauna Associated with Cattle Manure Applied as Slurry to Grassland. *Proceedings of the Royal Irish Academy. Section B: Biological, Geological, and Chemical Science* 79, 15-27.
- De Heij, S. E. & Willenborg, C. J. (2020). Connected Carabids: Network Interactions and Their Impact on Biocontrol by Carabid Beetles. *BioScience*, 70(6), 490-500. doi:<https://doi.org/10.1093/biosci/biaa039>
- Dettner, K.; Werner, P. (2003): *Lehrbuch der Entomologie: Spektrum akademischer Verlag, Heidelberg Berlin, 2. Auflage 10/2003*
- Dorow, W. F.-P. (1992). *Naturwaldreservate in Hessen 3 - Zoologische Untersuchungen: Konzepte.* (W. L. Hessisches Ministerium für Landesentwicklung, Hrsg.) *Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung* 26, S. 1-163.
- Eichenberg, D., Bowler, D. E., Bonn, A., Bruelheide, H., Grescho, V., Harter, D., ... & Jansen, F. (2021). Widespread decline in Central European plant diversity across six decades. *Global Change Biology*, 27(5), 1097-1110.
- Eisenbeis, G. & Wichard, W. (1985). *Atlas zur Biologie der Bodenarthropoden (Bd. 1)*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-642-39392-1>
- Fierer, N., M. Breitbart, J. Nulton, P. Salamon, C. Lozupone, R. Jones, M. Robeson, R. A. Edwards, B. Felts, S. Rayhawk, R. Knight, F. Rohwer & R. B. Jackson, 2007: Metagenomic and Small-Subunit rRNA Analyses Reveal the Genetic Diversity of Bacteria, Archaea, Fungi, and Viruses in Soil. *Applied and Environmental Microbiology* 73 (21), 7059 - 7066.
- Foucher, A. et al. (2020): Persistence of environmental DNA in cultivated soils: Implication of this memory effect for reconstructing the dynamics of land use and cover changes. *Scientific Reports* 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67452-1>
- Frank, J. H. & Thomas, M. C. (Oktober 2019). common name: rove beetles (of the world) - scientific name: Staphylinidae (Insecta: Coleoptera: Staphylinidae). *Featured Creatures.* (U. o. Florida, F. D. Services, & U. o. Nematology, Eds.) Florida, USA. doi:EENY-114
- Fratello, B., M. A. Sabatini, L. Mola, C. Uscidda & C. Gessa, 1989: Effects of agricultural practices on soil arthropoda: Organic and mineral fertilizers in alfalfa fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 27 (1-4), 227-239.
- Fried, G., Petit, S., Dessaint, F., & Reboud, X. (2009). Arable weed decline in Northern France: crop edges as refugia for weed conservation? *Biological Conservation* 142(1), 238-243.
- Fried, G., Petit, S., Dessaint, F. & Reboud, X. X. (2009). Arable weed decline in Northern France: crop edges as refugia for weed conservation? (Elsevier, Ed.) *Biological Conservation* 142(1), 238-243. doi:10.1016/j.biocon.2008.09.029
- Frouz, J. (1999). Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 74(1-3), 167-186. doi:[https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(99\)00036-5](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00036-5)
- Gagné, R. J. & Jaschhof, M. (2004). *A catalog of the Cecidomyiidae (Diptera) of the world* (Vol. 25, pp. 1-408). Washington, DC, USA: Entomological Society of Washington.

-
- Gardi, C., Jeffery, S. & Saltelli, A. (2013). An estimate of potential threats levels to soil biodiversity in EU. *Global Change Biology* 19(5), 1538-1548. doi:<https://doi.org/10.1111/gcb.12159>
- Geiger, F. et al. (2010). Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* 11(2), 97-105.
- Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, L. (2018). Auszug aus dem Informationssystem Geologische Karte 1:500000 (07/2018), Topographische Grundlage: DTK500-V (2002). (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Hrsg.) Krefeld.
- Geologischer Dienst NRW. (2022). Geologie und Boden in Nordrhein-Westfalen - PDF überarbeitet, mit aktualisierten stratigraphischen Tabellen. (Geologischer Dienst NRW, Hrsg.) Krefeld.
