



Das Lebensministerium



Selbstregulation im pfluglosen Ackerbau

Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft

Heft 10/2007

Freistaat  Sachsen

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Potenziale der Selbstregulation auf pfluglos bearbeiteten Ackerflächen:

A) Bodenmesofauna und Streuabbau

B) Laufkäfer als effektive Schneckenprädatoren

Abschlussbericht zum Projekt

*„Wirkungen bodenschonender Bewirtschaftungsverfahren auf das Bodenleben
und die Selbstregulation von Ackerflächen“*

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Ökologische Effekte des Pflugverzichtes	2
3	Zum Abbau von Maisstreu bei unterschiedlicher Boden- und Stoppelbearbeitung	6
3.1	Material und Methoden	7
3.1.1	Untersuchungsmethoden	7
3.1.2	Untersuchungsgebiet und Versuchsaufbau	9
3.2	Ergebnisse	14
3.2.1	Standort Lüttewitz	14
3.2.2	Standort Obergoseln	18
3.3	Diskussion	23
3.3.1	Natürliche Faktoren	23
3.3.2	Streugröße	24
3.3.3	Maschenweite	24
3.3.4	Köderstreifen-Test / Methodenvergleich	25
3.3.5	Zur ökologischen Bedeutung der Bodenmesofauna	26
4	Zur Struktur und Siedlungsdichte der Mesofauna bei differenzierter Bodenbearbeitung	27
4.1	Material und Methoden	27
4.2	Ergebnisse	28
4.3	Diskussion	37
5	Zur Bedeutung von Laufkäfern als Antagonisten und Regulative von Ackerschnecken	38
5.1	Material und Methoden	38
5.1.1	Untersuchungsmethoden	38
5.1.2	Untersuchungsgebiet und Versuchsaufbau	41
5.2	Ergebnisse	44
5.2.1	Zur Aktivitätsdichte des Goldlaufkäfers und zum Auftreten von Ackerschnecken ...	44
5.2.2	Zur regulativen Leistung von Laufkäfern bei hohen <i>Deroceras</i> -Dichten	49
5.3	Diskussion	55
5.3.1	Laufkäfer als effektive Schneckenantagonisten im pfluglosen Ackerbau	55
5.3.2	Methodendiskussion	56
5.3.3	Auswirkungen auf den Pflanzenschutz	56
5.3.4	Bodenbearbeitung und Schneckenbefall	57
6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	58
7	Literatur	60
8	Datenanhang	66

1 Einleitung

Die Förderung bodenschonender Bewirtschaftungsverfahren im Rahmen des Programms "Umweltgerechte Landwirtschaft" führte im Freistaat Sachsen zu einem starken Anstieg der pfluglos bearbeiteten Ackerfläche. Begleitende Untersuchungen zu diesem Programm ergaben, dass insbesondere ein konsequenter Pflugverzicht signifikant positive Auswirkungen auf die Gefügestabilität der Böden hat. Im Hinblick auf den Humus- und Wasserhaushalt sowie auf die meisten Parameter der strukturellen und funktionellen Biodiversität sind ökologisch und ökonomisch vorteilhafte Effekte sogar ausschließlich an eine dauerhaft pfluglose Bewirtschaftung gebunden. Konsequenter Pflugverzicht kann aber auch zur Förderung problematischer Pathogene und Schädlinge auf den betreffenden Schlägen führen. So gelten z. B. ein verstärkter Befall der Kulturen mit boden- bzw. streubürtigen Pilz- und Viruskrankheiten oder die Massenvermehrung von im Boden lebenden Schädlingen (Ackerschnecken, Feldmäuse, Insektenlarven) als typische Probleme, die im Zusammenhang mit dauerhaft pfluglosen Systemen auftreten. Untersuchungen auf sächsischen Lößstandorten weisen andererseits darauf hin, dass bei langjähriger Mulch- und Direktsaat auch solche Organismen gefördert werden, die den problematischen Schädlingen und Krankheitserregern direkt oder indirekt entgegenwirken (KREUTER & NITZSCHE 2005). Dazu gehören z. B. die Gilde der streuzersetzenden Bodentiere oder die gerade auf Ackerflächen zahlreich vorkommenden Spinnen- und Laufkäfergesellschaften. Durch eine Optimierung der Lebensbedingungen für diese nützlichen Ackerbewohner kann die beobachtete Zunahme bestimmter Schaderreger u. U. kompensiert werden.

Das Ziel des vorliegenden Forschungsvorhabens bestand darin, einerseits am Beispiel der Bodenmesofauna und ihrer Streuabbau-Effektivität sowie andererseits anhand von Ackerschnecken (*Deroceras* spp.) und räuberisch lebenden Carabiden das Auftreten und die Dynamik solcher Regulationsmechanismen zu analysieren und zu bewerten. Die am Rotteprozess beteiligten Organismen der Bodenmesofauna können dabei auf Grund ihrer Streuabbauleistung als indirekte Antagonisten zahlreicher boden- bzw. streubürtiger Krankheiten angesehen werden. Laufkäfer der Gattung *Carabus*, die im sächsischen Lößgürtel durch dauerhaften Pflugverzicht offensichtlich eine besonders starke Förderung erfahren, gelten als potenzielle Fressfeinde von Ackerschnecken und Insektenlarven.

Untersucht wurden im ersten Teilprojekt die Streuabbaudynamik und der Anteil der Mesofauna am Rotteprozess unter dem Einfluss verschiedener Boden- bzw. Streubearbeitungsverfahren. Ein ergänzendes zweites Teilprojekt beschäftigte sich mit den Effekten von Bodenbearbeitung und Streubeschaffenheit auf die Zusammensetzung und Quantität der Bodenmesofauna. Im dritten Teilprojekt erfolgten Untersuchungen zur Abundanz- und Aktivitätsdynamik von Ackerschnecken und Goldlaufkäfern auf konsequent konservierend bearbeiteten Flächen im Vergleich zu einer Pflugvariante. Dabei wurde in einem parallel laufenden Ausschlussversuch getestet, ob hohe *Carabus*-Dichten tatsächlich regulierend auf *Deroceras*-Populationen einwirken. Auf Basis der Versuchsergebnisse werden Möglichkeiten einer Optimierung der bestehenden Regulationsmechanismen im konsequent pfluglosen Ackerbau diskutiert.

2 Ökologische Effekte des Pflugverzichtes

Die vielfältigen und komplexen Effekte konservierender Bodenbearbeitung auf das Ökosystem eines Ackers beruhen auf dem engen Zusammenspiel physikalischer und biologischer Faktoren. Da die Wendung und Durchmischung durch den Pflug entfällt, setzt sich der Boden, seine Lagerungsdichte unterhalb des neuen Bearbeitungshorizontes nimmt zu. Auf der Bodenoberfläche und in der Oberkrume kommt es (abhängig von der Fruchtfolge und der Intensität der konservierenden Bodenbearbeitung) zur Akkumulation von Pflanzenresten. Alle ökologischen Effekte des pfluglosen Ackerbaus basieren entweder direkt auf diesen Prozessen oder sie resultieren aus deren Auswirkungen auf das Bodengefüge, den Bodenwasserhaushalt, das Mikroklima und das Bodenleben.

Bodengefüge und Bodenwasserhaushalt: Der nicht nur in ökologischer Hinsicht wichtigste Effekt des Pflugverzichts ist der Bodengefügeschutz und die damit einhergehende Verminderung der Bodenerosion (SCHMIDT et al. 2001). Auch auf den Wasserhaushalt wirken sich konservierende Bodenbearbeitungsverfahren i. d. R. positiv aus. Die Gründe liegen vor allem im geringeren Risiko einer Oberflächenverschlammung, in der ausreichenden Wasserinfiltration und im guten Wasserretentionsvermögen konsequent pfluglos bearbeiteter Böden.

Folgende Faktoren führen zu den genannten Eigenschaften:

- eine mehr oder weniger starke Mulchbedeckung
- die hohe Aggregat- und Gefügestabilität des Bodens
- eine gute Makroporosität bei gleichzeitig relativ hoher Trockenrohdichte
- die hohe Stabilität und Kontinuität dieser Strukturen.

Im Komplex dieser sich wechselseitig beeinflussenden Effekte des Pflugverzichts kommt den Regenwürmern (Lumbricidae) eine Schlüsselfunktion zu. Während endogäische Arten entscheidend zur Lebendverbauung, Gefügebildung und Krumenstabilität beitragen, sorgen anözische Arten (auf Ackerflächen nahezu ausschließlich *Lumbricus terrestris*) für die Bildung stabiler Makroporensysteme und für die Humusakkumulation in tieferen Bodenschichten. Beide funktionellen Gruppen werden durch dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung signifikant gefördert (KLADIVKO 2001; KRÜCK et al. 2001). Dabei spielen die geringere Störung des Habitats und das bessere Nahrungsangebot gleichermaßen eine Rolle. Mulchsaatverfahren mit regelmäßiger Lockerung der Oberkrume und oberflächlicher Einarbeitung von Rottematerial können sich je nach Konstellation der Umwelt- und Prozessbedingungen durchaus so vorteilhaft auf die Zönosen auswirken, dass die Abundanzen und Biomassen im Vergleich zum Direktsaatverfahren größere Werte erreichen.

Kohlenstoff- und Humushaushalt: Effekte der Bodenbearbeitung auf den Kohlenstoff- und Humushaushalt und damit auch auf die Bodenfruchtbarkeit sind für die Landwirtschaft prinzipiell von großer Bedeutung. Sie findet darüber hinaus im Kontext der Klimaschutzdebatte zunehmende Beachtung, da der Humusvorrat der Böden weltweit die größte terrestrische CO₂-Senke darstellt. Nach Jahrzehnten intensiver Bodenbearbeitung bei qualitativ oder quantitativ unzureichender organischer Düngung kam es in Europa vielerorts zu einem stärkeren C_{org}-Abbau im Pflughorizont (DAVIDSON & ACKERMAN 1993). Allerdings hatte zuvor gerade das schrittweise tiefere Pflügen bei gleichzeitig zunehmenden Stallungsgaben zu einer beträchtlichen Anreicherung der Humusgehalte geführt (BUCHNER & STURM 1980). Generell bestehen für den Humusgehalt standort- und bodenspezifische Obergrenzen. Diese steigen zwar bei abnehmender Bearbeitungsintensität (EL TITI 2003; HOFMANN et al. 2003); dennoch ist das Reservoir ackerbaulich genutzter Böden als CO₂-Senke begrenzt, zumal nicht von einer Endgültigkeit der Bewirtschaftungsumstellung ausgegangen werden kann. Auch bewirken bereits geringfügige klimatische Veränderungen u. U. eine weitaus größere Dynamik im Kohlenstoffhaushalt der Böden. Dennoch stellt der Pflugverzicht gerade hinsichtlich der aktuellen Klimatrends eine geeignete Maßnahme zum Schutz der Humus- und C-Vorräte dar. Dies gilt insbesondere im globalen Maßstab. In vielen Gebieten der Tropen und Subtropen ist der Humusabbau ein schwerwiegendes ackerbauliches Problem.

Mikroflora: Regelmäßiges Pflügen führt zu einer Zurückdrängung von Eukaryoten zugunsten der Bodenbakterien. Im Wechselspiel von Witterung und Bodenbearbeitung kommt es zu starken Schwankungen der Stoffumsatzprozesse (Bsp.: Mineralisierungsschübe nach dem Pflügen). Auf langfristig etablierten Direktsaat-Flächen werden dagegen Bodenpilze signifikant gefördert. Die Stoffumsätze laufen, vergleichbar mit der Situation in stabilen Systemen, gleichmäßiger und teilweise verlangsamt ab. Die verschiedenen Mulchsaat-Varianten stehen hinsichtlich ihrer Einflüsse auf die qualitative Zusammensetzung der Mikroben zwischen den erstgenannten Verfahren (HENDRIX et al. 1986; HOLLAND 2004). Deutlicher und methodisch wesentlich einfacher nachzuweisen sind die Auswirkungen der unterschiedlichen Bodenbearbeitungsstrategien auf die räumliche Verteilung des mikrobiellen Bodenlebens (HENDRIX et al. 1986, STENBERG et al. 2000). Mehrjährige Untersuchungen in Sachsen belegen für gepflügten Flächen eine relativ gleichmäßig über den gesamten Pflughorizont verteilte Biomasse und Atmungsaktivität der Bodenflora; für die konservierend bearbeiteten Varianten ist dagegen eine sehr deutliche vertikale Stratifizierung dieser Parameter mit den jeweiligen Maxima im oberflächennahen Bereich charakteristisch (KREUTER & NITZSCHE 2005). Unterschiede hinsichtlich der Lockerungstiefe bei Mulchsaat haben in den meisten Fällen nur geringe oder keine Auswirkungen auf diese charakteristische Zonierung. Über alle vertikalen Horizonte der Oberkrume (0 cm - 30 cm) betrachtet, weisen ungepflügte Ackerböden meist etwas höhere mikrobielle Biomassen und Atmungsaktivitäten auf als gepflügte Flächen (HEISLER 1998, KREUTER & NITZSCHE 2005).

Mesofauna: Neben den Lumbriciden ist auch die Bodenmesofauna an der Aggregatbildung beteiligt; die große Bedeutung dieser Organismengruppe für die Landwirtschaft liegt aber in ihrer Funktion als Streuzersetzer. Der pfluglose Ackerbau beeinflusst die zahlreichen Zönosen der Mesofauna unterschiedlich stark (FRIEBE & HENKE 1991; DITTMER & SCHRADER 2000). Während Hundertfüßler und Collembolen durch den Pflugverzicht stark gefördert werden, scheint der fördernde Effekt auf Bodenmilben geringer zu sein. Enchytraeen erreichen sogar oft auf gepflügten Flächen höhere Abundanzen. Auch hier scheint der Vorgang des Wendens auf viele Tiergruppen größere Bedeutung zu haben, als die Intensität der Lockerung innerhalb konservierender Verfahren. HEISLER & BRUNOTTE (1998) stellten signifikant negative Korrelationen zwischen der Intensität der Bodenbearbeitung und der Fraßaktivität im Köderstreifen-Test fest. Auch eigene Untersuchungen zur Fraßaktivität der am Rotteprozess beteiligten Bodenfauna ergaben, dass auf konservierend bearbeiteten Flächen insbesondere im oberflächennahen Horizont deutlich höhere Fraßraten auftreten (KREUTER & NITZSCHE 2005). Im Ergebnis wäre ein signifikant stärkerer Strohabbau bei reduzierter Bodenbearbeitung zu erwarten. Untersuchungen dazu bestätigen diese Hypothese (FRIEBE & HENKE 1991; HEIBER & EISENBEIS 1999). Dennoch sind Rückschlüsse von den gemessenen Fraßaktivitäten auf die tatsächliche Streuabbau-Dynamik generell nicht möglich, da letztere und damit der gesamte Rotteprozess gerade im pfluglosen Ackerbau in hohem Maße von Witterungs- und technologischen Einflüssen abhängen.

Epigäische Raubarthropoden: Ein Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung wirkt sich auf die Zönosen der epigäischen Raubarthropoden direkt durch abnehmende Störungen, eine veränderte Raumstruktur und ein verändertes Mikroklima sowie indirekt über die Verbesserung der trophischen Situation und über eine veränderte Konkurrenz aus. Vor allem für größere Arten mit ihrer relativ großen Verletzungsanfälligkeit und ihrem hohen Nahrungsbedarf liegen die Vorteile des Pflugverzichts auf der Hand. Eigene Untersuchungen zum Auftreten epigäischer Raubarthropoden auf sächsischen Lößstandorten weisen tatsächlich darauf hin, dass die konservierenden Verfahren signifikant positiv auf größere Laufkäfer- und Spinnenarten wirken (KREUTER & NITZSCHE 2005). Anders als in den Untersuchungen von VOLKMAR et al. (2003) erreichten gerade die regulativ hochwirksamen Laufkäferarten der Gattung *Carabus*, die als effektive Gegenspieler von Schnecken und bodenaktiven Insektenlarven gelten, in Folge der pfluglosen Verfahren z. T. um ein Vielfaches höhere Aktivitätsdichten. Auch hinsichtlich der Wolfsspinnen (Araneae, Lycosidae) waren die Fangzahlen auf den Mulch- und Direktsaat-Varianten signifikant höher als auf den gepflügten Flächen. Nur geringe Unterschiede bestanden dagegen bezüglich der Artendiversität und des Aktivitätsdichtenniveaus der Zönosen insgesamt. Auf den Pflugvarianten erreichten die Laufkäfer generell etwas höhere Artenzahlen als bei konservierender Bearbeitung bei geringeren Individuenzahlen je Art. Für die Webspinnen dagegen wurde die größte Artenvielfalt auf den Direktsaat-Flächen festgestellt (KREUTER & NITZSCHE 2005), die folglich als Habitate besonders störanfälliger bzw. empfindlicher Arthropoden zur faunistischen Bereicherung der Agrarlandschaft beitragen.

Biologische Vielfalt: Die deutlichen Effekte eines konsequenten Pflugverzichts auf alle Bereiche des Bodenlebens spiegeln sich in zahlreichen Parametern der biologischen Vielfalt sowohl auf der betreffenden Fläche (α -Diversität) als auch im gesamten Agrarraum (β -Diversität) wider. Charakteristisch sind folgende Merkmale:

- größere räumliche (vertikale) Differenzierung
- veränderte Dominanzstrukturen
- veränderte Artenspektren
- höhere Biomasse und Aktivität vor allem im Bereich der Bodenoberfläche
- signifikante Zunahme großer Arthropodenarten
- Erhöhung der funktionellen Diversität der Bodenorganismen.

Beispiele für die höhere funktionelle Vielfalt im pfluglosen Ackerbau sind der Rotteprozess (bei dem der Stoffumsatz in mehreren separaten Schritten unter wesentlich stärkerer Beteiligung der Bodenfauna erfolgt) oder das bessere Puffervermögen (durch stärkere Bindung und beschleunigten Abbau von Schadstoffen). Die Vielfalt und Stärke der genannten Einflüsse bewirken eine deutliche Spezifizierung der Zönosen in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung (CROSSLEY et al. 1992; HOLLAND 2004). Damit führt das Nebeneinander gepflügter und konservierend bearbeiteter Flächen auch zu einer höheren Biodiversität der Feldflur insgesamt (β -Diversität).

Biodiversität und Pflanzenschutz: Sowohl der Pflanzenschutzmitteleinsatz als auch der Erhalt der Ackerböden und ihrer multiplen Funktionen gehören zu den häufig genannten Agrarumwelt- bzw. Nachhaltigkeitskriterien. Komplexer Bodenschutz durch konservierende Bodenbearbeitung bei gleichzeitiger Reduktion des Einsatzes chemischer Pflanzenschutzmittel ist allerdings in der ackerbaulichen Praxis oft problematisch. Zahlreichen Pflanzenschutzproblemen im pfluglosen Ackerbau (genannt seien hier beispielsweise die Zunahme von DTR und Ährenfusariosen, Schnecken- und Mäuseplagen, die Verbreitung bodenbürtiger Viren und Schadinsekten, die Ungrasförderung oder der verstärkte Vorfrucht-Durchwuchs) werden durch chemische Pflanzenschutzmaßnahmen oder durch einen – quasi als integrierten Pflanzenschutz betrachteten – Pflugeinsatz gelöst. Der periodische Pflugeinsatz als praxisübliche Alternative zum Einsatz von Herbiziden, Fungiziden oder Insektiziden bzw. zu den ansonsten unvermeidlichen Ertrags- oder Qualitätsverlusten muss allerdings aus ökologischen und ökonomischen Gründen hinterfragt werden.

Im Ranking der Agrarumwelt- bzw. Nachhaltigkeitsindikatoren muss dem Schutz des Bodens vor Erosion auf allen entsprechend gefährdeten Standorten eine herausragende Stellung eingeräumt werden. Dem Erhalt einer fruchtbaren Bodendecke als Grundlage der Landwirtschaft haben sich alle weiteren Nachhaltigkeitskriterien unterzuordnen. Mit einem geringeren Erosionsrisiko und einem größeren Wasserretentionsvermögen vermindert sich auch die Gefahr zu hoher Phosphat- bzw. Nitratausträge.

Dauerhaft konservierende Bodenbearbeitungsstrategien wirken sich insbesondere auf solche Risikofaktoren positiv (d. h. mindernd) aus, die neben Pflanzenschutzmittel-Rückständen für das Gros der „Off-site-Schäden“ durch den Ackerbau verantwortlich gemacht werden (vgl. CHRISTENSEN et al. 1995). Diesbezüglich ist zu bedenken, dass das auf Bundesebene geforderte Reduktionsprogramm für den chemischen Pflanzenschutz, ungeachtet seiner großen agrarökologischen und politischen Bedeutung, nur eines von zahlreichen Konzepten zur Gestaltung nachhaltiger Ackerbausysteme darstellt.

Schlussfolgerungen: Dauerhaft pfluglose Bearbeitungsverfahren weisen neben den vorab genannten Hauptvorteilen weitere positive ökologische Effekte auf. Von Bedeutung sind z. B. die Stabilisierung der Wasser-, Humus- und Nährstoffhaushalte sowie die Erhöhung der strukturellen und funktionellen Biodiversität (HOLLAND 2004). Eine periodische Rückkehr zum Pflugeinsatz zerstört diese Vorteile oder verhindert ihre Entstehung. Dagegen können die positiven Auswirkungen des Nichtpflügens durch integrierte Lösungsansätze im Pflanzenschutz noch verstärkt werden. Im Hinblick auf das Thema des vorliegenden Forschungsberichtes betrifft dies z. B. die potenzielle Förderung streuabbauender Bodentiere und räuberischer Arthropoden auf dauerhaft pfluglos bearbeiteten Flächen.

Die Umstellung der Fruchtfolge bzw. eine veränderte Fruchtartenwahl, die Verwendung geeigneter Sorten, die effektive Bearbeitung von Ernterückständen sowie die Optimierung agronomischer Termine sind Maßnahmen, die eine Reduktion chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen auch bei konsequentem Pflugverzicht ermöglichen können.

3 Zum Abbau von Maisstreu bei unterschiedlicher Boden- und Stoppelbearbeitung

Bei der Etablierung dauerhaft pflugloser Anbausysteme gehört eine optimale Rotteförderung zu den wichtigsten Erfordernissen, um bodenbürtige Schaderreger einzudämmen. Ein vergleichsweise großes Potenzial des Streuabbaus durch die Bodenmesofauna konnte in den letzten Jahren für das Untersuchungsgebiet nachgewiesen werden (KREUTER & NITZSCHE 2005). Ein Rückschluss von den dabei gemessenen Fraßaktivitäten (Köderstreifen-Test) auf die tatsächlichen Streuabbau-Leistung ist allerdings problematisch, da gerade bei Pflugverzicht die Streuabbau-Dynamik in hohem Maße von Witterungs- und technologischen Einflüssen abhängt. Durch den Einsatz des Minicontainer-Tests (nach *Eisenbeis*) in Kombination mit dem Köderstreifen-Test (nach *v. Törne*) sollte geklärt werden, unter welchen Bedingungen der Streuabbau durch die Bodenfauna gefördert werden kann.

3.1 Material und Methoden

3.1.1 Untersuchungsmethoden

Minicontainer-Test: Das Verfahren stellt eine relativ neue bodenbiologische Methode für quantitative Untersuchungen zum Abbau von Streumaterial dar. Vor dem Aufkommen der Minicontainer-Methode wurden für Streuabbau-Erhebungen relativ groß dimensionierte Netzbeutel (Abmessungen meist > 20×10 cm) oder Streudosen (Durchmesser ca. 12 cm - 13 cm) verwendet (CROSSLEY & HOGLAND 1962; HERLITZIUS 1983; KRATZ 1991). Aus dieser so genannten Litter-bag-Methode wurde das inzwischen weltweit eingesetzte Minicontainer-System entwickelt, dessen methodischer Vorzug vor allem im hohen Standardisierungsgrad von Versuchsaufbau und Auswertung liegt (EISENBEIS 1998). Daneben gelten die relativ einfache Durchführung und eine hohe Stichprobenzahlen bei moderatem Arbeitsaufwand als weitere Vorteile gegenüber der Litter-bag-Methode. Beim Minicontainer-Test werden normierte zylindrische Minicontainer (MC) im Boden stationiert. Sie weisen einen Durchmesser und eine Höhe von jeweils 16 mm auf. Diese MC werden mit Streumaterial gefüllt und zu so genannten MC-Sets zusammengestellt, welche sich vertikal oder horizontal im Boden exponieren lassen (Abb. 1). Die MC sind zweiseitig von Gaze abgeschlossen. Durch die Gazemaschen erlangen Bodenorganismen Zugang zu den Streuproben. Nach einer definierten Expositionszeit wird der Masseverlust des eingewogenen Streumaterials in den Minicontainern ermittelt. Als Streumaterial diente in allen Fällen Maisstroh-Häcksel. Die Streuabbaubedingungen wurden im gegebenen Fall durch die vertikale Staffelung (am Standort Lüttewitz), durch unterschiedliche Maschengrößen der Gaze und (am Standort Obergoseln) auch durch unterschiedliche Streubeschaffenheit variiert.

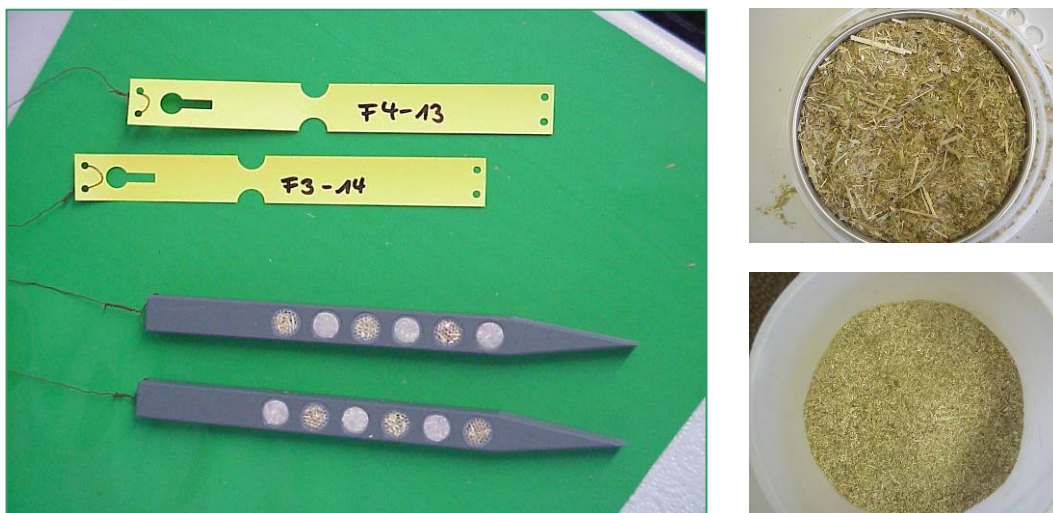


Abb. 1: Minicontainer-Sets (Methode nach Eisenbeis) und Maisstreu-Proben

Die Ermittlung der Einwaage und die Rückwägung des Streumaterials erfolgten mit einer Feinwaage (Empfindlichkeit: 1/1000 g). Zuvor wurde das Maisstroh 46 Stunden lang bei 70°C getrocknet. Noch vor dieser Trocknung erfolgte nach der Entnahme der MC-Sets aus dem Boden eine mehrtägige Rotlicht- und Wärmebestrahlung (bei langsam zunehmender Intensität), um mobile Bodenlebewesen auszutreiben. Nach der anschließenden Trocknung wurden die verschmutzten Container und ihr Inhalt von Bodenpartikeln und anderen Fremdbestandteilen befreit. Erst dann erfolgte die Rückwägung der Proben. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem t-Test. Genaue Angaben zur Befüllung der MC-Sets und zum Versuchsdesign auf den untersuchten Schlägen finden sich im Kap. 3.1.2.