- Gergócs, V., N. Flórián, Z. Tóth, T. Szili-Kovács, M. Mucsi & M. Dombos, 2022: Crop species and year affect soil-dwelling Collembola and Acari more strongly than fertilisation regime in an arable field. *Applied Soil Ecology* 173, 104390
- Gerlach, A. V. (2009). Influences of the behaviour of epigeic arthropods (Diplopoda, Chilopoda, Carabidae) on the efficiency of pitfall trapping. *Soil Organisms* 81, S. 773-790.
- Gisi, U., Schenker, R., Schulin, R., Stadelmann, F. & Sticher, H. (1997): *Bodenökologie*, Thieme-Verlag.
- Good, J. A. & P. S. Giller, 1991: The Effect of Cereal and Grass Management on Staphylinid (Coleoptera) Assemblages in South-West Ireland. *Journal of Applied Ecology* 28 (3), 810-826.
- Graczyk, R., S. Seniczak & B. Wasińska-Graczyk, 2008: The effect of cattle liquid manure fertilization on the soil mites (Acari) of permanent meadow in Poland. *Journal of Central European Agriculture* 9 (4), 651-658
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., de Kroon, H. (Oktober 2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12(10), S. e0185809. doi:<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Heiß, R. & Weber, D. (2013): Schnaken (Insecta, Diptera, Tipulidae) aus Höhlen des Großherzogtums Luxemburg. Online verfügbar unter <http://ps.mnhn.lu/ferrantia/publications/Ferrantia69/Ferrantia69%20264-267.pdf> URL abgerufen am 30.4.2024.
- Heißenhuber, Alois, Wolfgang Haber et al.(2015): "30 Jahre SRU-Sondergutachten" Umweltprobleme der Landwirtschaft"-eine Bilanz." (2015).
- Heusch, K. B. (1996). Zur jungholozänen Oberflächen- und Bodenentwicklung der Siegaue im Hennefer Mäanderbogen. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 46, S. 18-31.
- Hofer, R. (2017): Die verborgene Welt der Bodentiere. Hg. v. Amt der Tiroler Landesregierung Abteilung landwirtschaftliches Schulwesen, Jagd und Fischerei. Online verfügbar unter https://www.tirol.gv.at/fileadmin/themen/land-forstwirtschaft/agrar/LWSJF/Landw._Versuchswesen/Broschuere_Bodentiere_Land_Tirol.pdf
- Homburg, K., Drees, C., Boutaud, E., Nolte, D., Schuett, W., Zumstein, P., ... & Assmann, T. (2019). Where have all the beetles gone? Long-term study reveals carabid species decline in a nature reserve in Northern Germany. *Insect Conservation and Diversity*, 12(4), 268-277.
- House, G. J. & M. D. Alzugaray, 1989: Influence of Cover Cropping and No-Tillage Practices on Community Composition of Soil Arthropods in a North Carolina Agroecosystem. *Environmental Entomology* 18 (2), 302–307.
- Hyvärinen, E., Kouki, J. & Martikainen, P. (2006). A comparison of three trapping methods used to survey forest-dwelling Coleoptera. *Eur. J. Entomol.* 103, 397-407.
- Idinger, J. & B. Kromp, 1997: Ground Photoeclector Evaluation of Different Arthropod Groups in Unfertilized, Inorganic and Compost-Fertilized Cereal Fields in Eastern Austria. *Biological Agriculture & Horticulture* 15, 171-176.

-
- Inger, R., Gregory, R., Duffy, J. P., Stott, I., Voříšek, P., & Gaston, K. J. (2015). Common European birds are declining rapidly while less abundant species' numbers are rising. *Ecology letters*, 18(1), 28-36.
- JKI (2023): Statistische Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis. PAPA (Panel Pflanzenschutzmittel-Anwendungen) online verfügbar unter: <https://papa.julius-kuehn.de/index.php?menuid=43>, URL abgerufen am 22.9.2023.
- Kautz, T., C. López-Fando & F. Ellmer, 2006: Abundance and biodiversity of soil microarthropods as influenced by different types of organic manure in a long-term field experiment in Central Spain. *Applied Soil Ecology* 33 (3), 278-285.
- Kennedy, T. F., J. Connery, T. Fortune, D. Forristal & J. Grant, 2012: A comparison of the effects of minimum-till and conventional-till methods, with and without straw incorporation, on slugs, slug damage, earthworms and carabid beetles in autumn-sown cereals. *The Journal of Agricultural Science* 151 (5), 605-629.