Köderstreifen-Test: Das auch als Bait-Lamina-Test bekannte Verfahren gehört ebenfalls zu den relativ neuen bodenbiologischen Feldmethoden und erreichte auf Grund einer Reihe vorteilhafter Merkmale eine weite und ständig zunehmende Verbreitung. Mit Hilfe von PVC-Lochstreifen wird ein Ködersubstrat im Boden exponiert. Das Ködersubstrat überzieht als dünne Folie die Lochmarken der Köderstreifen. Es besteht aus einer Mischung von Cellulose, Kleie und Aktivkohle (70:29:1). Dieser Köder stellt eine unspezifische, standardisierte und leicht verfügbare Nahrungsquelle für ein breites Spektrum streuabbauender Bodentiere dar. Vor allem Elemente der Mesofauna (z. B. Enchytraeen, Collembolen, Gliederfüßler etc.) bewirken durch Fraß an diesen Ködern einen Masseschwund, der bei Perforation der Lochmarken sichtbar wird. Diese Perforation fließt als Merkmal in den Test ein. In einer Bonitur werden die durchfressenen Köder ausgezählt (Abb. 2). Für die Untersuchungen wurden Teststreifen des Herstellers „terra protecta GmbH“, Berlin, verwendet (PVC-Streifen: 160 mm lang, 6 mm breit, 1mm dick).



Abb. 2 : Köderstreifen mit durchfressenen (oben) und nicht durchfressenen Einzelködern (unten) (Foto: terra protecta GmbH) und Testplot mit 16 Streifen

Auf den Streifen sind in Bohrungen ($\varnothing$ 1,5 mm, Abstände 5 mm) jeweils 16 Köder untergebracht. Die Exposition im Boden erfolgt senkrecht, so dass die obersten Köder jeweils ca. 0,5 cm unter der Bodenoberfläche positioniert sind. Somit kann die Fraßaktivität an der Ködermasse differenziert bis zu einer Tiefe von ca. 8 cm festgestellt werden.

Der Köderstreifen-Test weist einige Vorzüge auf, die ihn für angewandte agrarökologische Untersuchungen prädestiniert erscheinen lassen:

- Es besteht ein vergleichsweise geringer Zeit- und Geldeinsatz.
- Die Standardanwendung führt zu einer großen Zahl biometrisch auswertbarer Daten.
- Jeder Test ergibt zwei Befunde, einen zu örtlich bedingten (horizontalen) und einen zu schichtbedingten (vertikalen) Verteilungsunterschieden der Ereigniswerte von stochastisch unabhängigen Stichproben.
- Für die Versuchsdurchführung und Auswertung ist kein ausgesprochenes Spezialwissen erforderlich.
- Standortbeeinflussungen sind zu vernachlässigen.
- Die Befunde können als Grundlage für eingehende systemökologische Untersuchungen (z. B. zum Stoffumsatz) dienen.
- Das Testverfahren weist eine hohe Standardisierbarkeit auf.

Das Verfahren wurde im Frühjahr an beiden Standorten und jeweils auf allen Bearbeitungsvarianten eingesetzt. Jede Bewirtschaftungsvariante enthielt drei Testquadrate mit jeweils 16 Köderstreifen (Abb. 2). Die Anordnung der Köderstreifen erfolgte in 4×4 Streifen (Abstände zwischen benachbarten Streifen jeweils 20 cm). Auf jeder Untersuchungsfläche standen damit 48 Köderstreifen für die Auswertung zur Verfügung. Zur vergleichenden Bestimmung der relativen Fraßaktivitäten verblieben die Köderstreifen so lange im Bodensubstrat, bis im Mittel aller Varianten etwa 10 – 40 % der Köder perforiert (d. h. durchfressen) waren. Diese Richtgröße wurde auf den Untersuchungsflächen nach 19 Tagen erreicht. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem parameterfreien U-Test.

3.1.2 Untersuchungsgebiet und Versuchsaufbau

Die Untersuchungen erfolgten auf Winterweizenschlägen an zwei Standorten im mittelsächsischen Lößhügelland (Lüttewitz und Obergoseln).

3.1.2.1 Standort Lüttewitz

Am Standort Lüttewitz wurden vier Bodenbearbeitungsvarianten verglichen, die dort seit 1993 in der Fruchtfolge ZR-WW-WW konsequent zur Anwendung kommen:

- Pflugeinsatz = LP; Bearbeitungstiefe = 30 cm
- Mulchsaat 1 (mit zusätzlicher Lockerung) = LM1; Bearbeitungstiefe = 20 cm
- Mulchsaat 2 (ohne zusätzliche Lockerung) = LM2; Bearbeitungstiefe = 10 cm
- Direktsaat = LD.

Mit dem Minicontainer-Test wurden Effekte einer langfristig reduzierten Bodenbearbeitung auf den Streuabbau in den folgenden drei Bodenhorizonten untersucht:

- Tiefenstufe 1 (oberflächennah) = 2 – 6 cm unter der Bodenoberfläche
- Tiefenstufe 2 = 6 cm - 10 cm unter der Bodenoberfläche
- Tiefenstufe 3 = 10 cm - 14 cm unter der Bodenoberfläche

Darüber hinaus wurde durch den Einsatz von zwei verschiedenen Maschenweiten der Effekt eines Ausschlusses der Mesofauna getestet. Folgende Maschenweiten fanden Verwendung:

- Maschenweite 2 mm = Einwanderung von Mikroben und Mesofauna
- Maschenweite 2 µm = Ausschluss der Bodenmesofauna

Die Expositionsdauer betrug 95 Tage. Die zeitliche Dynamik des Abbaus wurde nicht betrachtet.

In Abb. 3 werden die Zusammensetzung der MC in einem Set und ihr Einsatz detailliert dargestellt.

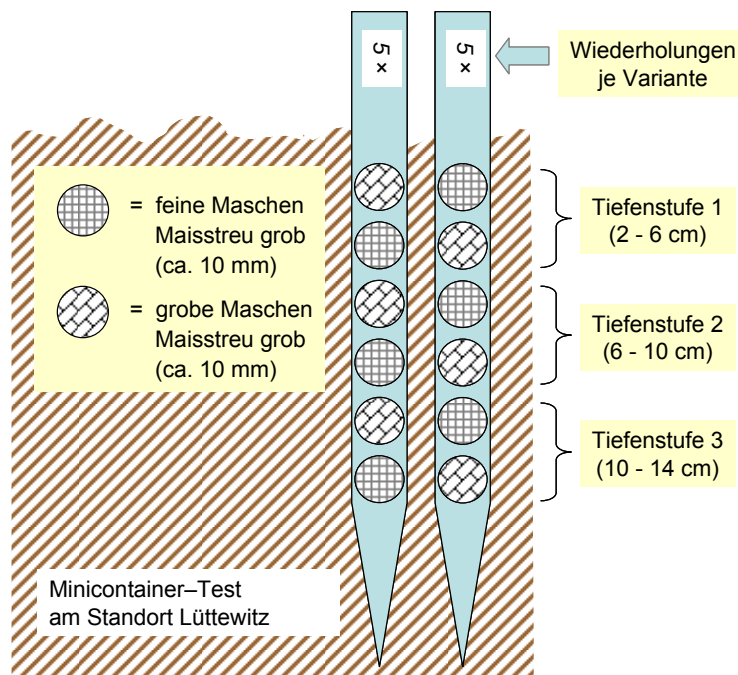


Abb. 3: Minicontainer in Lüttewitz – Ausrichtung im Boden, Befüllung der MC-Sets und Differenzierung der untersuchten Parameter

In den ersten Wochen nach Ausbringung der MC erfolgte auf allen BB-Varianten ein Köderstreifen-Test zur Schätzung der Fraßaktivität der Mesofauna. Auf jeder Variante wurden am 19.04.2006 drei Plots mit jeweils 16 Köderstreifen etabliert. Die Entnahme der Köderstreifen aus dem Boden erfolgte nach 19 Tagen am 08.05.2006.

Die Lage der Versuchsflächen auf dem Schlag sowie der Versuchsaufbau gehen aus Abb. 4 hervor.

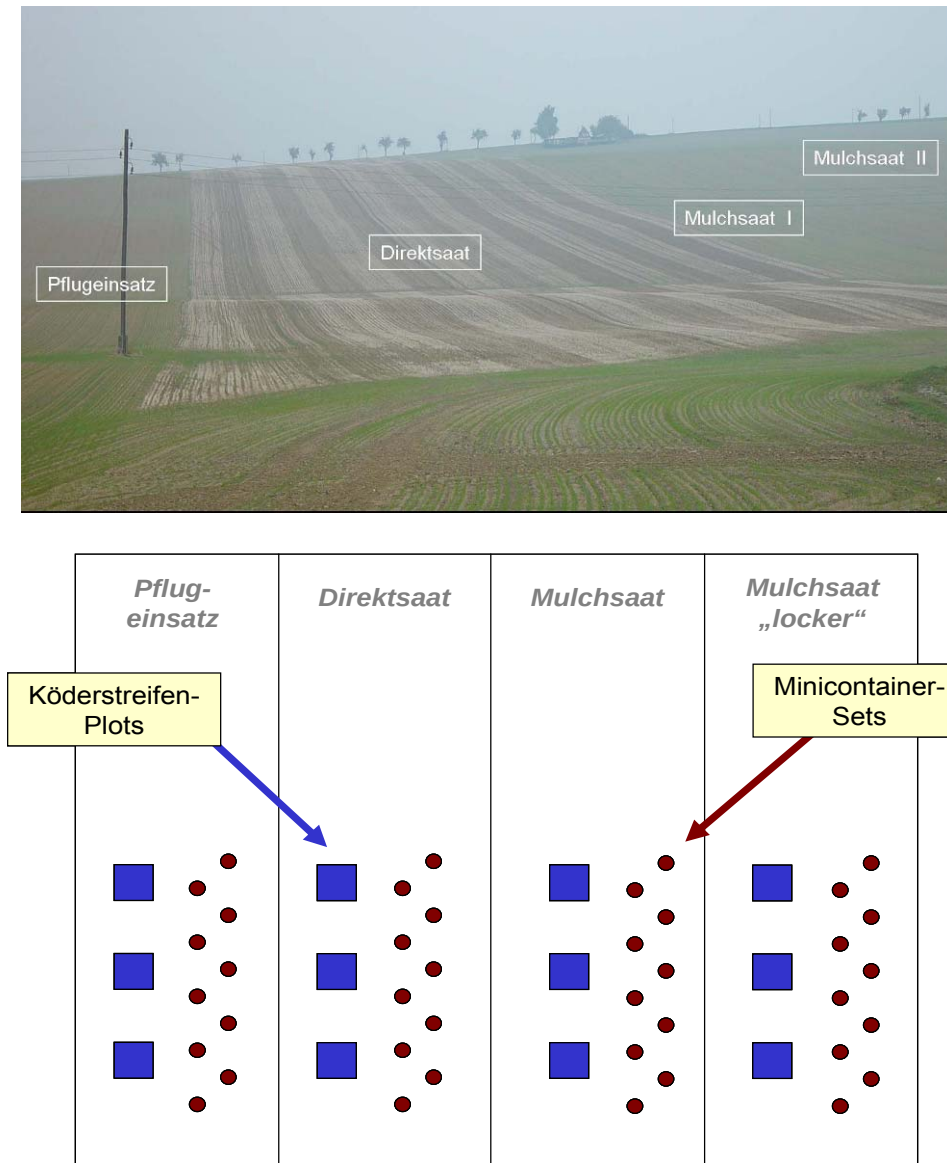


Abb. 4: Bodenbearbeitungsvarianten und Versuchsaufbau am Standort Lüttewitz

3.1.2.2 Standort Obergoseln

Im Mittelpunkt der Untersuchungen am Standort Obergoseln stand die phytopathologische Problemfruchtfolge Winterweizen (im Untersuchungsjahr 2006) nach Körnermais (2005). Es wurden vier Varianten der Boden- und Stoppelbearbeitung nach Körnermais hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf den Streuabbau getestet:

- Pflügen = OP
- Grubbern = OG
- Grubbern + einmaliges Mulchen = OM1
- Grubbern + zweimaliges Mulchen = OM2

Zur Auswertung kamen dabei sowohl die zeitliche Dynamik des Streuabbaus als auch Effekte der Streubeschaffenheit auf den Abbauprozess. Folgende Expositionszeiträume wurden untersucht:

- Zeitraum 32 Tage: 20.04. – 22.05.2006
- Zeitraum 62 Tage: 20.04. – 21.06.2006
- Zeitraum 96 Tage: 20.04. – 25.07.2006

Zwei Streugrößen wurden verglichen:

- Maisstreu grob: ca. 10 mm
- Maisstreu fein: < 5 mm

In der Hälfte der Minicontainer erfolgte ein Ausschluss der Bodenmesofauna.

In Abb. 5 werden die Zusammensetzung MC in einem Set und ihr Einsatz detailliert dargestellt.

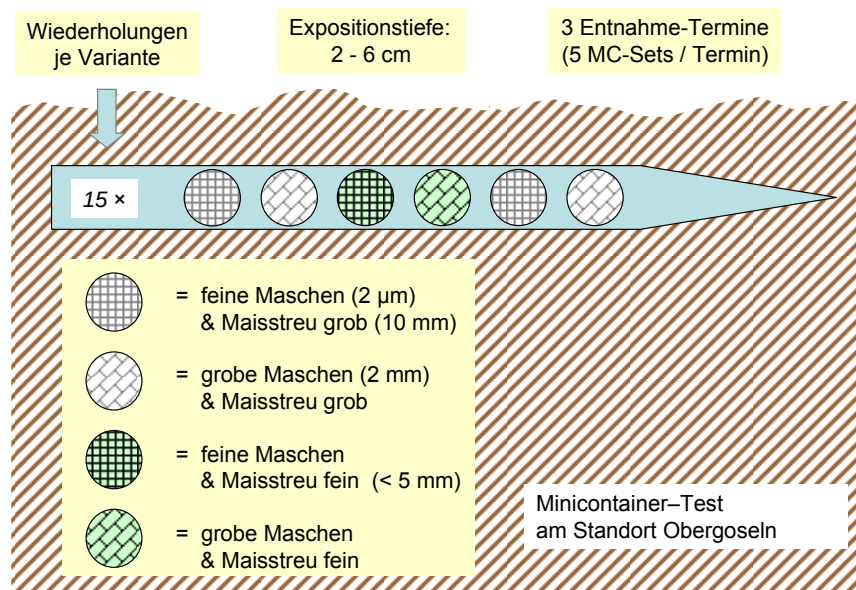


Abb. 5: Minicontainer in Obergoseln – Ausrichtung im Boden, Befüllung der MC-Sets und Differenzierung der untersuchten Parameter

Auch am Standort Obergoseln wurde mit Beginn der MC-Versuche auf allen Bearbeitungsvarianten ein Köderstreifen-Test durchgeführt (pro Variante drei Plots mit jeweils 16 Köderstreifen). Der Expositionszeitraum betrug 19 Tage (19.04.2006 bis 08.05.2006). Ein Überblick über die Lage der Versuchsflächen sowie über den Versuchsaufbau wird in Abb. 6 gegeben.

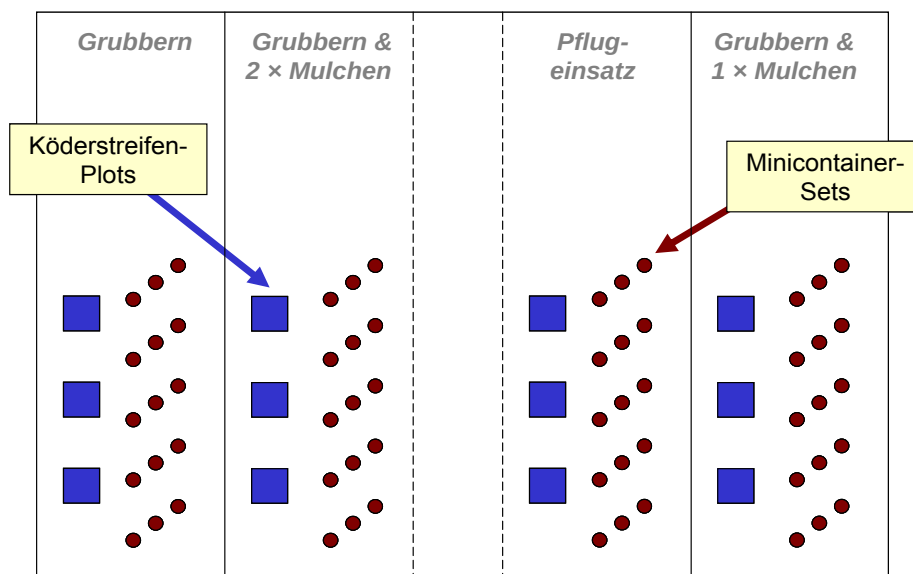
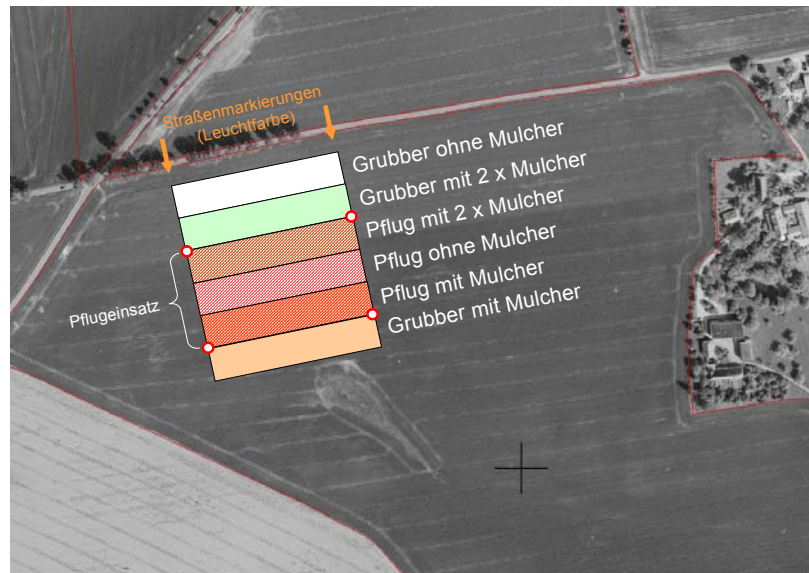


Abb. 6: Bodenbearbeitungsvarianten und Versuchsaufbau am Standort Obergoseln

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Standort Lüttewitz

3.2.1.1 Streuabbau in den Minicontainern

Bei der Bewertung der Ergebnisse gilt die Einschränkung, dass sich die Ergebnisse zur Quantität und vertikalen Differenzierung des Streuabbaus auf ein eher kleines Zeitfenster von 95 Tagen innerhalb der über viel längere Zeiträume ablaufenden Rottedynamik beziehen. Folglich lassen sich hier lediglich Tendenzen ablesen, inwieweit dauerhaft konservierende Bodenbearbeitung sowie die Zusammensetzung der Bodenzönose die Abbauprozesse in verschiedenen Bodentiefen beeinflussen.

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Unter Ausschluss der Bodenmesofauna waren sowohl die Differenzen zwischen den vier Bodenbearbeitungsvarianten als auch zwischen den untersuchten Bodenhorizonten vergleichsweise gering (Abb. 7). Lediglich auf der Variante Direktsaat (LD) kam es zu einer Staffelung der Werte mit höheren Abbauraten in Oberflächennähe und einem leichten Rückgang bei zunehmender Bodentiefe. Auf der Mulchsaat-Fläche mit zusätzlicher Lockerung (Mulchsaat 1 = LM1) wurde in der obersten Tiefenstufe (2 cm - 6 cm) eine signifikant höhere Streuabbaurate ermittelt als in den tieferen Bodenschichten (t-Test; $\alpha \leq 0,05$).

Im Mittel der drei untersuchten Horizonte waren die Unterschiede im Streuabbau bei Ausschluss der Mesofauna sehr gering. Die Abbauraten variierten zwischen 38 % auf der Direktsaat-Fläche und etwas über 40 % bei Mulchsaat ohne zusätzliche Lockerung (Mulchsaat 2 = LM2).

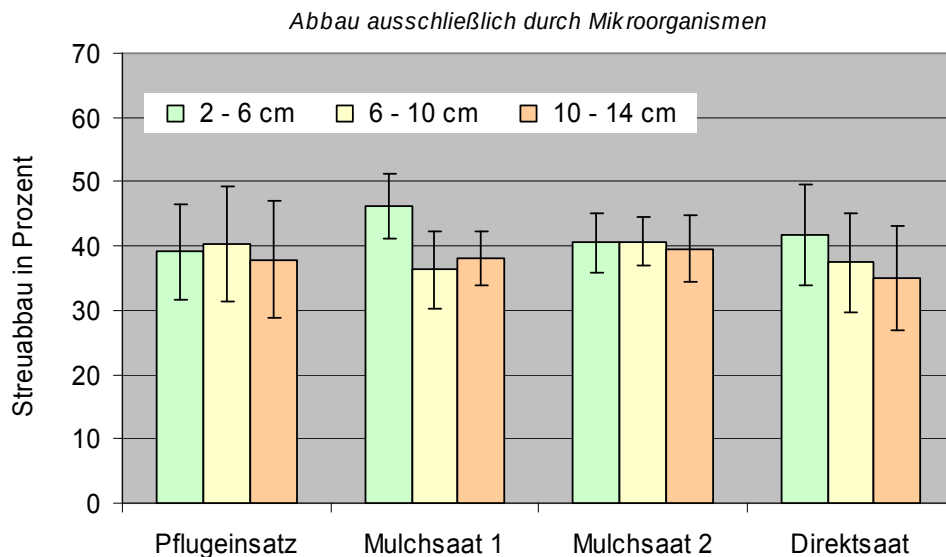


Abb. 7: Streuabbauraten bei Ausschluss der Mesofauna am Standort Lüttewitz

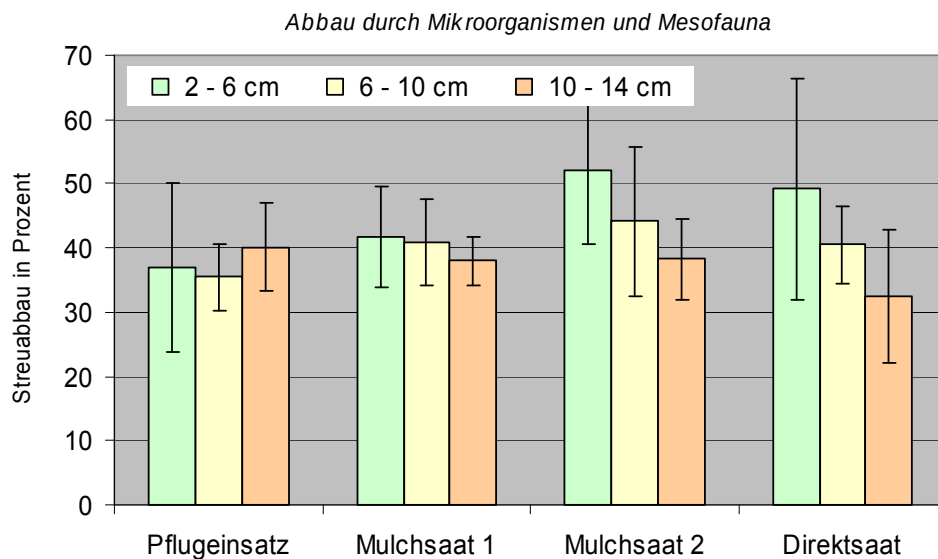


Abb. 8: Streuabbauraten unter Einbeziehung der Mesofauna am Standort Lüttewitz

Größere Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten ergaben sich für den Streuabbau unter Beteiligung der Bodenmesofauna (Abb. 8). Insgesamt wurden nach einem Expositionszeitraum von 95 Tagen auf dem Standort Lüttewitz zwischen 32 % und 52 % der dargebotenen Streusubstanz abgebaut. Die Form der Bodenbearbeitung wirkte sich dabei in erster Linie auf den Grad der räumlichen Differenzierung der Abbauintensität aus. Auf der gepflügten Fläche (Pflugeinsatz = LP) und bei Mulchsaat mit zusätzlicher Lockerung (Mulchsaat 1 = LM1) wurden in allen drei untersuchten Bodentiefen ähnliche Mittelwerte des Streuabbaus gemessen. Dagegen führten Mulchsaat ohne zusätzliche Lockerung (Mulchsaat 2 = LM2) sowie Minimalbodenbearbeitung (Direktsaat = LD) zu einer typischen Staffelung der mittleren Abbauraten in Abhängigkeit von der Beprobungstiefe. Der intensivste Streuabbau spielte sich dabei in Oberflächennähe ab. Mit zunehmender Bodentiefe nahm die Abbauleistung deutlich ab. Auf Grund der großen Streuung aller Werte konnten die genannten Differenzen und Tendenzen statistisch nicht gesichert werden. Ein Überblick über das differenzierte Streuabbau-Geschehen am Standort Lüttewitz wird in Abb. 9 gegeben.

Im Hinblick auf die durchschnittliche Streuabbauleistung über alle drei untersuchten Bodenhorizonte wurden auf der gepflügten Fläche (LP) mit 37 % die geringsten Werte erreicht. Die höchste Abbaurate wurde mit 45 % auf der Mulchsaat ohne zusätzliche Lockerung erreicht. Auf den Varianten Direktsaat (LD) und Mulchsaat 1 (LM1) lag der ermittelte Masseverlust über alle Tiefenstufen bei etwas über 40 % (Abb 9).