- Keymer, u. 2012: Der Wert von Biogasgärresten, . In Tagungsband 10. Kulturlandschaftstag am 15.11.2012 in Weichering, Schriftenreihe der LfL, Tagungsband Online verfügbar unter https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_45175.pdf#page=31. URL abgerufen am 30.4.2024.
- Kirse, A. et al. (2021): Unearthing the potential of soil eDNA metabarcoding - towards best practice advice for invertebrate biodiversity assessment. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 337. doi: 10.3389/fevo.2021.630560
- Klausnitzer, B. (2011). *Stresemann - Exkursionsfauna von Deutschland, Band 2: Wirbellose: Insekten* (11. Ausg.). Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2452-5>
- Kruczyńska, K. & S. Seniczak, 2011: Effect of cattle liquid manure fertilization on the yield of grassland and density of soil oribatid mites (Acari, Oribatida). *Biological Letters* 48, 13-18.
- Kumar, U., & Singh, R. (2016). Soil Fauna: A Retrospection with Reference to Indian Soil. *International Journal of Research Studies in Zoology*, 2(3), S. 1-22. doi:<http://dx.doi.org/10.20431/2454-941X.0203003>
- Lange, M., Türke, M., Pašalić, E., Boch, S., Hessenmöller, D., Müller, J., . . . Gossner, M. M. (2014). Effects of forest management on ground-dwelling beetles (Coleoptera; Carabidae, Staphylinidae) in Central Europe are mainly mediated by changes in forest structure. *Forest Ecology and Management*, 329(1), S. 166-176. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.06.012>
- Leroy, B. L., L. Bommele, D. Reheul, M. Moens & S. De Neve, 2007: The application of vegetable, fruit and garden waste (VFG) compost in addition to cattle slurry in a silage maize monoculture: Effects on soil fauna and yield. *European Journal of Soil Biology* 43 (2), 91-100.
- Li, L., M. Xu, M. Eyakub Ali, W. Zhang, Y. Duan & D. Li, 2018: Factors affecting soil microbial biomass and functional diversity with the application of organic amendments in three contrasting cropland soils during a field experiment. *PLoS ONE* 13 (9), e0203812.
- Liu, T., Chen, X., Hu, F., Ran, W., Shen, Q., Li, H., & Whalen, J. K. (2016). Carbon-rich organic fertilizers to increase soil biodiversity: Evidence from a meta-analysis of nematode communities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 232, S. 199-207. doi:<https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.015>
- Mäder, P., Fliessbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., & Niggli, U. (2002). Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *SCIENCE*, 296(5573), S. 1694-1697. doi:DOI: 10.1126/science.1071148
- Melber, A., 1987: Eine verbesserte Bodenfalle. *Abhandlung des Naturwissenschaftlichen Vereins Bremen* 40, 331-332.
- Menalled F.D. et al. (2007): Impact of agricultural management on carabid communities and weed seed predation. *Agric Ecosyst Environ* 118:49–54. <https://doi.org/10.1016/j.agee.1817.2006.04.01>

-
- Menzel, F. & Mohrig, W. (2000): Revision der paläarktischen Trauermücken (Diptera: Sciaridae). Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/FrankMenzel/publication/35903258_Revision_der_palaarktischen_Trauermucken_Diptera_Sciaridae_unter_besonderer_Beruecksichtigung_der_deutschen_Fauna/links/562f623208ae0077ccc98d8c/Revision-derpalaarktischen-Trauermuecken-Diptera-Sciaridae-unter-besonderer-Beruecksichtigung-der-deutschenFauna.pdf
- Miñarro, M., X. Espadaler, V. X. Melero & V. Suárez-Álvarez, 2009: Organic versus conventional management in an apple orchard: effects of fertilization and tree-row management on ground-dwelling predaceous arthropods. *Agricultural and Forest Entomology* 11 (2), 133-142.
- Moog, O. (1988): Die Bodenfauna der Mühlviertler Fließgewässer. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/271289525_Die_Bodenfauna_der_Muhlviertler_Fliessgewasser
- Müller, P., Neuhoff, D., Nabel, M., Schiffers, K., & Döring, T. F. (2022). Tillage effects on ground beetles in temperate climates: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 42(4), 65.
- Müller, H.J., R. Bährmann. (2015). Bestimmung wirbelloser Tiere - Bildtafeln für zoologische Bestimmungsübungen und Exkursionen (7. Aufl.). (G. Köhler, Hrsg.) Springer Berlin.
- Nabel, M. et al. (2021): Biodiversity in agricultural used soils: Threats and options for its conservation in Germany and Europe. *Soil Organisms*, 93(1), 1-11.
- Nicholls, C. I., Altieri, M. A. (2013): Plant biodiversity enhances bees and other insect pollinators in agroecosystems. A review. *Agronomy for Sustainable development*, 33, 257-274.
- OConnor, B. M. (2009). Chapter 169 - Mites. In V. H. Resh, & R. T. Cardé, *Encyclopedia of Insects* (2. Aufl., S. 643-649). Academic Press. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374144-8.00178-8>
- Økland, B. (1996). A comparison of three methods of trapping saproxylic beetles. *European Journal of Entomology*, 93(2), S. 195-209. Von https://www.researchgate.net/publication/285727417_A_comparison_of_three_methods_of_trapping_saproxylic_beetles abgerufen
- Oltmanns, M. (2014): Können Pflanzenkomposte Rindermist ersetzen? Online verfügbar unter https://orgprints.org/id/eprint/30383/1/Forschung_2014-6.pdf. URL aufgerufen am 30.4.2024.
- Pain, J. D., & Pienkowski, M. W. (1997). *Farming and birds in Europe : the common agricultural policy and its implications for bird conservation*. London: Academic Press. <https://searchworks.stanford.edu/view/3375979> abgerufen am 15.4.2024.
- Pfotzer, G. H. & C. Schüler, 1997: Effects of Different Compost Amendments on Soil Biotic and Faunal Feeding Activity in an Organic Farming System. *Biological Agriculture & Horticulture: An International Journal for Sustainable Production Systems* 15 (1-4), 177-183.
- Poehling, H. (2013): *Lehrbuch der Phytomedizin: 41 Tabellen* (4. Aufl.) Stuttgart: Ulmer.
- Porhajašová, J. I., M. Babošová, J. Noskovic & P. Ondrisik, 2017: Long-Term Developments and Biodiversity in Carabid and Staphylinid (Coleoptera: Carabidae and Staphylinidae) Fauna during the Application of Organic Fertilizers under Agroecosystem Conditions. *Polish Journal of Environmental Studies* 27 (5), 2229-2235
- Potapov, A. M., A. A. Goncharov, E. E. Semenina, A. Y. Korotkevich, S. M. Tsurikov, O. L. Rozanova, A. E. Anichkina. G. Zuev, E. S. Samoylova, I. I. Semenyuk, I. V. Yevdokimov & A. V. Tiunov, 2017: Arthropods in the subsoil: Abundance and vertical distribution as related to soil organic matter, microbial biomass and plant roots. *European Journal of Soil Biology* 82, 88-97
- Purvis, G. & J. P. Curry, 1984: The Influence of Weeds and Farmyard Manure on the Activity of Carabidae and other Ground-Dwelling Arthropods in a Sugar Beet Crop. *Journal of Applied Ecology* 21 (1), 271-283.

- Rauleder, H., Schrameyer, K., & Zimmermann, O. (2016). Erstnachweis der räuberischen Gallmücke *Lestodiplosis diaspidis* (Kieffer, 1910)(Nematocera: Cecidomyiidae) als Prädator der Maulbeerschilddlaus *Pseudaulacaspis pentagona* (Targioni-Tozzetti, 1886)(Homoptera: Diaspididae) in Deutschland. *Erwerbs-Obstbau*, 58(4), 269-272. Online verfügbar unter <https://doi.org/10.1007/s10341-016-0289-3>
- Renner, K. (1980): Faunistisch-ökologische Untersuchungen der Käferfauna pflanzensoziologisch unterschiedlicher Biotope im Evesel-Bruch bei Bielefeld-Sennestadt. *Berichte des Naturwissenschaftlichen Vereins für Bielefeld und Umgegend Sonderheft 2*: 145-176
- Ritz, K., McHugh, M., & Harris, J. A. (2004). Biological diversity and function in soils: contemporary perspectives and implications in relation to the formulation of effective indicators. In R. Francaviglia, *Agricultural soil erosion and soil biodiversity: Developing indicators for policy analyses* (S. 563-572). Paris, Frankreich: OECD.