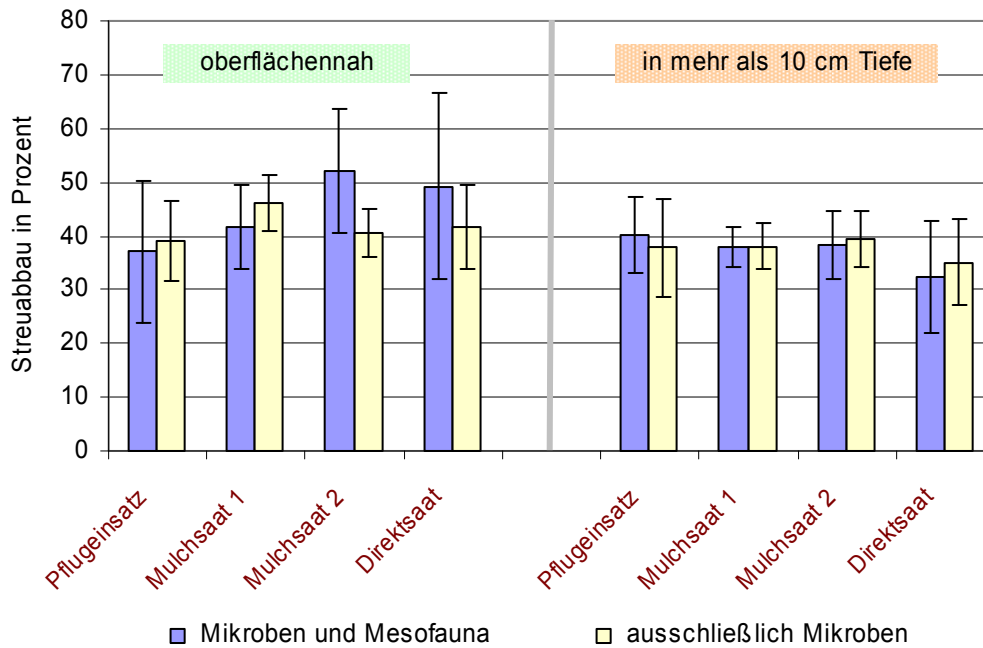


Abb. 9: Übersicht über die Streuabbauraten am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung, Bodentiefe und Maschenweite der Minicontainer

3.2.1.2 Fraßaktivität im Köderstreifen-Test

Die Fraßaktivität der Bodenfauna auf dem Standort Lüttewitz war in den Versuchsvarianten unterschiedlich und zeigt Werte zwischen 6 % und 18 %. Die gepflügte Fläche (LP) wies die niedrigste Aktivität aus, die Mulchsaat ohne zusätzliche Lockerung (LM2) wies die höchste Aktivität auf. Eine mittlere Position nahmen die Fläche mit Direktsaat ohne Bodenbearbeitung (LD) und die gemulchte Fläche mit zusätzlicher Lockerung (LM1) ein. Die Gesamtfraßraten an den exponierten Ködern betrugen 7,9 % (LD) und 10,6 % (LM1). Die drei Köderstreifengruppen auf der gepflügten Fläche (LP) zeigten mit 13, 73 bzw. 39 durchgefressenen Ködern eine sehr hohe Variabilität in den Fraßraten. Wird aus den Daten der gefressenen Köder pro Gruppe die Standardabweichung berechnet und prozentual zum Mittelwert angegeben, so ergibt sich mit dem errechneten Variationskoeffizienten ($cv = \text{coefficient of variation}$) ein Maß der Variabilität der Fraßaktivität. Der Variationskoeffizient für die gepflügte Fläche (LP) war ungewöhnlich hoch und betrug 72 %.

Die Verteilung der Fraßaktivität im Profil der Fläche LP zeigte Aktivitätsmaxima an der Oberfläche und an den tiefsten erfassten Punkten im Profil. Zwischen 2 cm und 4 cm Tiefe im Bodenmikroprofil war die Aktivität am niedrigsten (Abb. 10).

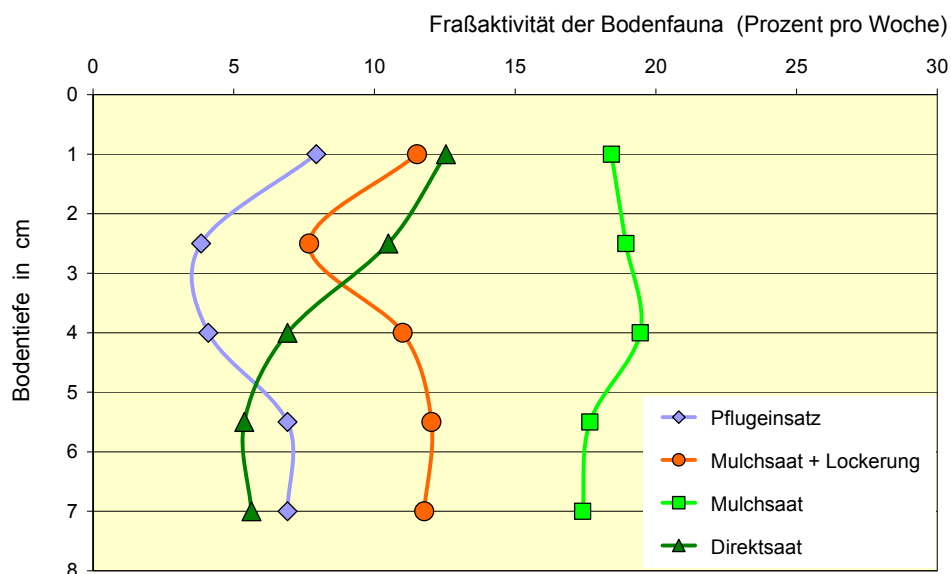


Abb. 10: Fraßaktivität der Mesofauna am Standort Lüttewitz (Köderstreifen-Test)

Eine sehr ähnliche Tiefenverteilung der faunistischen Fraßaktivität zeigte auch die Fläche LM1 (Mulchsaat mit zusätzlicher Lockerung), obwohl insgesamt die Fraßraten etwas höher lagen und die Variabilität deutlich geringer ($cv = 19\%$) war als auf der gepflügten Fläche (LP). In der Direktsaat-Variante (LD) zeigte die Fraßaktivität ein klassisches Tiefenprofil mit den höchsten Aktivitäten an der Oberfläche und gleichmäßig abnehmenden Werten mit zunehmender Bodentiefe. Dort war auch die Variabilität am geringsten ($cv = 11\%$). Damit kann die Direktsaat-Fläche als einzige der verglichenen Bearbeitungsvarianten als relativ ungestört im Aufbau bezeichnet werden. Die Fraßaktivität der Bodentiere auf LM2 (Mulchsaat ohne zusätzliche Lockerung) war dagegen sehr gleichmäßig über den gesamten erfassten Tiefenbereich verteilt, und mit Werten zwischen 16 % und 17 % ohne profilierte Tiefenvariabilität. Die Fraßaktivität war hier jedoch etwas unregelmäßig innerhalb der Fläche ausgeprägt ($cv = 41\%$). Die Unterschiede in den Fraßaktivitäten der oberen Profile zwischen der gepflügten Fläche (LP) und der Fläche mit Direktsaat (LD) waren bis zu einer Tiefe von 3,5 cm statistisch gesichert (U-Test, $0,043 < p < 0,046$), ebenso die Unterschiede zwischen LP und LM2 bis 4 cm Tiefe (U-Test; $0,046 < p < 0,050$). Aufgrund der hohen Variabilität in den Daten der gepflügten Fläche (LP) waren die Unterschiede zur Variante LM1 (Mulchen + Lockern) nicht durchgehend statistisch abzusichern (U-Test für die Tiefen 3,5 cm und 4,0 cm; $p \leq 0,05$). In den Tiefen 2,5 cm bis 4,0 cm unterschieden sich die Flächen LD und LM1 von der Variante LM2 (ohne zusätzliche Lockerung), welche die höchsten Fraßraten aufwies ($p \leq 0,05$). Auf der Direktsaat-Variante (LD) waren in 6,0 cm bis 7,0 cm Tiefe die Fraßraten signifikant niedriger ($p \leq 0,05$) als auf den beiden Mulchsaat-Flächen (LM1 und LM2). Zwischen Direktsaat und Pflugeinsatz bestanden keine statistisch gesicherten Unterschiede.

3.2.2 Standort Obergoseln

3.2.2.1 Streuabbau in den Minicontainern

Die Ergebnisse zur Dynamik des Streuabbaus am Standort Obergoseln beziehen sich auf einen reichlich dreimonatigen Untersuchungszeitraum von der letzten Aprildekade bis Ende Juli 2006. Betrachtet wird folglich lediglich ein eher kleines Zeitfenster innerhalb der prinzipiell ganzjährig möglichen Abbauvorgänge. Diese Einschränkung resultiert aus dem begrenzten zeitlichen Rahmen des Forschungsvorhabens insgesamt sowie aus dem ungünstigen Witterungsverlauf im kalten und schneereichen Winter 05/06. Entsprechend sind aus den Daten zum Streuabbau lediglich Tendenzen abzulesen, inwieweit Boden- und Stoppelbearbeitung, Streubeschaffenheit und Bodenleben die Abbauprozesse beeinflussen können.

Expositionszeitraum 1: (20.04. – 22.05.2006):

Eine Übersicht über die Resultate zum Streuabbau nach 32 Tagen wird in Abb. 11 gegeben. Das feine Streumaterial wurde im ersten Monat (z.T. signifikant) schneller abgebaut. Unter Ausschluss der Mesofauna wurde das feinere Streumaterial generell etwas langsamer abgebaut als unter Einbeziehung der Mesofauna. Bei größerem Streumaterial waren diesbezüglich keine Tendenzen ersichtlich. Die Unterschiede zwischen den Boden- und Streubearbeitungsvarianten waren sehr gering und nicht signifikant.

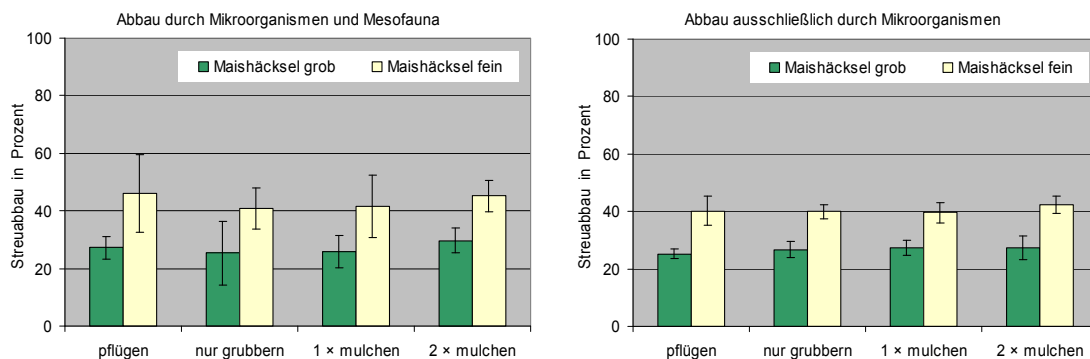


Abb. 11: Streuabbau nach 32 Tagen in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung, Streugröße und Maschenweite der Minicontainer; Standort Obergoseln

Expositionszeitraum 2: (20.04. – 21.06.2006):

Die Diagramme in Abb. 12 zeigen die Ergebnisse zum Streuabbau nach 62 Tagen.

Das feine Streumaterial wurde generell (i. d. R. signifikant) schneller abgebaut. Bei Ausschluss der Mesofauna waren keine Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten zu erkennen. Unter Beteiligung der Mesofauna erfolgte auf der Grubbervariante ein schnellerer Streuabbau als auf der gepflügten Parzelle.

Zusätzliches Mulchen führte im feinen Streumaterial zu einer weiteren Rottebeschleunigung. Im gröberen Maisstroh wurden auf der Grubbervariante und auf der einmal gemulchten Fläche ebenfalls höhere Abbauraten festgestellt; die Differenzen waren aber gering.

Insgesamt blieben die Abbaunterschiede zwischen den Bearbeitungsverfahren auch nach 62 Tagen bei gleicher Streugröße ohne statistische Signifikanz. Sowohl im gröberen als auch im feinen Streumaterial führte der Ausschluss der Mesofauna auf den pfluglos bearbeiteten Flächen zu geringeren Streuabbauraten. Diese Abbauverzögerung bei ausschließlich mikrobieller Aktivität war im feinen Streumaterial deutlicher ausgeprägt (signifikant auf der einmalig gemulchten Fläche). In den Pflugvarianten führte der Ausschluss der Mesofauna nicht zu einer Rotteverzögerung. Im feinen Streumaterial wurde bei ausschließlich mikrobieller Aktivität sogar ein schnellerer Abbau festgestellt.

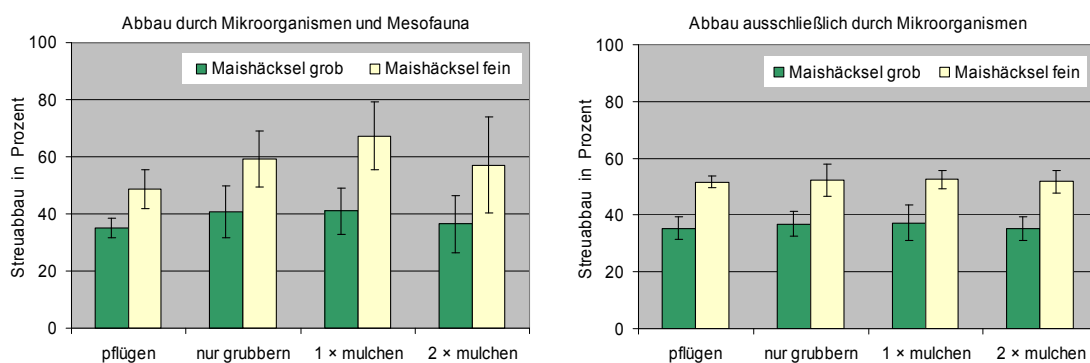


Abb. 12 Streuabbau nach 62 Tagen in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung, Streugröße und Maschenweite der Minicontainer; Standort Obergoseln

Expositionszeitraum 3: (20.04. – 25.07.2006):

Die Ergebnisse zum Streuabbau nach 96 Tagen sind Abb. 13 zu entnehmen. Das feine Streumaterial wurde generell signifikant schneller abgebaut. Die pfluglose Bearbeitung führte ebenfalls zu deutlich höheren und i. d. R. signifikanten Abbauraten.

Lediglich im groben Streumaterial und bei großer Maschengröße (d. h. unter der Einwirkung von Mikroflora und Mesofauna) war dieser Effekt statistisch nicht abzusichern. Im Vergleich der pfluglosen Varianten waren die Differenzen geringer und fast immer ohne erkennbare Tendenz. Lediglich im gröberen Streumaterial führte zweimaliges gegenüber einmaligem Mulchen zu einer leichten Rottebeschleunigung. Der Ausschluss der Bodenmesofauna führte auf den pfluglos bearbeiteten Flächen nur noch im feinen Streumaterial zu kleineren Abbauraten. Auf der gepflügten Fläche bewirkte der Ausschluss der Mesofauna wiederum eine leicht erhöhte Abbauleistung, diesmal allerdings im gröberen Streumaterial (vgl. Expositionszeitraum 2). Beide letztgenannten Effekte waren nicht signifikant.

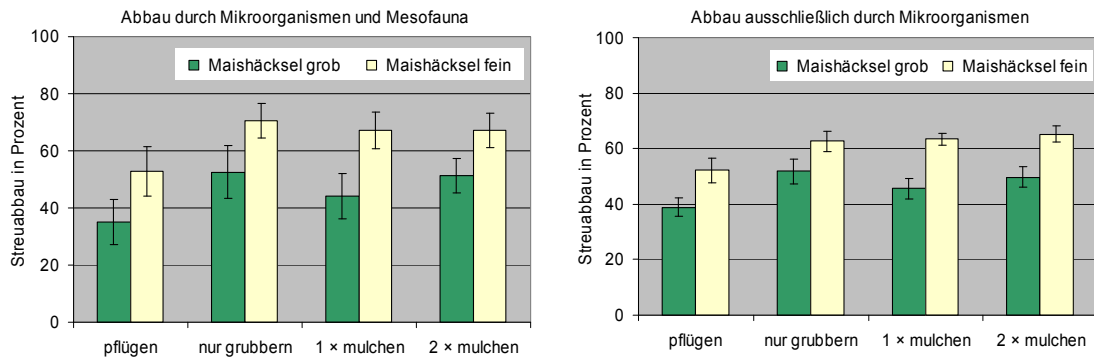


Abb. 13 Streuabbau nach 96 Tagen in Abhängigkeit von Bodenbearbeitung, Streugröße und Maschenweite der Minicontainer; Standort Obergoseln

Dynamik des Streuabbaus über die drei Expositionszeiträume:

Resultate zum Umfang sowie zur zeitlichen Dynamik des Streuabbaus unter dem Einfluss unterschiedlicher Bearbeitungsvarianten, unterschiedlicher Streubeschaffenheit und unterschiedlicher Einwanderungsbedingungen für die Bodenorganismen werden in den vier Diagrammen in Abb. 14 dargestellt.

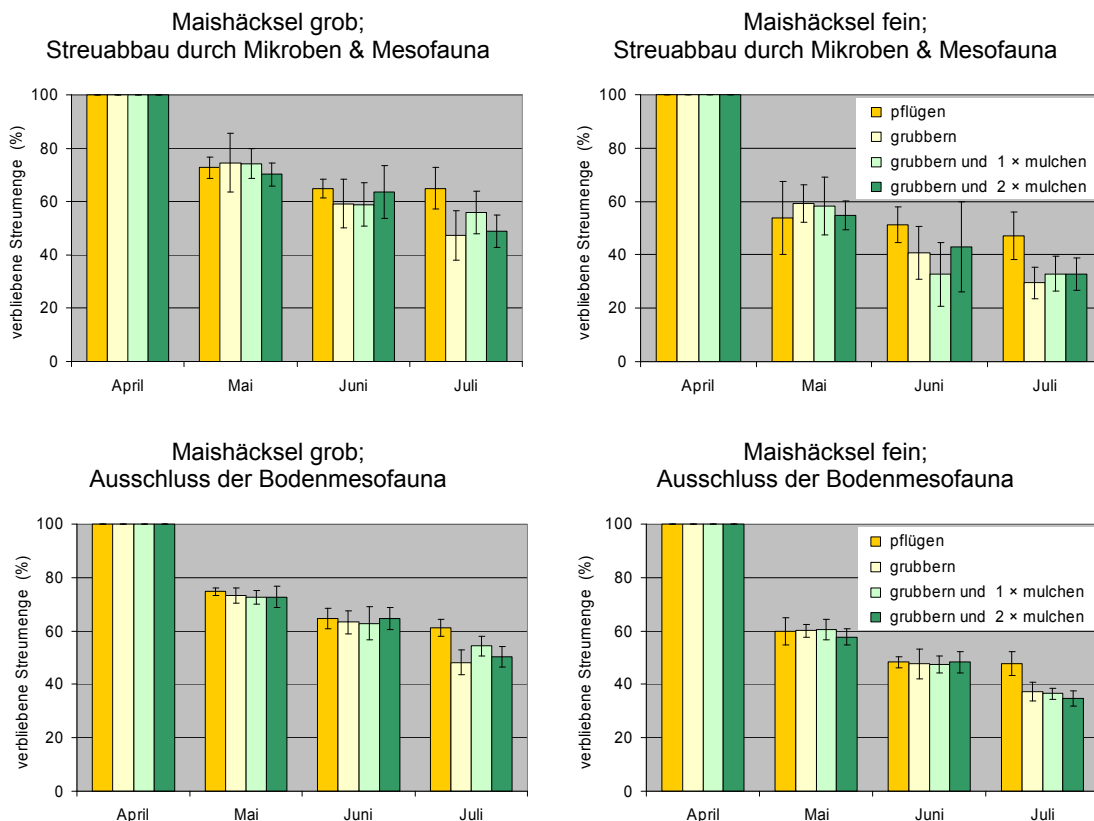


Abb. 14 Rottedynamik in 5 cm Bodentiefe unter variierten Bodenbearbeitungs- und Streuabbau-Bedingungen am Standort Obergoseln

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die zeitliche Dynamik des Streuabbaus wurde auf allen Varianten durch einen relativ schnellen Beginn der Abbauprozesse und eine nachfolgende Verlangsamung gekennzeichnet. Besonders deutlich ausgeprägt war diese Verlangsamung generell auf der gepflügten Fläche. Dort kam es sowohl im groben Streumaterial (Variante „Abbau durch Mikroorganismen und Mesofauna“) als auch im feinen Maishäcksel (Variante „Abbau ausschließlich durch Mikroorganismen“) zu einer Stagnation des Rotteprozesses. Das feinere Streumaterial führte sowohl bei Ausschluss als auch unter Beteiligung der Bodenmesofauna zu signifikant höheren Streuabbauraten (t-Test; $\alpha \leq 0,05$). Insbesondere zu Beginn der Expositionszeit wurde das feine Material deutlich schneller abgebaut. In der darauf folgenden Periode waren dann die Unterschiede hinsichtlich der Abbaugeschwindigkeit nur noch gering. Mit zunehmender Expositionszeit wurde eine beschleunigte Abbaurrate bei Pflugverzicht deutlich. Im feinen Streumaterial führte die größere Maschenweite und damit eine Beteiligung der Bodenmesofauna am Rotteprozess zu einer deutlichen Verstärkung dieser Effekte. So waren die Abbauraten in den entsprechenden Grubber- und Mulchvarianten um 14 % bis 19 % höher als auf der gepflügten Parzelle; bei ausschließlich mikrobieller Aktivität betrug diese Differenz nur 10 % bis 13 %. In fast allen geprüften Varianten erwies sich der beschleunigte Streuabbau bei Pflugverzicht als signifikant (Ausnahme: Grubbern + einmaliges Mulchen bei größerem Streumaterial und großer Maschenweite).

Innerhalb der konservierenden Boden- und Streubearbeitungsvarianten konnten keine tendenziellen Effekte der abgestuften Stoppelbearbeitungsintensität auf die Streuabbauraten festgestellt werden. Generell wurde unter Ausschluss der Mesofauna eine deutlich geringere Streuung der gemessenen Abbauraten festgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Streugröße den entscheidenden Einfluss auf die Geschwindigkeit des Rotteprozesses hat. Darüber hinaus können die für streuabbauende Bodentiere günstigen Umweltbedingungen im pfluglosen Ackerbau zu einem verstärkten Streuabbau führen. Geeignete Technologien der Streuzerkleinerung und flachen Einarbeitung sind erforderlich, um dieses Potenzial auszuschöpfen.

3.2.2.2 Fraßaktivität im Köderstreifen-Test

Die gepflügte Fläche (OP) zeigte am Standort Obergoseln eine vergleichsweise geringe Fraßaktivität der Bodenfauna; sie lag aber mit 9,5 % etwas höher als auf der gepflügten Fläche am Standort Lüttewitz. Der Variationskoeffizient für diese Bearbeitungsvariante ist in Obergoseln geringer als in Lüttewitz ($cv = 21 \%$). Die Fläche mit der Bearbeitungsvariante Grubbern (OG) war in den Gesamtfraßraten der Pflugvariante sehr ähnlich. Hier erreichte die Fraßaktivität der Bodentiere 9,2 % und wies die geringste kleinräumige Variabilität der Flächen in Obergoseln auf ($cv = 12 \%$). Die Fraßaktivitäten der Varianten OM1 (Grubbern + einmaliges Mulchen) und OM2 (Grubbern + zweimaliges Mulchen) unterschieden sich nicht wesentlich voneinander (15,7 bzw. 14,1 %), jedoch zeigte die Fläche OM1 eine größere Variabilität ($cv = 31 \%$ vs. 12%).

Die Tiefenverteilung der Fraßaktivitäten im Profil der Flächen OP und OG (beide ohne Mulchereinsatz) zeigte eine geringere Aktivität an der Oberfläche verglichen mit den Werten, welche in 8 cm Tiefe aufgezeichnet wurden (Abb. 15). Die Fraßaktivitäten dieser Flächen unterschieden sich in allen Tiefen statistisch nicht voneinander. Für die gemulchten Flächen (OM1 und OM2) wurde die höchste biologische Aktivität ca. 2 cm bis ca. 6 cm unter der Bodenoberfläche, mit Fraßraten zwischen 15 % und 22 % nachgewiesen. Beide Varianten zeigten in keiner Tiefe statistisch signifikante Abweichungen in den Fraßaktivitäten. Statistisch signifikant (U-Test, $p \leq 0,05$) waren die Aktivitätsdifferenzen in 2,0 cm bis 3,0 cm Tiefe und in 4,5 cm Tiefe zwischen der gepflügten Fläche (OP) und der zweimal gemulchten Fläche (OM2).

Aufgrund der kleinräumigen Variabilität lassen sich die Unterschiede zwischen der Pflugvariante (OP) und der einmal gemulchten Fläche (OM1) nur für die Tiefen 2,5 cm und 4,5 cm statistisch trennen (U-Test, $p \leq 0,05$). In diesen Tiefen weist auch die Grubbervariante (OG) eine statistisch niedrigere Fraßrate auf als die beiden gemulchten Flächen (OM1 und OM2). Keine der vier Varianten in Obergoseln zeigte die klassische Tiefenverteilung der biologischen Aktivität, wie sie für ungestörte Böden (und z. B. auch für die Direktsaat-Fläche am Standort Lüttewitz) typisch ist.

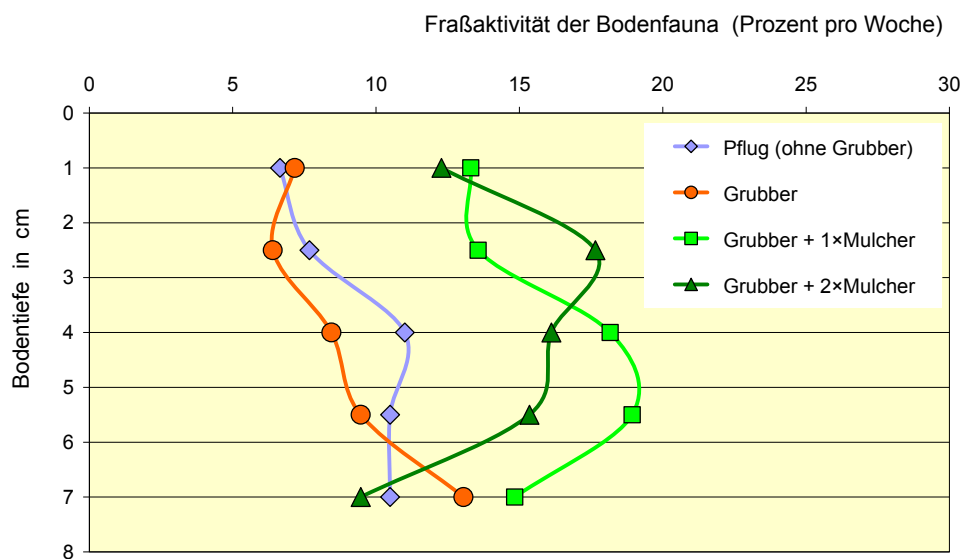


Abb. 15: Fraßaktivität der Mesofauna am Standort Obergoseln (Köderstreifen-Test)

3.3 Diskussion

Im Vorfeld des Forschungsvorhabens beschrieben KREUTER & NITZSCHE (2005) bereits eindeutig fördernde Einflüsse des Pflugverzichts auf die Artenvielfalt und auf die funktionelle Diversität der Bodenzönosen im Untersuchungsgebiet. Die Frage, inwieweit sich diese positiven Auswirkungen auch in der Dynamik des Streuabbaus widerspiegeln, konnte dabei nicht geklärt werden. Stärkere Strohabbau-Raten bei reduzierter Bodenbearbeitung sind aus der Fachliteratur bekannt (FRIEBE & HENKE 1991; HEIBER & EISENBEIS 1999). Aus den vorliegenden Ergebnissen geht hervor, dass pfluglose Bodenbearbeitung bei ansonsten vergleichbaren Umweltbedingungen zu einem stärkeren Streuabbau und zu einer größeren Fraßaktivität führt. Dabei spielt der Verzicht auf die Bodenwendung die Hauptrolle. Die weitere Reduzierung der Bearbeitung bis hin zur Direktsaat korreliert nicht zwangsläufig mit den genannten Effekten. Die höhere Aktivität der Primärzersetzer kann aus Sicht der ökologischen Selbstregulation eine entscheidende Rolle spielen, z. B. im Maisanbau, der im Rahmen pflugloser Anbauverfahren als besonders problematisch gilt. So ist nach FRIEBE & HENKE (1991) die Mesofauna am Abbau von Maisstroh wesentlich stärker beteiligt, als an der Umsetzung von gemulchten Weizenstoppelein.

Allerdings ergeben sich die meisten Pflanzenschutzprobleme pflugloser Systeme gerade aus der unzureichenden Rotte der Ernte und Wurzelrückstände bei reduzierter Bodenbearbeitung. Dieser Widerspruch resultiert aus der offensichtlichen Diskrepanz zwischen einer meist höheren biologischen Aktivität im Bearbeitungshorizont pflugloser Systeme (HEISLER et al. 1998, KREUTER & NITZSCHE 2005) und dem dennoch nicht ausreichenden Abbau des dort akkumulierten Streumaterials.

3.3.1 Natürliche Faktoren

Entscheidende Voraussetzungen für eine optimale Rotte sind unter anderem der enge Bodenkontakt des abzubauenen Materials sowie (damit zusammenhängend) eine ausreichende Feuchte des Substrates (CHRISTIANSEN 2000).

INGHAM et al. (1991) weisen darauf hin, dass eine entsprechend intensive Bodenbearbeitung zu einer intensiveren Vermischung des Bodens mit dem zugeführten Streumaterial führt.

Unter den natürlichen Standortfaktoren gelten die mittlere Jahrestemperatur und ihre Amplitude sowie die entsprechenden Werte der Evapotranspiration als maßgebliche Größen für den Streuabbau. (COUTEAUX et al. 1995; JOHANSSON et al. 1995).

Die in den vorliegenden Ergebnissen oft fehlende Signifikanz der Effekte von Boden- und Streubearbeitung dürfte u. a. auf diesen großen Einfluss der natürlichen Umweltfaktoren zurückzuführen sein. Die tatsächlichen Abbau-Konditionen im und am Boden werden jeweils durch das Zusammenspiel dieser natürlichen Umweltfaktoren (Klima, Witterung, Relief, Exposition, Bodenart) mit anthropogenen Effekten (Bodenbearbeitung, Anbaustruktur, Pflanzenschutz, Düngung) bestimmt.

Der vermeintlich geringe Einfluss der Bodenbearbeitung in den vorliegenden Versuchen scheint aber auch aus dem eng begrenzten Zeitraum der Untersuchungen zu resultieren. Im Falle der zeitlich gestaffelten Erhebungen am Standort Obergoseln deutete sich eine Verstärkung der durch Bearbeitungsmaßnahmen bewirkten Differenzen an. Gleichzeitig wird die Aktivität des Bodenlebens auf einem Standort durch das dauerhafte Angebot an organischer Substanz bestimmt. Damit stellen Fruchtfolge, der Anbau von Zwischenfrüchten usw. neben der Bodenbearbeitung die entscheidenden Größen dar.

3.3.2 Streugröße

Aus den Untersuchungen zum Streuabbau ging auch hervor, dass die Größe des Streumaterials für den Rotteprozess ein entscheidender Faktor ist. Zumindest im Bereich der eingesetzten geringen Maishäcksellängen (ca. 1 cm und geringer) hatte z. B. eine Verringerung der Streugröße einen größeren Effekt als die verglichenen Varianten einer praxisüblichen Streuzerkleinerung bei pflugloser Bodenbearbeitung. Für Lössstandorte bei Göttingen wiesen STOCKFISCH et al. (1998) nach, dass durch eine sorgfältige Zerkleinerung (Spleißschnitt) die Mineralisierung von Weizenstroh signifikant beschleunigt wurde. Allerdings zeigen die Autoren auch auf, dass die vollständige Einmischung des Häckselgutes (im gegebenen Fall durch Einpflügen) zu deutlichen Abbauvorteilen gegenüber einer (für pfluglose Systeme typischen) oberflächlichen und unvollständigen Einarbeitung führt. Auch die Vorteile der intensiven Zerkleinerung kamen bei einer intensiven Einmischung am stärksten zum Tragen. Diese Zusammenhänge weisen erneut auf die bereits beschriebene Bedeutung der gekoppelten Faktoren Bodenkontakt und Substratfeuchte hin. In der landwirtschaftlichen Praxis lassen sich Streugröße und Einmischungsintensität über landtechnische Anpassungen steuern. Die große Bedeutung beider Parameter für den Rotteprozess weist auf die Schlüsselposition des Faktors Bearbeitungstechnologie im Rahmen konsequent pflugloser Bearbeitungsstrategien hin. Letztendlich entscheidet die Qualität der Zerkleinerung und Einmischung über die Nachhaltigkeit des gesamten Systems. Sie bestimmt die Abbauaktivität und das Dekompositionsgeschehen und beeinflusst damit maßgeblich das Auftreten boden- bzw. streubürtiger Schaderreger. So konnte speziell zur Problematik des Fusariosenbefalls im pfluglosen Weizen- und Maisanbau gerade in den letzten Jahren nachgewiesen werden, dass eine sorgfältige Zerkleinerung und Durchmischung der Ernterückstände eindeutig positive Effekte auf die Pflanzengesundheit zeigt (GARBE et al. 2000; NIZSCHE et al. 2002; BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2005).

3.3.3 Maschenweite

Am Rotteprozess sind, angefangen vom Regenwurm bis hin zum Einzeller, Organismen sehr unterschiedlicher Größe beteiligt. Folglich sind bei einer Variation der Maschenweite streugefüllter Behälter deutliche Effekte auf die Zusammensetzung und Besiedlungsdichte einwandernder Bodentiere zu erwarten. HOUSE & STINNER (1983) beschrieben solche Differenzen für eine Direktsaat-Fläche.

BECK (1989) geht davon aus, dass sich Mikroben und Bodenfauna interaktiv am Dekompositions- geschehen beteiligen, wobei die Fauna eine Rolle als Steuergröße übernimmt. Daneben beeinflusst sie durch Bioturbation maßgeblich den Aufbau des Humuskörpers.

Im Hinblick auf die Dekompositionsleistung weist HEISLER (1994) der Mikroflora die bei weitem größte Bedeutung zu. Die Mesofauna sowie Regenwürmer beeinflussen danach die Mineralisierung lediglich positiv (z. B. durch Zerkleinerung, Aufschluss und Einarbeitung) oder negativ (als Räuber oder durch Konkurrenzeffekte). Die vorliegenden Ergebnisse weisen allerdings darauf hin, dass die Mesofauna bei Pflugverzicht eine sehr große Bedeutung für den Streuabbau hat. Unter vergleichbaren Umweltbedingungen führte der Ausschluss dieser Gruppe bereits nach drei Monaten auf allen nichtwendend bearbeiteten Varianten zu einer deutlichen Verlangsamung des Streuabbaus. Auch SIEDENTROP (1995) stellte in Streubeuteln bei Ausschluss der Mesofauna um bis zu 17 % geringere Abbauraten nach achtwöchiger Exposition und eine um bis zu 36 % geringere Dekomposition nach 24-wöchiger Versuchsdauer fest.

Die Autorin weist auch auf die generell höhere Streuung der Ergebnisse bei größerer Maschenweite hin. Grund dafür sind nach WITKAMP & OLSEN (1963) größere Schwankungen der Versuchskonditionen (z. B. des Mikroklimas) sowie, daraus folgend, ein unregelmäßiger Ablauf aller maßgeblichen Prozesse (Besiedlung, Abbauproduktbildung). Die hohe Varianz des Streuabbaus (bei Beteiligung der Mesofauna) kann auch in den vorliegenden Ergebnissen als Hauptkriterium für die fehlende statistische Sicherheit der ermittelten Differenzen gelten. Kritisch zu beachten ist bei der Diskussion solcher Ausschlussversuche, dass unterschiedliche Maschenweiten oft zu einem differenten Mikroklima führen (CURRY 1969; SIEDENTOP 1995). Die Folge sind entweder bessere oder weniger günstige Abbaubedingungen in den Vergleichsvarianten. Ferner kann das Fehlen streuabbauender Tiere unter Freilandbedingungen (z. B. auf regelmäßig gepflügten Flächen) offensichtlich gut kompensiert werden, indem Mikroben die freigewordene Nische durch eine stärkere Vermehrung besetzen.

3.3.4 Köderstreifen-Test / Methodenvergleich

Die Fraßaktivitäten, die im Rahmen der vorliegenden Studie ermittelt wurden, lagen eher im unteren Bereich der Spanne; die für Ackerböden mit intensiver Nutzung als typisch gelten kann (RÖMBKE et al. 2002). Generell ist bei allen biologischen Untersuchungen im Freiland eine starke Abhängigkeit der ermittelten Werte von den Umweltbedingungen während des Untersuchungszeitraumes gegeben (DUNGER & FIEDLER 1989). Auch die Fraßaktivität der Bodenfauna hängt von einer Reihe abiotischer und biotischer Faktoren ab. Zu den abiotischen Umweltfaktoren zählen vor allem der Boden selbst, das in ihm gespeicherte Wasser und die Witterungsverhältnisse, die die Fraßaktivität entscheidend beeinflussen. BODE & BLUME (1997) wiesen darauf hin, dass Fraßraten des Köderstreifentests in engem Zusammenhang mit den jeweils herrschenden Klimabedingungen während des Untersuchungszeitraumes betrachtet werden müssen. Unter den biotischen Faktoren beeinflusst insbesondere die Vegetation durch ihre Wirkung auf das Mikroklima und als Lieferant von Bestandesabfall und Wurzelexudaten die Qualität, Quantität und Aktivität der Bodenfauna.

Im engen Zusammenhang mit der Vegetation stehen die Zönosen der im Boden lebenden Mikrophyten und Mikrozoen (Pilze, Bakterien, Kleinsttiere), die als Nahrungsquellen, Konkurrenten oder Parasiten ebenfalls von großer Bedeutung sind. Der Vergleich des Minicontainer-Tests mit der Köderstreifen-Methode zeigt, dass unter geeigneten Rahmenbedingungen ein Zusammenhang zwischen höheren Fraßaktivitäten und dem verstärkten Abbau von Pflanzenrückständen besteht. Beide Methoden belegten das relativ hohe Abbaupotenzial pfluglos bearbeiteter Flächen. Generell kann aber von der Fraßaktivität, die i. d. R. über eher kurze Zeiträume ermittelt wird, nicht auf die Dynamik des wesentlich langfristiger ablaufenden Streuabbaus geschlossen werden.

3.3.5 Zur ökologischen Bedeutung der Bodenmesofauna

In Anbetracht der über alle Varianten gesehen doch eher geringen Streuabbau-Differenzen stellt sich die Frage, ob man die Bodenmesofauna oder eine hohe funktionelle Diversität im Ackerboden überhaupt benötigt. Diese Frage muss selbst unter der Annahme, dass Bodenmikroben gewisse Streuabbau-Leistungen der Bodenfauna übernehmen können, eindeutig positiv beantwortet werden (SCHAEFER 2003). Immer wieder wird auf die Bedeutung eines möglichst vielfältigen Bodenlebens für die ökologische Qualität der Ackerlebensräume und für die nachhaltige Landwirtschaft insgesamt hingewiesen (ALTIERI 1999; BULLOCK et al. 2001). Speziell hinsichtlich des Streuabbaus sieht z. B. SCHAEFER (2003) die Bedeutung der Bodentiere und der biologischen Vielfalt insgesamt im Aufbau einer stabilen und auch quantitativ leistungsfähigen Zersetzungskapazität sowie in der Stabilisierung des Acker-Ökosystems auf Basis der organischen Substanz. Die bekannten bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften dauerhaft ungepflügter Böden (Gefügestabilität, Adsorptions- und Puffervermögen) lassen sich letztendlich auf diese Entwicklungen zurückführen.

4 Zur Struktur und Siedlungsdichte der Mesofauna bei differenzierter Bodenbearbeitung

Elemente der Bodenmesofauna gehören gerade in pfluglosen Anbausystemen zu den bedeutendsten Primärzersettern von Ernterückständen. Für den Rotteprozess, der nicht nur für die Pflanzengesundheit von größter Bedeutung ist, spielen sie damit eine entscheidende Rolle. Während Effekte der Bodenbearbeitung auf die mikrobielle Biomasse in den letzten Jahrzehnten Gegenstand zahlreicher Feldstudien waren, sind entsprechende Erhebungen zur Bodenmesofauna vergleichsweise rar und darüber hinaus in ihren Aussagen teilweise widersprüchlich.

Positive Effekte auf den Streuabbau durch reduzierte Intensität der Bodenbearbeitung konnten HEIBER & EISENBEIS (1999) nachweisen. Mittels vorliegender Untersuchungen sollte geklärt werden, welche Auswirkungen die Bodenbearbeitung auf die vielfältigen Zönosen der Bodenmesofauna eines ackerbaulich genutzten Lößstandortes hat.

4.1 Material und Methoden

Die Erfassung der Bodenmesofauna erfolgte mit der Streubeutel- oder Litter-bag-Methode, bei der am 20.04.2006 je Variante 20 mit Streuproben gefüllte Gazebeutel (Maschenweite: 2 mm; Streu-Einwaage: ca. 20 g) oberflächennah in den Boden eingegraben wurden. Um mögliche Auswirkungen der Struktur und Zusammensetzung des Rottematerials auf die Einwanderung der Bodentiere erkennen zu können, kamen zwei Streuvarianten (Getreidestroh grob: > 5 cm / Maishäcksels fein: ca. 0,5 cm - 1 cm) zum Einsatz (Abb. 16).



Abb. 16: Streubeutel und ihre Stationierung auf der Versuchsfläche in Lüttewitz

Die Untersuchungen fanden auf dem bereits beschriebenen Schlag am Standort Lüttewitz statt. In die vergleichenden Erhebungen wurden die vier Bodenbearbeitungsvarianten einbezogen (vgl.: Kap. 3.1.2.1).

Die Streubeutel wurden nach 53, 81 und 95 Tagen Expositionszeit ausgegraben und zuerst für sechs Stunden einer Nass-Austreibung unterzogen. Diese Methode diente vor allem der Erfassung der Enchytraeidae. Anschließend erfolgte eine Trocken-Austreibung der Mesofauna in einer Tullgren-Apparatur über einen Zeitraum von 7 Tagen.

Die Determination der Bodenmesofauna erfolgte nach DUNGER & FIEDLER (1997), GRUNER, MORITZ & DUNGER (1993), HANDSCHIN (1929), KARG (1989, 1993, 1994), STRESEMANN (1967, 1992), WILCKE (1967) und WILLMANN (1931).

4.2 Ergebnisse

Einer vereinfachten Darstellung der in den Streubeutel-Versuchen aufgetretenen Mesofaunen hinsichtlich ihrer zoologischen Klassifizierung, ihrem quantitativen Anteilen am Gesamtfang und ihrer nahrungsökologischen Einordnung (Streu- und Pilzfresser / primäre und sekundäre Räuber) ist dem Schema in Abb. 17 zu entnehmen. Blau sind dabei die Gilden der Streufresser bzw. der Streuverwerter (z. T. werden nur Pilze und andere Mikroben auf der Streuoberfläche verdaut; das Streumaterial wird wieder ausgeschieden) gekennzeichnet. Die gelben Ovale enthalten Räuber, die sich überwiegend von diesen Streuzersetzern ernähren. Die Chilopoden sind polyphage Räuber, zu deren Beutespektrum prinzipiell alle eben genannten Gruppen gehören können.

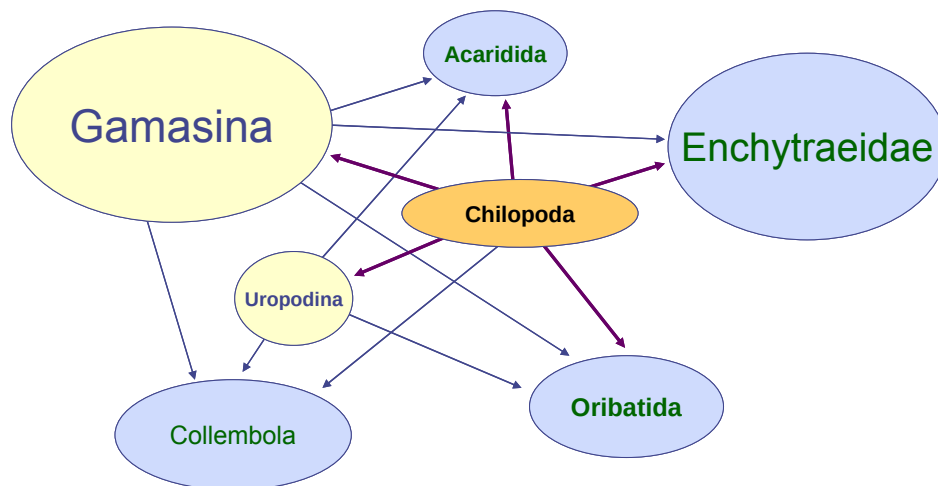


Abb. 17: Zusammensetzung der in die Streubeutel eingewanderten Mesofauna

Die zu den Streuzersetzern zählenden Enchytraeidae konnten nur durch die Nass-Austreibung erfasst werden. Beim Streuabbau spielen weiterhin Milben (Oribatida und Acaridida) sowie die Collembolen eine wichtige Rolle. Bei den Oribatida erreichten die Arten *Tectocephus velatus* und *Oppiella nova* höhere Dichten. Unter "sonstige Arthropoden" wurden hier sowohl detritophage und microphytophage Bodentiere als auch deren Gegenspieler zusammengefasst. Zu den Zersetzern zählten Dipteren, vor allem Sciariden-Larven und Diplopoden (Julidae). Die Räuber setzten sich aus Chilopoden (Lithobiidae, Geophilidae), Käfern und deren Larven (Carabidae und Staphylinidae) sowie Vertretern der Araneae, Forficulidae und Diplura (Japygidae) zusammen. Zu den Milben mit überwiegend räuberischer Lebensweise gehören die Gamasina und Uropodina. Unter den Gamasina dominierten Vertreter der Familien Rhodacaridae, Parasitidae, Ascidae, Veigaiaidae, Macrochelidae und Zerconidae.

Die Fotos in Abb. 18 zeigen einen typischen Räuber-Beute-Komplex aus der Gruppe der in allen Streubeutel-Proben dominierenden Bodenmilben.



Streuzersetzer (Oribatida: *Oppiella nova*)



Räuberische Art (Gamasina: *Veigaiidae*)

Abb. 18: Typische Vertreter der Bodenmilben im Streumaterial des Versuchsschlages in Lüttewitz (Foto: Lübke-Al Hussein)

Insgesamt betrachtet konnten die meisten Individuen am 2. Probenahmetermin, d. h. nach 81 Tagen Expositionszeit der Streubeutel, erfasst werden (Tab. 1 - Tab. 6). Dies trifft vor allem für die Enchytraeidae zu (Tab. 1). Durch die Nass-Austreibung ließen sich, neben den Enchytraeidae, in sehr geringen Zahlen auch Milben, Collembolen und andere Arthropoden nachweisen (Tab. 2, Tab. 4 - Tab. 6). In der feinen Streu fiel die Individuenzahl meist höher aus. Nach der Trocken-Austreibung lagen wie bei der Nass-Austreibung die höchsten Individuenzahlen nach 81 Tagen Expositionszeit vor (Tab. 3). Zwischen den Beuteln mit feiner und grober Streu zeigten sich an allen Terminen sehr große Differenzen hinsichtlich der Anzahl erfasster Individuen.

Tab. 1: Nass-Austreibung: Anzahl Enchytraeidae pro Variante (Pflugeinsatz = LP; Mulchsaat 1 = LM1; Mulchsaat 2 = LM2; Direktsaat = LD; feine Streu = F; grobe Streu = G)

Enchytraeidae	LP F	LM1 F	LM2 F	LD F	Σ	LP- G	LM1 G	LM2 G	LD G	Σ
Nass-Austreibung	ges.	ges.	ges.	ges.		ges.	ges.	ges.	ges.	
1. Termin (53d)	7	18	53	3	81	5	15	3	2	25
2. Termin (81d)	72	199	1398	930	2599	78	19	59	29	185
3. Termin (95d)	81	56	117	0	254	1	12	2	0	15

Tab. 2: Nass-Austreibung: Anzahl Individuen (exclusive Enchytraeidae) pro Variante
(Pflugeinsatz = LP; Mulchsaat 1 = LM1; Mulchsaat 2 = LM2; Direktsaat = LD; feine Streu = F; grobe Streu = G)

Individuen (excl. Enchytraeidae)	LP F	LM1 F	LM2 F	LD F	Σ	LP G	LM1 G	LM2 G	LD G	Σ
Nass-Austreibung	ges.	ges.	ges.	ges.		ges.	ges.	ges.	ges.	
1. Termin (53d)	40	31	58	54	183	9	16	22	9	56
2. Termin (81d)	63	53	5	8	129	11	19	29	13	72
3. Termin (95d)	41	34	36	2	113	33	88	8	3	132

Tab. 3: Trocken-Austreibung: Anzahl Individuen pro Variante (Pflugeinsatz = LP; Mulchsaat 1 = LM1; Mulchsaat 2 = LM2; Direktsaat = LD; feine Streu = F; grobe Streu = G)

Individuen	LP F	LM1 F	LM2 F	LD F	Σ	LP G	LM1 G	LM2 G	LD G	Σ
Trocken-Austreibung	ges.	ges.	ges.	ges.		ges.	ges.	ges.	ges.	
1. Termin (53d)	220	616	736	519	2091	259	320	221	274	1074
2. Termin (81d)	463	759	1146	708	3076	502	356	397	637	1892
3. Termin (95d)	409	486	1202	562	2659	317	291	324	645	1577

1. Termin:

Nass-Austreibung: Nach 53 Tagen Expositionszeit der Streubeutel konnten durch die Nass-Austreibung die meisten Individuen in der Mulchsaat 2 erfasst werden, während die anderen Varianten kaum differierten. Die separate Betrachtung der Beutel mit feiner und grober Streu zeigte, dass die feine Streu stärker besiedelt wurde, was auf das zahlreiche Vorkommen von Vertretern der Familie Enchytraeidae und Milben (Gamasina und Oribatida) zurückzuführen ist (Tab. 4). Enchytraeidae ließen sich in hoher Zahl in der Mulchsaat 2 erfassen. In dieser Variante und auch in der Direktsaat konnten die meisten Oribatida nachgewiesen werden. Bei den Gamasina lagen die niedrigsten Werte in der Mulchsaat 2 vor. In den Beuteln mit grober Streu kamen ebenfalls in der Mulchsaat 2 die meisten Oribatida vor.

Tab. 4 Nass-Austreibung: Anzahl Individuen pro Streubeutel nach 53 Tagen Expositionszeit (Pflugeinsatz = LP; Mulchsaat 1 = LM1; Mulchsaat 2 = LM2; Direktsaat = LD)

Taxon	feine Streu				grobe Streu			
	LP	LM1	LM2	LD	LP	LM1	LM2	LD
Gamasina & Uropodina	9,67	7,00	4,33	7,33	1,00	3,33	2,33	1,67
Oribatida	1,67	1,67	8,00	6,00	1,67	1,33	4,33	0,67
Acaridida	0	0	0	0	0	0	0	0
Collembola	2,00	1,00	4,33	4,33	0,33	0,67	0,33	0,33
sonstige Arthropoden	0	0,67	2,67	0,33	0	0	0,33	0,33
Enchytraeidae	2,33	6,00	17,67	1,00	1,67	5,00	1,00	0,67

Trocken-Austreibung: Die Trocken-Austreibung der Streubeutel nach 53 Tagen erbrachte eine Zunahme der Individuen pro Beutel mit sinkender Intensität der Bodenbearbeitung, vom Pflugeinsatz bis zur Mulchsaat 2 (Abb. 19).

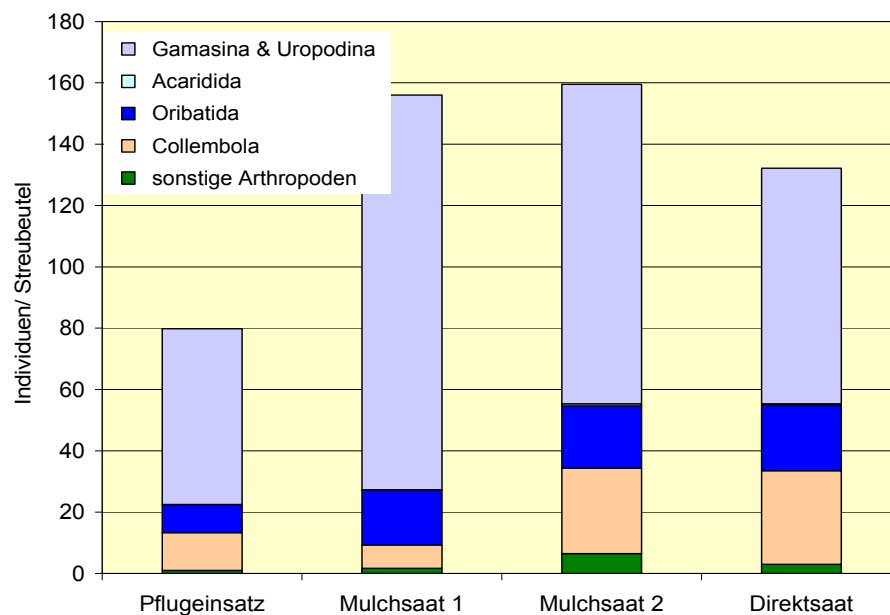


Abb. 19: Trocken-Austreibung: Anzahl Individuen pro Streubeutel im Mittel aller Litterbag-Proben nach 53 Tagen Expositionszeit

In der Direktsaat wurden nur geringfügig weniger Individuen registriert. Eine ähnliche Tendenz zeigte sich bei den Oribatida. Die Individuenzahlen fielen in der Mulchsaat 2 und der Direktsaat nahezu gleich aus. Auch bei den Collembolen zeigte sich ein Anstieg der Individuenzahl bei sinkender Intensität. Gamasina traten verstärkt in der Mulchsaat 1 auf. Die höhere Zahl an „sonstigen Arthropoden“ in der Mulchsaat 2 lässt sich auf Fliegen- und Käferlarven zurückführen.

Die separate Betrachtung der Beutel mit feiner und grober Streu erbrachte bei der feinen Streu ähnliche Tendenzen wie bei der Betrachtung der Varianten insgesamt (Abb. 20). Dies trifft auch für die Gamasina, Oribatida und Collembola zu. In der groben Streu fielen die Individuenzahlen bei den Gamasina in der Mulchsaat 1 und beim Pflugeinsatz höher aus als in den anderen Varianten. Oribatida konzentrierten sich in der groben Streu in der Mulchsaat 1 und in der Direktsaat. Im Gegensatz zur feinen Streu war in der groben Streu ein beachtlicher Anstieg der Collembolen bei sinkender Intensität der Bodenbearbeitung zu beobachten.