- Rizali, A., J. P. Pramudita, E. Febriyanti, Y. F. Rama & T. Widjayanti, 2019: Organic Matter in the Topsoil of Soybean Field Alters Arthropod Diversity and Their Covariation. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science* 41 (3), 474-481
- Rognes T. et al. (2016): VSEARCH: a versatile open source tool for metagenomics. *PeerJ* 4:e2584 <https://doi.org/10.7717/peerj.2584>
- Rota, N. et al. (2020): Evaluation of Soil Biodiversity in Alpine Habitats through eDNA Metabarcoding and Relationships with Environmental Features. *Forests*, 11(7), Article 7.
- Sánchez-Bayo F, Wyckhuys KAG (2019) Worldwide decline of the entomofauna: a review of its drivers. *Biol Conserv* 232:8–27
- Sandor, M., T. Brad, A. Maxim, V. Sandor & B. Onica, 2016: The Effect of Fertilizer Regime on Soil Fauna. *Bulletin UASVM Agriculture* 73 (2), 353.
- Schaub, G.A., Vogel, P.U. (2021): Mücken – Arten, Biologie und Epidemiologie. In: *Neue Infektionskrankheiten in Deutschland und Europa. essentials*. Springer Spektrum, Wiesbaden. Online verfügbar unter https://doi.org/10.1007/978-3-658-34148-0_4, URL abgerufen am 30.4.2024.
- Scheu, S. & E. Schulz, 1996: Secondary succession, soil formation and development of a diverse community of oribatids and saprophagous soil macro-invertebrates. *Biodiversity & Conservation* 5, 235–250.
- Scheunemann, N., M. Maraun, S. Scheu & O. Butenschoen, 2015: The role of shoot residues vs. crop species for soil arthropod diversity and abundance of arable systems. *Soil Biology and Biochemistry* 81, 81-88
- Schmitt, MM. (2022): *Insektenwunderwelt – Einstieg in die Entomologie*: Springer.
- Scholte, K. & M. Lootsma, 1998: Effect of farmyard manure and green manure crops on populations of mycophagous soil fauna and *Rhizoctonia* stem canker of potato. *Pedobiologia* 42, 223-231.
- Schröder, P. (2008). Chapter 3.5 - Mesofauna. In P. Schröder, J. Munch, & J. Pfadenhauer, *Perspectives for Agroecosystem Management - Balancing Environmental and Socio-Economic Demands* (S. 293-306). Elsevier Science. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-044451905-4.50012-X>
- Schuch, S. L. (2020). 2.13 Bodenphotoelektor (soil / ground photo-elector / emergence trap). In S. L. Schuch, & B. f. Naturschutz (Hrsg.), *Erfassungsmethoden für ein Insektenmonitoring. Eine Materialsammlung* (S. 44-45). Bonn: BfN. doi:DOI 10.19217/skr565
- Skuhravá, M., Skuhravý, V., & Meyer, H. (2014). Gall midges (Diptera: Cecidomyiidae: Cecidomyiinae) of Germany: faunistics, ecology and zoogeography. *Faun. Mitt. Suppl*, 38, 1-200.
- Spaar, D., Kleinhempel, H., Fritzsche, R., Spaar, D., Kleinhempel, H., & Fritzsche, R. (1989). Krankheiten und Beschädigungen an Hafer. *Getreide, Mais und Futtergräser*, 45-54.

- Spadaro, D., N. Agustí, S. F. Ortega & M. A. Ruiz, 2020: Diagnostics and Identification of Diseases, Insects and Mites. In: M. GULLINO, R. ALBAJES & P. NICOT (Hrsg.): Integrated Pest and Disease Management in Greenhouse Crops. Plant Pathology in the 21st Century, 231–258. Springer Verlag
- SRU (1985) Umweltprobleme der Landwirtschaft, Sondergutachten, Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU), Stuttgart, Mainz 1985.
- StMELF. (2004). Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft - Agrarökologie. Abgerufen am 1. 6 2022 von Vega (Brauner Auenboden) aus lehmig-sandigen Talsedimenten: <https://www.lfl.bayern.de/iab/boden/nutzung/034147/index.php>
- Taberlet, P. et al. (2018): Environmental DNA: For biodiversity research and monitoring. Oxford University Press.