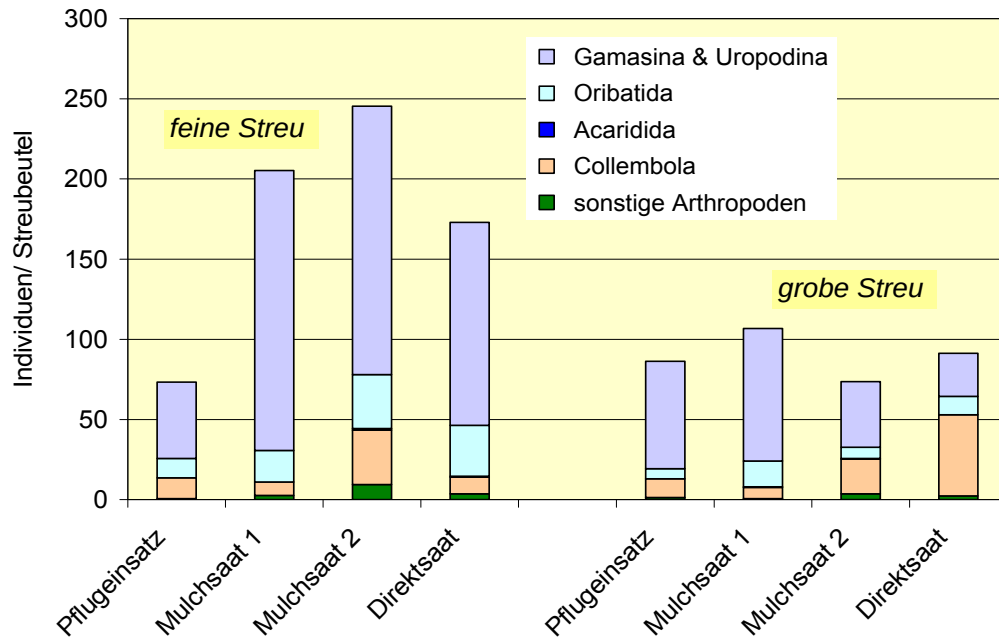


Abb. 20: Trocken-Austreibung: Anzahl Individuen pro Streubeutel nach 53 Tagen Expositionszeit – Vergleich des Streumaterials

2. Termin:

Nass-Austreibung: Nach 81 Tagen Expositionszeit der Beutel konnten mittels Nass-Austreibung wiederum in den Streubeuteln mit feiner Streu die meisten Individuen erfasst werden (Tab. 5). Vertreter der Familie Enchytraeidae waren in diesen Beuteln häufiger. Die höchsten Individuenzahlen lagen in der Mulchsaat 2 und der Direktsaat vor. Die relativ hohen Fangzahlen der „sonstigen Arthropoden“ in den Varianten Pflugeinsatz und Mulchsaat 1 sind fast ausschließlich auf Larven der Familie Sciaridae (Diptera) zurückzuführen.

Tab. 5: Nass-Austreibung: Anzahl Individuen pro Streubeutel nach 81 Tagen Expositionszeit (Pflugeinsatz = LP; Mulchsaat 1 = LM1; Mulchsaat 2 = LM2; Direktsaat = LD)

Taxon	feine Streu				grobe Streu			
	LP	LM1	LM2	LD	LP	LM1	LM2	LD
Gamasina & Uropodina	1,33	1,67	0	0,67	0,33	1,33	0,67	0,67
Oribatida	0,67	1,33	0,67	0	0,33	1,33	1,33	1,00
Acaridida	1,33	1,00	0,33	0	0,33	1,67	1,00	1,33
Collembola	0	0,67	0,33	1,00	2,33	0,67	4,67	0,67
sonstige Arthropoden	17,67	13,0	0,33	1,00	0,33	1,33	2,00	0,67
Enchytraeidae	24,00	66,33	466,0	310,0	26,00	6,33	19,67	9,67

Trocken-Austreibung: Insgesamt betrachtet ließen sich nach 81 Tagen Expositionszeit die meisten Individuen in der Variante Mulchsaat 2, gefolgt von der Direktsaat erfassen (Abb. 21).

Bei der getrennten Betrachtung der Beutel mit feiner bzw. grober Streu zeigte sich bei der feinen Streu eine ähnliche Tendenz (Abb. 22). In der Variante Mulchsaat 2 ließen sich die meisten Gamasina nachweisen. Bei den Oribatida und Acaridida stieg die Anzahl pro Beutel mit sinkender Intensität der Bodenbearbeitung an. Collembolen erreichten die höchsten Werte in der Mulchsaat 2, die niedrigsten in der Direktsaat. Die Resultate der Beutel mit grober Streu fielen anders aus. Bei den Gamasina konnten im Gegensatz zur feinen Streu in den Mulchsaat-Varianten die wenigsten Individuen erfasst werden. Bei den Oribatida zeigten sich nur geringe Differenzen zwischen den Varianten. Acaridida waren in der Direktsaat, gefolgt von Mulchsaat 1 am häufigsten. Bei den Collembolen ließen sich zwischen den Varianten nur geringe Differenzen verzeichnen. Die meisten Tiere traten in der Direktsaat auf.

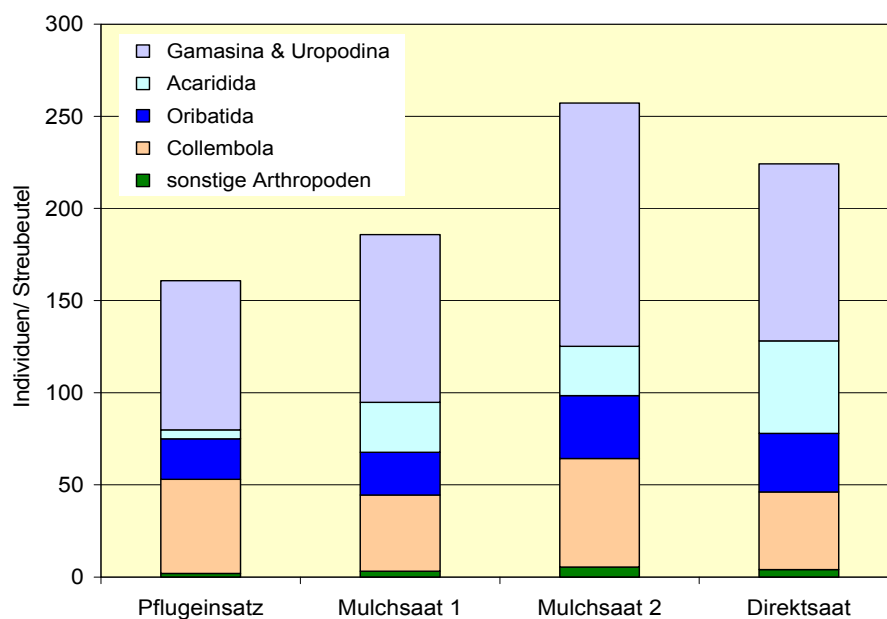


Abb. 21: Trocken-Austreibung: Anzahl Individuen pro Streubeutel im Mittel aller Litterbag-Proben nach 81 Tagen Expositionszeit

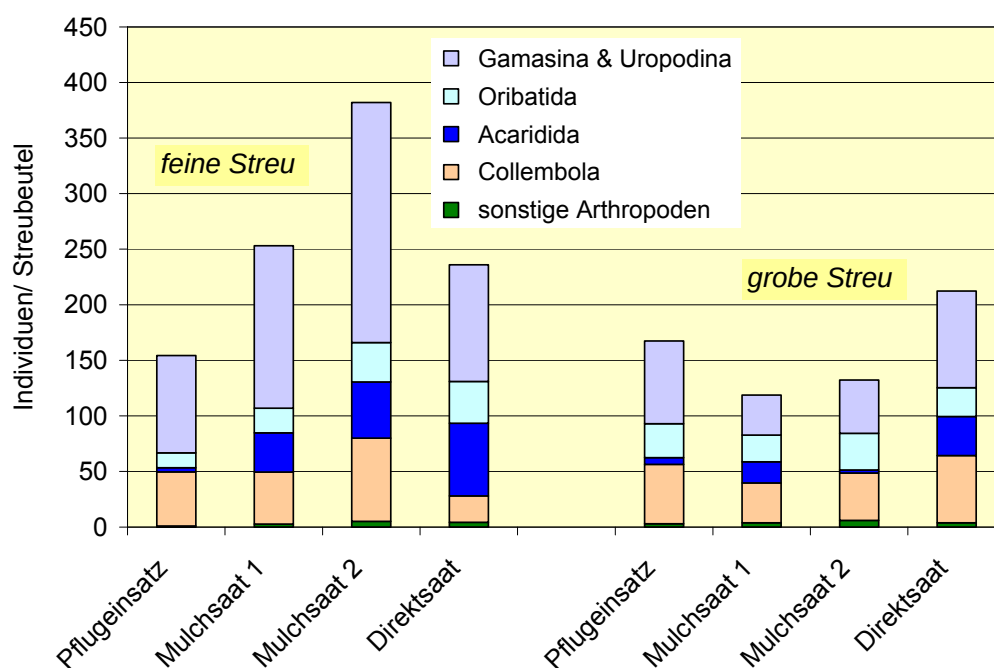


Abb. 22: Trocken-Austreibung: Anzahl Individuen pro Streubeutel nach 81 Tagen Expositionszeit – Vergleich des Streumaterials

3. Termin:

Nass-Austreibung: Nach 95 Tagen Expositionszeit konnten insgesamt betrachtet nur sehr wenige Individuen in der Variante Direktsaat erfasst werden. Die Anzahl der Individuen in den anderen Varianten differierte nur wenig. Die getrennte Analyse der Beutel mit feiner und grober Streu zeigte, dass in der feinen Streu insgesamt mehr Individuen vorkamen (Tab. 6). Die Enchytraeidae reagierten auf die sinkende Intensität der Bodenbearbeitung positiv (Pflugeinsatz bis Mulchsaat 2), fehlten aber in der Direktsaat-Variante. In der groben Streu konnten die meisten Individuen in der Mulchsaat 1 erfasst werden, was auf die hohe Anzahl der Acaridida zurückgeführt werden kann.

Tab. 6: Nass-Austreibung: Anzahl Individuen pro Streubeutel nach 95 Tagen Expositionszeit (Pflugeinsatz = LP; Mulchsaat 1 = LM1; Mulchsaat 2 = LM2; Direktsaat = LD)

Taxon	feine Streu				grobe Streu			
	LP	LM1	LM2	LD	LP	LM1	LM2	LD
Gamasina & Uropodina	7,00	5,00	5,33	0	4,00	2,67	0,33	0,67
Oribatida	2,33	2,67	2,33	0	1,67	4,00	1,33	0
Acaridida	2,33	3,33	1,33	0	2,00	18,33	1,00	0
Collembola	2,00	0	1,33	0,33	2,67	4,33	0	0,33
sonstige Arthropoden	0	0,33	1,67	0,33	0,67	0	0	0
Enchytraeidae	27,00	18,67	39,00	0	0,33	4,00	0,67	0

Trocken-Austreibung: Die Trocken-Austreibung nach 95 Tagen Expositionszeit erbrachte die höchsten Individuenzahlen pro Streubeutel in der Mulchsaat 2 und in der Direktsaat (Abb. 23). Bei den Acaridida war eine Zunahme der Individuen pro Beutel bei sinkender Intensität der Bodenbearbeitung zu verzeichnen. Bei den Gamasina lag bis zur Mulchsaat 2 eine analoge Tendenz vor. Am Beispiel der Oribatida und Collembola ließen sich keine eindeutigen Aussagen ableiten.

Die getrennte Auswertung der feinen und groben Streu lieferte unterschiedliche Resultate (Abb. 24). In der feinen Streu war eine Zunahme der Anzahl Individuen pro Beutel bis zur Mulchsaat 2 zu verzeichnen. Die Werte aus der Direktsaat fielen wesentlich niedriger aus. Ein Anstieg der Individuen pro Beutel bei sinkender Intensität der Bodenbearbeitung war bei den Oribatida und Acaridida zu verzeichnen. Bei den Gamasina und Collembola ließ sich dieser Trend nur bis zur Mulchsaat 2 beobachten. In den Beuteln mit grober Streu fiel die Anzahl Individuen pro Beutel in der Direktsaat nahezu doppelt so hoch wie in den anderen Varianten aus. Ein Anstieg der Individuen pro Beutel bei sinkender Intensität der Bodenbearbeitung konnte bei den Gamasina und Collembola, z.T. auch Acaridida registriert werden. Oribatida erreichten in der groben Streu die höchsten Werte nach Pflugeinsatz.

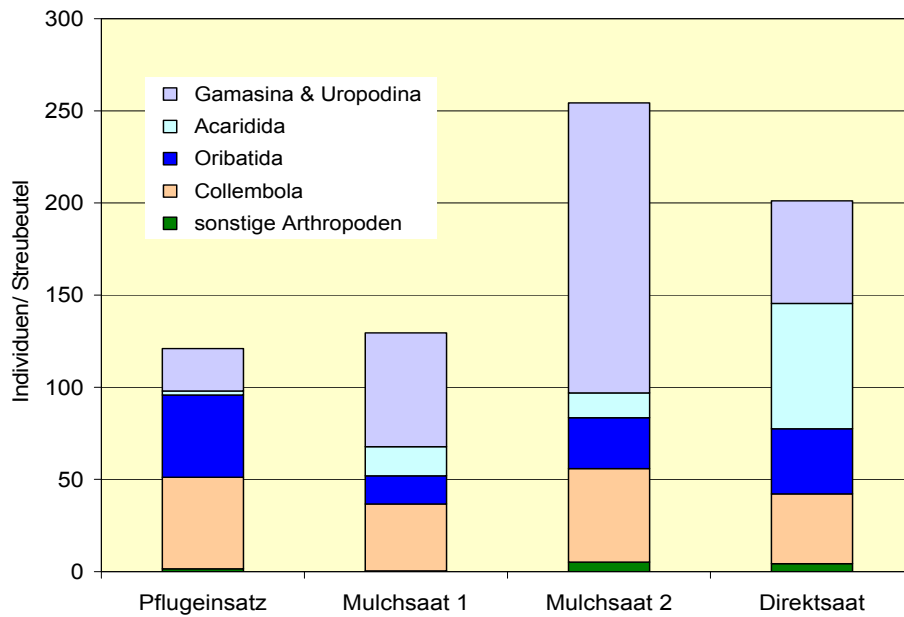


Abb. 23: Trocken-Austreibung: Anzahl Individuen pro Streubeutel im Mittel aller Litterbag-Proben nach 95 Tagen Expositionszeit

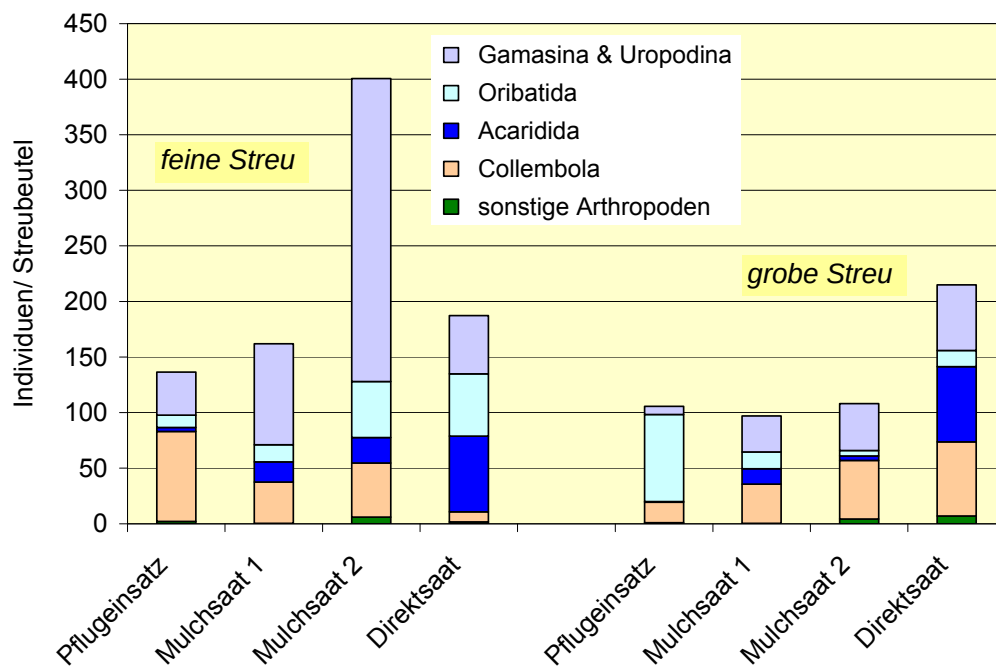


Abb. 24: Trocken-Austreibung: Anzahl Individuen pro Streubeutel nach 95 Tagen Expositionszeit – Vergleich des Streumaterials

4.3 Diskussion

Die Untersuchungen haben eindeutig gezeigt, dass der dauerhafte Pflugverzicht einen deutlichen positiven Effekt auf die Besiedlung der Streubeutel hatte. Dabei spielte der Verzicht auf die Bodenwendung die Hauptrolle. Eine weitere Reduzierung der Bearbeitung bis hin zur Direktsaat korreliert nicht zwangsläufig mit den genannten Effekten. Ähnliche Effekte beschreiben NITZSCHE et al. (2004) sowie KREUTER & NITZSCHE (2005) am Beispiel von Regenwürmern, Raubarthropoden und bodenbiologischen Leistungsparametern.

Die Einflüsse einzelner Umweltfaktoren, die Wirkung des Ausschlusses der Bodenfauna vom Streuabbau sowie die Bedeutung der Streugröße für den Rotteprozess wurden bereits im Kap. 3.3 diskutiert. Bei vorliegenden Untersuchungen spielten die Witterungsbedingungen eine entscheidende Rolle für die Zusammensetzung der Fauna in den Streubeuteln. Dies zeigte sich besonders bei den Enchytraeidae.

Hinsichtlich der Zusammensetzung der streubesiedelnden Fauna stellte SIEDENTOP (1995) fest, dass die Maschenweite und der Feuchtigkeitsgehalt der Streubeutel nicht nur direkte Einflüsse auf die Struktur der einwandernden Zoozönose haben. Ebenso bedeutend ist der Effekt auf die mikrobielle Besiedlung, die dann wiederum auf die Zuwanderung und Reproduktion weiterer Zersetzergruppen wirkt.

Einen ebenfalls großen Effekt auf die letztendlich nachzuweisende Struktur der Bodenmesofauna hat auch die Methode der Austreibung der Tiere aus den Streuproben. Enchytraeidae konnten z. B. nur durch Nass-Austreibung nachgewiesen werden. Andere Tiergruppen, wie Milben und Collembolen, wurden durch diese Methode nur in geringem Umfang erfasst. Die unter der Erdoberfläche lebenden Streuzersetzer und ihre Gegenspieler wandern bei Hitze und Trockenheit in tiefere Bodenschichten ab, d. h. sie könnten die Streubeutel wieder verlassen haben. Dadurch lassen sich die am 3. Termin (nach 95 Tagen Expositionszeit) im Vergleich zum 2. Termin geringeren Individuenzahlen erklären. Auf dem Verhalten der Tiere, Abwanderung in kühlere, feuchtere Bodenschichten, beruht die Trocken-Austreibung (Tullgren-Apparatur).

Wie auch für die Rottedynamik beschrieben, hat letztlich der Faktor Streugröße einen entscheidenden Einfluss auf die Zusammensetzung der Mesofauna in den Proben. Die in Kap. 3.2 beschriebenen, vergleichsweise großen Differenzen hinsichtlich der Streuabbau-Raten resultierten offensichtlich vor allem aus quantitativen Merkmalen. Feine Streu wurde in allen Varianten stärker besiedelt. In Bezug auf die qualitativen Parameter fällt eher der signifikant größere Anteil an räuberisch lebenden Gamasina in der feinen Streu ins Gewicht. Im gröberen Material dominierten dagegen die überwiegend als Zersetzer bekannten Gruppen. Es sei diesbezüglich nochmals auf die umfangreiche Diskussion zur Thematik Streuabbau (Kap. 3.3) verwiesen.

5 Zur Bedeutung von Laufkäfern als Antagonisten und Regulative von Ackerschnecken

Bodenbürtige Schädlinge (z. B. Ackerschnecken) stellen im pfluglosen Ackerbau im Einzeljahr ein Problem dar, da sie durch die veränderten Bedingungen in der Oberkrume und an der Bodenoberfläche gefördert werden. Mehrjährige Untersuchungen auf sächsischen Lößstandorten weisen andererseits darauf hin, dass ein konsequenter Pflugverzicht auch zur Förderung regulativ wirkender Raubarthropoden geführt hat (KREUTER & NITZSCHE 2005). Erhebungen auf zwei Schlägen im sächsischen Lößgürtel ergaben z. B. hochsignifikant größere Aktivitätsdichten der Laufkäferarten *Carabus auratus* (Goldlaufkäfer) und *C. cancellatus* auf allen Mulch- und Direktsaat-Flächen im Vergleich zu den Pflugvarianten. Auch *C. coriaceus* kommt regional als Ackerart vor und kann durch pfluglose Bodenbearbeitung gefördert werden. Der Verzehr von Schnecken der Art *Deroceras reticulatum* durch alle genannten Spezies dieser Gattung konnte in eigenen Fütterungsversuchen nachgewiesen werden. Unter der Voraussetzung sehr hoher Aktivitätsdichten, wie sie seit 2002 bei reduzierter Bodenbearbeitung insbesondere für den Goldlaufkäfer (*C. auratus*) festgestellt werden (KREUTER 2004, KREUTER & NITZSCHE 2005), findet offensichtlich eine effektive Regulation der Ackerschnecken statt. So traten auf allen Schlägen mit nachweislich starken *Carabus*-Populationen bislang keine Schneckenprobleme auf. Dies gilt auch für typische Befallsjahre (z. B. für das Jahr 2005). Zur Prüfung dieser hypothetischen Zusammenhänge erfolgte ein Versuchsprogramm im mittelsächsischen Lößhügelland. Untersucht wurden die Aktivitätsdichtedynamik von *C. auratus* und der Schneckenbesatz bei variierter Bodenbearbeitung sowie die Quantität des Schneckenfraßes bei gegebenen Schnecken- und Laufkäferdichten.

5.1 Material und Methoden

5.1.1 Untersuchungsmethoden

Bodenfallen zur Schätzung der *Carabus*-Aktivitätsdichten:

Die Erfassung der Laufkäfer erfolgte mittels modifizierter Bodenfallen nach Barber. Der Arthropodenfang mit diesem Fallentyp gehört zu den meistgenutzten Erfassungsmethoden der angewandten Entomologie, obwohl die Methode kontrovers diskutiert wird. Ausführliche Beschreibungen zur Bodenfalle finden sich z. B. bei TRETZEL (1955) und SPRICK (1991). Die eingesetzten zylindrischen Fangbecher hatten einen Durchmesser von 11 cm. Als Fangflüssigkeit diente Ethylenglykol. Die Aufbewahrung der Tiere bis zur Determination erfolgte in Methylalkohol. Die statistische Prüfung von Fangdifferenzen erfolgte mit dem U-Test ($\alpha \leq 0,05$).

Gemessen wird mit dieser Methode die Aktivitätsdichte, die durch Abundanz und Laufaktivität oberflächenaktiver Arten bestimmt wird. Siedlungsdichten können nicht ermittelt und wohl auch nicht annähernd abgeleitet werden. Quantitative Trends sind aber durchaus formulierbar. So sind extrem hohe Aktivitätsdichten über längere Zeiträume auch auf relativ große Dichten zurückzuführen.

Gerade für angewandte ökologische Feldstudien stellt die Aktivitätsdichte ein geeignetes Maß für die Präsenz einer Art oder Artengruppe im Ökosystem dar. Die regulative Funktion eines laufaktiven Nützlings kann z. B. über seine Aktivitätsdichte vermutlich besser charakterisiert werden, als über absolute Abundanzwerte.

Köderfallen zur Schätzung des Auftretens von Ackerschnecken:

Die Erfassungsmethodik – Einsatz von Köderfallen – folgte weitgehend den Vorschlägen der UFOP zur Kontrolle von Schadschnecken auf Ackerflächen. Hierzu wurden zu geeigneten Kontrollterminen (feuchte Witterungsperioden, zumindest aber eine feucht erscheinende Bodenoberfläche) auf jeder der vier Bodenbearbeitungsvarianten neun Blumentopfuntersetzer (Durchmesser: 24 cm) aus Kunststoff ausgelegt. Die Versuchsanordnung ist dem folgenden Kap. 5.1.2 zu entnehmen. Unter jedem Untersetzer wurden ca. 3 g Schneckenkorn auf Metaldehyd-Basis (Metarex) in einem Radius von 7 cm - 8 cm um das Zentrum des Untersetzers ausgebracht. Diese Fallen wurden am Nachmittag auf den feuchten Boden gestülpt. Am darauf folgenden Tag wurden die Fallen und die Bodenoberfläche unter den Fallen sowie die Untersetzer selbst auf Schnecken abgesucht.

Enclosure-Exclusion-Test zur Schätzung des Schneckenfraßes durch Laufkäfer:

Die Prüfung der Hypothese, dass hohe *Carabus*-Aktivitätsdichten zu einer nachweislichen Regulation von Ackerschnecken führen können, erfolgte in einem Semifeldversuch mit dem sogenannten Enclosure-Exclusion-Test (einfache Ein- bzw. Ausschlussmethode).

Dabei werden definierte *Deroceras*- und Laufkäferpopulationen (*Carabus* spp. und *Pterostichus melanarius*) auf dem Feld in Käfige eingesetzt bzw. aus diesen ausgeschlossen. Das Ziel ist die Ermittlung von Effekten der An- bzw. Abwesenheit der Räuber auf die Ackerschnecken. Die im vorliegenden Versuch eingesetzten Käfige bestanden aus rechteckigen, 45 cm hohen Aluminiumrahmen mit einem Flächeninhalt von jeweils 1 m² (Abb. 25). Diese wurden ca. 10 cm tief in den Ackerboden eingegraben und auf der Innenseite mit einer repellenten öligen Flüssigkeit (Wirkung im Labor getestet) gegen ein Entweichen der Nacktschnecken präpariert.



Abb. 25: Aluminium-Rahmen (Flächeninhalt: 1 m²) für den Enclosure-Exclusion-Test

Als geeigneter Feldbereich zur Installation des Versuches wurde eine feuchte Senke im Bereich der Direktsaat-Variante des Lüttewitzer Schlages ausgewählt. Insgesamt konnten 18 Rahmen installiert werden (Abb. 26). Vor jedem Versuchstermin wurden alle Nacktschnecken und Laufkäfer möglichst vollständig aus den Käfigen entfernt (Leerfang), um anschließend definierte Populationen etablieren zu können. Der Schneckenbesatz erfolgte ausschließlich mit mittelgroßen (ca. 0,5 cm - 1,5 cm) und großen ($> 1,5$ cm) Individuen der Gattung *Deroceras*, um vergleichbare Populationen in den m²-Rahmen zu erzeugen. Maximal 18 Käfige wurden auf diese Weise mit Ackerschnecken bestückt. Standen zu wenig Lebendfänge zur Verfügung, reduzierte sich die Anzahl der besetzten Kästen. Um die regulative Wirkung der Laufkäfer zu testen, wurden anschließend in der Hälfte der jeweils mit Schnecken bestückten Käfige potenzielle Schneckenantagonisten (meist die Art *Carabus auratus*, teilweise ergänzt durch andere *Carabus*-Spezies und *Pterostichus melanarius*) ausgesetzt. Nach jeweils 14 Tagen erfolgte der Rückfang der Schnecken mittels Köderfallen. Die genauen Angaben zum Schnecken und Laufkäferbesatz in den m²-Rahmen sind im Ergebnisteil (Kap. 5.1.2) aufgeführt. Die statistische Prüfung erfolgte mit dem t-Test ($\alpha \leq 0,05$).



Abb. 26: Enclosure-Exclusion-Test zur Schätzung des Schneckenfraßes durch Laufkäfer auf der Direktsaat-Fläche in Lüttewitz

5.1.2 Untersuchungsgebiet und Versuchsaufbau

Die Untersuchungen erfolgten am Standort Lüttewitz auf demselben Winterweizenschlag, auf dem auch die Versuche zum Streuabbau und zur Fraßaktivität der Bodenmesofauna durchgeführt wurden (vgl.: Kap. 3.1.2.1). In den Vorjahren (2002-2004) waren u. a. auf den pfluglos bearbeiteten Varianten dieser Ackerfläche die beschriebenen hohen Aktivitätsdichten des Goldlaufkäfers nachgewiesen worden (KREUTER & NITZSCHE 2005).

Auf den vier Bodenbearbeitungsvarianten wurden von April bis Juli 2006 jeweils sechs Barberfallen und zu geeigneten Zeitpunkten neun Köderfallen etabliert, um Laufkäfer und Ackerschnecken zu erfassen.

Auf der Direktsaat-Fläche (LD) erfolgte, wie bereits beschrieben, die Installation der Aluminiumrahmen zur Quantifizierung der Regulationsleistung schneckenfressender Laufkäfer. Ein Überblick über den Versuchsaufbau wird in Abb. 27 (Boden- und Köderfallenversuche) sowie in Abb. 28 (Enclosure-Exclusion -Test) gegeben.

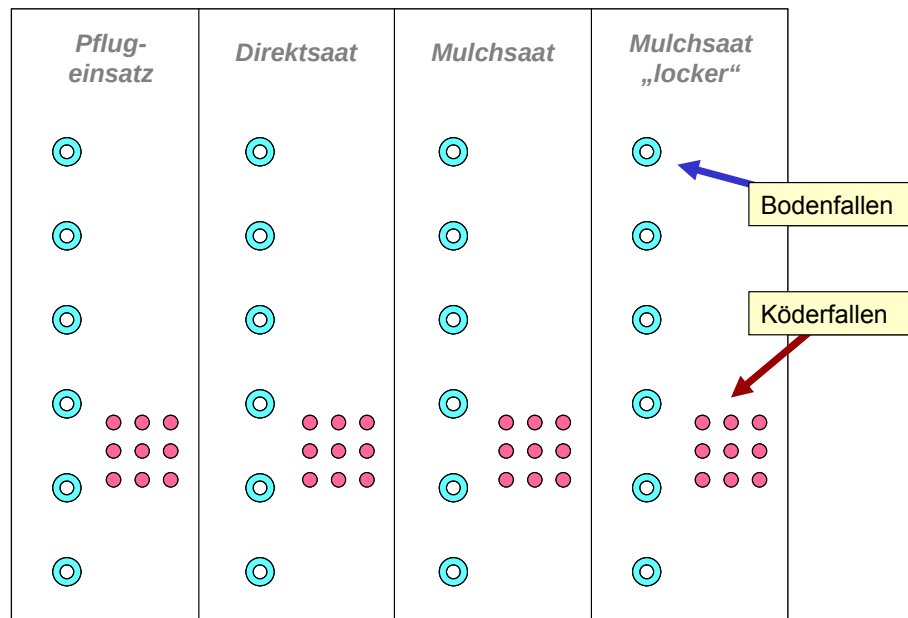


Abb. 27: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Aktivitätsdichte und des Auftretens von Goldlaufkäfern und Ackerschnecken

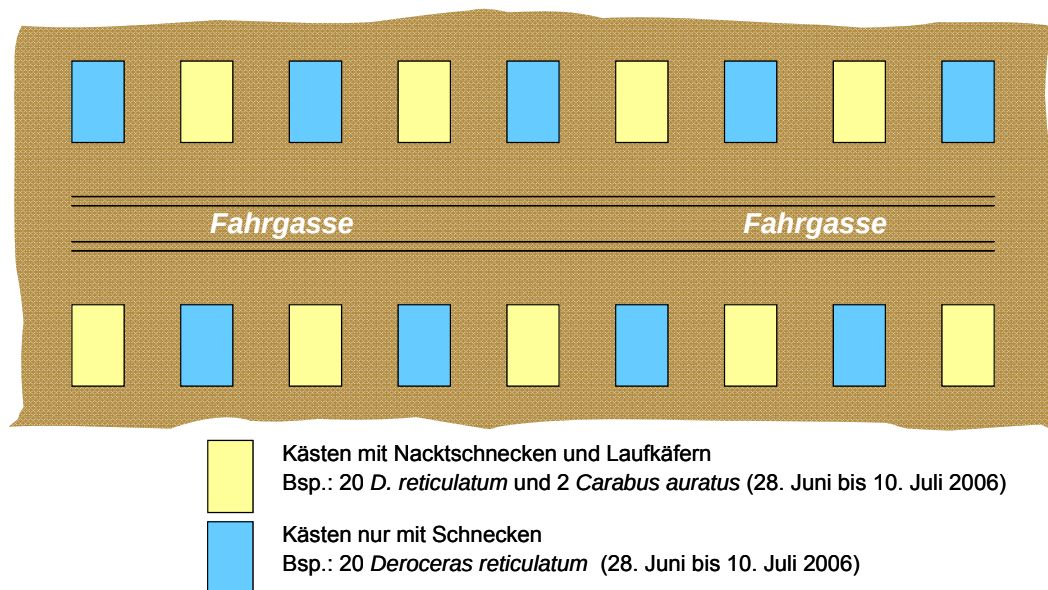


Abb. 28: Versuchsaufbau zur Ermittlung der regulativen Leistung von Laufkäfern als Schneckenantagonisten (Enclosure-Exclusion-Test)

Die in den Ergebnissen aufgeführten Referenzwerte zum Schnekenauftreten bei fehlendem Räuberdruck durch *Carabus*-Arten wurden auf Direktsaat-Flächen am Standort Oberwinkel (Waldenburg) erhoben. Auch die Lebendfänge von *Deroceras*-Arten für die Käfigversuche erfolgten durch Einsammeln auf schneckenreichen Direktsaat-Flächen am Standort Oberwinkel

Methodenvergleich zur Erfassung von Ackerschnecken

Analog zum Vorgehen der UFOP (Schneckenprojekt 2004) erfolgte auf Direktsaat-Flächen am Standort Oberwinkel ein Methodenvergleich zwischen dem herkömmlichen Köderfang mit Metarex-Schneckenkorn (wie oben beschrieben) und einer direkten Abundanzbestimmung durch Entnahme von Bodenproben und anschließender Flotation. Die Versuchsreihen wurden möglichst bei feuchter Witterung bzw. bei einer augenscheinlich feuchten Bodenoberfläche durchgeführt. Die Bodenentnahme erfolgte mit einem Spaten. Jeder Aushub (ca. 18×18 cm bei 20 cm Bodentiefe) wurde in einen Plastikeimer überführt. Nach der Abdeckung dieser Proben mit Kohlrabischeiben wurde der Eimer in einem abgedunkelten, ca. 18°C warmen Raum über drei Tage hinweg schrittweise (bis zur nahezu völligen Überflutung der Probe) mit Wasser aufgefüllt.

Die nach oben entweichenden Schnecken wurden täglich von den Kohlrabischeiben sowie von den Wänden und Deckeln der Eimer abgesammelt. Durch den Vergleich der so ermittelten Fangzahlen mit Werten aus den Köderfallen sollten Aussagen getroffen werden, ob feste Zusammenhänge zwischen den Erfassungsleistungen beider Methoden existieren.

Insgesamt konnten in den Jahren 2005 und 2006 diesbezüglich sechs Versuchsreihen mit jeweils zwölf Wiederholungen jeder Methode durchgeführt werden. Die Ergebnisse aus diesem Methodenvergleich verdeutlichen, dass generell keine Beziehungen zwischen den Fangzahlen aus Köderfallen und Bodenproben bestanden (Abb. 29). Bei offensichtlich starkem Befall (im Juli und im September 2005) wurde in den Köderfallen teilweise ein Vielfaches der Individuen erfasst, die sich zum gleichen Zeitpunkt in den Bodenproben nachweisen lassen. In der Mehrzahl der Fälle (bei augenscheinlich geringem oder mäßigem Schneckenbefall) ließen sich in den Bodenproben deutlich mehr Schnecken nachweisen als durch Köderfallen. Die extremen Differenzen zeigen, wie schwierig die Einschätzung der Gefahr von Schneckenschäden in der Praxis ist. Witterung und Bodenklima haben starke Effekte auf die Aktivität. Der Rückzug der Ackerschnecken in größere Bodentiefen (z. B. in den Gängen tiefgrabender Regenwürmer) sowie lange Dormanzperioden erschweren Abundanzbestimmungen und Prognosen zum Auftreten oder zur Schadwirkung zusätzlich. Ein drittes Problem ist die offensichtliche Inhomogenität der Schneckenpopulation (sowohl Struktur als auch Verteilung) auf den Flächen, die sich auch in einer extrem hohen Streuung der Werte innerhalb eines Datensatzes widerspiegelt.

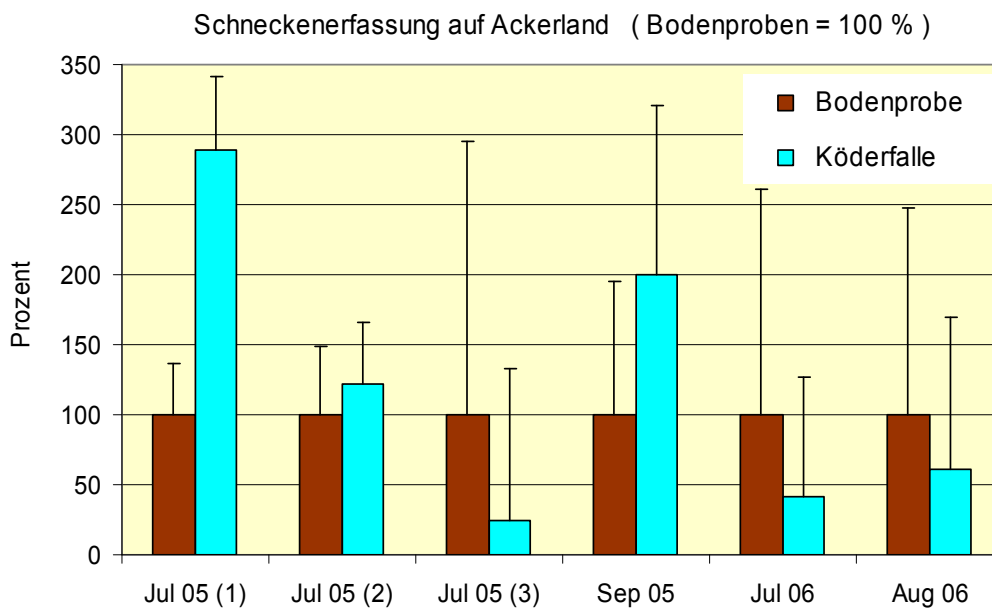


Abb. 29: Nachweis von Ackerschnecken mittels Köderfalle im Vergleich zu einer direkten Abundanzschätzung auf Basis von Bodenproben

Der Methodenvergleich zeigt auch, dass die einfachen und wenig aufwändigen Köderfangmethoden für praktische Erwägungen ausreichen, da die Aktivität der Schnecken für eventuelle Schäden ausschlaggebender ist als Abundanzwerte. Für langfristige Bestrebungen, Schneckenprobleme durch integrierte acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen auszuschalten, wären verlässliche Angaben zur tatsächlichen Siedlungsdichte allerdings wünschenswert. Bislang gibt es dafür keine praktikable Feldmethode.

5.2 Ergebnisse

Die bei pflugloser Bearbeitung und besonders auf Direktsaat-Flächen immer wieder auftretenden Probleme durch Ackerschnecken einerseits, neueste Untersuchungsergebnisse zur starken Zunahmen der potenziell schneckenfressenden Art *Carabus auratus* L. (Goldlaufkäfer) auf solchen Flächen andererseits (KREUTER & NITZSCHE 2005) zeigen auf, dass sowohl der Schädling als auch dessen Gegenspieler durch den dauerhaften Pflugverzicht eine deutliche Förderung erfahren. Allerdings ist der Goldlaufkäfer ein polyphager Räuber, der Schnecken zwar angreift, aber sie - schon auf Grund ihrer Schleimproduktion - als Beute keineswegs präferiert. Außerdem können sich die Schnecken gerade bei konservierender Bodenbearbeitung in das tiefreichende biogene Makroporensystem des Bodens zurückziehen, wo sie für die größeren Schneckenantagonisten nicht mehr erreichbar sind (SYMONDSON 1993; ARMTHWORTH et al. 2003). Durch die zweijährigen Versuche am Standort Lüttewitz sollte geklärt werden, ob und inwieweit von der vorhandenen Population des Goldlaufkäfers eine regulative Wirkung auf die *Deroceras*-Aktivität bzw. Population ausgeht. Dazu wurden vergleichende Untersuchungen zur Aktivitäts- bzw. Abundanzdynamik der Antagonisten mit einem Quantifizierungsversuch zur tatsächlichen Fraßleistung der Laufkäfer kombiniert.

5.2.1 Zur Aktivitätsdichte des Goldlaufkäfers und zum Auftreten von Ackerschnecken

Versuchsperiode 2005: Im Jahr 2005 nahm die Populations- und Aktivitätsdynamik des Goldlaufkäfers auf dem Lüttewitzer Schlag einen typischen Verlauf (Abb. 30, oberes Bild). Die im Frühjahr und Sommer aktive Art wurde erwartungsgemäß durch die pfluglosen Verfahren signifikant gefördert. Analog zu den Vorjahren wurden auf den Mulch- und Direktsaat-Varianten hohe Fangzahlen in den Barberfallen erreicht (vgl. KREUTER & NITZSCHE 2005). Das im Juni gemessene Maximum der durchschnittlichen Aktivitätsdichte betrug etwa ein Individuum pro Tag und Bodenfalle. Im gleichen Zeitraum blieb zumindest die aktive Ackerschneckenpopulation auch auf den pfluglos bearbeiteten Varianten relativ gering (Abb. 30; unteres Bild). Dies ist insbesondere für die regenreichen Perioden (z. B. Ende April und erste Maidekade) bemerkenswert, da in diesem Zeitpunkt durchaus günstige Bedingungen für eine vermehrte Aktivität herrschten (vgl. Entwicklung in Oberwinkel; Abb. 31).

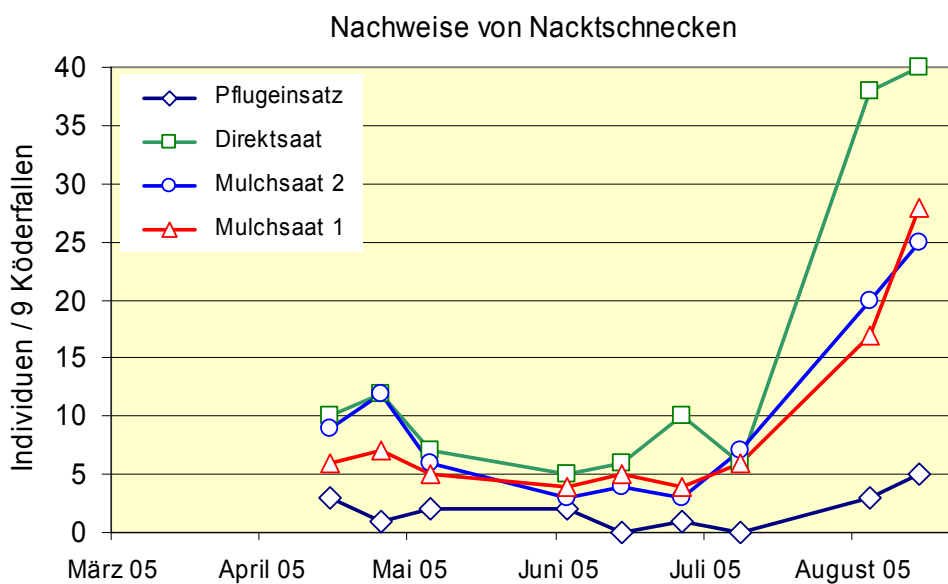
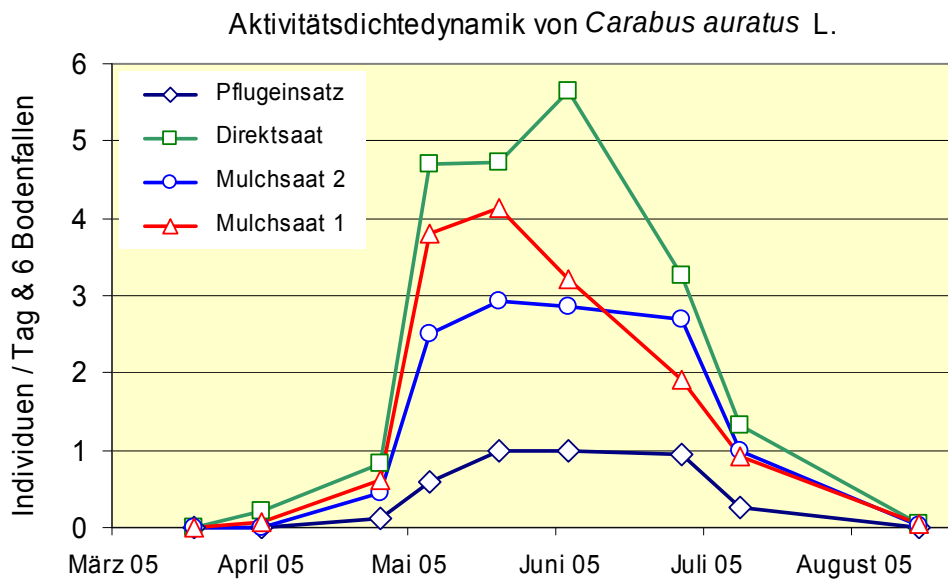


Abb. 30: Aktivitätsdichtedynamik des Goldlaufkäfers (oberes Bild) und Nachweise von Ackerschnecken (unteres Bild) in Lüttewitz im Jahr 2005

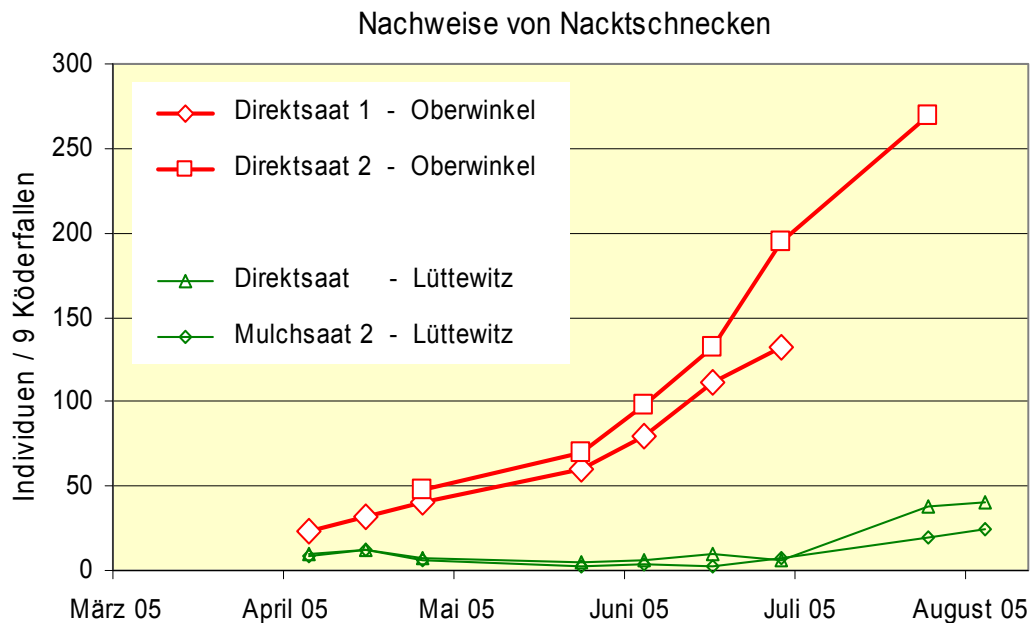


Abb. 31: Vergleich der Nacktschnecken-Situation am Standort Lüttewitz mit Direktsaat-flächen am Standort Oberwinkel

Zwischen der Aktivitätsdichte-Kurve der Goldlaufkäfer und dem Auftreten von *Deroceras*-Individuen in den Köderfallen bestand auf den Mulch- und Direktsaat-Varianten eine ausgeprägte negative Korrelation. Je höher die Ausgangswerte des Schneckenbefalls im Frühjahr waren, umso deutlicher trat diese negative Kopplung hervor. So wurde für die Pflugvariante (LP) schon auf Grund minimaler Schneckennachweise nur ein Korrelationskoeffizient von $r = -0,35$ und damit keine deutlichen Zusammenhänge zwischen den Datensätzen ermittelt. Bei Mulchsaat mit zusätzlicher Lockerung (LM1) ließ sich mit $r = -0,69$ eine wesentlich stärkere Korrelation feststellen. Die Varianten mit den zahlreichsten Schneckennachweisen im Frühjahr erreichten Korrelationskoeffizienten von $r = -0,78$ (Direktsaat = LD) bzw. $r = -0,83$ (Mulchsaat = LM2).

Letztendlich war die bereits vermutete und in dieser Versuchsreihe ersichtliche negative Korrelation zwischen *Carabus*- und *Deroceras*-Auftreten der Ausgangspunkt für den Versuch einer Quantifizierung der Regulationsleistung der Laufkäfer durch ein Ausschlussverfahren (siehe Kap. 5.2.2). Der Anstieg der Schneckenaktivität im Herbst 2005 blieb, vor allem auf Grund der geringen Ausgangswerte, vergleichsweise moderat.

Versuchsperiode 2006: Auch im Jahr 2006 führte der konsequente Pflugverzicht zu einer hochsignifikanten Förderung des Goldlaufkäfers (Abb. 32; oben). Die Aktivitätsdichte stieg auf den Mulch- und Direktsaat-Flächen im späten Frühjahr nur langsam an und erreichte im Juni mit ein bis zwei Individuen pro Tag und Falle einen vorläufigen Höhepunkt. Der anschließende Rückgang der Individuenzahlen in den Fallen deutete den bei dieser Art zu erwartenden sommerlichen Rückgang der Aktivität an. Umso überraschender war der darauf folgende extreme Anstieg der Fangzahlen. In der mittleren Juli-Dekade wurden durchschnittlich vier Goldlaufkäfer pro Tag und Falle erfasst. Danach erfolgte ein rascher Einbruch der Aktivitätsdichtewerte. Die Nachweise von Ackerschnecken der Gattung *Deroceras* blieben im Jahr 2006 auf den pfluglos bearbeiteten Varianten generell noch unter dem Niveau des Vorjahres (Abb. 32; unten).

Bis zum Sommer waren die in den Köderfallen gemessenen Aktivitäten ungeachtet der schneckenfördernden feuchtwarmen Witterung, äußerst gering. Der starke Anstieg im Sommer führte durch diesen niedrigen Ausgangsbefall ebenfalls nur zu moderaten Fangzahlen. Im Spätsommer und Herbst kam es dann, sicherlich unterstützt durch längere trocken-warme Witterungsabschnitte, zu einem starken Rückgang der Fangzahlen bis auf das im Frühjahr festgestellte geringe Ausgangsniveau. Auch hinsichtlich dieser Versuchsreihe ist zumindest im Frühjahr und Sommer ein starker regulierender Effekt der massenhaft auftretenden Goldlaufkäfer auf die Ackerschneckenpopulation der pfluglos bearbeiteten Flächen wahrscheinlich. Eine negative Korrelation bestand zwar nicht, die Fangzahlen vom Sommer weisen aber auf eine nachhaltige Störung der sich abzeichnenden Schneckengradation bei gleichzeitig extrem hohen Laufkäferdichten hin. Der entscheidende Impuls dafür könnte im sehr heißen Juli 2006 natürlich auch von der Witterung ausgegangen sein. Gegen letztere Möglichkeit spricht allerdings die Tatsache, dass gerade am Standort Lüttewitz mehrere Niederschlagsereignisse in diesem Zeitraum zu eher feuchtwarmen Bedingungen an der Bodenoberfläche führten.

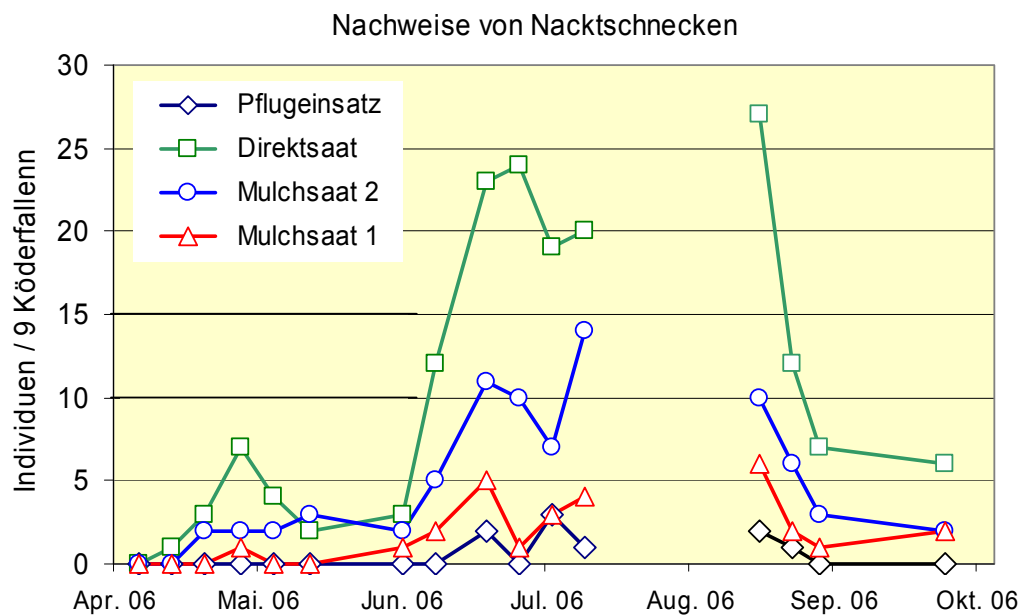
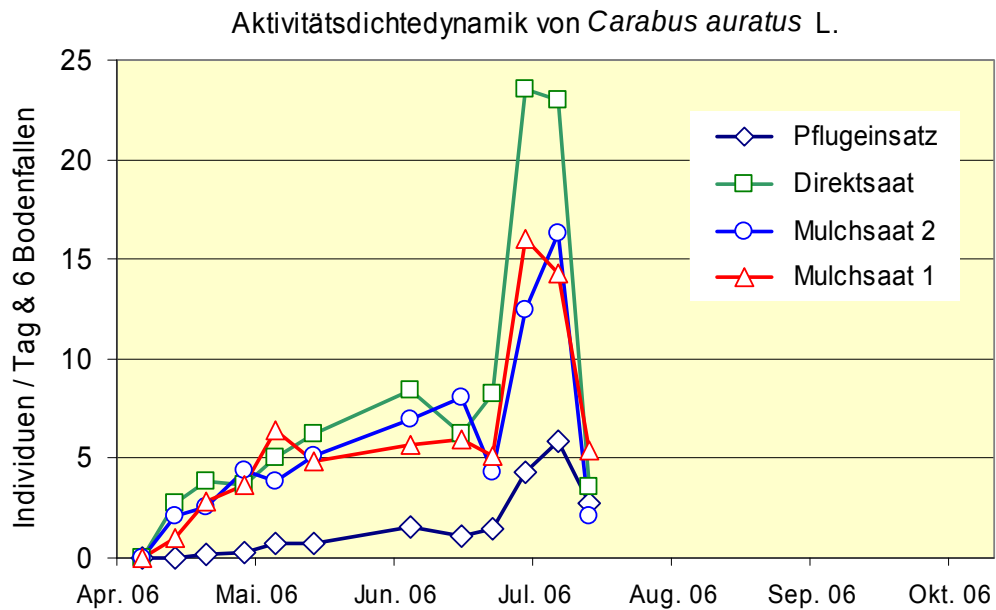


Abb. 32: Aktivitätsdichte-Dynamik des Goldlaufkäfers (oberes Bild) und Nachweise von Ackerschnecken (unteres Bild) in Lüttewitz im Jahr 2006

5.2.2 Zur regulativen Leistung von Laufkäfern bei hohen *Deroceras*-Dichten

Eine gute Übereinstimmung der Aktivitätsdichte-Dynamik von Schnecken und Laufkäfern und ausbleibende Schneckengradationen bei hohen *Carabus*-Dichten allein stellen noch keinen Beweis für eine tatsächliche Regulationsleistung der Laufkäfer dar.