- Tamm, L., Thürig, B., Bruns, C., Fuchs, J. G., Köpke, U., Laustela, M., & Fließbach, A. (2010). Soil type, management history, and soil amendments influence the development of soil-borne (*Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*) and air-borne (*Phytophthora infestans*, *Hyaloperonospora parasitica*) diseases. *European Journal of Plant Pathology*, 127, 465-481.
- Thomsen, P. F., Willerslev, E. (2015): Environmental DNA – An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation*, 183, 4–18. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.019>.
- Thakur, M., Phillips, H. R., Brose, U., De Vries, F. T., Lavelle, P., Loreau, M., . . . Cameron, E. K. (2019). Towards an integrative understanding of soil biodiversity. *Biological Reviews*, 95(2), S. 350-364. doi:<https://doi.org/10.1111/brv.12567>
- Thomsen, P. F., Willerslev, E. (2015): Environmental DNA – An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation*, 183, 4–18. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.019>.
- Tibbett, M., Fraser, T. D., & Duddigan, S. (2020). Identifying potential threats to soil biodiversity. *PeerJ*, 8, S. e9271. doi:<https://doi.org/10.7717/peerj.9271>
- Tiemann, L. K. et al. (2015): Crop rotational diversity enhances belowground communities and functions in an agroecosystem. *Ecology letters*, 18(8), 761-771.
- Tuck, S. L., Winqvist, C., Mota, F., Ahnström, J., Turnbull, L. A., & Bengtsson, J. (2014). Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *Journal of applied ecology*, 51(3), 746-755.
- Usman, S., Muhammad, Y., & Chiroman, A. M. (2016). Roles of soil biota and biodiversity in soil environment - A concise communication. *Eurasian Journal of Soil Science*, 5(4), S. 255-265. doi:10.18393/ejss.2016.4.255-265
- Verma, B. C., Pramanik, P., Bhaduri, D. (2020). Organic fertilizers for sustainable soil and environmental management. *Nutrient dynamics for sustainable crop production*, 289-313.
- Volkmar, C., M. Lübke-Al Hussein & T. Kreuter, 2003: Effekte moderner Verfahren der Bodenbewirtschaftung auf die Aktivität epigäischer Raubarthropoden. *Gesunde Pflanzen* 55, 40–45.
- Walter, R.; Burmeister, J. (2012): Effekte der Gärrestdüngung auf Bodentiere – Zwischenbilanz. In Tagungsband 10. Kulturlandschaftstag am 15.11.2012 in Weichering, Schriftenreihe der LfL, Tagungsband Online verfügbar unter https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/p_45175.pdf#page=31. URL abgerufen am 30.4.2024.
- Weber, G., 1992: Terrestrial Chironomidae on Agricultural Soil Treated With Sewage Sludge. *Netherlands Journal of Aquatic Ecology* 26 (2-4), 577-579.
- Wendland, M.; Lichti, F. (2012): Biogasgärreste - Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/leitfaden_2012-03_biogasforum.pdf, URL abgerufen am 16.4.2024

Winter, K.; Bogenschütz, H.; Dorda, D.; Tauchert, J. (1999): Programm zur Untersuchung der Fauna in Naturwäldern, IHW-Verlag. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/256504021_Programm_zur_Untersuchung_der_Fauna_in_Naturwaldern, URL abgerufen am 18.4.2024

Woodcock, B. (2005). Pitfall trapping in ecological studies, In Insect Sampling in Forest Ecosystems. (S. Leather, Hrsg.) S. 37-57.

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Blick auf den DüNaMed-Versuch am Standort Wiesengut am 19.5.2021..... | 8 |
| Abb. 2: Alter des Bodens (A) und Bodenbeschaffenheit (B) des Gelsdorfer Schlags vom CKA. | 15 |
| Abb. 3: Bodenkarte mit Versuchsschlag 17 vom Standort Wiesengut in roter Farbe. Entnommen und verändert nach Heusch et al. (1996). | 16 |
| Abb. 4: Luftansicht auf die Ausbringung der festen organischen Dünger Stroh, Rindermist und Kompost (vorne von links nach rechts) am 11.8.2022 am Standort Wiesengut. | 18 |
| Abb. 5: Grundprinzip (links) eines Photoelektors (entnommen von der Firma ecoTech: www.ecotech.de). Rechts: Aufbau des weißlichen Fangbehälters mit der Öffnung und der klare Deckel ersichtlich (Foto: C. Jakubassa)..... | 21 |
| Abb. 6: Skizze der Barberfalle im Eklektor (entnommen und verändert nach Melber, 1987)..... | 21 |
| Abb. 7: Blick in das Innere einer Photoelektorfalle mit Barberfalle und Temperatursensor (Foto: C. Jakubassa)..... | 22 |
| Abb. 8: Luftbild vom DüNaMed-Versuch am Standort Klein-Altendorf, 8.8.2022(Foto C. Dahn)..... | 23 |
| Abb. 9 & 10 schlammverunreinigte Barberfallenprobe (links) und Probe mit mehr als 3000 Tieren (rechts). (Fotos: C. Jakubassa). | 24 |
| Abb. 11: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Bodentieren in Photoelektorfallen am Standort Wiesengut 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant. | 26 |
| Abb. 12: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Bodentieren in Photoelektorfallen am Standort Klein-Altendorf 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant. | 27 |
| Abb. 13: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Nematocera in Photoelektorfallen am Standort Wiesengut 2021 - 2023, Tukey-Test $\alpha = 0,05$ | 29 |
| Abb. 14: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Nematocera in Photoelektorfallen am Standort Klein-Altendorf 2021 - 2023, Tukey-Test $\alpha = 0,05$ | 29 |
| Abb. 15: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Carabiden in Barberfallen am Standort Wiesengut 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant. | 32 |
| Abb. 16: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Carabiden in Barberfallen am Standort Klein-Altendorf 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant. | 33 |
| Abb. 17: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Anzahl an Carabidenarten in Barberfallen am Standort Wiesengut 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant..... | 33 |
| Abb. 18: Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Anzahl an Carabidenarten in Barberfallen am Standort Klein-Altendorf 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant..... | 34 |
| Abb. 19: UpSet-Plots zur Veranschaulichung der qualitativen Überschneidung der operativen taxonomische Einheiten..... | 34 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|---------|---|----|
| Tab. 1: | Chemo-physikalische Beschreibung der Böden an den Versuchsstandorten Campus Wiesengut (WG) und Campus Klein-Altendorf (CKA) vor Versuchsbeginn. | 17 |
| Tab. 2: | Witterungsbedingungen während der Versuchszeit am Standort Wiesengut..... | 17 |
| Tab. 3: | Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte (% in der Trockenmasse TM) der verwendeten organischen Dünger..... | 19 |
| Tab. 4: | Übersicht über die Probenahmeterminale in DüNaMed | 23 |
| Tab. 5: | Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Collembolen in Barberfallen an den Standorten Wiesengut und Klein-Altendorf 2021 - 2023, Tukey-Test $\alpha = 0,05$ | 28 |
| Tab. 6: | Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Collembolen in Photoelektrofallen an den Standorten Wiesengut und Klein-Altendorf 2021 - 2023, Tukey-Test $\alpha = 0,05$ | 28 |
| Tab. 7: | Abundanz wichtiger Mückenfamilien am Standort Wiesengut im Versuchsjahr 2022 in Abhängigkeit verschiedener Düngerarten..... | 30 |
| Tab. 8: | Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz von Acari in Photoelektrofallen an zwei Standorten 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant..... | 31 |
| Tab. 9: | Einfluss verschiedener Düngerarten auf die mittlere Gesamtabundanz an Tieren in Barberfallen an den Standorten Wiesengut und Klein-Altendorf 2021 - 2023, die Unterschiede sind nicht signifikant. | 31 |

Die „BfN-Schriften“ sind eine seit 1998 unperiodisch erscheinende Schriftenreihe in der institutionellen Herausgeberschaft des Bundesamtes für Naturschutz (BfN) in Bonn. Sie sind kurzfristig erstellbar und enthalten u.a. Abschlussberichte von Forschungsvorhaben, Workshop- und Tagungsberichte, Arbeitspapiere oder Bibliographien. Viele der BfN-Schriften sind digital verfügbar. Printausgaben sind auch in kleiner Auflage möglich.

DOI 10.19217/skr734