Um diese nachzuweisen, erfolgte ein Feilandversuch zur Quantifizierung der Effekte von hohen Laufkäfer-Dichten auf Schneckenpopulationen. Zuvor wurde in improvisierten Laborversuchen getestet, ob die großen feldbewohnenden *Carabus*-Arten (*Carabus auratus*, *Carabus cancellatus*, *Carabus coriaceus*) im Untersuchungsgebiet überhaupt Ackerschnecken angreifen oder fressen. Diese Experimente ergaben, dass alle in Frage kommenden Arten, darunter auch der besonders häufig erfasste Goldlaufkäfer eine aufgefundene Schnecke generell mit hoher Aggressivität angreifen. Obwohl diese Angriffe meist wegen der starken Schleimproduktion der Schnecken unterbrochen oder abgebrochen wurden, war zumindest eine deutliche Beeinträchtigung der Beute zu konstatieren. In vielen Fällen wurden die Schnecken im Endeffekt auch gefressen. Diese Untersuchungen stützten die Hypothese einer effektiven Regulation.



Abb. 33: Lederlaufkäfer und Ackerschnecke in Aktion

Im Rahmen der darauf aufbauenden Quantifizierungsversuche wurden in den Vegetationsperioden 2005 und 2006 insgesamt sieben Versuchreihen zu Effekten einer bestimmten Laufkäfer-Zusammensetzung auf definierte *Deroceras*-Populationen durchgeführt. Jeder Test lief über einen Zeitraum von ca. 14 Tagen. In diesem Zeitraum wurden die Schnecken in der Hälfte der m²-Rahmen dem Einfluss der Laufkäfer ausgesetzt. Die verwendeten Laufkäfer und Schnecken stammten aus unmittelbar zuvor erfolgten Lebendfängen (Laufkäfer vom Standort; Ackerschnecken aus Oberwinkel). In allen Fällen wurde eine dezimierende Wirkung der Laufkäfer auf die Ackerschnecken festgestellt (Tab. 7). Die Stärke und Aussagekraft dieser Effekte war allerdings sehr unterschiedlich und muss von Termin zu Termin differenziert betrachtet werden. Nachfolgend werden die Resultate aus den sieben Versuchreihen daher im Einzelnen vorgestellt:

Tab. 7: Relativer Rückfang von Ackerschnecken (*Deroceras* spp.) aus den m²-Rahmen (Enclosure-Exclusion-Tests 2005 / 2006)

	Rückfang ohne Laufkäfer	Rückfang mit Laufkäfern	Zusätzlicher Effekt der Laufkäfer	Bereinigter Effekt der Laufkäfer
Aug 05	75,8 %	36,7 %	39,2 %	51,6 %
Sep 05	69,3 %	43,3 %	25,9 %	37,4 %
Mai 06 (1)	51,1 %	40,0 %	11,1 %	21,8 %
Mai 06 (2)	58,0 %	30,0 %	28,0 %	48,3 %
Jun 06	58,3 %	27,4 %	30,9 %	53,0 %
Jul 06 (1)	70,6 %	52,2 %	18,4 %	26,0 %
Jul 06 (2)	74,5 %	36,7 %	37,8 %	50,8 %

1. Versuch (30. Juli - 15. August 2005):

Anzahl der mit Ackerschnecken besetzten Rahmen: 18

Anzahl der zusätzlich mit Laufkäfern besetzten Rahmen: 9

Besatz: jeweils 15 mittelgroße und 25 große Individuen der Gattung *Deroceras* sowie (in der Variante mit Laufkäfern) jeweils 1 Individuum der Art *Carabus cancellatus*, 1 Individuum der Art *Carabus coriaceus* und 2 Individuen der Art *Pterostichus melanarius*.

Ergebnis: Der Vergleich der Rückfang-Werte weist auf einen hochsignifikant verminderten (t-Test; $\alpha \leq 0,05$) Effekt der eingesetzten Laufkäfer hin (Abb. 34; links). In den Käfigen mit Käferbesatz ließen sich nur halb so viele Schnecken wiederfangen wie in den Rahmen ohne Carabiden. In den mittleren Kästen, die in einer feuchten Bodensenke platziert waren, wurde in beiden Varianten generell eine geringere Rückfangrate erzielt als in den randlich gelegenen Rahmen, die einen trockeneren Boden aufwiesen. Diese Effekte waren allerdings wesentlich geringer als die Wirkung der Anwesenheit schneckenfressender Carabiden in den m²-Rahmen.

2. Versuch (13. - 27. September):

Anzahl der mit Ackerschnecken besetzten Rahmen: 18

Anzahl der zusätzlich mit Laufkäfern besetzten Rahmen: 9

Besatz: jeweils 10 mittelgroße und 20 große Individuen der Gattung *Deroceras* sowie (in der Variante mit Laufkäfern) jeweils 1 Individuum der Art *Carabus cancellatus*, 1 Individuum der Art *Carabus coriaceus* und 2 Individuen der Art *Pterostichus melanarius*.

Ergebnis: Auch im September ließ sich eine signifikante Wirkung (t-Test; $\alpha \leq 0,05$) der Laufkäfer feststellen (Abb. 34; rechts). Der Rückfang bei Anwesenheit der Käfer fiel durchschnittlich um etwa ein Drittel geringer aus (Tab. 7). Eventuell führte die etwas trockenere Witterung zu einem Rückzug von Schnecken in tiefere Bodenschichten, wo sie von den Laufkäfern nicht erreicht werden konnten.

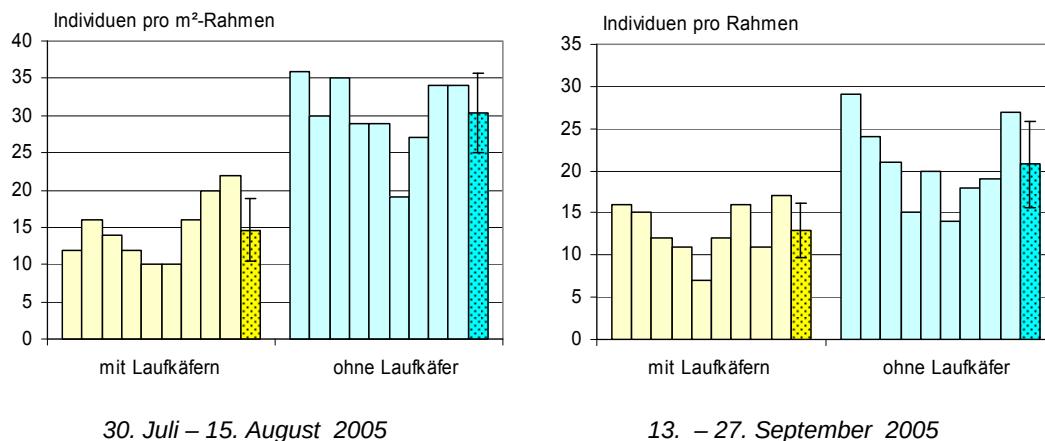


Abb. 34: Deroceras-Wiederfänge im Jahr 2005 (Enclosure-Exclusion-Test)

Zu beachten ist bei diesem Vergleich auch der geringere Schneckenbesatz (30 Individuen / m² im September versus 40 Individuen / m² im August.). Auch im September schien die Rückfangrate innerhalb einer Variante vom Feuchtegradienten in der Senke abzuhängen, wobei dieser Einfluss wiederum geringer war als der Effekt der Laufkäferpräsenz.

3. Versuch (02. - 17. Mai 2006):

Anzahl der mit Ackerschnecken besetzten Rahmen: 12

Anzahl der zusätzlich mit Laufkäfern besetzten Rahmen: 6

Besatz: jeweils 5 mittelgroße und 10 große Individuen der Gattung *Deroceras* sowie (in der Variante mit Laufkäfern) jeweils 2 Individuen der Art *Carabus auratus*.

Ergebnis: Aus den m²-Rahmen ohne Goldlaufkäferbesatz konnten im Durchschnitt zwar mehr Ackerschnecken zurückgefangen werden, die Differenz war aber sehr gering (Abb. 35; links). Die Anwesenheit der Käfer führte zu einer Verringerung der Rückfangwerte um ca. 20 % (Tab. 7). Außerdem wiesen die Werte innerhalb der Varianten sehr hohe Streuungen auf, so dass sich letztendlich keine Effekte des Laufkäferbesatzes nachweisen ließen. So gab es m²-Rahmen, in denen sich trotz *Carabus*-Besatz höhere Rückfang-Raten erzielen ließen als in Rahmen ohne Prädatorendruck. Die Ursachen dieser geringen bzw. ausbleibenden Regulation lassen sich schwer eingrenzen. Sicher spielt ein möglicher Rückzug der Schnecken in tiefere Bodenschichten eine Rolle. Auch die (nicht geprüfte) Anwesenheit alternativer bzw. attraktiverer Beute kann starke Effekte zeitigen, zumal Schnecken auf Grund ihrer Schleimproduktion von den Käfern eher ungern angenommen werden.

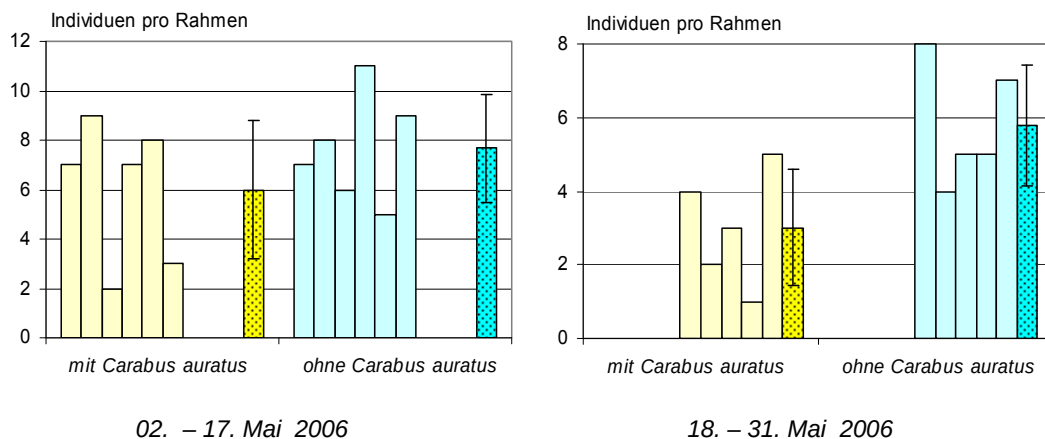


Abb. 35: Deroceras-Wiederfänge im Mai 2006 (Enclosure-Exclusion-Test)

4. Versuch (18. - 31. Mai 2006):

Anzahl der mit Ackerschnecken besetzten Rahmen: 10

Anzahl der zusätzlich mit Laufkäfern besetzten Rahmen: 5

Besatz: jeweils 5 mittelgroße und 5 große Individuen der Gattung *Deroceras* sowie (in der Variante mit Laufkäfern) jeweils 3 Individuen der Art *Carabus auratus*.

Ergebnis: Im Vergleich zum vorausgegangenen Zeitraum ließ sich, eventuell auch durch die Erhöhung des Goldlaufkäfer-Besatzes (3 versus 2 Individuen), eine höhere Regulationsleistung erkennen, obwohl die Schneckendichte vergleichsweise geringer war (Abb. 35; rechts). In den Käfigen mit *Carabus auratus* wurde ein im Durchschnitt um fast 50 % geringerer Rückfang-Wert ermittelt als in den käferfreien Rahmen (Tab. 7). Infolge der beträchtlichen Variabilität der Werte ließ sich aber, analog zum ersten Maitermin, auch dieser Effekt statistisch nicht absichern.

5. Versuch (07. - 22. Juni 2006):

Anzahl der mit Ackerschnecken besetzten Rahmen: 14

Anzahl der zusätzlich mit Laufkäfern besetzten Rahmen: 7

Besatz: jeweils 7 mittelgroße und 5 große Individuen der Gattung *Deroceras* sowie (in der Variante mit Laufkäfern) jeweils 2 Individuen der Art *Carabus auratus*.

Ergebnis: Die Rückfang-Werte sind dem Diagramm in Abb. 36 (oben links) zu entnehmen. Es herrschte eine ähnliche Situation wie im vorangegangenen Versuchszeitraum. Bei Anwesenheit der Laufkäfer wurden im Mittel weniger als die Hälfte der Ackerschnecken wiedergefangen als bei Abwesenheit der Räuber (Tab. 7). Trotz einer nach wie vor großen Streuung der Einzelwerte war dieser dezimierende Effekt bei insgesamt 7 Wiederholungen pro Variante bereits signifikant.

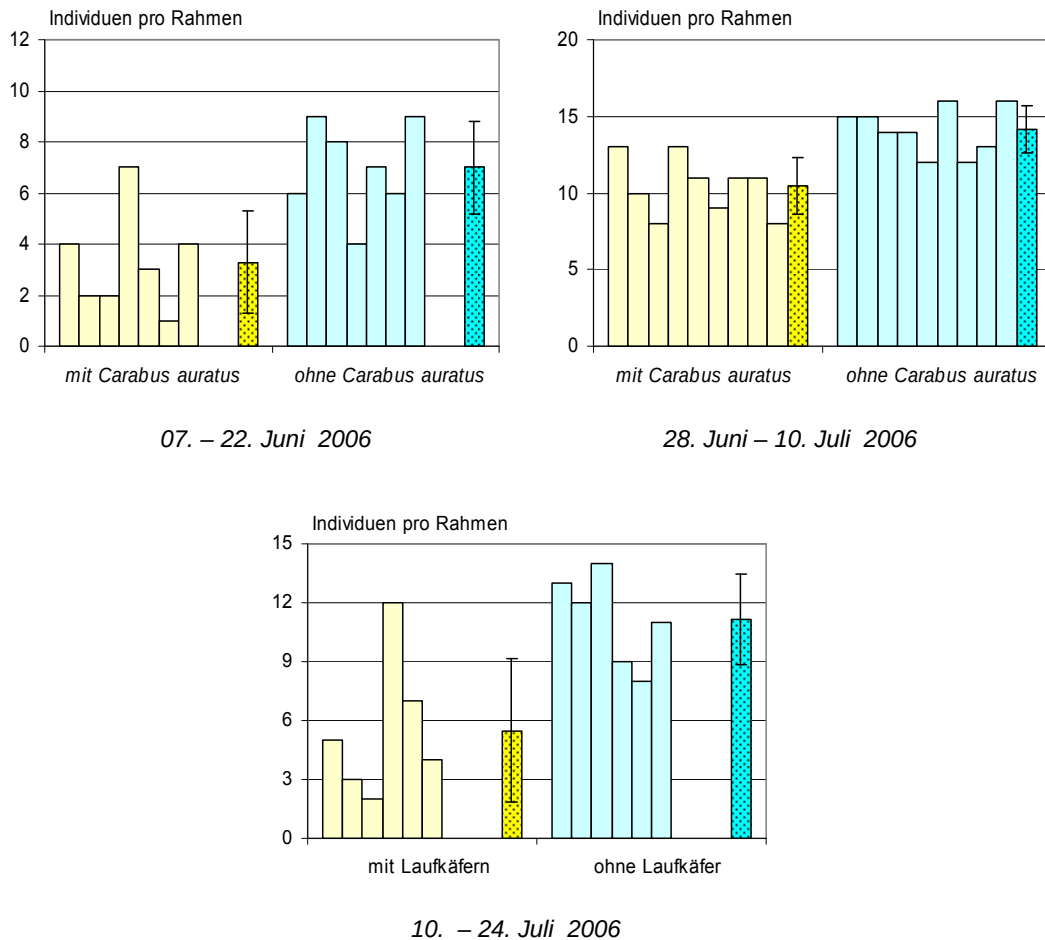


Abb. 36: *Deroceras*-Wiederfänge im Juni / Juli 2006 (Enclosure-Exclusion-Test)

6. Versuch (28. Juni - 10. Juli 2006):

Anzahl der mit Ackerschnecken besetzten Rahmen: 18

Anzahl der zusätzlich mit Laufkäfern besetzten Rahmen: 9

Besatz: jeweils 10 mittelgroße und 10 große Individuen der Gattung *Deroceras* sowie (in der Variante mit Laufkäfern) jeweils 2 Individuen der Art *Carabus auratus*.

Ergebnis: Auch in der ersten Julidekade wurden bei Anwesenheit der Laufkäfer signifikant weniger Ackerschnecken zurückgefangen (Abb. 36; oben rechts). Im Vergleich zu den beiden vorausgegangenen Versuchsperioden war der Effekt der Laufkäfer geringer. Die Anwesenheit der Räuber führte zu einer um 26 % geringeren Rückfangrate (Tab. 7). Dennoch ließ sich diesem Regulationseffekt der Laufkäfer eine deutlich höhere statistische Signifikanz (t-Test; $\alpha \leq 0,05$) als in den vorangegangenen Zeiträumen zuordnen. Der Grund dafür liegt in der relativ großen Homogenität der einzelnen Rückfangzahlen innerhalb der Varianten.

7. Versuch (10. - 24. Juli 2006):

Anzahl der mit Ackerschnecken besetzten Rahmen: 16

Anzahl der zusätzlich mit Laufkäfern besetzten Rahmen: 9

Besatz: jeweils 15 mittelgroße und 25 große Individuen der Gattung *Deroceras* sowie (in der Variante mit Laufkäfern) jeweils 2 Individuen der Art *Carabus auratus* und 1 Individuum der Art *Pterostichus melanarius*.

In der letzten Versuchsreihe (zweite Juli-Hälfte) des Jahres 2006 wurde noch einmal sehr große Unterschiede zwischen den Rückfang-Werten aus den Kästen mit bzw. ohne Laufkäferbesatz ermittelt (Abb. 36; unten). Die Anwesenheit der Schneckenantagonisten führte zu einem um etwa die Hälfte verminderten Wiederfang (Tab. 7). Dieser Regulationseffekt ließ sich statistisch absichern, obwohl die Streuung der Rückfangraten insbesondere bei Anwesenheit der Carabiden beträchtlich war.

In der Gesamtschau der sieben Versuchsreihen führte die Anwesenheit schneckenfressender Laufkäfer zu einer deutlichen Dezimierung der *Deroceras*-Population (Abb. 37). Die entsprechenden Wiederfang-Raten lagen um etwa 20 % bis 50 % unter den Werten, die bei Ausschluss der Käfer ermittelt wurden. Diese Differenzen waren in der Mehrzahl der Versuchsreihen signifikant (u-Test; $\alpha = 0,05$).

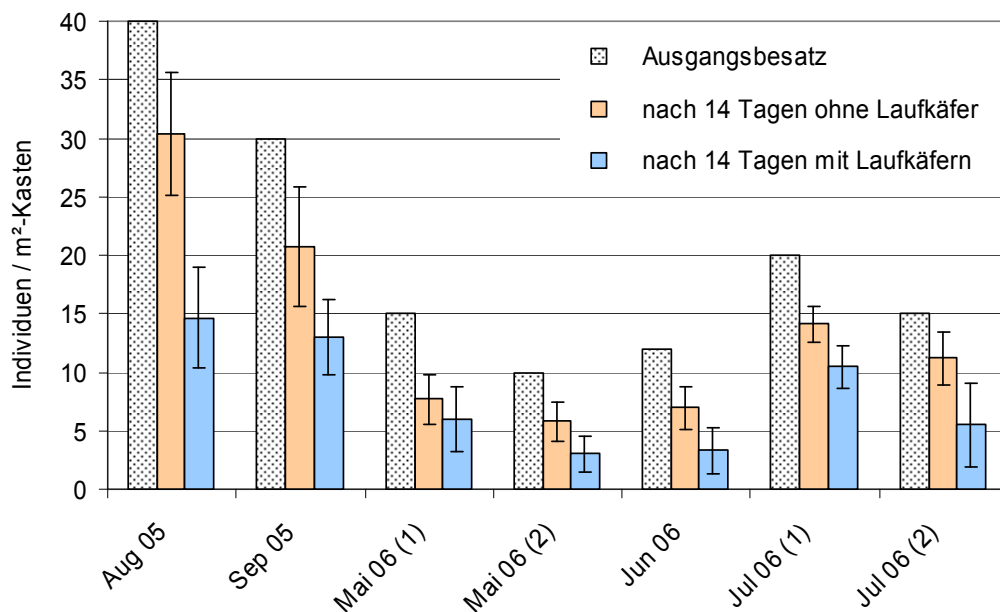


Abb. 37: Effekte der Anwesenheit von Laufkäfern (*Carabus* spp. und *Pterostichus melanarius*) auf den Ackerschnecken-Rückfang; Lüttewitz 2005 & 2006

5.3 Diskussion

5.3.1 Laufkäfer als effektive Schneckenantagonisten im pfluglosen Ackerbau

Eine konsequent konservierende Bodenbearbeitung kann zu einer signifikanten Förderung regulativ wirkender Wolfsspinnen und Laufkäfer führen. Auf den Mulch- und Direktsaat-Flächen im Untersuchungsgebiet wurden in den letzten Jahren sehr hohe Aktivitätsdichten der Laufkäferarten *Carabus auratus* (Goldlaufkäfer) und *C. cancellatus* gemessen; dagegen traten diese Spezies auf der benachbarten Pflugvariante kaum in Erscheinung (KREUTER 2004, KREUTER & NITZSCHE 2005).

Dass Laufkäfer zu den natürlichen Feinden von Schadschnecken gehören, ist vor allem aus dem Gartenbau seit langem bekannt. Auf Ackerflächen gelten vor allem die (dort meist nur selten anzutreffenden) *Carabus*-Arten als wirksame Antagonisten von Nacktschnecken und weiteren potenziellen Schädlingen (GODAN 1979, SOUTH 1992, ASTERAKI 1993, AYRE & PORT 1996; BOHAN et al. 2000). In jüngerer Zeit konnte auch für typische Feldcarabiden der Fraß von Ackerschnecken nachgewiesen werden (OBERHOLZER & FRANK 2003).

Der Verzehr von Schnecken durch die Carabiden beantwortet aber noch nicht die Frage, ob und inwieweit häufig auftretende und potenziell Schnecken vertilgende Laufkäfer eine Massenvermehrung von Ackerschnecken verhindern können. Von vielen Autoren wird bestimmten Arten ein beachtliches Regulationspotenzial zugeschrieben (HENDERSON, I. 1989; ASTERAKI 1993; SYMONDSON 1993; SYMONDSON et al. 1996).

Allerdings war und ist die Problematik Gegenstand kontroverser Diskussionen. So beschrieben BOHAN et al. (2000) einen deutlichen Effekt hoher Dichten des Laufkäfers *Pterostichus melanarius* auf die Schneekendichte im Feld. MAIR et al. (2001) kamen bei Sichtung dieser Versuchsdaten dagegen zu dem Schluss, dass entsprechende Korrelationen rein zufällig aufgetreten waren. Ebenso wiesen MAIR & PORT (2001) nach, dass die Feldarten *Pterostichus madidus* und *Nebria brevicollis* die Abwehrbarriere der Schleimschicht größerer Ackerschnecken offenbar nicht überwinden können und dass Schneckeneiweiß in diesen Tieren eher auf das Fressen an toten Exemplaren zurückzuführen sei. Für die Fraß- und damit Regulationsleistung einer Art kann offensichtlich selbst das Geschlechterverhältnis innerhalb der Population entscheidend sein (SYMONDSON et al. 1996).

Spezies der Gattung *Carabus* nehmen als Schneckenantagonisten – schon auf Grund ihres Nahrungsbedarfes, ihrer Aggressivität, Größe und Phänologie – einen herausragenden Platz unter den zahlreichen Feldlaufkäfern ein. In eigenen Fütterungsversuchen attackierten alle im sächsischen Lößgürtel erfassten *Carabus*-Spezies die angebotenen Schnecken der Art *Deroceras reticulatum* nahezu sofort. Auch wenn die Schleimproduktion der Beute die Aktivitäten der Großcaraben zeitweise oder auch endgültig zum Erliegen brachte, führten die Attacken doch zu einer Verletzung bzw. starken Beeinträchtigung der Ackerschnecken. Im Freiland dürften folglich häufige Angriffe von *Carabus*-Individuen auf *Deroceras*-Vertreter durchaus zu einer Minderung des Schadens durch diese Schnecken führen.

5.3.2 Methodendiskussion

Im vorliegenden Fall wurde der Versuch unternommen, den vermuteten regulativen Effekt mit einem Enclosure-Exclusion-Test nachzuweisen. Diese Methode des aktiven Ausgrenzens bzw. Einsetzens von Nützlingen und / oder deren Beutetieren in standardisierte Käfige ist in der Feldentomologie ein bekanntes Vorgehen zur Untersuchung und Beschreibung von Räuber-Beute-Beziehungen (LOSEY & DENNO 1998; SCHMIDT 2004). Die Wiederfang-Methode in den eingesetzten m²-Rahmen kann als Fallenfang innerhalb geschlossener Populationen bzw. als biozönetrische Erfassung im umschlossenen Raum angesehen werden (vgl. JANETSCHKE 1982).

Ein vergleichbarer Versuch zu Effekten der An- bzw. Abwesenheit von Laufkäfern auf den Schneckenbesatz wurde von ARMSWORTH et al. (2003) anhand der Art *Pterostichus melanarius* durchgeführt. Diese Species hatte deutlich geringere Effekte auf die Ackerschnecken als die größeren *Carabus*-Arten in der vorliegenden Untersuchung.

Der signifikant geringere Wiederfang von Schnecken in den m²-Rahmen mit Laufkäferbesatz muss nicht allein auf den Fraß oder die Verletzung von Schnecken durch die Carabiden zurückgehen. Es ist bekannt, dass insbesondere erwachsene Schnecken auf die olfaktorische Anwesenheit von potenziell gefährlichen Laufkäfern reagieren, indem sie sich aktiv in den Boden oder auf die Pflanzen zurückziehen, um so dem Zugriff der Käfer zu entgehen (SYMONDSON 1993; ARMSWORTH et al. 2003). Diese Reaktion würde allerdings bei dauerhaft hohen Aktivitätsdichten solcher Carabiden zu einer permanenten Aktivitätsminderung der Schnecken führen und damit ebenfalls das Risiko eines Schadens durch Schneckenfraß verringern. Im Rahmen des vorliegenden Versuches konnte letztendlich nicht geklärt werden, ob der Rückgang der Schnecken auf eine nachhaltige Reduktion der Population oder auf deren Inaktivität als Folge der Anwesenheit räuberischer Laufkäfer zurückzuführen ist.

5.3.3 Auswirkungen auf den Pflanzenschutz

Der Nutzen konstant hoher *Carabus*-Dichten für den Pflanzenschutz liegen ausschließlich in einem langfristigen Effekt, indem die Käfer Ackerschnecken und andere frei im bzw. am Boden lebende Schädlinge unter der wirtschaftlichen Schadensgrenze halten. Um eine einmal in Gang gekommene Schneckengradation zu stoppen, müssen nach wie vor andere Maßnahmen ergriffen werden. Eine umfangreiche Übersicht über die Problematik Schneckenbefall und Schneckenbekämpfung wird z. B. von FISCHER & REISCHÜTZ (1998) gegeben. In der ackerbaulichen Praxis erfolgt i. d. R. ein Pflugeinsatz. Soll die reduzierte Bodenbearbeitung aufrechterhalten werden, kommen zur Schneckenbekämpfung meist chemische Präparate zum Einsatz. Dabei weist Schneckenkorn auf Metaldehyd-Basis eine relativ geringe Toxizität gegenüber Warmblütern, Nutzarthropoden und Regenwürmern auf (BOOZE & OEHME 1985; GEMMEKE, H. 1995; HENDERSON 1989). Interessant sind Ansätze zu biologischen Bekämpfungsverfahren im Ackerbau, z. B. die von SPEISER (1995) vorgestellte Schneckenbekämpfung mit Nematoden. Diese soll ebenso wirkungsvoll wie chemische Maßnahmen sein (WILSON et al. 1994).

Die Förderung von Nützlingen als integrierte Pflanzenschutzmaßnahme ist immer an eine Vielzahl von Bewirtschaftungs- und Standortfaktoren geknüpft, deren positives Zusammenspiel nur schwer zu analysieren und damit zu beeinflussen ist. Konsequenter Pflugverzicht führte zwar an den Standorten Lüttewitz und Zschortau zu einer idealen Nützlingssituation (KREUTER & NITZSCHE 2005), unter anderen natürlichen und anthropogenen Konditionen könnte eine solche Entwicklung aber durchaus auch ausbleiben bzw. deutlich schwächer ausfallen.

Wesentlich einfacher zu managen sind dagegen acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen, die geeignet sind, bodenbürtige Schädlinge zurückzudrängen. Auch bei dauerhaft pflugloser Bewirtschaftung kommt dabei der Bodenbearbeitung, aber auch weiteren Maßnahmen wie dem Walzen von Ackerflächen (= Beseitigung von Hohlräumen), eine Schlüsselposition zu.

5.3.4 Bodenbearbeitung und Schneckenbefall

In der Regel führt konservierende Bodenbearbeitung zu einer Vermehrung von Schadschnecken (VOSS et al. 1997; FISCHER & REISCHÜTZ 1998). Auch die vorliegenden Untersuchungen bestätigen diesen vielfach nachgewiesenen Zusammenhang. Der nachzuweisende Effekt einer Zunahme der Siedlungsdichte und Aktivität von Nacktschnecken durch dauerhaft pfluglose Bodenbearbeitung geht auf zwei wesentliche Faktoren zurück: die bessere Habitatstruktur (Bodenruhe, Spaltenreichtum, beständige Makroporen) und die günstigere trophische Situation (Akkumulation von Streu und Rottematerial im Oberboden und an der Oberfläche). Je stärker folglich die Bodenbearbeitung einer Fläche reduziert wird, umso größer wird dort das potenzielle Schneckenproblem. Im Bestreben, chemische Pflanzenschutzmaßnahmen zu reduzieren, stellt deshalb der Pflugeinsatz nach wie vor die typische Maßnahme zur Bekämpfung boden- und streubürtige Schaderreger dar. Dies gilt auch für die Schneckenbekämpfung.

Um die Habitatstruktur für die Schnecken ungünstiger zu gestalten, bedarf es allerdings nicht zwangsläufig des Pflugeinsatzes. Angepasste Saatbett- und spätere Rückverfestigungsmaßnahmen vermindern nicht nur die Anzahl möglicher Rückzugs- und Reproduktionshabitate, sie können auch die Wirksamkeit eventuell nötiger Bekämpfungsmaßnahmen deutlich erhöhen (GLEN et al. 2003). Landwirtschaftliche Fachbehörden und Interessenverbände weisen immer wieder darauf hin, dass Bodenbearbeitungsmaßnahmen zur Schneckenbekämpfung keineswegs einen Pflugeinsatz beinhalten müssen (z. B. UFOP 2002; LkH 2003).

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zum Streuabbau (Minicontainer- und Köderstreifen-Test) zeigen, dass sich die konservierende Bodenbearbeitung im obersten Bodenhorizont (0 cm - 10 cm) generell positiv auf die Aktivität der Bodenmesofauna und damit auch auf den Streuabbau auswirkte.

Allerdings beeinflussen die Faktoren Witterung und Bodenkontakt den Streuabbau so stark, dass die Streu-Akkumulation an der Bodenoberfläche und die unzureichende Durchmischung oft zu einer ungenügenden Rotte auf pfluglos bearbeiteten Flächen führen.

Unter einheitlichen Umweltbedingungen hatte die Streugröße in den Minicontainern einen entscheidenden Einfluss auf die Rottedynamik. Feines Material wurde meist signifikant schneller abgebaut. Bei Ausschluss der Bodenmesofauna verzögerte sich der Dekompositionsprozess merklich.

In den tieferen Bodenschichten (> 10 cm) führten dagegen weder die Abwesenheit der Mesofauna noch die konservierende Bodenbearbeitung zu einer Rottebeschleunigung. Auf der Direktsaat-Fläche (Standort Lüttewitz) herrschten in mehr als 10 cm Bodentiefe eher ungünstige Bedingungen für den Abbau. Ansonsten waren die Differenzen zwischen den konservierenden Boden- und Streubearbeitungsvarianten gering.

Abnehmende Intensität der Bodenbearbeitung oder zunehmende Intensität der Stoppelbearbeitung korrelierten nicht zwangsläufig mit der Fraßaktivität der Mesofauna oder mit der Geschwindigkeit des Streuabbaus.

Aus den zoologischen Begleituntersuchungen (Streubeutel-Versuch) im oberflächennahen Bodenhorizont geht ebenfalls hervor, dass die Besiedlung der Streuproben vor allem durch die Witterung bzw. das Mikroklima, des weiteren durch die Beschaffenheit des angebotenen Streumaterials und schließlich auch durch die langjährig praktizierte Art der Bodenbearbeitung (wendend / nichtwendend) beeinflusst wird.

Die Erfassung von Enchytraeen hängt z. B. entscheidend von der Bodenfeuchte und damit vom aktuellen Wettergeschehen ab.

Feines Streumaterial wurde generell stärker besiedelt als die groben Streuproben. Diese Differenz ging allerdings hauptsächlich auf den signifikant höheren Anteil räuberischer Bodenmilben (Gamasina) in der feinen Streu zurück.

Pflugverzicht führte in allen Fällen zu einer stärkeren Besiedlung der Streubeutel. Die Unterschiede zwischen den konservierenden Verfahren waren dagegen gering und korrelierten nicht mit dem Intensitätsgrad.

Die Untersuchungen zur Bedeutung des Goldlaufkäfers als Schneckenantagonist ergaben, dass auf den Mulchsaat- und Direktsaat-Flächen am Standort Lüttewitz offensichtlich eine effektive Regulation der *Deroceras*-Population stattfindet. Als Voraussetzungen dafür kann der langjährige Pflugverzicht gelten, der zu sehr hohen Aktivitätsdichten der Goldlaufkäfer führte.

Die bei entsprechenden Witterungsbedingungen theoretisch existierende Übereinstimmung der Populations- und Aktivitätsdynamik im Frühjahr und Sommer stellt eine weitere Basis für ein großes Regulationspotenzial dar.

Die im Widerspruch dazu ermittelte negative Korrelation der Aktivitäts- und Dichtenachweise (in Boden bzw. Köderfallen) auf den pfluglos bearbeiteten Flächen spricht dafür, dass eine solche Regulation der Schnecken durch die Goldlaufkäfer tatsächlich erfolgt ist.

Ein Versuch zur Quantifizierung der Fraßleistung bestätigte diese Hypothese. Die Anwesenheit von *Carabus*-Arten (meist Goldlaufkäfer), z. T. ergänzt durch die ebenfalls als Schneckenantagonist bekannte Spezies *Pterostichus melanarius*, in definierten *Deroceras*-Populationen verringerte den Schneckenbestand in den meisten Fällen signifikant.

Die Ergebnisse sprechen für die Förderung eines konsequenten Pflugverzichtes, zumal von der konservierenden Bodenbearbeitung weitere positive Effekte auf die Ökosysteme in der Agrarlandschaft ausgehen (KLADIVKO 2001, HOLLAND 2004).

Im Hinblick auf den Streuabbau ist es erforderlich, das entsprechende Potenzial dauerhaft pfluglos bearbeiteter Flächen besser auszuschöpfen. Vergleichsweise einfach kann dieses Ziel durch die Entwicklung bzw. Optimierung geeigneter Technologien der Streubehandlung (maximale Zerkleinerung, intensive flache Einarbeitung, Rückverfestigung des Oberbodens) erreicht werden.

Eine vergleichbare Situation ergibt sich im Hinblick auf die Schneckenproblematik. Selbst unter idealen Voraussetzungen ist der regulierende Effekt von Antagonisten unsicher und kaum zu prognostizieren. Deshalb müssen neben der Nützlingsförderung andere Konzepte zur Bekämpfung bodenbürtiger Schädlinge entwickelt werden, die sowohl einen Rückgriff auf den Pflug ausschließen als auch die Anwendung chemischer Präparate minimieren. Auch hier bietet sich die Optimierung der pfluglosen Bodenbearbeitung als geeigneter Lösungsansatz an. Der Schwerpunkt liegt dabei auf einer effektiven Rückverfestigung des Bodens.

Die Eindämmung boden- und streubürtiger Schaderreger lässt sich auch über andere acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen (Fruchtfolge, Sortenwahl) erreichen. Allerdings stellt z. B. die Abkehr von phytopathologischen Problemfruchtfolgen einen sehr komplexen Lösungsansatz dar, der sich in der landwirtschaftlichen Praxis meist schwieriger umsetzen lässt als eine technologische Optimierung der Bodenbearbeitung.

7 Literatur

ALTIERI, M.A. (1999): The ecological role of biodiversity in agroecosystems. – *Agricult. Ecosyst. Environ.* 74, 19-31.

ARMSWORTH, C.G.; BOHAN, D.A.; SYMONDSON, W.O.C. & GLEN, D.M. (2003): The influence of a carabid beetle predator on the survival and dispersion of slug pests. – *BCPC Symp. Proc.* 80: Slugs and Snails: Agricultural, Veterinary & Environmental Perspectives, pp. 263-268.

Bayer. Landesanst. f. Landw. (2006): <http://www.lfl.bayern.de/ilt/pflanzenbau/06889/>

BECK, L. (1989): Lebensraum Buchenwaldboden - eine Übersicht. – *Verh. Ges. Ökol.* 17: 47-54.

BODE, M. & BLUME H.-P. (1997): Der Köderstreifentest als ein Maß der allgemeinen biologischen Aktivität von Ackerböden unter dem Einfluss unterschiedlicher Bewirtschaftung. – *Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges.* 85 II: 473-476

BOHAN, D.B.; BOHAN, A.C.; GLEN, D.M.; SYMONDSON, W.O.C., WILTSHIRE, C.W. & HUGHES, L. (2000): Spatial dynamics of predation by carabid beetles on slugs. – *J. Animal. Ecol.* 69: 367-379.

BOOZE, T.F. & OEHME, F.W. (1985): Metaldehyde toxicity: A review. – *Vet. Hum. Toxicol.* 27: 11-19.

BUCHNER, A. & STURM, H. (1985): Gezielter düngen. – DLG-Verlag, Frankfurt (Main), 318 pp.

BULLOCK, J.M., PYWELL, R.F., BURKE, M.J.W. & WALKER, K.J. (2001): Restoration of biodiversity enhances agricultural production. – *Ecol. Letters* 4: 185-189.

CHRISTENSEN, B., MONTGOMERY, J.M., FAWCETT, R.S. & TIERNEY, D. (1995): Best Management Practices for Water Quality. – *Conserv. Tech. Center*, West Lafayette, IN, USA, 1-3.

CHRISTIANSEN, K. (2000): Extensivierung in der Landwirtschaft: Auswirkung auf Collembolen, mikrobielle Biomasse und Zersetzung von Rapsstreu. – *Cuvillier Verl.* Göttingen, 208 S.

COUTEAUX, M.-M.; BOTTNER, P. & BERG, B. (1995): Litter decomposition, climate and litter quality. – *Trends in ecology & evolution* 10(2): 63-66.

CROSSLEY, D.A. & HOGLAND, M.P. (1962): A litter-bag method for the study of microarthropods inhabiting leaf litter. – *Ecology* 43: 571-573

CROSSLEY, D.A., MUELLER, B.R. & PERDUE, J.C. (1992): Biodiversity of microarthropods in agricultural soils: relations to processes. – Agric. Ecosys. Environ. 40: 37-46.

CURRY, J.P. (1969): The decomposition of organic matter in the soil. Part I: The role of the fauna in decaying grassland herbage. – Soil Biol. Biochem. 1: 253-266.

DAVIDSON, E.A. & ACKERMAN, I.L. (1993): Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. – Biogeochemistry 20: 161-193.

DITTMER, S. & SCHRADER, S. (2000): Longterm effects of soil compaction and tillage on Collembola and straw decomposition in arable soil. – Pedobiologia 44: 527-538.

DUNGER, W. & FIEDLER H.J. (1997): Methoden der Bodenbiologie. – 2. Aufl., G. Fischer Verl. Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm.

EISENBEIS, G. (1998): Die Untersuchung der biologischen Aktivität von Böden. – II. Teil: Der Minicontainer-Test. – Praxis Naturwiss. Biol. 4/47: 22-29.

EL TITI, A. (2003): Soil Tillage in Agroecosystems. – CRC Press, Boca Raton, FL, 384 pp.

FISCHER, W. & REISCHÜTZ, P.L. (1998): Grundsätzliche Bemerkungen zum Schadschneckenproblem. – Die Bodenkultur 49(4): 281-292.

FRIEBE, B. & HENKE, W. (1991): Bodentiere und deren Strohabbauleistung bei reduzierter Bodenbearbeitung. – Z. Kulturtechnik Landentwicklung 32: 121-126.

GARBE, V., RODEMANN, B. & BARTELS, G. (2000): Erfolgreich gegen Fusarien. – Mais 28 (4): 160-163.

GEMMEKE, H. (1995): Untersuchungen über die Gefahr der Sekundärvergiftung bei Igel (Erinaceus europaeus L.) durch metaldehydvergiftete Ackerschnecken. – Dtsch. Pflanzenschutzdienst 47(9): 237-240.

GLEN, D.M.; GREEN, D.; OAKLEY, J.; WILTSHIRE, C.W.; BOHAN, D.A. & PORT, G.R. (2003): Progress in improving the prediction and integrated control of slug damage in arable crops. – BCPC Symp. Proc. 80: Slugs and Snails: Agricultural, Veterinary & Environmental Perspectives, pp. 35-42.

GRUNER, H.-E.; MORITZ, M. & DUNGER, W. (1993): 4. Teil: Arthropoda (ohne Insecta). – In: GRUNER, H.-E. (Hrsg.): Lehrbuch der speziellen Zoologie, Bd. 1, G. Fischer Verl. Jena-Stuttgart-New York.

HANDSCHIN, E. (1929): Urinsekten oder Apterygota (Protura, Collembola, Diplura und Thysanura). – In DAHL, F.: Die Tierwelt Deutschlands, Bd. 19, G. Fischer Verl. Jena.

HEIBER, T. & EISENBEIS, G. (1999): Vergleich wendender und nichtwendender Bodenbearbeitung im ökologischen Landbau: Messungen zum Strohabbau mit Minicontainern bei Vertikalexposition. – Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 91: 621-624.

HEISLER, C. (1994): Bedeutung von Mikroflora, Mesofauna und Makrofauna für den Abbau von Strohmatte in unterschiedlich verdichteten Ackerböden. – Zool. Anz. 233: 153-172.

HEISLER, C. (1998): Influence of tillage and crop rotation on biological activity. Agribiol. Res. 51: 289-297.

HEISLER, C. & BRUNOTTE, J. (1998): Beurteilung der Bodenbearbeitung mit Pflug und der konservierenden Bodenbearbeitung hinsichtlich der biologischen Aktivität mittels des Köderstreifen-Tests nach von Törne sowie der Populationsdichten von Collembolen und Raubmilben. – Landbauforschung Volkenrode 48: 78-85.

HEISLER, C., ROGASIK, H., BRUNOTTE, J. & JOSCHKO, M. (1998): Konservierende Bodenbearbeitung und biologische Aktivität. – Landbauforschung Völkenrode, Heft 4/1998: 199-212.

HENDERSON, I. (1989): Slugs and Snails in World Agriculture. – British Crop Protection Council (BCPC) Monograph Series 41, Thornton Heath (GB).

HENDRIX, P.F., PARMELEE, R.W., CROSSLEY, D.A., COLEMAN, D.C., ODUM, E.P., GROFFMAN, P.M., 1986: Detritus food webs in conventional and no-tillage agroecosystems. Bioscience 36, 374–380.

HERLITZIUS, H. (1983): Biological decomposition efficiency in different woodland soils. – Oecologica (Berlin) 57: 78-97.

HOFMANN, B.; TISCHER, S. & CHRISTEN, O. (2003): Einfluss langjährig unterschiedlicher Bodenbearbeitung auf Humusgehalt und biologische Bodeneigenschaften. – Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. 15: 288-289.

HOLLAND, J.M. (2004): The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. – Agric. Ecosys. Environ. 103: 1-25.

HOUSE, G.H. & STINNER, R.E. (1987): Decomposition of plant residues in no-tillage agroecosystems: influence of litterbag mesh-size and soil arthropods. – Pedobiologia 30: 351-360.

INGHAM, E.R., COLEMAN, D.C., PARMELEE, R. & CROSSLEY, D.A. (1991): Reduction of microbial and faunal groups following application of streptomycin and captan in Georgia no-till agroecosystems. – *Pedobiologia* 35: 297-304.

JANETSCHEK, H. (1982): *Ökologische Feldmethoden*. – Verl. Eugen Ulmer, Stuttgart.

JOHANSSON, M-B; BERG, B & MEENTEMEYER, V. (1995): Litter mass-loss rates in late stages of decomposition in a climatic transect of pine forests. Long-term decomposition in a Scots pine forest. – *IX Can. J. Bot. / Rev. Can. Bot.* 73(10): 1509-1521.

KARG, W. (1989): Acari (Acarina), Milben Unterordnung Parasitiformes (Anactinochaeta) Uropodina Kramer, Schildkrötenmilben. – *Die Tierwelt Deutschlands*, Bd. 67, G. Fischer Verl. Jena.

KARG, W. (1993): Acari (Acarina), Milben Parasitiformes (Anactinochaeta) Cohors Gamasina Leach. Raubmilben. – *Die Tierwelt Deutschlands*, Bd. 59., G. Fischer Verl. Jena-Stuttgart-New York.

KARG, W. (1994): Raubmilben, nützliche Regulatoren im Naturhaushalt. – *Die Neue Brehm-Bücherei*, Bd. 624.

KLADIVKO, E.J., 2001: Tillage Systems and soil ecology. *Soil Till. Res.* 61: 61-76.

KRATZ, W. (1991): Streuabbaucontainer – ein Instrument der modernen Bodenbiologie. – *Mitt. Dtsch. Bodenkdl. Ges.* 66: 547-549.

KREUTER, T. (2004): Bedeutet pfluglose Bodenbearbeitung gleichzeitig Förderung der Biodiversität? In: *Landwirtschaftlicher Bodenschutz*. – *Schriftenr. Sächs. Landesanstalt f. Landwirtschaft*, Jahrgang 9, H. 10: 41-52.

Kreuter, T. & Nitzsche, O. (2005): Biodiversität sächsischer Ackerflächen. – *Schriftenreihe Sächs. LfL*, Jahrgang 10, Heft 9: 103 S.

KRÜCK, S.; NITZSCHE, O. & SCHMIDT, W. (2001): Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. – *Landwirtschaft ohne Pflug* 1: 18-21.

Landwirtschaftskammer Hannover (2003): Nacktschnecken – eine potenziell Gefahr für Herbstsaaten. – *Archiv Pflanzenschutz*. <http://www.lwk-hannover.de>

LOSEY, J.E. & DENNO, R.F. (1998): Positive predator-predator interactions: enhanced predation rates and synergistic suppression of aphid populations. – *Ecology* 76(6): 2143-2152.

MAIR, J.; SHIRLEY, M.D.F., RUSHTON, S.P. & PORT, G.R. (2001): Forum. Spatial dynamics of predation by carabid beetles on slugs (Forum Discussion). – J. Animal Ecol. 70: 875-876

MAIR, J. & PORT, G.R. (2001): Predation by the carabid beetles *Pterostichus madidus* and *Nebria brevicollis* is affected by size and condition of the prey slug *Deroceras reticulatum*. – Agricult. Forest Entomol. 3: 99.

NITZSCHE, O., SCHMIDT, W.A., ZIMMERMANN, M. & GEBHART, C. (2002): Fusarium pfluglos bekämpfen. – Fachinformationen Pflanzenproduktion: Fusarium. <http://www.smul.sachsen.de>

NITZSCHE, O., KRÜCK, S., ZIMMERLING, B. & SCHMIDT, W. (2004): Innovative Bodenbearbeitungsverfahren zur Minderung von Bodenerosion und Nährstoffeinträgen in Gewässer. – In: LAHMER, W., BECKER, A. (Hrsg): Wasser und Nährstoffmanagement im Elbegebiet und Möglichkeiten zur Stoffeintragsminderung, Weißensee Verlag, Berlin, S. 343-361.

RÖMBKE, J.; DREHER, P.; BECK, L.; HUND-RINKE, K.; JÄNSCH, S.; KRATZ, W.; PIEPER, S.; RUF, A.; SPELDA, J. & WOAS, S. (2002): Entwicklung von bodenbiologischen Bodengüteklassen für Acker- und Grünlandstandorte. – UBA-Texte 20/02, 273 S.

SCHAEFER, M. (2003): Die Bodenfauna in Agroökosystemen: von der Diversität zum Nahrungsgesetz. – Nova Acta Leopoldina NF 87, Nr. 328: 195- 214.

SCHMIDT, W., STAHL, H., NITZSCHE, O., ZIMMERLING, B., KRÜCK, S., ZIMMERMANN, M. & RICHTER, W. (2001): Konservierende Bodenbearbeitung - die zentrale Maßnahme eines vorbeugenden und nachhaltigen Bodenschutzes. – Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 96 (2): 771-772.

SCHMIDT, M.H. (2004): Spinnen in Agrarlandschaften und die biologische Kontrolle von Getreideblattläusen. – Diss. Göttingen.

SIEDENTOP, S. (1995): Auswirkungen der Maschenweite von Streubeuteln auf verschiedene Parameter des Streuabbaus. – Braunschw. Naturkd. Schriftenreihe 4: 939-950.

SPEISER, B. (1995): Schneckenbekämpfung mit Nematoden (*Plasmarhabditis hermaphrodita*). – Beitr. 3. Wiss. Tag. Ökol. Landb., Kiel, 277-280.

SPRICK, P. (1991): Erfassung und Beurteilung der Nebenwirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf epigäische Coleopteren unter besonderer Berücksichtigung der Eignung von Bodenfallen. – Univ. Hannover, Diss..

STENBERG, M., STENBERG, B. & RYDBERG, T. (2000): Effects of reduced tillage and liming on microbial activity and soil properties in a weakly-structured soil. – Agric. Ecosys. Environ. 14: 135–145.

STOCKFISCH, N., KOCH, H.-J., & EHLERS, W. (1998): Wirkung der Zerkleinerung und Einarbeitung auf den Strohabbau im Feld. – Kongressband VDLUFA-Tagung, Gießen, VDLUFA-Schriftenreihe 49: 345-348.

STRESEMANN, E. (1967): Exkursionsfauna von Deutschland. Wirbellose 1, – Volk und Wissen Verlag Berlin.

STRESEMANN, E. (1992): Exkursionsfauna 1. Wirbellose (ohne Insekten). – Volk und Wissen Verlag Berlin.

SYMONDSON, W.O.C. (1993): The effects of crop development upon slug distribution and control by *Abax parallelepipedus* (Coleoptera: Carabidae). – Ann. Appl. Biol. 123: 449-457.

SYMONDSON, W.O.C.; GLEN, D.M.; WILTSHIRE, C.W.; LANGDON, C.J. & LIDDELL, J.E. (1996): Effects of cultivation techniques and methods of straw disposal on predation by *Pterostichus melanarius* (Coleoptera: Carabidae) upon slugs (Gastropoda: Pulmonata) in an arable field. – J. Appl. Ecol. 33(4): 741-753.

TRETZEL, E. (1955): Technik und Bedeutung des Fallenfanges für ökologische Untersuchungen. – Zool. Anz. 155, 275-287

UFOP (2002): Schneckenkontrolle in Rapsfruchtfolgen – UFOP-Praxisinformationen. <http://www.ufop.de>

VOLKMAR, C., LÜBKE-AL HUSSEIN, M. & KREUTER, T. (2003): Effekte moderner Verfahren der Bodenbewirtschaftung auf die Aktivität epigäischer Raubarthropoden. – Gesunde Pflanzen 55 (2): 40-45.

VOSS, M; ULBER, C.B. & HOPPE, H.H. (1997): Ackerschnecken - Auswirkungen pflugloser Bodenbearbeitungssysteme. – Raps 15(3): 106-108.

WILLMANN, C. (1931): Moosmilben oder Oribatiden (Cryptostigmata). – In DAHL, F.: Die Tierwelt Deutschlands, Bd. 22, Spinnentiere oder Arachnidea V: Acarina. G. Fischer Verl. Jena.

WILSON, M.J.; GLEN, D.M.; WILTSHIRE, C.W. & GEORGE, S.K. (1994): Mini-plot field experiments using the rhabditid nematode *Phasmarhabdits hermaphrodita* for biocontrol of slugs. – Biocontrol Sci. Technol. 4: 103-113.

WITKAMP, P.M. & OLSEN, J.S. (1963): Breakdown of confined and nonconfined oak litter. – Oikos 14: 138-147.

WILCKE, D.E. (1967): Oligochaeta. – In: BROHMER, P.; EHRMANN, P.; ULMER, G. & H. SCHIEMENZ (Hrsg.): Die Tierwelt Mitteleuropas. Bd. 1., Verlag Quelle und Meyer, Leipzig.

8 Datenanhang

Die vollständigen Datentabellen zu den Köderstreifen- und Streubeutel-Untersuchungen stehen im Internetangebot der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft als Word- bzw. Excel-Dateien unter folgender Adresse zur Verfügung:

<http://www.smul.sachsen.de/de/wu/Landwirtschaft/lfl/inhalt/4979.htm>

Unser Dank gilt

- der Südzucker AG, GB Landwirtschaft (insbesondere Herrn Rühl),
- dem Landwirtschaftsbetrieb Schönleber, Littdorf (insbesondere Herrn Schönleber)

für die Bereitstellung der Versuchsflächen sowie für die Unterstützung und Rücksichtnahme bei den Feldversuchen.

An der fachlichen Bearbeitung wirkten mit:

- Frau Dr. Marita Lübke – Al Hussein (Streubeutel-Test; Bodenmesofauna),
- Herr Dr. Ismail Ali – Al Hussein (Bodenmesofauna),
- Herr Dr. O. Rosche (Köderstreifen-Test).

Auch dafür vielen Dank.

Impressum

Herausgeber: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
August-Böckstiegel-Straße 1, 01326 Dresden
Internet: www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/publikationen

Autoren: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
Fachbereich Pflanzliche Erzeugung
Dr. Thomas Kreuter, Dr. Walter Schmidt
Gustav-Kühn-Str. 8
04159 Leipzig
Telefon: 0341 / 9174-116
Telefax: 0341 / 9174-111
E-Mail: walter.schmidt@smul.sachsen.de

Redaktion: siehe Autoren

ISSN: 1861-5988

Redaktionsschluss: April 2007

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.